

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

**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА
ТА ЗБАЛАНСОВАНЕ
РЕСУРСОКОРИСТУВАННЯ**

Науково-технічний журнал

№ 1 (27)

**Івано-Франківськ
2023**

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).

Свідectво про державну реєстрацію у Міністерстві юстиції України КВ № 25444-15484 ПР від 15 лютого 2023 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, № 1 (27). – 2023. – 157 с.

ISSN (print) 2415–3184

ISSN (online) 2522–9508

УДК 502/504; 574

**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 (27)

**Ivano-Frankivsk
2023**

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 Abees Hmood Al-Khalidy** (University of AL-Qadisiyah, Al-Diwaniyah, Iraq).

The Certificate of State Registration in the Ministry of Justice of Ukraine KV No. 25444-15484 PR from 15 February 2023 p.

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, Issue 1 (27). – 2023. – 157 p.

ISSN (print) 2415–3184

ISSN (online) 2522–9508

UDC 502/504; 574

ЗМІСТ

ГЛОБАЛЬНІ ТА РЕГІОНАЛЬНІ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ	7
<i>М. М. Орфанова</i> Щодо питання декарбонізації та утилізації золошлакових відходів ТЕС.....	7
ЕКОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	16
<i>М. М. Орфанова, Н. М. Москальчук, М. В. Штогрин</i> Дослідження радіочастотного електромагнітного поля від мобільних телефонів.....	16
ЗБАЛАНСОВАНЕ РЕСУРСКОРИСТУВАННЯ	23
<i>К. І. Барабан, М. М. Приходько, Л. М. Архипова</i> Оцінка перспективних екосистемних послуг планованої рекультивації териконів Львівсько-Волинського вугільного басейну	23
<i>О. А. Бужин</i> Управління екологічною безпекою – методика класифікації твердих горючих копалин	33
ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ	43
<i>Д. О. Паневник</i> Дослідження гідравлічних характеристик струминного апарата для попередження викидів низьконапірного нафтового газу	43
<i>А. П. Олійник, О. М. Туць</i> Комплексний математичний процес поширення шкідливих речовин при аваріях на магістральних газопроводах.....	54
<i>А. С. Федорів, Т. Б. Качала, А. В. Пукіш</i> Знешкодження та утилізація нафтошламів, що утворилися в процесах видобування та підготовки нафти	61
ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ОЦІНКА СТАНУ ДОВКІЛЛЯ.....	66
<i>І. Я. Климчук, Л. М. Архипова</i> Дослідження змін клімату в Карпатському регіоні: наслідки та виклики для гірськолижних курортів	66
<i>Л. В. Штогрин, Д. В. Касіячук, В. В. Бараніченко, М. В. Штогрин</i> Геоінформаційний аналіз природних чинників формування зсувів у регіоні Складчастих Карпат (у межах Закарпатської області)	75
ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ	85
<i>В. Ф. Синяцик, О. В. Харламова, В. М. Шмандій, Т. Є. Ригас, Л. А. Безденежних</i> Екологічні аспекти сталого розвитку у системі поводження з пластиковими відходами	85
<i>В. М. ЧУПА, Я. О. Адаменко</i> Дослідження рівня зольності та вмісту хімічних елементів в золі різних видів твердих побутових відходів та твердопаливних пелет.....	92
ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	99
<i>І. Є. Смик, Л. М. Архипова</i> Аналіз впливу метеорологічних умов на ефективність роботи сонячних панелей в Івано-Франківській області.....	99
ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ТУРИСТИЧНО-РЕКРЕАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ.....	108
<i>С. В. Качала, Х. А. Стасевич, Т. Б. Качала</i> Моніторинг послуг екосадиб Карпатського регіону та шляхи підвищення рівня екологізації туризму.....	108
<i>Х. В. Чех, С. В. Качала</i> 3D проектування екотуристичного продукту з використанням інформаційних технологій	120
ЕКОЛОГІЧНА ОСВІТА ТА ЕКОЛОГІЧНЕ ВИХОВАННЯ	132
<i>В. О. Сабадуха, О. М. Мандрик, М. О. Стах</i> Філософсько-методологічні засади подолання глобальної екологічної кризи, або основи есхатологічної методології	132
СЛОВО ПРО УЧИТЕЛЯ	143
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....	156

CONTENTS

GLOBAL AND REGIONAL ENVIRONMENTAL PROBLEMS	7
<i>M. Orfanova</i> Regarding the Issue of Decarbonization and Disposal of the Thermal Power Plants Ash and Slage Waste	7
ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION	16
<i>M. Orfanova, N. Moskalchuk, M. Shtohryn</i> Research of the Radio Frequency Electromagnetic Field from Mobile Phones	16
BALANCED USE OF RESOURCES	23
<i>K. Baraban, M. Prykhodko, L. Arkhypova</i> Assessment of Prospective Ecosystem Services of the Planned Reconstruction of Terricones of the Lviv-Volyn Coal Basin	23
<i>O. Buzhyn</i> Management of Environmental Safety - Method of Classification of Solid Combustible Fossils	33
ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE OIL AND GAS INDUSTRY	43
<i>D. Panevnyk</i> Study of the Hydraulic Characteristics of the Jet Device for Preventing Emissions of Low Pressure Petroleum Gas	43
<i>A. Oliinyk, O. Tuts</i> A Complex Mathematical Process of Harmful Spread Substance in Main Gas Pipeline Accidents	54
<i>A. Fedorov, T. Kachala, A. Pukish</i> Disposal and Disposal of Oil Sludges Formed in Oil Extraction and Preparation Processes	61
ECOLOGICAL MONITORING, FORECASTING AND ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENT STATE	66
<i>I. Klymchuk, L. Arkhipova</i> Research on Climate Change in the Carpathian Region: Consequences and Challenges for Ski Resorts	66
<i>L. Shtohryn, D. Kasiyanchuk, V. Baranichenko, M. Shtohryn</i> Geo-Information Analysis of Natural Factors of Landslide Formation in the Region of the Square Carpaties (in the Border of the Transcarpathian Region)	75
ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES	85
<i>V. Sinyashchyyk, O. Kharlamova, V. Shmandiy, T. Rigas, L. Bezdeneznych</i> Environmental Aspects of Sustainable Development in the Plastic Waste Management System	85
<i>V. Chupa, YA. Adamenko</i> Study of Ash Level and Content of Chemical Elements in Ash of Different Types of Household Solid Waste and Solid Fuel Pellets	92
ECOLOGICAL ASPECTS OF RENEWABLE ENERGY SOURCES	99
<i>I. Smyk, L. Arkhypova</i> Analysis of the Influence of Meteorological Conditions on the Efficiency of Solar Panels in the Ivano-FrankivSK region	99
ENVIRONMENTAL ISSUES OF TOURISM AND RECREATION	108
<i>S. Kschala, KH. Stasevich, T. Kachala</i> Ecologization of Tourism and Rational Use of Recreation Landscapes	108
<i>KH. Chekh, S. Kachala</i> 3D Design of an Ecotouristic Product Using Information Technologies	120
ECOLOGICAL EDUCATION AND RAISING ENVIRONMENTAL AWARENESS	132
<i>V. Sabadukha, O. Mandryk, M. Stakh</i> Philosophical and Methodological Basis of Overcoming the Global Environmental Crisis or the Basis of Eschatological Methodology	132
A WARD ABOUT THE TEACHER	143
INFORMATION ABOUT AUTHORS	156

ГЛОБАЛЬНІ ТА РЕГІОНАЛЬНІ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ

УДК: 502.36 : 504.064 : 666.9

DOI: 10.31471/2415-3184-2023-1(27)-7-15

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

ЩОДО ПИТАННЯ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ТА УТИЛІЗАЦІЇ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ ТЕС

Викиди діоксиду вуглецю є одною з причин підвищення температури та глобального потепління. Аналіз законодавчої бази показав, що в Україні створені всі передумови переходу до низьковуглецевого розвитку, скорочення викидів парникових газів і декарбонізації промисловості. Сценарії зміни кліматичних умов показали, що до 2050 р. в Україні очікується загальне потепління. Максимальні значення змін температури прогнозується $+2,2^{\circ}\text{C}$ у грудні. Аналіз напрямків декарбонізації промисловості показав, що основні дослідження зосередженні на декарбонізації металургійних підприємств, підприємств вугільної промисловості, паливо-енергетичного комплексу, декарбонізації транспорту, на виробництві «зеленого» водню як альтернативного палива, переходу від традиційних джерел енергії до альтернативних та визначенні економічних механізмів вуглецевого ціноутворення. Не менш важливими є питання вловлювання, транспортування та захоронення діоксиду вуглецю. Результати досліджень дозволили визначити перспективи та переваги використання кожного з цих напрямків. Важливим є оцінка можливостей та потенціалу використання вловленого діоксиду вуглецю. Зберігання діоксиду вуглецю у глибинних геологічних формаціях вимагатиме проведення комплексу робіт для запобігання забруднення компонентів довкілля. Визначено переваги транспортування діоксиду вуглецю газопроводами порівняно з транспортуванням автомобільним та залізничним транспортом.

Визначений напрямок утилізації золошлакових відходів ТЕС, який полягає у подрібненні відходів у середовищі CO_2 з отриманням стабільних карбонатів Mg і Ca , що дозволяє розширити сфери використання відходів у будівельній промисловості.

Ключові слова: декарбонізація, вловлювання діоксиду вуглецю, транспортування діоксиду вуглецю, зберігання діоксиду вуглецю, промислова фіксація діоксиду вуглецю, відходи ТЕС, подрібнення

Постановка проблеми. Питання декарбонізації промисловості набуває більшої актуальності на шляху інтеграції України в економічну систему ЄС. За даним [1], на сьогодні викиди CO_2 становлять приблизно 42 Гт, що вже є загрозливим для гальмування розвитку глобальних екологічних змін. Температурний сценарій емісії CO_2 прогнозує три варіанти зростання температури на $0,9-2,3^{\circ}\text{C}$, $2,0-3,5^{\circ}\text{C}$ і $3,2-5,4^{\circ}\text{C}$ [1], що можна віднести, відповідно, до категорій низького, помірного та високого ризиків.

Відповідно до Паризької кліматичної угоди усі країни беруть на себе зобов'язання щодо скорочення обсягів викидів парникових газів в атмосферне повітря, й Україна є не виключенням. У 2016 р. схвалена Концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року (Розпорядження КМУ № 932-р від 7 грудня 2016 р.), яка визначає та реалізує державну політику в сфері зміни клімату та гармонізує вітчизняну нормативно-законодавчу базу з міжнародною [3].

Стратегія екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року, яка схвалена Розпорядженням КМУ № 1363-р від 20 жовтня 2021 р., виділяє основні екологічні проблеми, які негативно впливають на сталість екосистем, окреслює крос-секторальні проблеми адаптації до зміни клімату та визначає цілі та основні завдання підвищення рівня екологічної безпеки, зменшення впливів та наслідків зміни клімату в Україні [4]. Передбачається зниження

обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел на 22,5% порівняно з 2015 р. [4] і на 65% порівняно з 1990 р. [2].

Стратегія низьковуглецевого розвитку до 2050 р. визначає передумови переходу до низьковуглецевого розвитку, скорочення викидів парникових газів і окремим пунктом розглядає декарбонізацію енергетики [5].

Починаючи з 2020 року запроваджено регулювання заходів щодо зменшення викидів діоксиду вуглецю. У зв'язку з чим застосовуються три форми економічних механізмів вуглецевого ціноутворення [2, 6, 7] – екологічний податок на викиди парникових газів та система торгівлі квотами на їх викиди та їх поєднання, по аналогії як в країнах ЄС, де розмір податків коливається від € 30 до € 147 на 1 т CO₂ [1].

Для України розроблені сценарії зміни кліматичних умов на середньо- та довгострокову перспективу, базуючись на даних глобальних та регіональних моделей. Сценарії показали, що до 2050 р. очікується загальне потепління і максимальні значення змін (+2,2⁰C± 0,4⁰C) прогнозуються для грудня [8].

За даними Державної служби статистики України викиди діоксиду вуглецю в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення за регіонами у 2021 році становили 111,9 млн. т або у розрізі областей найбільша кількість викидів CO₂ (понад 22 млн. т) зареєстровано у Донецькій та Дніпропетровській областях, а найменша (менше 0,5 млн. т) – у Чернівецькій, Херсонській, Тернопільській, Волинській та Закарпатській областях (рис. 1) [9].

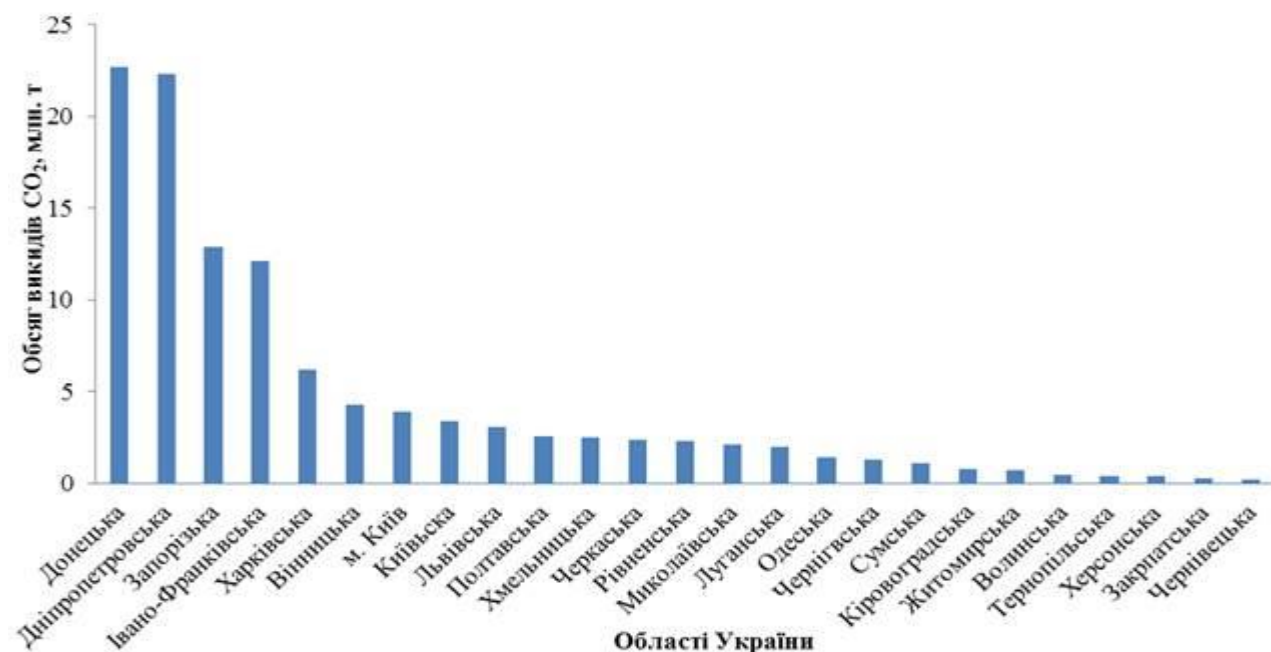


Рис. 1. Викиди діоксиду вуглецю у розрізі областей України, 2021 рік [9]

В Івано-Франківській області в атмосферне повітря у 2021 році з викидами надійшло 12,1 млн. т CO₂, і область посідає 4 позицію в забрудненні території України викидами діоксиду вуглецю. Потенційним джерелом надходження в атмосферне повітря значної кількості забруднюючих речовин, і, в першу чергу, оксидів вуглецю є Бурштинська ТЕС, яка приводить до максимального забруднення території приблизно в 10 км. Іншою, не менш важливою проблемою усіх ТЕС в Україні, є золошлакові відходи, щорічні обсяги утворення яких становлять мільйони тон. Більшість цих відходів не утилізується і потрапляє у відвали, під які в Україні відведено понад 20 тисяч га землі. Золошлакові відвали є причиною вертикальної міграції іонів важких металів та виникненні геохімічних аномалій [10]. За даними [11], CaO може бути вище кларкового значення в 4-12 разів, Al₂O₃ в 2 рази, Fe₂O₃ – в 1,5-3 рази, MgO – в 2-3 рази. Отже, зберігання відходів у золошлакових відвалах приводить до забруднення атмосферного повітря внаслідок ерозійних процесів та забрудненню ґрунтів та підземних вод внаслідок міграції забруднюючих речовин через «тіло» відвалу в природні об'єкти.

Тому, для Івано-Франківській області актуальними є питання декарбонізації та утилізації золошлакових відходів.

Аналіз досліджень та публікацій. Декарбонізація є пріоритетом сталого розвитку промисловості України, що передбачає перехід до циркулярної економіки на принципах вуглецевої нейтральності [7, 12].

Питання декарбонізації промисловості розглядається науковцями та фахівцями-практиками з різних аспектів:

- декарбонізація металургійних підприємств [1, 13–16];
- декарбонізація підприємств вугільної промисловості [1, 8];
- декарбонізація підприємств паливо-енергетичного комплексу [1, 6, 7, 12, 17–20];
- виробництві «зеленого» водню як альтернативного палива [8, 13];
- декарбонізація транспорту [1, 7];
- перехід від традиційних джерел енергії до альтернативних [1, 8, 12, 13];
- запровадження економічних механізмів вуглецевого ціноутворення [1, 2, 6, 7].

Не менш важливими є питання вловлювання, транспортування та захоронення діоксиду вуглецю.

Постановка завдання. Метою роботи є аналіз сучасних напрямків декарбонізації та перспективних шляхів їх реалізації в Україні; аналіз процесів вловлювання, транспортування та захоронення діоксиду вуглецю; аналіз можливості використання золошлакових відходів ТЕС для промислової фіксації CO_2 .

Виклад основного матеріалу. Питання декарбонізації передбачає зменшення надходження в атмосферне повітря оксидів вуглецю. Стратегічними напрямками декарбонізації є сектор виробництва електроенергії, промислові підприємства, в першу чергу, підприємства вугільної, нафтогазової та металургійної промисловості, а також транспортна галузь.

Процес декарбонізації може відбуватись декількома шляхами – удосконалення технологічних процесів із зменшенням обсягів утворення оксидів вуглецю (зниження вуглецемісткості технологічних процесів), інтенсивний розвиток альтернативної енергетики, використання альтернативних видів палива, комплексне використання мінерально-сировинних ресурсів і, як наслідок, обмеження видобутку корисних копалин. Основними етапами декарбонізації економіки є вловлювання, захоронення (зберігання) та утилізація CO_2 , а також його транспортування до місць зберігання або утилізації.

Вловлювання діоксиду вуглецю [7, 17–20]. Одним з важливих етапів декарбонізації є зменшення обсягів надходження діоксиду вуглецю в атмосферне повітря. Вловлювання CO_2 передбачає його відокремлення від основного газового (повітряного) потоку, створення концентрованого потоку CO_2 з високим тиском, який вже можна транспортувати до місця зберігання. При цьому потік CO_2 має бути практично чистий.

На даний час використовується сепарація CO_2 на промислових установках (наприклад, установки для переробки природного газу, виробництву аміаку), абсорбований CO_2 використовується для очистки інших потоків промислових газів. На всіх етапах передбачається сепарація CO_2 , H_2 або O_2 від основного газового потоку – димового газу, синтетичного газу, повітря або неочищеного природного газу. Процес сепарації здійснюється за допомогою розчинників, мембран, твердих сорбентів або використовується кріогенне розділення, що залежить від технологічного процесу. При виборі системи вловлювання необхідно враховувати концентрацію CO_2 в газовому потоці та тиск потоку.

Удосконалення системи вловлювання діоксиду вуглецю після або до спалювання палива зможуть зменшити викиди газу приблизно до 90% у порівнянні з стандартними установками. В той же час використання системи спалювання палива із збагаченням кисню може вловлювати практично увесь діоксид вуглецю.

Аналізуючи системи вловлювання CO_2 можна виокремити наступні проблеми:

- процес вловлювання і компресії CO_2 – робота всієї системи вловлювання з наступним зберіганням у геологічних формаціях – потребує більшого використання енергії (на 10-40%) порівняно з установкою стандартного вловлювання CO_2 аналогічної потужності;
- процес вловлювання CO_2 з наступною карбонатною мінералізацією потребує енергії на 60-180% більше порівняно з установкою стандартного вловлювання CO_2 аналогічної потужності;
- збільшення використання енергії буде збільшувати кількість використання палива, що буде приводити до збільшення кількості інших викидів;

– збільшення обсягів вловлювання CO_2 вимагає збільшення розмірів сепараторів, що зробить процес більш енергоємним і більш вартісним;

– збільшення використання енергії знижуватиме економічну ефективність технологічного процесу та вартість продукції;

– відокремлення оксидів сірки і азоту буде знижувати ступінь вловлювання CO_2 до 90%.

Отже, при виборі оптимального способу вловлювання діоксиду вуглецю необхідно оцінити робочі характеристики установок для вловлювання CO_2 з врахуванням технологічних параметрів виробництва. Важливими є оцінка можливостей та потенціалу використання вловленого CO_2 в промисловому процесі виробництва.

Транспортування діоксиду вуглецю [7, 17, 21, 22]. Наступним етапом після вловлювання CO_2 є його транспортування до місць зберігання. Процес транспортування проводиться для концентрованого потоку CO_2 високого тиску. Для транспортування використовуються газопроводи, автомобільний або залізничний транспорт. Використання кожного з видів транспорту буде мати свій ряд передумов.

За даним [21], транспортування CO_2 газопроводами вимагає дотримання тиску понад 8 МПа, що зменшує вартість газу, і наявність додаткових компресорних станцій.

Транспортування автомобільним або залізничним транспортом здійснюється у спеціальних цистернах при температурі $-20\text{ }^\circ\text{C}$ та тиску 2 МПа, що впливатиме на економічну ефективність транспортування.

Перевагами транспортування CO_2 газопроводами є те, що сухий газ, навіть якщо буде містити домішки (оксиди сірки або азоту), не матиме корозійного впливу на трубопровід. Також не менш важливим є зменшення вартості CO_2 за рахунок збільшення його щільності при транспортуванні під високим тиском.

Одночасно з перевагами є ряд проблем. При транспортуванні газопроводами з метою запобігання виникненню корозії необхідно видалити вологу з потоку CO_2 , в іншому випадку трубопровід зсередини має бути покритий спеціальним сплавом або мати полімерне покриття. В той же час при транспортуванні діоксиду вуглецю трубопроводами зберігаються усі ризики та наслідки витоків газу, які будуть аналогічними при транспортуванні вуглеводнів.

Зберігання (захоронення) діоксиду вуглецю [7, 17, 18, 21-23]. Діоксид вуглецю може бути використаний з метою підтримки пластового тиску та інтенсифікації нафтогазовидобутку вуглеводнів. CO_2 може зберігатись у породах-колекторах, соленосних формаціях або сланцевих породах зі значним вмістом органічної речовини. І для його зберігання можуть бути використані виснажені нафтогазові родовища. Глибина зберігання CO_2 має бути понад 800 м.

Для закачування CO_2 в пласт можуть використовуватись технології нафтогазового комплексу для інтенсифікації видобування нафти, коли в пласт нагнітається газ.

При зберіганні CO_2 на глибинах понад 800 м газ буде мати щільність подібну до щільності окремих видів нафти. При закачуванні CO_2 стискається і заповнює пори внаслідок часткового витискання нафти (газу), що сприятиме збільшенню пористого об'єму для подальшого його зберігання. Коли CO_2 надійде у геологічну формацію, будуть відбуватись хімічні взаємодії CO_2 як з породою, так і з водою, і наслідком цих взаємодій буде утворення карбонатних мінералів. У соленосних формаціях потенційний об'єм для зберігання CO_2 буде не перевищувати 30% від загального об'єму породи. Якщо CO_2 буде адсорбуватись на сланцеві породи зі значним вмістом органічної речовини, то він буде витіснити метан. Цей процес може відбуватись на менших глибинах порівняно з процес зберігання у соленосних формаціях або породах-колекторах.

Зберігання CO_2 у геологічних формаціях може викликати наступні екологічні проблеми:

– бокову міграцію CO_2 ;

– раптові витoki через закинуті свердловини може привести до збільшення понад 7-10% концентрації CO_2 у повітрі, що матиме небезпеку для здоров'я людини;

– поступові та розосереджені витoki CO_2 через дефекти свердловин або руйнування, які можуть впливати:

а) на гідросферу:

– безпосереднє потрапляння CO_2 у водоносні горизонти;

– накопичення CO_2 у зоні між поверхнею і верхньою частиною водного дзеркала;

– потрапляння соляних розчинів у водоносні горизонти внаслідок процесів витискання,

б) на ґрунти:

– збільшення концентрації CO_2 у верхньому шарі ґрунту;

- збільшення кислотності ґрунтів;
- зменшення вмісту кисню;
- як наслідок пригніченість рослинності та негативний вплив на живі організми,

в) на атмосферне повітря:

- збільшення концентрація газу в понижених формах рель'єфу;
- збільшення концентрації газу на територіях з слабкою дією вітру;
- розосередженість витоків по території;
- ліквідація витоків CO_2 та їх наслідків;

– процес нагнітання CO_2 може приводити до збільшення тріщинуватості порід, що збільшує непередбачуваність забруднення навколишніх об'єктів у процесі зберігання газу;

Отже, при зберіганні діоксиду вуглецю у глибинних геологічних формаціях необхідне проведення комплексу наступних робіт:

– визначення оптимальних місць зберігання CO_2 з мінімальною вірогідністю витоків CO_2 : наявність перекриваючих порід з високим ступенем непроникності, відсутність тектонічних порушень, які сприятимуть міграції газу;

– визначення потенційних зон витоків CO_2 ;

– моделювання процесів, які можуть відбуватись у природних резервуарах для зберігання CO_2 ;

– моделювання процесу забруднення навколишнього середовища;

– розробка системи моніторингу.

Промислова фіксація діоксиду вуглецю (карбонатизація мінералів). Технологічні процеси з використанням вловленого CO_2 як сировини замість вуглеводнів не завжди сприяють зменшенню викидів у повному вуглецевому циклі.

Саме фіксація CO_2 з використанням лужних та лужноземельних оксидів (MgO і CaO), які входять до складу як силікатних порід, так і деяких відходів, дозволить зменшити викиди газу. Для промислової фіксації 1 т CO_2 необхідно 1,6 – 3,7 т силікатної породи [24]. Перевагою даного напрямку є те, що при карбонізації мінералів CO_2 не буде надходити в навколишнє середовище, в першу чергу в атмосферне повітря. Попередні дослідження показали, що отримані речовини можуть використовуватись у будівельній промисловості або у виробництві будівельних матеріалів [25].

В якості відходів можна розглядати відходи, які містять у своєму складі MgO і CaO , до яких належать відходи паливно-енергетичного комплексу – відходи ТЕС.

В Івано-Франківській області Бурштинська ТЕС є одночасно джерелом викидів оксидів вуглецю та джерелом утворення золошлакових відходів, основним мінеральним компонентом яких є оксиди Mg і Ca .

Найбільш перспективним напрямом утилізації відходів ТЕС є використання їх у будівельній промисловості для виробництва будівельних виробів та у виробництві в'язучих компонентів будівельних сумішей [11, 26 – 28]. Фіксація CO_2 можлива на MgO і CaO , які є компонентами золошлакових відходів ТЕС. Тому, відходи Бурштинської ТЕС можна розглядати як техногенну сировину для промислової фіксації діоксиду вуглецю.

Процес промислової фіксації CO_2 в карбонатах, в апорі, має базуватись на природному процесі вивітрювання гірських порід. Тому в розробці технології карбонатизації мінералів можна використати принципи механоактивації речовини як методу збільшення реакційної здатності (хімічної активності) речовини в умовах надтонкого подрібнення. Прискорення (активізація) процесу буде відбуватись за рахунок руйнування кристалічної ґратки, що підтверджується дослідженнями з впливу механоактивації на тверді речовини. Можливе також подрібнення у середовищі CO_2 з отриманням стабільних карбонатів Mg і Ca . На даний час існуючі технології попередньої обробки мінералів є досить енергоємними у порівнянні з технологіями, що базуються на методі механоактивації.

Висновки. Декарбонізація промисловості сприятиме запровадженню нових екологічних технологій переробки мінерально-сировинних ресурсів, більш використання альтернативних видів енергії та відкриває нові перспективи в напрямках утилізації відходів.

Основними напрямками декарбонізації є вловлювання, захоронення, утилізація CO_2 та його транспортування до місць зберігання або утилізації, що вимагає іноді багатофакторного аналізу.

При виборі оптимального способу вловлювання діоксиду вуглецю необхідно враховувати технічні та технологічні параметри виробництва, оцінювати потенціал використання вловленого

CO₂ у промисловому процесі. Транспортування CO₂ газопроводами поряд з перевагами (зменшення вартості CO₂, наявність оксидів сірки або азоту, не викликає корозійного впливу на трубопровід) матиме деякі недоліки (необхідно видаляти вологу з потоку CO₂, зберігаються усі ризики та наслідки витоків газу, аналогічні при транспортуванні трубопроводами вуглеводнів).

Зберігання CO₂ у геологічних формаціях може викликати забруднення атмосферного повітря, ґрунтів та підземних вод. Перспективним напрямком одночасної утилізації CO₂ та золошлакових відходів є його промислова фіксація на MgO і CaO, які входять до складу відходів ТЕС.

Література

- 1 Гура К. Ю., Петрук В. Г. Аналіз сучасних тенденцій декарбонізації та екомодернізації енергетики України і світу. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2021. № 5. С. 19–24.
- 2 Замула І., Кірейцева Г., Травін В., Берляк Г., Палій О. Торгівля квотами на викиди парникових газів: обліковий підхід. *Економіка. Управління. Інновації*. Випуск № 1 (30), 2022. URL : <http://surl.li/hdztc>.
- 3 Концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року. URL : <https://www.kmu.gov.ua/npas/249573705>.
- 4 Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року. URL : <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-shvalennya-strategiyi-ekologichno-a1363r>.
- 5 Стратегія низьковуглецевого розвитку до 2050 року. URL : <http://surl.li/heaog>.
- 6 Гораль Л., Войтків Л., Дуб С., Степанюк О., Якубишин О. Бюджетна політика підприємств з транспортування вуглеводнів в сфері декарбонізації. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2022. № 3. С. 263-267. URL : <http://surl.li/heehz>.
- 7 Білявський М. Україна і глобальна політика декарбонізації. URL : <http://surl.li/cbscc>.
- 8 Звіт про науково-дослідну роботу «Розробленні сценарії зміни кліматичних умов в Україні на середньо- та довгострокову перспективу з використанням даних глобальних та регіональних моделей». URL : <http://surl.li/hebbi>.
- 9 Статистичний щорічник України 2021 рік. Державна служба статистики України. URL : <http://surl.li/heekk>.
- 10 Азроян Г.Н., Орфанова М.М., Думенко С.С., Крикливий Ю.А. Дослідження процесів вертикальної міграції іонів важких металів у золо- та шлаковідвалах Бурштинської ТЕС та їх осадження на карбонатах. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2011 № 2 (4). С.30-36.
- 11 Яцишин А. В., Матвєєва І. В., Ковач В. О., Артемчук В. О., Каменева І. П. Особливості впливу золовідвалів підприємств теплоенергетики на навколишнє середовище. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2018. № 2(28). С.57–68. URL : <http://surl.li/hekaw>.
- 12 Кузнецова М. О. Декарбонізація як пріоритет сталого розвитку енергетичного підприємства. *Економіка та держава*. 2021. № 1. С. 171–174. DOI: 10.32702/2306-6806.2021.1.171. URL : http://www.economy.in.ua/pdf/1_2021/28.pdf.
- 13 Бабаченко О. І., Нестеров О. С., Гармаш Л. І. Декарбонізація та енергетична криза. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2022. Випуск 36. С. 35–48. URL : http://jrn.isi.gov.ua/sb/sb36/36_035-048.pdf.
- 14 Аналітичний звіт щодо дослідження процесу декарбонізації у східній Україні. URL : <http://surl.li/hejzt>.
- 15 Jean-Pierre Birat. Hydrogen steelmaking, part 2: competition with other net-zero steelmaking solutions – geopolitical issues. *Matériaux & Techniques*, Volume 109, Number 3-4, 2021. URL : <http://surl.li/hekgi>.
- 16 Jue Tang, Man-sheng Chu, Feng Li, Cong Feng, Zheng-gen Liu, and Yu-sheng Zhou, Development and progress on hydrogen metallurgy, *Int. J. Miner. Metall. Mater.*, 27 (2020), № 6, pp. 713-723. <https://doi.org/10.1007/s12613-020-2021-4>.
- 17 Матківський С. В. Технології уловлювання техногенного діоксиду вуглецю та перспективи його утилізації у виснажених нафтогазових родовищах. *Нафтогазова енергетика*. 2021. № 2 (36). С. 31-41.
- 18 Вязовик, В. М., Починок, В. В., Шинкаренко, Д. Ю. (2021). Класифікація технологій утилізації діоксиду вуглецю в умовах економіки замкнутого циклу. *Вісник Черкаського*

державного технологічного університету, 2021. №2, С. 82–107. <https://doi.org/10.24025/2306-4412.2.2021.227052>.

19 Donglong Fu., Mark E. Davis. Toward the feasible direct air capture of carbon dioxide with molecular sieves by water management. URL : <http://surl.li/helrn>.

20 Fanhe Kong, Guanhe Rim, MinGyu Song, Cornelia Rosu, Pranjali Priyadarshini, Ryan P. Lively, Matthew J. Realff, Christopher W. Jones. Research Needs Targeting Direct Air Capture of Carbon Dioxide: Material & Process Performance Characteristics Under Realistic Environmental Conditions. URL : <http://surl.li/hemeo>.

21 Матківський С. В., Кондрат, О. Р. (2022). Узагальнення перспективних методів транспортування діоксиду вуглецю для підвищення вуглеводневилучення нафтогазових родовищ. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2020. № 2(83), С. 7–16. <http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/9096/1/8662p.pdf>.

22 Turgut M. Gür. Carbon Dioxide Emissions, Capture, Storage and Utilization: Review of Materials, Processes and Technologies. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2021.100965>.

23 Abdul Hai Alami, Abdullah Abu Hawili, Muhammad Tawalbeh, Rita Hasan, Lana Al Mahmoud, Sara Chibib, Anfal Mahmood, Kamilia Aokal, Pawarin Rattanapanya. Materials and logistics for carbon dioxide capture, storage and utilization. Science of The Total Environment. Volume 717. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137221>.

24 Mineral carbonation and industrial uses of carbon dioxide. URL : <http://surl.li/henli>.

25 Itam, Z.; Zawawi, H.; Sivaganese, Y.; Beddu, S.; Mohd Kamal, N.L. Carbon Dioxide Sequestration in Concrete and its Effects on Concrete Compressive Strength. Preprints.org 2020, 2020080147. <https://doi.org/10.20944/preprints202008.0147.v1>.

26 Орфанова М.М., Боднар Н.В. Перспективні напрямки використання золи Бурштинської теплоелектростанції. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. 2017. №1 (15). С. 156-159.

27 Сердюк В. Р., Рудченко Д. Г., Гудзь Д. В. Використання золи виносу Бурштинської ТЕС в технології виробництва автоклавного газобетону. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2021. № 2. С.24-31. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-155-2-24-31>.

28 Shivkumar Sahani, Malik Mohammad Suhail, Mohammad Shadik Siddiqui, Mohammad Yusuf, Md Sarfaraj Ansari, Ms Khushboo Tiwari. PARTIAL REPLACEMENT OF CEMENT WITH FLY ASH IN CONCRETE. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*. Volume:05. 2023. URL : <http://surl.li/henvh>.

M. Orfanova

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

DECARBONIZATION AND DISPOSAL OF ASH AND SLAG WASTE OF THERMAL POWER PLANTS

Carbon dioxide emissions are one of the causes of temperature increase and global warming. The legislative framework analysis has shown that all the prerequisites for the transition to low-carbon development, reduction of greenhouse gas emissions, and industry decarbonization have been created in Ukraine. The climate change scenarios have shown that general warming is expected in Ukraine by 2050. The maximum temperature changes are predicted to be +2.2°C in December. The analysis of industry decarbonization directions has shown that major studies are focused on the decarbonization of metallurgical enterprises, coal industry enterprises, fuel and energy complex, transport decarbonization, production of “green” hydrogen as an alternative fuel, transition from traditional energy sources to alternative ones, and determination of economic mechanisms of carbon pricing. The issues of carbon dioxide capturing, transporting and storing are important. The research results have helped to determine the prospects and advantages of each direction. It is important to assess the possibilities and potential of using captured carbon dioxide. The carbon dioxide storage in deep geological formations will require a complex of actions aimed at preventing the pollution of environmental components. The advantages of transporting carbon dioxide by pipelines have been defined compared to transportation by road and rail transport.

The disposal direction of ash and slag waste of thermal power plants has been determined. It consists in grinding waste in the carbon dioxide medium with obtaining stable Mg and Ca carbonates. This allows to expand the scope of waste use in the construction industry.

Key words: decarbonization, capture of carbon dioxide, transportation of carbon dioxide, storage of carbon dioxide, industrial fixation of carbon dioxide, thermal power plant waste, grinding.

References

- 1 Hura K. Yu., Petruk V. H. Analiz suchasnykh tendentsiy dekarbonizatsiyi ta ekomodernizatsiyi enerhetyky Ukrainy i svitu. Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu. 2021. № 5. С. 19–24.
- 2 Zamula I., Kireitseva H., Travin V., Berliak H., Palii O. orhivlya kvotamy na vykydy parnykovykh haziv: oblikovyy pidkhd. Ekonomika. Upravlinnya. Innovatsiyi. Vypusk № 1 (30), 2022. URL : <http://surl.li/hdztc>.
- 3 Kontseptsiya realizatsiyi derzhavnoyi polityky u sferi zminy klimatu na period do 2030 roku. URL : <https://www.kmu.gov.ua/npas/249573705>.
- 4 Stratehii ekolohichnoi bezpeky ta adaptatsii do zminy klimatu na period do 2030 roku. URL : <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-shvalennya-strategiyi-ekologichno-a1363r>.
- 5 Stratehiia nyzkovuhletsevoho rozvytku do 2050 roku. URL : <http://surl.li/heaoq>.
- 6 Horal L., Voitkiv L., Dub S., Stepaniuk O., Yakubyshyn O. Biudzhetna polityka pidpriemstv z transportuvannya vuhlevodniv v sferi dekarbonizatsii. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. 2022. № 3. С. 263-267. URL : <http://surl.li/heehz>.
- 7 Biliavskiy M. Ukraina i hlobalna polityka dekarbonizatsii. URL : <http://surl.li/cbscc>.
- 8 Zvit pro naukovo-doslidnu robotu «Rozroblenni stsenarii zminy klimatychnykh umov v Ukraini na seredno- ta dovhostrokovu perspektyvu z vykorystanniam danykh hlobalnykh ta rehionalnykh modelei». URL : <http://surl.li/hebbi>.
- 9 Statystychnyi shchorichnyk Ukrainy 2021 rik. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. URL : <http://surl.li/heekk>.
- 10 Azroian H.N., Orfanova M.M., Dumenko S.S., Kryklyvyi Yu.A. Doslidzhennia protsesiv vertykalnoi mihratsii ioniv vazhkykh metaliv u zolo- ta shlakovidvalakh Burshtynskoi TES ta yikh osadzhennia na karbonatakh. Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannya. 2011 № 2 (4). С.30-36.
- 11 Yatsyshyn A. V., Matvieieva I. V., Kovach V. O., Artemchuk V. O., Kameneva I. P. Osoblyvosti vplyvu zolovidvaliv pidpriemstv teploenerhetyky na navkolyshnie seredovyshe. Problemy nadzvychainykh sytuatsii. 2018. № 2(28). С.57–68. URL : <http://surl.li/hekaw>.
- 12 Kuznetsova M. O. Dekarbonizatsiia yak priorytet staloho rozvytku enerhetychnoho pidpriemstva. Ekonomika ta derzhava 2021. № 1. С. 171–174. DOI: 10.32702/2306-6806.2021.1.171. URL : http://www.economy.in.ua/pdf/1_2021/28.pdf.
- 13 Babachenko O. I., Nesterov O. S., Harmash L. I. Dekarbonizatsiia ta enerhetychna kryza. Fundamentalni ta prykladni problemy chornoj metalurhii. 2022. Vypusk 36. С. 35–48. URL : http://jrn.isi.gov.ua/sb/sb36/36_035-048.pdf.
- 14 Analitychnyi zvit shchodo doslidzhennia protsesu dekarbonizatsii u skhidni Ukraini. URL : <http://surl.li/hejzt>.
- 15 Jean-Pierre Birat. Hydrogen steelmaking, part 2: competition with other net-zero steelmaking solutions – geopolitical issues. Matériaux & Techniques, Volume 109, Number 3-4, 2021. URL : <http://surl.li/hekgi>.
- 16 Jue Tang, Man-sheng Chu, Feng Li, Cong Feng, Zheng-gen Liu, and Yu-sheng Zhou, Development and progress on hydrogen metallurgy, Int. J. Miner. Metall. Mater., 27 (2020), № 6, pp. 713-723. <https://doi.org/10.1007/s12613-020-2021-4>.
- 17 Matkivskiy S. V. Tekhnolohii ulovliuvannya tekhnohennoho dioksydu vuhletsu ta perspektyvy yoho utylizatsii u vysnazhenykh naftohazovykh rodovyshchakh. Naftohazova enerhetyka. 2021. № 2 (36). С. 31-41.
- 18 Viazovyk, V. M., Pochynok, V. V., Shynkarenko, D. Yu. (2021). Klasyfikatsiia tekhnolohii utylizatsii dioksydu vuhletsu v umovakh ekonomiky zamknutoho tsykladu. Visnyk Cherkaskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu, 2021. №2, С. 82–107. <https://doi.org/10.24025/2306-4412.2.2021.227052>.
- 19 Donglong Fu., Mark E. Davis. Toward the feasible direct air capture of carbon dioxide with molecular sieves by water management. URL : <http://surl.li/helnr>.

- 20 Fanhe Kong, Guanhe Rim, MinGyu Song, Cornelia Rosu, Pranjali Priyadarshini, Ryan P. Lively, Matthew J. Realf, Christopher W. Jones. Research Needs Targeting Direct Air Capture of Carbon Dioxide: Material & Process Performance Characteristics Under Realistic Environmental Conditions. URL : <http://surl.li/hemeo>.
- 21 Matkivskyi S. V., Kondrat, O. R. (2022). Uzahalnennia perspektyvnykh metodiv transportuvannia dioksydu vuhletsu dlia pidvyshchennia vuhlevodnevylyuchennia naftohazovykh rodovyshch. Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch. 2020. № 2(83), C. 7–16. <http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/9096/1/8662p.pdf>.
- 22 Turgut M. Gür. Carbon Dioxide Emissions, Capture, Storage and Utilization: Review of Materials, Processes and Technologies. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2021.100965>.
- 23 Abdul Hai Alami, Abdullah Abu Hawili, Muhammad Tawalbeh, Rita Hasan, Lana Al Mahmoud, Sara Chibib, Anfal Mahmood, Kamilia Aokal, Pawarin Rattanapanya. Materials and logistics for carbon dioxide capture, storage and utilization. Science of The Total Environment. Volume 717. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137221>.
- 24 Mineral carbonation and industrial uses of carbon dioxide. URL : <http://surl.li/henli>.
- 25 Itam, Z.; Zawawi, H.; Sivaganese, Y.; Beddu, S.; Mohd Kamal, N.L. Carbon Dioxide Sequestration in Concrete and its Effects on Concrete Compressive Strength. Preprints.org 2020, 2020080147. <https://doi.org/10.20944/preprints202008.0147.v1>.
- 26 Orfanova M.M., Bodnar N.V. Perspektyvni napriamky vykorystannia zoly Burshtynskoi teploelektrostantsii. Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannia. 2017. №1 (15). C. 156-159.
- 27 Serdiuk V. R., Rudchenko D. H., Hudz D. V. Vykorystannia zoly vynosu Burshtynskoi TES v tekhnolohii vyrobnytstva avtoklavnoho hazobetonu. Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. 2021. № 2. C.24-31. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-155-2-24-31>.
- 28 Shivkumar Sahani, Malik Mohammad Suhail, Mohammad Shadik Siddiqui, Mohammad Yusuf, Md Sarfaraj Ansari, Ms Khushboo Tiwari. PARTIAL REPLACEMENT OF CEMENT WITH FLY ASH IN CONCRETE. International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science. Volume:05. 2023. URL : <http://surl.li/henvh>.

ЕКОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 504.064: 537.8

DOI: 10.31471/2415-3184-2023-1(27)-16-22

М. М. Орфанова, Н. М. Москальчук,

М. В. Штогрин

*Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІОЧАСТОТНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ВІД МОБІЛЬНИХ ТЕЛЕФОНІВ

Мобільні телефони є найпоширенішими джерелами радіочастотного електромагнітного поля (РЧЕМП). Стрімке зростання їх кількості та глобальне використання зробило їх актуальним об'єктом наукових досліджень. Тому метою роботи було вимірювання рівнів РЧЕМП від мобільних телефонів в довкіллі для з'ясування дотримання допустимих норм для населення та для встановлення залежностей від відстані, моделі та режиму роботи мобільного телефону.

Рівень випромінювання в довкіллі оцінювався величиною поверхневої густини потоку енергії за допомогою аналізатора електросмогу Gigahertz Solutions HFE35C.

Аналіз дотримання норм для населення засвідчив, що:

- в режимі роботи «мобільний зв'язок» досліджені нами мобільні телефони не створювали РЧЕМП з рівнями вище ГДР дозволених національними та міжнародними нормами;
- в режимі роботи «мобільний Інтернет» на нульовій відстані від мобільного телефону в половині випадків рівень випромінювання був вище дозволеного ДСНІП у 100 мкВт/см²;
- в режимі роботи «мобільний Інтернет» на відстані від 1 м рівні РЧЕМП від всіх телефонів відповідають дозволенним.

Також ми дійшли таких висновків щодо рівнів РЧЕМП від мобільних телефонів в довкіллі:

- відрізняються від різних моделей телефонів;
- у режимі включеного мобільного зв'язку значно менші ніж в режимі «мобільний Інтернет»;
- у режимі включеного мобільного зв'язку сильно не змінюються з відстанню;
- у режимі «мобільний Інтернет» є на порядок більшими на нульовій відстані, і на відстані від 1 м вже наближаються до режиму включеного мобільного зв'язку;
- у режимі «мобільний інтернет» значно відрізняються у різних моделей телефонів на нульовій відстані;
- є найменшими за значеннями в обох режимах для таких моделей телефонів – Apple iPhone 13 Pro Max, Apple iPhone 11 Pro, Xiaomi Redmi Note 8;
- вимагають подальшого різнофакторного дослідження.

Ключові слова: мобільні телефони, радіочастотне електромагнітне поле, густина потоку енергії, гранично допустимий рівень (ГДР), здоров'я населення.

Постановка проблеми. Сучасний світ не можна уявити без швидкісної телекомунікації з використанням систем бездротового зв'язку. Стільникові телефони, від моменту свого виникнення у 1973 року, змінились не тільки зовнішньо, але й функціонально. Сьогодні телефонія об'єднує зв'язок за допомогою:

- стаціонарних телефонів, які працюють на основі електричного зв'язку;
- радіотелефонів, які працюють на основі електричного та бездротового зв'язку;
- фічефонів, які ще використовують кнопочну клавіатуру, але вже мають нескладну операційну систему, що надає інтернет-послуги та послуги мультимедіа;
- камерфонів, які поєднують стільниковий зв'язок і функції фотоапарата;

– смартфонів, які вже мають сенсорний дисплей та поєднують стільниковий зв'язок з функціями персонального комп'ютера, фотоапарата, медіаплеєра.

Саме смартфони в останні 15 років інтенсивно змінюються [1] та розширюються їх функції, виникають нові моделі з удосконаленими характеристиками. Використання мобільних телефонів стало стилем нашого життя, ми все більше часу його використовуємо. Оскільки період інтенсивного використання мобільних телефонів людством у глобальному розрізі ще досить незначний, необхідно проводити дослідження у різних напрямках впливу бездротового зв'язку на здоров'я людини.

Мобільні телефони разом з іншими пристроями для комунікації (наприклад базові станції, Wi-Fi, 5G), а також медицини, нагрівання, бездротової передачі енергії є найпоширенішими джерелами радіочастотного електромагнітного поля (РЧЕМП) – неіонізуючої частини електромагнітного спектру в діапазоні частот від 100 кГц до 300 ГГц. Мобільні телефони працюють у діапазоні частот від кількох сотень МГц до кількох ГГц, що забезпечує бездротові телефонні дзвінки та передачу даних, включаючи зв'язок через Інтернет. Точний діапазон частот відрізняється для різних технологій (GSM, UMTS, 4G, 5G тощо) і країн [2].

Аналіз досліджень і публікацій. Численні потенційні впливи на здоров'я від РЧЕМП вивчають вже декілька десятиліть. У 1996 р. Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) розпочала міжнародний проект з оцінки впливу електромагнітних полів на здоров'я та довкілля, відомий як «Міжнародний проект ЕМП» [3]. На сьогодні проект об'єднав ключові міжнародні організації, національні органи з більш як 50 держав та наукові установи з метою розробки науково обґрунтованих оцінок ризику для здоров'я від впливу ЕМП у діапазоні частот 0–300 ГГц. Підтвердженням впливом РЧЕМП на здоров'я людини є нагрівання відкритих тканин та стимуляція нервів [4]. Поля РЧЕМП можуть проникати всередину тіла (чим вища частота, тим менша глибина проникнення) в результаті чого підвищується температура тканин. Перевищення певних порогових значень залежно від тривалості опромінення, сумарний вплив РЧЕМП і підвищення температури можуть спровокувати серйозні наслідки для здоров'я, зокрема тепловий удар і опіки.

Щодо конкретно мобільних телефонів, то стрімке зростання їх кількості та глобальне використання зробило їх актуальним об'єктом наукових досліджень, зокрема в контексті впливу ЕМП, що вони утворюють, на здоров'я. За даними організацій з охорони здоров'я, зокрема ВООЗ [5], управління з продовольства і медикаментів США (FDA) [6] на сьогодні не встановлено жодних негативних біологічних наслідків від ЕМП, що створюється при використанні мобільних телефонів, крім нагрівання тканин. На частотах, які використовують мобільні телефони, більша частина енергії поглинається шкірою та іншими поверхневими тканинами, що призводить до незначного підвищення температури в мозку чи інших органах тіла.

Також доведено вплив мобільних телефонів та смарт-годинників, які містять магніти з високою напруженістю поля, на кардіостимулятори чи інші імплантовані медичні пристрої [7]. Зважаючи на це FDA рекомендує пацієнтам тримати будь-які побутові електронні пристрої, які можуть створювати магнітні перешкоди, включаючи мобільні телефони та розумні годинники, щонайменше на відстані 6 дюймів (15,24 см) від імплантованих медичних пристроїв, зокрема серцевих дефібриляторів [6].

Щодо інших наслідків для здоров'я через опромінення РЧЕМП від мобільних телефонів, то не було виявлено жодних переконливих доказів негативного впливу. Ризик виникнення пухлин поблизу вуха, зокрема пухлин мозку, був у центрі уваги численних епідеміологічних досліджень, зокрема проекту INTERPHONE [8], який тривав у 2002-2012 рр. у Міжнародному агентстві з дослідження раку (IARC) ВООЗ. У 2011 р. IARC класифікувало використання мобільних телефонів як 2B «можливо канцерогенне для людини» [5], категорію, яка використовується, коли причинно-наслідковий зв'язок вважається достовірним, але коли випадковість, упередженість або плутанину не можна виключити з достатньою впевненістю. Вплив на канцерогенез, зокрема пухлин мозку [9, 10, 11] на даний момент не мають достатньо наукових доказів. Однак дослідження тривають, бо зростає кількість користувачів та тривалість використання.

Окрім вивчення впливу на здоров'я від РЧЕМП, актуальними є вимірювання рівнів РЧЕМП, які залежать як від параметрів джерела випромінювання, так і від інших факторів. Останні дослідження щодо рівнів ЕМП від мобільних телефонів, зокрема бельгійських науковців [12] засвідчили значну різницю між максимальним рівнем випромінювання, які створюються 3 поколіннями мереж 2G, 3G та 4G. У середньому в багатьох випадках максимальне випромінювання для 3G більш ніж у 20 разів нижче, ніж для 2G, і приблизно в 5-10 разів нижче,

ніж для 4G. Інше дослідження, проведене в США [13] виявило, що рівень РЧЕМП від мобільних телефонів на чотири порядки більший за умов слабого сигналу (1-2 смужки на дисплеї), ніж за умов сильного (4-5 смужок на дисплеї). Рівні випромінювання за умов слабого прийому сигналу на відстані 48 см від телефону були такими ж або вищими, ніж за умов сильного прийому сигналу на відстані 4 см.

Постановка завдання. Зменшення негативних наслідків для здоров'я від РЧЕМП, яке випромінюється мобільними телефонами, можна досягти шляхом встановлення і дотримання обмежень. Існує два типи обмежень. Основні обмеження для користувачів мобільних телефонів стосуються величини ЕМП в тілі людини, яке виражається питомим коефіцієнтом поглинання (SAR) – коефіцієнта поглинання радіочастотної енергії на одиницю маси тіла, Вт/кг. Так для різних частин тіла та для джерел, що працюють поблизу тіла, і тих, що працюють на певній відстані, рекомендуються різні значення основних обмежень. Однак цей показник нелегко виміряти, тому на основі основних обмежень виводять референтні рівні – гранично допустимі рівні випромінювання поза тілом (в повітрі), які можна легко визначити за допомогою приладів, та які використовуються для санітарного нормування. У радіочастотному діапазоні електричні та магнітні поля взаємопов'язані та розглядаються разом для вимірювань, а рівень ЕМП в довкіллі зазвичай характеризують величиною густини потоку енергії, Вт/м².

Наразі дві міжнародні організації Міжнародна комісія із захисту від неіонізуючого випромінювання (ICNIRP) у 2020 р. [14], а Інститут інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE) у 2019 р. [15] опублікували нові рекомендації щодо РЧЕМП, щоб забезпечити захист від встановлених ефектів. В національному законодавстві гранично допустимі рівні (ГДР) ЕМП для населення визначаються відповідно до Державних санітарних норм і правил захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань (ДСНіП), затвердженим наказом МОЗ у 1996 р., зі змінами (останні у 2020 р.) [16].

Зважаючи на вищевикладене, дослідження РЧЕМП від мобільних телефонів в довкіллі, встановлення безпечності випромінювання для здоров'я населення, пошук залежностей між рівнями та змінними параметрами джерела та середовища є актуальними екологічними завданнями.

Виклад основного матеріалу. Нами проводились дослідження впливу мобільних телефонів на здоров'я шляхом вимірювання рівнів РЧЕМП від них в довкіллі (повітрі).

Метою роботи було вимірювання рівнів РЧЕМП від мобільних телефонів в довкіллі для з'ясування дотримання допустимих норм для населення та для встановлення залежностей від відстані, моделі та режиму роботи мобільного телефону.

У дослідженні були використані 10 моделей телефонів, з них 4 компанії Apple, 2 корпорації Nokia, 3 компанії Samsung і 1 корпорація Xiaomi. Вимірювання проводились безпосередньо біля джерела (на нульовій відстані) та до 3 метрів (з кроком 1 м), оскільки потенційно небезпечна зона впливу мобільного телефону на людину є безпосередньо поблизу телефону та в радіусі до 1 м. Також для досліджень була обрана відстань 2 і 3 м, що пов'язана з вимірюванням у замкнутому просторі – приміщенні, у яких можуть перебувати одночасно декілька людей та бути декілька джерел випромінювання. Заміри виконувались в режимах роботи телефону: без зв'язку (польоту), мобільного зв'язку, мобільний Інтернет. Дослідження відбувалося одноразово.

Вимірювання рівнів РЧЕМП проводили за допомогою аналізатора електросмогу Gigahertz Solutions HFE35C (рис. 1) з частотним діапазоном 27 МГц – 2,7 ГГц. Прилад дозволяє визначати величину випромінювання від різних джерел, у тому числі мобільних телефонів. Рівень ЕМП в довкіллі оцінювався величиною поверхневої густини потоку енергії, як вимагається ДСНіП [16].

Перед початком дослідження усі телефони були переведені у режим «польоту» та було визначено фонове ЕМП, яке становило 23 мкВт/см².

Потім проводились вимірювання густини потоку енергії в режимі включеного мобільного зв'язку та режимі «мобільний Інтернет» на відстані від телефону 1, 2 та 3 м.

Результати досліджень рівнів РЧЕМП при різних режимах роботи мобільних телефонів наведені у табл. 1, 2.

Переходячи до з'ясування відповідності вимірюваних рівнів дозволеним, варто зазначити, що міжнародними стандартами для мобільного цифрового стільникового зв'язку, з якими працюють основні українські оператори мобільного зв'язку Київстар, Vodafone Україна та lifecell є GSM, UMTS, LTE. Залежно від технології робочими частотами мобільного зв'язку в Україні можуть бути: 900 МГц / 1800 МГц / 2100 МГц / 2600 МГц. Всі вони належать до діапазону ультрависоких

частот (УВЧ). Відповідно до п. 1.3.3 ДСНіП [16]: «Гранично допустимий рівень ЕМП для РТО, що працюють у діапазонах дуже високих, ультрависоких, надвисоких та надзвичайно високих частот, встановлюється на рівні 100 мкВт/см²». Дана норма була встановлена в 2020 р., а до того змінювалась з початкових 2,5 мкВт/см² до 10 мкВт/см² в 2017 р.



Рис. 1. Аналізатор електросмогу Gigahertz Solutions HFE35C

Таблиця 1

Рівні РЧЕМП в режимі «мобільний зв’язок»

Модель телефону	Густина електромагнітного енергії на відстані від телефону, мкВт/см ²			
	0 м	1 м	2 м	3 м
Apple iPhone 13 Pro Max	26	28	25	24
Apple iPhone 12 Pro	53	49	60	58
Apple iPhone 11 Pro	18	16	21	17
Apple iPhone 8	58	50	43	40
Nokia 7.2	50	37	35	47
Nokia 3.4	21	20	18	18
Samsung 53a pro	30	40	33	27
Samsung Galaxy M30s	16	27	26	41
Samsung Galaxy M31s	40	19	15	23
Xiaomi Redmi Note 8	27	30	26	32

Таблиця 2

Рівні РЧЕМП в режимі «Мобільний Інтернет»

Модель телефону	Густина електромагнітного енергії на різній відстані до телефону, мкВт/см ²			
	0 м	1 м	2 м	3 м
Apple iPhone 13 Pro Max	40	30	30	43
Apple iPhone 12 Pro	500	75	69	55
Apple iPhone 11 Pro	38	30	21	23
Apple iPhone 8	47	40	35	28
Nokia 7.2	69	58	43	30
Nokia 3.4	135	17	18	15
Samsung 53a pro	134	30	29	25
Samsung Galaxy M30s	304	35	31	28
Samsung Galaxy M31s	1000	50	40	26
Xiaomi Redmi Note 8	45	37	43	37

Варто також зазначити, що чинні національні вимоги є жорсткішими за міжнародні, так останні рекомендації ICNIRP [14] визначають, що референтні рівні ЕМП частотою вище 2 ГГц складають 10 Вт/м^2 (1000 мкВт/см^2), а для частот в діапазоні 400 МГц – 2 ГГц визначаються як $f_m/200$ (f_m -частота в МГц), що зважаючи на робочі частоти, буде становити від 450 мкВт/см^2 (для 900 МГц) до 900 мкВт/см^2 (для 1800 МГц).

Тому, відповідно до табл.1,2 варто зауважити таке:

- в режимі роботи «мобільний зв'язок» досліджені нами мобільні телефони не створювали РЧЕМП з рівнями вище ГДР дозволених національними та міжнародними нормами;
- в режимі роботи «мобільний інтернет» на нульовій відстані від мобільного телефону в половині випадків рівень випромінювання був вище дозволеного ДСНіП у 100 мкВт/см^2 ;
- в режимі роботи «мобільний інтернет» на нульовій відстані від мобільного телефону рівень від двох джерел (Apple iPhone 12 Pro – 500 мкВт/см^2 і Samsung Galaxy M31s – 1000 мкВт/см^2) можливо перевищив рекомендації ICNIRP, за умови, що Apple iPhone 12 Pro працював на частоті 900 МГц, а Samsung Galaxy M31s – меншій за 2 ГГц.
- в режимі роботи «мобільний інтернет» на відстані від 1 м рівні РЧЕМП від всіх телефонів відповідають дозволеним.

Аналізуючи результати досліджень можна дійти також таких висновків щодо рівнів РЧЕМП від мобільних телефонів в довідці:

- відрізняються від різних моделей телефонів;
- у режимі включеного мобільного зв'язку значно менші ніж в режимі «мобільний інтернет»;
- у режимі включеного мобільного зв'язку сильно не змінюються з відстанню;
- у режимі «мобільний інтернет» є на порядок більшими на нульовій відстані, і на відстані від 1 м вже наближаються до режиму включеного мобільного зв'язку;
- у режимі «мобільний інтернет» значно відрізняються у різних моделей телефонів на нульовій відстані;
- є найменшими за значеннями в обох режимах для таких моделей телефонів – Apple iPhone 13 Pro Max, Apple iPhone 11 Pro, Xiaomi Redmi Note 8;
- вимагають подальшого різнофакторного дослідження.

Вищевикладене дозволяє також підтвердити рекомендації для населення авторитетних організацій [6,17,18] щодо зменшення РЧЕМП, зокрема збільшення відстані між телефоном і людиною, зменшення часу використання, уникнення використання телефону в місцях зі слабким сигналом, вибору телефону з низьким значенням SAR.

Висновки. Проведено дослідження впливу мобільних телефонів на здоров'я шляхом вимірювання рівнів РЧЕМП від них в довідці (повітрі). Для цього за допомогою аналізатора електросмогу Gigahertz Solutions HFE35C виміряно поверхневу густину потоку енергії 10 смартфонів різних моделей найбільш популярних брендів в Україні. Вимірювання проводились на різній відстані від джерела та при різних режимах роботи мобільного телефону. Виміряні показники рівнів РЧЕМП порівняно з допустимими, що встановлені ДСНіП і міжнародними рекомендаціями. Встановлено залежності зміни рівнів РЧЕМП від відстані, моделі та режиму роботи мобільного телефону. Для запобігання можливого негативного впливу на здоров'я рекомендовано обмежити час перебування безпосередньо поблизу джерела випромінювання при роботі мобільного телефону в режимі «мобільний інтернет». Є потреба подальших більш детальних досліджень щодо зміни рівнів РЧЕМП від різних моделей мобільних телефонів, на різній відстані та у замкненому просторі, та їх вплив на здоров'я людини.

Література

- 1 Андрієвська Л., Глушкова Т., Коломієць Т. Світовий ринок смартфонів. // Товари і ринки. 2021. №1. С. 19-33.
- 2 Mobile phones / ICNIRP. URL: <http://surl.li/hchmj>
- 3 The International EMF Project / WHO. URL: <http://surl.li/hchmm>
- 4 RF EMFS 100 kHz - 300 GHz / ICNIRP URL: <https://www.icnirp.org>
- 5 Electromagnetic fields and public health: mobile phones / WHO. URL: <http://surl.li/hchms>
- 6 Cell Phones / U.S. Food and Drug Administration. URL: <http://surl.li/hchmv>
- 7 Електромагнітне випромінювання – безпечно чи ні? / Сайт з питань ядерної безпеки, радіаційного захисту та нерозповсюдження ядерної зброї. URL: <http://surl.li/hchmy>

- 8 The INTERPHONE study / IARC / WHO <https://interphone.iarc.who.int/>
- 9 IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Non-Ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields. Lyon (FR): International Agency for Research on Cancer; 2013. (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, No. 102.) URL: <http://surl.li/hchno>
- 10 Review of Published Literature between 2008 and 2018 of Relevance to Radiofrequency Radiation and Cancer. FDA. February 2020. URL: <http://surl.li/hchou>
- 11 2021:08 Recent Research on EMF and Health Risk / Swedish Radiation Safety Authority. URL: <http://surl.li/hchoz>
- 12 Rachel Nkem Iyare, Vladimir Volskiy, Guy A.E. Vandenbosch. Comparison of peak electromagnetic exposures from mobile phones operational in either data mode or voice mode // Environmental Research. Volume 197. June 2021 URL: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110902>
- 13 Real-world cell phone radiofrequency electromagnetic field exposures / Stephe Wall etc. // Environmental Research. Volume 171. April 2019. P. 581-592 URL: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.09.015>
- 14 Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). URL: <http://surl.li/hchpn>
- 15 C95.1-2019 - IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8859679>
- 16 Про затвердження державних санітарних правил та норм (ДСН 239-96). Редакція від 22.01.2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0488-96#Text>
- 17 How to reduce exposure from mobile phones and other wireless devices / Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency. URL: <http://surl.li/hchpw>
- 18 Guidance Radio waves: reducing exposure from mobile phones / UK Health Security Agency. URL: <http://surl.li/hchqa>

M. Orfanova, N. Moskalchuk,

M. Shtohryn

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

STUDY OF RADIOFREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD FROM MOBILE PHONES

Mobile phones are the most common sources of radiofrequency electromagnetic field (RFEMF). The rapid increase in their number and global use have made them a relevant subject of scientific research. Therefore, the purpose of the study was to measure the RFEMF levels from mobile phones in the environment in order to find out the adherence to reference levels for the population and establish the dependence on distance, mobile phone model and operating mode.

The radiation level in the environment was assessed by the value of the surface density of the energy flow using the Gigahertz Solutions HFE35C electrosmog analyzer.

The analysis of adherence to reference levels for the general population showed that:

- in the “mobile connection” operating mode, the studied mobile phones did not create RFEMF above the permissible levels set by national and international regulations;
- in the “mobile Internet” operating mode, the level of radiation at zero distance from the mobile phone was higher than the permissible one set by state sanitary standards ($100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) in half of the samples;
- in the “mobile Internet” operating mode, at a distance of 1 m or more, RFEMF levels from all phones were lower than the permissible one.

Levels of RFEMF from mobile phones in the environment:

- are different from different phone models;
- are significantly lower in the activated mobile connection mode than in the “mobile Internet” mode;
- do not change significantly with distance in the mode of activated mobile connection;

- are by an order higher at zero distance in the “mobile Internet” mode, and at a distance of 1 m reach the levels of the activated mobile connection mode;
- are significantly different in different phone models at zero distance in the “mobile Internet” mode;
- have the lowest values in both modes for the following phone models: Apple iPhone 13 Pro Max, Apple iPhone 11 Pro, Xiaomi Redmi Note 8;
- require further multifactorial research.

Key words: mobile phones, radiofrequency electromagnetic field, energy flow density, maximum permissible level (MPL), public health.

References

- 1 Andriievska L., Hlushkova T., Kolomiets T. Svitovyi rynek smartfoniv. // Tovary i rynky. 2021. №1. S. 19-33.
- 2 Mobile phones / ICNIRP. URL: <http://surl.li/hchmj>
- 3 The International EMF Project / WHO. URL: <http://surl.li/hchmm>
- 4 RF EMFS 100 kHz - 300 GHz / ICNIRP URL: <https://www.icnirp.org>
- 5 Electromagnetic fields and public health: mobile phones / WHO. URL: <http://surl.li/hchms>
- 6 Cell Phones / U.S. Food and Drug Administration. URL: <http://surl.li/hchmv>
- 7 Electromagnetic Radiation: Is It Safe? / Website on nuclear and radiation safety and non-proliferation. URL: <http://surl.li/hchmy>
- 8 The INTERPHONE study / IARC / WHO <https://interphone.iarc.who.int/>
- 9 IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Non-Ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields. Lyon (FR): International Agency for Research on Cancer; 2013. (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, No. 102.) URL: <http://surl.li/hchno>
- 10 Review of Published Literature between 2008 and 2018 of Relevance to Radiofrequency Radiation and Cancer. FDA. February 2020. URL: <http://surl.li/hchou>
- 11 2021:08 Recent Research on EMF and Health Risk / Swedish Radiation Safety Authority. URL: <http://surl.li/hchoz>
- 12 Rachel Nkem Iyare, Vladimir Volskiy, Guy A.E. Vandenbosch. Comparison of peak electromagnetic exposures from mobile phones operational in either data mode or voice mode // Environmental Research. Volume 197. June 2021 URL: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110902>
- 13 Real-world cell phone radiofrequency electromagnetic field exposures / Stephe Wall etc. // Environmental Research. Volume 171. April 2019. P. 581-592 URL: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.09.015>
- 14 Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). URL: <http://surl.li/hchpn>
- 15 C95.1-2019 - IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8859679>
- 16 Pro zatverdzhennia derzhavnykh sanitarnykh pravyl ta norm (DSN 239-96). Redaktsiia vid 22.01.2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0488-96#Text>
- 17 How to reduce exposure from mobile phones and other wireless devices / Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency. URL: <http://surl.li/hchpw>
- 18 Guidance Radio waves: reducing exposure from mobile phones / UK Health Security Agency. URL: <http://surl.li/hchqa>

ЗБАЛАНСОВАНЕ РЕСУРСОКОРИСТУВАННЯ

УДК 622:502

DOI: 10.31471/2415-3184-2023-1(27)-23-32

*К. І. Барабан, М. М. Приходько,
Л. М. Архипова
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ОЦІНКА ПЕРСПЕКТИВНИХ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ ПЛАНОВАНОЇ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ТЕРИКОНІВ ЛЬВІВСЬКО-ВОЛИНСЬКОГО ВУГІЛЬНОГО БАСЕЙНУ

Роботу присвячено питанням рекультивації порушених земель в наслідок гірничодобувної промисловості та перспективи надання рекультивованими землями екосистемних послуг.

Хоча видобуток вугілля робить важливий внесок у економіку країни, у багатьох регіонах існують значні конфлікти між гірничими підприємствами та місцевими громадами щодо збереження біорізноманіття, природних ресурсів, забезпечення стабільної екологічної ситуації вугледобувних регіонів.

Проаналізовано вітчизняний та міжнародний досвіди рекультивації порушених земель під териконами та досвід переформатування териконів для іншого цільового призначення.

Проаналізовано сутність поняття екосистемних послуг. Встановлено, що після проведення рекультиваційних заходів, порушені землі під териконами можуть надавати такі екосистемні послуги: регульовальну, забезпечувальну, культурну та підтримувальну.

За допомогою програмного забезпечення Google Earth визначено орієнтовані площі порушених земель під териконами. Для перспективної оцінки екосистемних послуг порушених земель під териконами та прилеглих територій було обрано наявні та найбільш прийнятні для рекультиваційних заходів терикони досліджуваного вугільного басейну. Для зазначених територій запропоновано 4 види напрямів рекультивації: санітарно-гігієнічну, лісогосподарську, будівельну та рекреаційну. Встановлено код екосистем териконів відповідно до класифікації EUNIS до рекультиваційних заходів та після їх проведення. Визначено екосистемні послуги відповідно до класифікації CICES, які в перспективі можуть бути отримані після рекультивації порушених земель під териконами.

Ключові слова: екосистемні послуги, терикони, рекультивація порушених земель.

Постановка проблеми. Гірничодобувна промисловість вже десятки років є основним чинником техногенного навантаження на природне середовище. Наслідком функціонування шахт є терикони, що представляють собою штучні нагромадження шахтних породних відвалів у пагорби (насипи) [1]. Терикони є основним джерелом забруднення компонентів екосистем, вони мають безперервний та безпосередній вплив на атмосферу, підземні і поверхневі води, ґрунти, біоту та прилеглі території [2]. У результаті створення териконів відбуваються незворотні процеси порушення природних ландшафтів, зниження їх атрактивності, відчуження земель, зміни природної рівноваги. Обсяги площ, зайнятих порушеними землями під териконами у Львівсько-Волинському вугільному басейні сягають 265,9 га [3]. На сьогодні, Червоноградський район та Нововолинська громада є лідерами серед міст досліджуваного вугільного регіону за кількістю порушених земель гірничодобувною промисловістю, так як у цих містах зосереджені більшість шахти і териконів. Виникає питання відновлення порушених земель, рекультивації териконів для подальшого раціонального використання. Невирішеною проблемою є формування пропозицій надання екосистемних послуг відновленими рекультивованими землями.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вітчизняні вчені та дослідники, що займалися питанням та розробленням класифікації екосистемних послуг є Дідух Я.П., Альошкіна У.М., Андрієнко Т.Л., Гродзинський Д.М., Клімов О.В., Куземко А.А., Никифоров В.В., Онищенко В.А.,

Сон М.О., Шеляг-Сосонко Ю.Р. та інші вчені. Більший вклад внесли закордонні вчені такі як Бішоп Дж., Дейлі Р., Констанца Р., Люрі Д. И., Паджіола Р., Риттер К., Рута Дж.

Проблемам рекультивації, фітомеліорації, екологічної небезпеки териконів у межах Львівсько-Волинського вугільного басейну присвячено чимало праць таких українських вчених як Терещук О., Башуцька У., Попович В., Кучерявий В., Мануїлова Г., Міронова Н., Генік Я., Павличенко А., Копій М., а також інші науковці. Однак питання оцінки екосистемних послуг рекультивованих териконів в межах Львівсько-Волинського вугільного басейну є актуальним та недостатньо дослідженим.

Постановка завдання. Метою дослідження є попередня оцінка перспективних екосистемних послуг запланованої рекультивації териконів в межах Львівсько-Волинського вугільного басейну. Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні завдання:

- проаналізувати наукові напрацювання та їх результати визначення сутності поняття екосистемних послуг, їх оцінки та проблем рекультивації порушених земель вугільної промисловості;

- за допомогою програмного забезпечення Google Earth оцінити придатні до рекультивації площі териконів у межах міст Червоноград та Нововолинськ;

- на основі вивчення міжнародно-вітчизняного досвіду встановити можливість до надання екосистемних послуг рекультивованих земель.

Враховуючи специфіку порушеної території запропонувати варіанти рекультивації териконів та прилеглих порушених земель, та надати оцінку перспективності їх екосистемних послуг.

Виклад основного матеріалу. Невід'ємною складовою сталого розвитку є екологічно безпечне землекористування, в основі якого лежить, здатність ґрунтів зберігати свої екологічні функції. Вилучення земель для антропогенної діяльності є втручанням в природний ґрунтотворний процес і як наслідок змін у виконанні екосистемних послуг ґрунту. Гірничодобувна промисловість є однією з найбільш небезпечних видів діяльності для навколишнього середовища [4]. За час тривалих робіт шахт, інтенсивної розробки гірських порід та у результаті утворення териконів, можемо спостерігати такі негативні наслідки як зміну природного рельєфу, перетворення колись родючих земель у порушені та промислові, які могли б виконувати певні екосистемні послуги.

На сьогодні існують зростаючі екологічні ризики, пов'язані із видобутком вугілля та деградацією земель, тому, управління використанням та охорона земель повинні здійснюватися для підтримки багатофункціональності природних і керованих екосистемних функцій.

Великої уваги набули рекультиваційні заходи в Німеччині, Польщі, Великобританії, США а пізніше і в інших країнах світу. Під поняттям рекультивації закордонні науковці та дослідники розуміють процес відновлення або надання корисної цінності деградованим або спустошеним землям шляхом відповідного моделювання та удосконалення проектування [5].

В інтересах екологічної безпеки та сталого розвитку, у багатьох промислово розвинених країнах рекультиваційні та меліоративні заходи щодо порушених земель гірничодобувною промисловістю щорічно набувають значних екологічних та соціально-економічних значень, приймаються закони та програми захисту і відновлення компонентів довкілля. Заходи спрямовуються на відновлення продуктивності та економічної цінності постраждалих територій, а також, поліпшення екологічної обстановки відповідно до інтересів суспільства [6].

Напрямки рекультивації в кожній країні обираються для кожного випадку окремо, виходячи з ряду комплексів природних і економічних факторів [7]. Переважаючими є лісова та сільськогосподарська рекультивації, що відповідно створюють умови для формування підтримувальних та забезпечувальних екосистемних послуг. Також у багатьох європейських державах існує тенденція надання екосистемних послуг рекультивованими порушеними землями гірничих об'єктів, зокрема при створенні рекреаційно привабливих територій. У світовій практиці є досвід створення на цих землях природоохоронних об'єктів, лісопаркових зон, туристично-оздоровчих і спортивно-розважальних комплексів, а також комбінація зон відпочинку, рекреації і туризму. Прикладом слугує терикон Ганіль у Німеччині, перетворений у рекреаційний ландшафтний парк та амфітеатр (рис. 1) [8].

Аналіз проблеми рекультивації териконів в Україні показує, що на даний момент в країні існує понад 142 тис. га порушених земель вугільною промисловістю. Тоді як рекультивовано лише третю частину з них, що являється критично низьким показником для розвинутих країн. Водночас, Україна має великий потенціал для запровадження більш дієвих заходів щодо відновлення

порушених земель [9]. Одна з причин повільної рекультивації земель знаходиться у правовому полі. Наразі чинним законодавством України не передбачено порядку прийняття рекультивованих земель (в тому числі з метою надання ними екосистемних послуг) до регіонального обліку землеустрою. Тож землекористувачі часто нехтують виконанням комплексу заходів щодо рекультивації земель та їх відновленням за відсутності притягнення їх до відповідальності.



Рис. 1. Рекультивованій терикон Ганіль, Німеччина [8]

Існує безліч механізмів щодо рекультивації порушених земель, але вони повинні впроваджуватися комплексно і бути високотехнологічними. Сьогодні головним чинником відсутності рекультиваційних робіт як сталого і постійного механізму, виступає фінансова неспроможність підприємств та державних органів влади, тому потрібно шукати інші більш раціональні, ефективні та менш затратні методи.

Сталий соціально-економічний розвиток будь-якої країни означає таке функціонування її господарського комплексу, коли одночасно задовольняються зростаючі матеріальні і духовні потреби населення, забезпечується раціональне та екологічно безпечне господарювання і високоефективне збалансоване використання природних ресурсів, створюються сприятливі умови для здоров'я людини, збереження і відновлення природного середовища та природно-ресурсного потенціалу суспільного виробництва [10].

Екосистемні послуги на регіональному рівні надають гарантію здоров'ю та благополуччю мешканцям прилеглих територій. У зв'язку з цим, виникає потреба в прийнятті відповідних законодавчих актів, наукових досліджень та включення екосистемних послуг в діяльність суб'єктів господарювання, оскільки вони є центральним елементом комплексної системи взаємозв'язків між функціонуванням екосистем та добробутом суспільства [11].

У більшості європейських країн концепція екосистемних послуг – основа стратегічних планів національної політики збереження та відновлення природних ресурсів. Джерелом природних ресурсів та екосистемних послуг є природний капітал. Запас природного капіталу визначає кількість екосистемних послуг, які може отримати країна, регіон, підприємство та інші зацікавлені сторони [12]. За умов стрімких темпів деградації природи втрати екосистемних послуг можуть мати незворотній характер.

Світовий досвід та практика показує, що існує новий підхід реабілітації техногенних геосистем, це екологічна реставрація. Він пов'язаний з максимальним використанням регенераційних можливостей природних екосистем для відтворення ресурсних і екологічних функцій порушених ландшафтів [13].

В Україні немає практичних методичних рекомендацій щодо нормативно-правового впровадження в економічний та господарський обіг категорії «екосистемні послуги» та їх оцінки. На сьогоднішній день не розроблені загальні критерії для кількісної оцінки екосистемних послуг. Різні автори оцінюють екосистемні послуги відповідно до власної рейтингової шкали. Тож складно сприймати, аналізувати і оцінювати екосистемні послуги різних територій, а також прогнозувати як вони можуть змінюватися в результаті діяльності людини [14].

Екосистемні послуги є центральним елементом стратегії Європейського Союзу щодо біологічного різноманіття. В ЄС сформована міжнародна класифікація екосистемних послуг. Так, ідентифікують чотири групи екосистемних послуг: забезпечувальні (provisioning services) – послуги від продукції, яку надають екосистеми: продовольство, вода, деревина, волокно, паливо, генетичні ресурси, питна вода; регулювальні (regulating services) – послуги регулювальних екосистемних процесів: формування клімату, захист від повеней та інших стихійних лих, контроль захворювань, поглинання відходів людської життєдіяльності, очищення води і повітря, боротьба зі шкідниками; культурні (cultural services) – вклад екосистем у збагачення культурних, духовних та естетичних аспектів людського добробуту: емоції від естетики навколишнього природного середовища, його окремих компонентів, вплив на формування способу життя, звичаїв і традицій; підтримувальні (supporting services) – послуги, що забезпечують основні екосистемні процеси: формування ґрунту, первинна продуктивність, біогеохімічні процеси (кругообіг поживних речовин, фотосинтез), середовище перебування [14].

До прикладу, у США з метою забезпечення екологічної безпеки, використані чи порушені землі унаслідок діяльності вугільної промисловості, відновлюють для сільськогосподарських цілей. На рекультивованих землях створюються пасовища для випасу худоби для великих фермерських господарств. Як результат, порушені вугільною промисловістю землі після рекультивациі надають одну з екосистемних послуг – забезпечувальну. Проводиться поступова реабілітація порушених земель, що дає змогу знизити рівень негативного впливу териконів, забезпечити якнайшвидше відновлення земель, а не чекати до повного закриття та ліквідації шахт [15].

Екосистемні послуги ґрунтів є важливими компонентами для усіх аспектів життя, вони підтримують виробництво екосистемних товарів і послуг, таких як: їжа, клітковина та забезпечення енергією. Зберігання та очищення води. Нейтралізація, фільтрація та буферизація забруднюючих речовин.

Нами було досліджено перспективи рекультивациі земель, порушених гірничодобувною промисловістю, Львівсько-Волинського вугільного басейну.

Загалом площа порушених земель під териконами Львівсько-Волинського вугільного басейну становить близько 265,9 га [3]. Під час польових досліджень порушених земель під териконами на території вугільного басейну, а саме у м. Червоноград та м. Нововолинськ було виявлено 22 наявних терикони.

Для дослідження обрано ті терикони, які були або частково рекультивовані або можуть бути придатними до рекультиваційних чи меліоративних заходів та в подальшому можуть бути повністю переформатовані для експлуатації їх за іншими цільовими призначеннями з наданням екосистемних послуг.

На рис. 2 представлено супутникові знімки 4-х обраних для дослідження териконів. При моделюванні рекультиваційних перспектив були враховані наступні чинники: віддаленість від населених пунктів, промислових підприємств, лісгосподарських та рекреаційних зон. Враховувалася ступінь заліснення териконів, наявність чи відсутність рослинного покриву. Віддалені від населених пунктів терикони та прилеглі території пропонуємо переформатувати в промислові зони, зони виробництва з наданням забезпечувальних екосистемних послуг. Наближені до населених пунктів терикони пропонується рекультивувати в рекреаційні, лісопаркові зони з наданням культурних екосистемних послуг. Деякі терикони є придатними для проведення меліоративних заходів, заліснення чи засіювання, можуть виступати як дослідницькі майданчики і виконувати регулювальні екосистемні послуги.

У ході дослідження наявних відвалів шахт Львівсько-Волинського вугільного басейну були виявлені терикони, які мають відмінності за формою, площею, ступенем заростання рослинності, наближеністю до населених пунктів, наявністю зсувів та просідань тощо. Однак, не всі терикони переформатовані за різних причин. За час спостережень було помічено, що на поверхні відвалів розвивається рослинність, яка виникла в результаті природних фітомеліоративних процесів, що і є свідченням придатності їх до заліснення, та подальших рекультиваційних заходів.

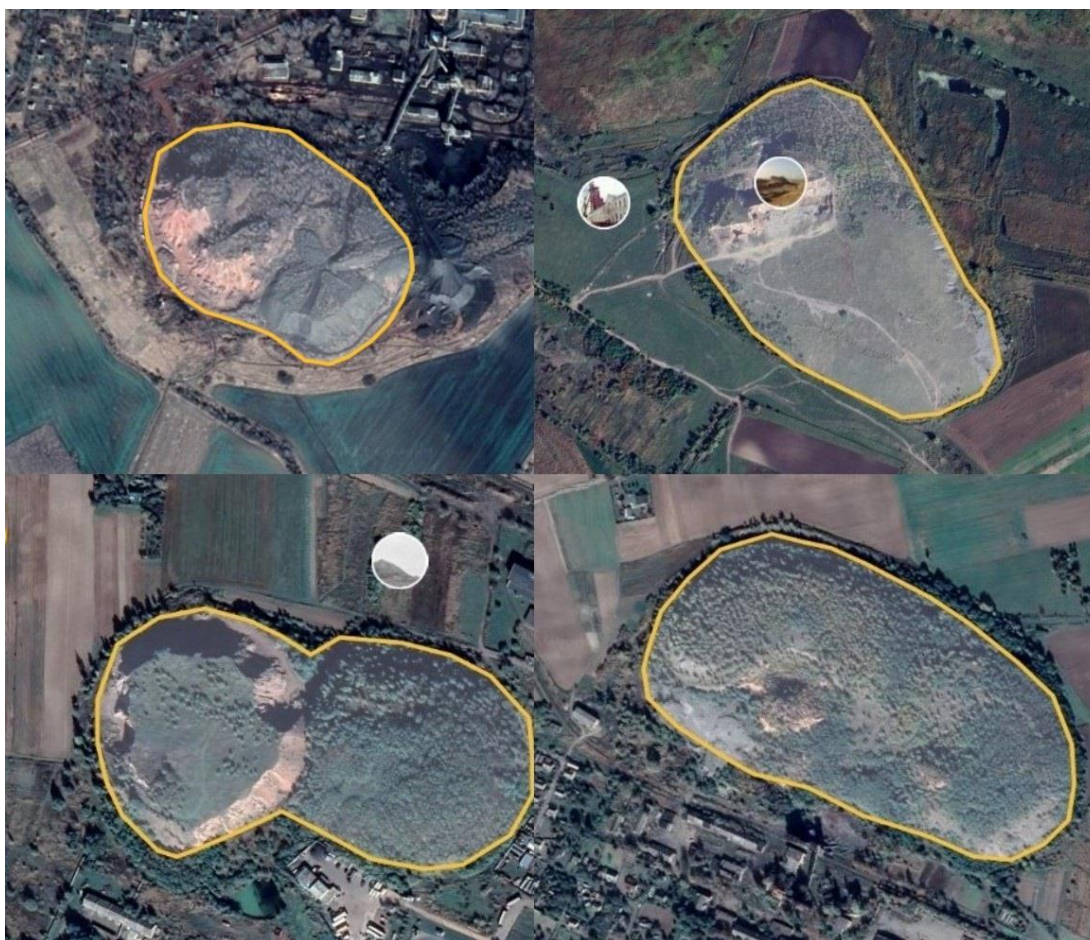


Рис. 2. Супутникові знімки досліджуваних териконів

Встановлено, що усі терикони знаходяться на землях державної власності та віднесені до категорії земель промисловості, транспорту, зв'язку, енергетики, оборони та іншого призначення.

У табл.1 наведено результати проведених досліджень наявних териконів, які після рекультивації та переформатування можуть надавати ті чи інші екосистемні послуги.

Відповідно до класифікації EUNIS, для території України виділено 7 екосистем 1-го рівня, які надають основні екосистемні послуги: В – приморські оселища; С – материкові поверхневі води; D – болота; Е – території з домінуванням трав, мохоподібних і лишайників; G – ліси та інші лісові землі; I – регулярно або недавно культивовані оселища; J – забудовані, промислові та інші штучні оселища [3].

За даними класифікації EUNIS, досліджувані території на даний момент до рекультиваційних заходів відносяться до територій з домінуванням трав, мохоподібних і лишайників – Е. Після рекультивації, відповідно до класифікації змінять свої екосистеми та у перспективі надаватимуть ряд екосистемних послуг (табл. 1).

З таблиці можна спостерігати, що за напрямком рекультивації переважає лісогосподарська рекультивація. В даному регіоні природні ландшафти є лісовими, тому можна стверджувати, що при залісненні досліджуваних територій та самих териконів ми зможемо отримати відповідні екосистемні послуги. Після заліснення та будь-якої фітомеліорації територія надаватиме регулювальні послуги, оскільки велика кількість насаджень буде поглинати шкідливі викиди в атмосферне повітря, знижуватиметься рівень концентрації парникових газів, відбуватиметься запобігання зсувів териконів і тим самим зменшиться ризик порушення ландшафтів.

Санітарно-гігієнічний вид напрямку рекультивації дозволяє умовно законсервувати порушені землі та зменшити їх негативний вплив на компоненти довкілля шляхом самовідновлення рослинного покриву на порушених територіях. Даний вид рекультивації нами пропонується рідше серед розглянутих територій і буде застосований у тих випадках, де заліснення, переформатування териконів та прилеглих територій є вкрай затратним або ж не рентабельним, також даний вид рекультивації є доцільним для діючих шахт.

**Планування рекультивациі та оцінки потенційних екосистемних послуг
порушених земель, зайнятих териконами та відвалами гірських порід Львівсько-
Волинського вугільного басейну**

Номер терикону	Орієнтовані площі порушених земель під териконами, км ²	Координати розміщення	Віддаленість до найближчого населеного пункту (крайня точка), м	Вид напрямку рекультивациі	Код екосистеми (відповідно до класифікації EUNIS) після рекультивациі	Екосистемні послуги після рекультивациі відповідно до класифікації CICES
1	0,08	50°39'50"N 24°10'31"E	1500	Санітарно-гігієнічна	I	4
2	0,16	50°44'55"N 24°12'27"E	700	Рекреаційна	J	3
3	0,08	50°42'37"N 24°09'07"E	350	Лісогосподарська	G	2
4	0,14	50°43'55"N 24°07'30"E	300	Лісогосподарська	G	2
5	0,06	50°46'45"N 24°07'16"E	610	Лісогосподарська	G	2
6	0,08	50°44'40"N 24°09'17"E	300	Санітарно-гігієнічна	I	4
7	0,09	50°24'25"N 24°11'38"E	1000	Лісогосподарська	G	2
8	0,11	50°22'44"N 24°08'42"E	900	Лісогосподарська	G	2
9	0,18	50°20'50"N 24°10'03"E	1500	Санітарно-гігієнічна	I	4
10	0,12	50°20'00"N 24°09'06"E	550	Лісогосподарська	G	2
11	0,13	50°19'09"N 24°10'41"E	400	Будівельна	J	1
12	0,23	50°20'30"N 24°11'59"E	400	Будівельна	J	1
13	0,09	50°20'56"N 24°13'27"E	400	Будівельна	J	1
14	0,84	50°18'55"N 24°13'38"E	400	Санітарно-гігієнічна	I	4
15	0,09	50°17'47"N 24°16'16"E	600	Рекреаційна	I	3
16	0,07	50°21'53"N 24°15'37"E	550	Будівельна	J	1
17	0,08	50°40'16"N 24°14'46"E	300	Рекреаційна	J	3
18	0,09	50°38'52"N 24°15'33"E	400	Рекреаційна	J	3
19	0,08	50°41'46"N 24°13'10"E	500	Лісогосподарська	G	2
20	0,05	50°45'33"N 24°01'55"E	600	Будівельна	J	1

Будівельна рекультивация з виконанням забезпечувальної екосистемної послуги передбачає розрівнювання досліджуваних териконів та створення на них промислових підприємств чи майданчиків, складських приміщень, промислових зон, тощо.

Лише декотрі з териконів є частково чи повністю ліквідовані. Більшість з них знаходяться неподалік населених пунктів з хорошою транспортною розв'язкою та у перспективі після рекультиваційних заходів можуть претендувати для створення парків, місць відпочинку, тощо. До прикладу, терикон у с. Благодатне має часткову залісненість, після певних рекультиваційних заходів терикон можна переформатувати у спорт площадку, а саме тенісний корт. Так як лише декілька териконів досліджуванні території є частково рекультивованими, можна допустити, що при раціональному переформатуванні на місці техногенних пагорбів будуть існувати рекреаційні парки чи інші місця відпочинку.

Нами не пропонувались сільськогосподарський та водогосподарський напрями рекультивації. Оскільки, сільськогосподарська рекультивация є однією з найдорожчих, та до земель сільськогосподарського призначення є вкрай високі вимоги щодо якості. На нашу думку досліджувані терикон не придатні і не рентабельні для даного виду рекультивації. Це стосується і водогосподарського напрямку рекультивації для даної території. Водогосподарська рекультивация передбачає створення відкритих водойм на площах просідання або на місці відкритих кар'єрів, які утворюються при відкритій розробці вугілля.

Перспективи надання окремих екосистемних послуг розраховано у відсотках до загальної кількості териконів. Закордоном існує досвід використання порід шахтних відвалів у будівництві та як додатковий матеріал при створенні покриття автомагістралей. За нашими прогнозами при рекультивації досліджуваних териконів в подальшому відсоток забезпечувальних екосистемних послуг складатиме 25% [16].

Ми прогнозуємо, що регулювальна екосистемна послуга складатиме 35%, підтримувальна екосистемна послуга може становити у перспективі 20% від загальної кількості екосистемних послуг досліджуваних рекультивованих териконів. Слід зазначити, що при раціональному веденні рекультиваційних заходів, відсоток регулювальних екосистемних послуг може збільшитися за рахунок проведення додаткових якісних меліоративних заходів на територіях де заплановані рекультиваційні заходи.

Щодо культурних екосистемних послуг, при переформатуванні придатних для цього териконів, їх відсоток може коливатися у межах 20%. Парки, спортивні чи дослідницькі майданчики будуть надавати культурні послуги екосистем, вони є тими нематеріальними вигодами, які люди отримують від природи. Їх роль сьогодні стає вкрай важливою. Адже проведення дозвілля є невід'ємною частиною соціального життя. Можливо, за декілька років, з'явиться поняття промислового туризму, тоді відсоток культурних екосистемних послуг зросте в рази.

З вище сказаного можна зробити висновок, що зростаюча інтенсивність експлуатації та використання природних ресурсів потребують розроблення та запровадження оптимальної еколого-економічної стратегії управління екосистемними послугами для стійкого розвитку, що дасть змогу підвищити рівень екологічної безпеки. Результатами екосистемного підходу до рекультиваційних робіт повинно стати утворення та сприяння зростанню екосистемних послуг.

Висновки. На основі вивчення міжнародного та вітчизняного досвіду проаналізовано сутність поняття екосистемних послуг та встановлено можливість їх до надання рекультивованими землями.

Визначено 4 напрями екосистемних послуг рекультивованих територій, а саме забезпечувальна, підтримувальна, регулювальна та культурна екосистемні послуги. За допомогою програмного забезпечення Google Earth визначено орієнтовані площі териконів у межах міст Червоноград та Нововолинськ придатних до рекультивації.

Запропоновано 4 види напрямку рекультивації териконів та прилеглих порушених земель, а саме: санітарно-гігієнічну, лісгосподарську, будівельну та рекреаційну. Встановлено код екосистем (відповідно до класифікації EUNIS) до рекультиваційних заходів та після їх проведення. Обґрунтовано можливість надання екосистемних послуг рекультивованими землями.

Отже, у результаті проведених досліджень, досягнуто поставленої мети, здійснено попередню оцінку перспективних екосистемних послуг запланованої рекультивації териконів в межах Львівського-Волинського вугільного басейну.

Література

- 1 Мовчан М.І. Використання шахтних відвальних порід Львівсько-Волинського вугільного басейну у дорожньому будівництві / М.І. Мовчан, Д.М. Акімов // Теорія і практика будівництва: Вісник НУ «ЛП».– Львів, 2011.– №697.– С.75-78.
- 2 Манько А. Деякі проблеми функціонування депресивних гірничодобувних районів України (на прикладі Львівсько-Волинського вугільного басейну) / А.Манько // Вісн. Львів.ун-ту. Сер.: геогр.. – 2004. – Вип. 30. – С. 184-187.
- 3 Піндер В. Ф., Попович В. В. Моніторинг дегазованих ландшафтів Львівсько-Волинського вугільного басейну. Матеріали XIII Міжнародної науково-техн. конференції "Авіа-2017" (м. Київ, 19-21 квітня 2017 р.). С. 29.30- 29.33.
- 4 C Vintró, L Sanmiquel, M Freijo - Journal of cleaner production, 2014, Environmental sustainability in the mining sector: evidence from Catalan companies, pages 155-163.
- 5 Lima, A. T., Mitchell, K., O'Connell, D. W., Verhoeven, J., & Van Cappellen, P. (2016). The legacy of surface mining: Remediation, restoration, reclamation and rehabilitation. Environmental Science & Policy, 66, 227–233. DOI:10.1016/j. envsci.2016.07.011.
- 6 Ivan Tymchuk, Myroslav Malovanyy, Oksana Shkvirko, Nataliya Chornomaz, Olena Popovych, Ruslan Grechanik, Dmytro Symak. (2021) Review of the Global Experience in Reclamation of Disturbed Lands. Ecological Engineering & Environmental Technology 2021, 22(1), 24–30.
- 7 Legwaila, I. A., Lange, E., & Cripps, J. (2015). Quarry reclamation in England: A review of techniques. Jasmr, 4(2), 55-79.
- 8 David Löw Beer, Konrad Gürtler, Jeremias Herberg und Tobias Haas: Wie legitim ist der Kohlekompromiss. Spannungsfelder und Verhandlungsdynamiken im Prozess der Kohlekommission, Zeitschrift für Politikwissenschaft 05/2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41358-021-00261-8>.
- 9 Ваганов, І. І. «Інженерна геологія та охорона навколишнього середовища» [Електронний ресурс] / І. І. Ваганов, І. В. Маєвська, М. М. Попович. – Режим доступа: <http://posibnyky.vstu.vinnica.ua>.
- 10 Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua>.
- 11 Glenk K., McVittie, Moran D. Soil and Soil Organic Carbon within an Ecosystem Service Approach Linking Biophysical and Economic Data. Scottish Agricultural College, 2011. 43 pp.
- 12 Мішенін Є.В. Економіка екосистемних послуг: теоретико-методологічні основи / Є.В. Мішенін, Н.В. Дегтярь // Маркетинг і менеджмент інновацій. – 2015 – № 2.– С. 243-257.
- 13 Antwi, E. K., Boakye-Danquah, J., Asabere, S. B., Takeuchi, K., & Wiegand, G. (2014). Land cover transformation in two post-mining landscapes subjected to different ages of reclamation since dumping of spoils. SpringerPlus, 3(1), 702. DOI:10.1186/2193-1801-3-702.
- 14 Mykola M. Prykhodko, Liudmyla M.Arkhypova, Liliana T. Horal, Svitlana P. Kozhushko Concept of ecosystem services and its implementation in Ukraine. Journ. Geol. Geograph. Geocology, 29(2), 387–397. <https://doi.org/10.15421/112034>
- 15 Alex Mark Lechner, Owen Kassulke, Corinne Unger, Spatial assessment of open cut coal mining progressive rehabilitation to support the monitoring of rehabilitation liabilities. Resources Policy, Volume 50, December 2016, pages 234-243.
- 16 Архипова Л.М. Приходько М.М. Екосистемні послуги - аналіз міжнародного та вітчизняного досвіду концепції. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: науково-технічний журнал/засн.ІФНТУНГ. №2(20)- Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2019. - С. 24-32 (фахове видання, ERIHPLUS, SIS, Rootindexing) DOI: 10.31471/2415-3184-2019-2(20)-24-32

**K. Baraban, M. Prykhodko,
L. Arkhypova**
*Ivano-Frankivsk National Technical
University of Oil and Gas*

ASSESSMENT OF PROSPECTIVE ECOSYSTEM SERVICES OF THE PLANNED RECLAMATION OF TERRICONES IN THE LVIV-VOLYN COAL BASIN

The article is devoted to the issues of reclamation of lands disturbed by the mining industry and the prospects of providing ecosystem services by reclaimed lands.

Although coal mining makes an important contribution to the country's economy, in many regions there are significant conflicts between mining enterprises and local communities regarding the preservation of biodiversity, natural resources, and ensuring a stable ecological situation in coal-mining regions.

The domestic and international experiences of reclamation of disturbed lands under terricones and the experience of reformatting terricones for other purposes were analyzed.

The essence of the concept of ecosystem services was analyzed. It was established that after reclamation measures the disturbed lands under terricones could provide the following ecosystem services: regulating, provisioning, cultural and supporting.

With the help of Google Earth software, the estimated areas of the disturbed lands under the terricones were determined. The existing and most acceptable terricones for reclamation measures in the studied coal basin were selected for the prospective assessment of ecosystem services of the disturbed lands under the terricones and on the adjacent territories. Four types of reclamation directions were proposed for the specified territories: sanitary-hygienic, forestry, construction and recreational. The code of terricones ecosystems was established according to EUNIS classification before and after reclamation measures. Ecosystem services were determined according to the CICES classification. In the future they could be obtained after the reclamation of disturbed lands under terricones.

Key words: ecosystem services, terricones, reclamation of disturbed lands.

References

- 1 Movchan M.I. Vykorystannia shakhtnykh vidvalnykh porid Lvivsko-Volynskoho vuhilnoho baseinu u dorozhnomu budivnytstvi / M.I. Movchan, D.M. Akimov // *Teoriia i praktyka budivnytstva: Visnyk NU «LP»*. – Lviv, 2011. – №697. – S.75-78.
- 2 Manko A. Deiaki problemy funktsionuvannia depresyvykh hirnychodobuvnykh raioniv Ukrainy (na prykladi Lvivsko-Volynskoho vuhilnoho baseinu) / A.Manko // *Visn. Lviv.un-tu. Ser.: heohr.* – 2004. – Vyp. 30. – S. 184-187.
- 3 Pinder V. F., Popovych V. V. Monitorynh devastovanykh landshaftiv Lvivsko-Volynskoho vuhilnoho baseinu. Materialy KhIII Mizhnarodnoi naukovo-tekhn. konferentsii "Avia-2017" (m. Kyiv, 19-21 kvitnia 2017 r.). S. 29.30- 29.33.
- 4 C Vintró, L Sanmiquel, M Freijo - *Journal of cleaner production*, 2014, Environmental sustainability in the mining sector: evidence from Catalan companies, pages 155-163.
- 5 Lima, A. T., Mitchell, K., O'Connell, D. W., Verhoeven, J., & Van Cappellen, P. (2016). The legacy of surface mining: Remediation, restoration, reclamation and rehabilitation. *Environmental Science & Policy*, 66, 227–233. DOI:10.1016/j. envsci.2016.07.011.
- 6 Ivan Tymchuk, Myroslav Malovanyy, Oksana Shkvirko, Nataliya Chornomaz, Olena Popovych, Ruslan Grechanik, Dmytro Symak. (2021) Review of the Global Experience in Reclamation of Disturbed Lands. *Ecological Engineering & Environmental Technology* 2021, 22(1), 24–30.
- 7 Legwaila, I. A., Lange, E., & Cripps, J. (2015). Quarry reclamation in England: A review of techniques. *Jasmr*, 4(2), 55-79.
- 8 David Löw Beer, Konrad Gürtler, Jeremias Herberg und Tobias Haas: Wie legitim ist der Kohlekompromiss. Spannungsfelder und Verhandlungsdynamiken im Prozess der Kohlekommission, *Zeitschrift für Politikwissenschaft* 05/2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41358-021-00261-8>.
- 9 Vahanov, I. I. «Inzhenerna heolohiia ta okhrona navkolyshnoho seredovyshcha» [Elektronnyi resurs] / I. I. Vahanov, I. V. Maievska, M. M. Popovych. – Rezhym dostupa: <http://posibnyky.vstu.vinnica.ua>.
- 10 Zakon Ukrainy «Pro Osnovni zasady (strategiiu) derzhavnoi ekolohichnoi polityky Ukrainy na period do 2020 roku» [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://zakon2.rada.gov.ua>.

- 11 Glenk K., McVittie, Moran D. Soil and Soil Organic Carbon within an Ecosystem Service Approach Linking Biophysical and Economic Data. Scottish Agricultural College, 2011. 43 pp.
- 12 Mishenin Ye.V. *Ekonomika ekosystemnykh posluh: teoretyko-metodolohichni osnovy* / Ye.V. Mishenin, N.V. Dehtiar // *Marketynh i menedzhment innovatsii*. – 2015 – № 2. – S. 243-257.
- 13 Antwi, E. K., Boakye-Danquah, J., Asabere, S. B., Takeuchi, K., & Wiegand, G. (2014). Land cover transformation in two post-mining landscapes subjected to different ages of reclamation since dumping of spoils. *SpringerPlus*, 3(1), 702. DOI:10.1186/2193-1801-3-702.
- 14 Mykola M. Prykhodko, Liudmyla M. Arkhypova, Liliana T. Horal, Svitlana P. Kozhushko Concept of ecosystem services and its implementation in Ukraine. *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*, 29(2), 387–397. <https://doi.org/10.15421/112034>
- 15 Alex Mark Lechner, Owen Kassulke, Corinne Unger, Spatial assessment of open cut coal mining progressive rehabilitation to support the monitoring of rehabilitation liabilities. *Resources Policy*, Volume 50, December 2016, pages 234-243.
- 16 Arkhypova L.M. Prykhod'ko M.M. *Ekosystemni posluhy - analiz mizhnarodnoho ta vitchyznyanoho dosvidu kontseptsii. Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannya: naukovo-tekhnichnyy zhurnal/zasn.IFNTUNH. №2(20)- Ivano-Frankivs'k: IFNTUNH, 2019. - S. 24-32 (fakhove vydannya, ERIHPLUS, SIS, Rootindexing) DOI: 10.31471/2415-3184-2019-2(20)-24-32*

О. А. Бужин*ЦДН «Черкаський інститут»**Міжрегіональної Академії управління персоналом*

УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ – МЕТОДИКА КЛАСИФІКАЦІЇ ТВЕРДИХ ГОРЮЧИХ КОПАЛИН

Екологічна безпека залежить від рівня розвитку енергетичної безпеки. Горючі копалини відіграють провідну роль у забезпеченні енергетичної безпеки країни. Тверді горючі копалини займають вагомий питому вагу у загальній масі горючих копалин. На даний час не існує єдиної універсальної системи класифікації твердих горючих копалин. У різних країнах використовують різні системи класифікації вугілля за марками. При цьому у залежності від системи класифікації враховують різні набори різних показників. Основним акумулятором енергії у складі твердих горючих копалин є вуглець і у невеликій кількості водень. Енергетична твердих горючих копалин знаходиться у прямій залежності від вмісту цих хімічних елементів. Для оцінки та порівняння різних видів твердих горючих копалин та їх внутривидових відмінностей, виходячи з наявності оптимального числа показників основних енергетичних носіїв, якими є вуглець та водень, розроблено коефіцієнт переведення їх в умовний антрацит. Розроблений коефіцієнт переведення твердих горючих копалин в умовний антрацит дає можливість аналізувати енергетичну цінність, різних типів твердих горючих копалин, родовищ, пластів твердих горючих копалин, різних марок вугілля, роботу підприємств з видобутку твердих горючих копалин, гірничозбагачувальних комбінатів і фабрик та підприємств з використання та переробки твердих горючих копалин, стан та перспективи розвитку різних рівнів енергетичної безпеки. У системі екологічної безпеки, розроблений нами коефіцієнт, можна використовувати при розробці комп'ютерних програм з моделювання при створенні систем захисту з недопущення загорань, пожеж та вибухів при добуванні, використанні та переробці твердих горючих копалин. Запропонований варіант може слугувати, як додатковим різновидом для узагальнення та удосконалення існуючих систем класифікації, так і для спонукання мотивації до пошуку нових підходів у подальшому вирішенні питання класифікації твердих горючих копалин.

Ключові слова: антрацит, торф, буре вугілля, кам'яне вугілля, умовний антрацит, усереднений вуглецево-водневий показник, коефіцієнт переведення в умовний антрацит.

Постановка проблеми. Екологічна безпека є невід'ємною складовою національної безпеки.

Усі елементи життєдіяльності суспільства функціонують при гарантованому забезпеченні його енергетичними ресурсами. Саме тому енергетична безпека є однією з найважливіших складових економічної безпеки будь-якої держави [1]. В Україні запаси твердих горючих копалин у прикладному значенні є:

- бурого вугілля – постійними;
- кам'яного вугілля – постійними;
- торфу – постійними з незначною тенденцією до зменшення.

При цьому видобуток бурого вугілля характеризується тенденцією до збільшення, кам'яного вугілля має тенденцію до стійкого зменшення, торфу демонструє слабке зростання [2]. Ринок вугілля має два провідних сегменти [3]:

- енергетичне вугілля, використовується для виробництва електроенергії;
- коксівне вугілля, використовується в металургії.

Енергетична безпека є однією із базових. Без функціонування, на відповідному рівні, енергетичної безпеки неможлива реалізація функціонування, як екологічної безпеки так і інших видів безпеки, які є комплексним забезпечення національної безпеки. У забезпеченні енергетичної безпеки провідну роль відіграють горючі копалини.

До горючих копалин відносять різноманітні вуглецеві органічні речовини, що залягають у надрах у вигляді різних скупчень. За агрегатним станом розрізняють тверді, рідкі і газоподібні горючі копалини. Серед горючих копалин вагомий питому вагу займають тверді горючі копалини. За ступенем перетворення вихідних біогенних матеріалів у результаті вуглефікації розрізняють такі види твердих горючих копалин:

- торф;
- буре вугілля;

- кам'яне вугілля;
- антрацити;
- горючі й вуглисті сланці.

Аналізуючи існуючі класифікації твердих горючих копалин можна зробити висновок, що на даний час класифікація вугілля здійснюється за генетичними і технологічними параметрами, крупністю, збагачуваністю, петрографічним складом тощо. При цьому розрізняють генетичні, хіміко-технологічні, промислові та змішані класифікації вугілля [4, 5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Однією з найскладніших проблем науки про тверді горючі копалини є їх класифікація. Над вирішенням цієї проблеми працювали і працюють дослідники в різних країнах світу, у тому числі і в нашій країні. Існуючі класифікації твердих горючих копалин можна поділити на три основні типи:

- загальні – включають основні параметри (конститутивні властивості), що відображають внутрішню спільність кожного класу і класів серед всіх твердих горючих копалин, охоплених класифікацією. Такі класифікації мають головним чином пізнавальне теоретичне значення;
- технологічні (промислові) – розподіляють твердих горючих копалин за показниками властивостей. Технологічні класифікації виражають головним чином такі співвідношення властивостей твердих горючих копалин, знання яких необхідне для використання їх в тій або іншій конкретній галузі промисловості, і тому вони називаються також окремими або частковими;
- комбіновані – (промислово-генетична) ґрунтуються на показниках, що використовуються і в загальних, і в технологічних класифікаціях. Приведені класифікації мають як теоретичне, так і практичне значення. Вони дають можливість визначити число твердих горючих копалин, включених у класифікацію, а також сприяють розкриттю взаємозв'язку складу, будови і практично важливих їх властивостей. Виходячи із різноманіття видів твердих горючих копалин у природі, розроблено їх систематизацію за найбільш загальними, характерними ознаками. наукових класифікацій – табл. 1 [5, 6, 7].

Таблиця 1

Загальна наукова класифікація твердих горючих копалин [5; 6, 7]

Класи твердих горючих копалин	Стадії хімічної зрілості			
	торф'яна	буровугільна	кам'яновугільна	антрацитна
1	2	3	4	5
I. Гуміти (переважно з вищих рослин)	Торфи: а) верхових боліт б) низинних боліт в) захоронені	Буре вугілля: а) землисте б) щільне (блискуче, матове смугасте) в) лігніти	Кам'яне вугілля: а) зовні однорідне (блискуче, сажа) б) зовні неоднорідне (смугасте, матове напівблискуче)	Антрацити
II. Ліптобіоліти (із стійких формівних елементів вищих рослин)	а) фіхтеліт – з воску б) копали – із смол в) фіменіт – з пилку	а) піропісит – із воску б) янтар – зі смол в) спорове вугілля (підмосковне) г) кутикулове вугілля (підмосковне “паперове” вугілля) д) барзаське вугілля	а) рабдопісит – зі смол б) ткібульське смоляне вугілля в) концентрації смол г) спорове (кізеловське) д) кутикуліт (іркутське) е) “листувате” вугілля (барзаське) ж) кеннелі з) лопініт – із кори	-
II. Сапропеліти (з нижчих рослин, водоростей (альг), залишків живих організмів – планктону)	а) сапропелі (прісноводні) б) куронгіт в) балхашит г) сапроколи	а) богхеда б) торбаніт в) марагуніт г) сапропеліти серед бурого вугілля	а) вугілля з Люгау (богхед) б) сапропеліти серед кам'яного вугілля (кеннелі-богхеда)	Сапропеліти серед донецьких антрацитів

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5
1. Власне сапропеліти (стійкі елементи рослин містяться) 2. Сапроколіти (стійкі елементи рослин відсутні)		(кеннелі-богхеда, напівбогхеда) Сапроколіти серед бурого вугілля	Сапроколіти серед іркутського кам'яного вугілля (хахарейські, матаганські)	
IV. Група особливих видів твердих горючих копалин	—	а) змішані сапропеліто-гуміти й гуміто-сапропеліти серед підмосковного бурого вугілля б) змішане гуміто—ліптобіолітове вугілля серед бурого вугілля Дніпровського басейну в) кеннелі	а) змішані гуміто-сапропеліти серед іркутського кам'яного вугілля б) змішані гуміто-ліптобіоліти серед кам'яного вугілля Західного Донбасу і Кізеловського басейну в) кеннелі	Антрацити змішаного походження і складу серед донецьких гумусних антрацитів.

Європейська економічна комісія ООН затвердила нову систему міжнародної кодифікації вугілля середнього та високого рангів, тобто кам'яного вугілля та антрацитів [8]. Згідно з цією класифікацією до бурого відносять вугілля з вищою теплою згоряння вологої беззолної маси до 24000 кДж/кг. Набір основних ознак, якими повинно характеризуватися вугілля: середній показник відбиття вітриніту; характеристика рефлєкторами; мацєральний склад: вміст інертиніту; вміст ліптиніту; індекс вільного спучування; вихід летких речовин на сухе беззолне паливо; золність на суху масу; вміст сірки на суху масу; вища температура згоряння на суху беззолну масу [8]. У різних країнах застосовуються різні підходи щодо загальної класифікації твердих горючих копалин (табл. 2).

Таблиця 2

Порівняльна класифікація вугілля [9]

Види вугілля		
ЄЕК ООН	США	Німеччина
Торф	Торф	Торф
Орто-лігніт	Буре вугілля	М'яке буре вугілля
Мета-лігніт	Буре вугілля / Підбітумне вугілля	Матове буре вугілля
Мета-лігніт	Суббітумне вугілля	Глянцеве буре вугілля
Бітумне вугілля	Суббітумне вугілля / Середньо летке бітумне вугілля	Полум'яне вугілля
	Середньо летке бітумне вугілля	Газове полум'яне вугілля
		Газове вугілля
		Жирне вугілля
	Мало летке бітумне вугілля	Ковальське полубітумне вугілля
Антрацит	Напівантрацит	Пісне вугілля
	Антрацит	Антрацит

Поширена класифікація видів вугілля в Рурській гірничій промисловості. за вмістом летких складових

Численні технологічні показники розраховуються при обґрунтуванні запасів і проектуванні розробки родовищ [10]. Класифікація запасів/ресурсів корисних копалин є основою для управління, обліку та контролю за їх використанням. Історично розвиток класифікацій у різних країнах відбувався у діаметрально протилежних напрямках: у країнах, у свій час, так званого соціалістичного табору виділення категорій запасів/ресурсів проводилось за ступенем геологічного вивчення надр, у інших країнах – за рівнем економічної значущості та можливої адаптації запасів та ресурсів до ринку. Будь-яка система класифікації створює єдину базу порівняння і дозволяє знизити суб'єктивність при проведенні оцінки обсягів запасів та ресурсів корисних копалин. У зв'язку із глобалізацією ринків мінерально-сировинних та енергетичних ресурсів у світі визначилась тенденція до зменшення кількості класифікаційних систем та розроблення єдиної Класифікаційної системи запасів і ресурсів корисних копалин для опрацювання Глобального Кодексу звітності щодо користування надрами Землі [11].

Постановка завдання та його розв'язання. Враховуючи те, що існують класифікації де поряд з такими показниками як вихід летких речовин, використовуються такі показники, як вміст вуглецю, теплота згорання, відбивна здатність в масляній імерсії, або летючі речовини, вуглець, водень, кисень, сірка, теплота згорання, метою статті є розроблення спрощеного методу для оцінки та порівняння різних видів твердих горючих копалин, виходячи з оптимального числа основних показників.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. На даний час не існує єдиної універсальної системи класифікації твердих горючих копалин. У різних країнах використовують різні системи класифікації вугілля за марками. У залежності від системи класифікації враховують різні набори різних показників. Існує класифікація – лігніти, суббітумінозне вугілля, бітумінозне вугілля, антрацити й графіти. У закордонних промислових класифікаціях викопного вугілля прийнято виділяти вугілля буре, кам'яне і антрацити з додатковим виділенням лігнітів або ототожненням останніх з бурим вугіллям. Елементарні поділи в цих класифікаціях ґрунтуються на ступені їх вуглефікації і зумовлених нею таких найважливіших показниках промислових властивостей, як питома теплота при згоранні та спікливість. У залежності від класифікації прийняті такі параметри: елементний склад, вихід і властивості нелеткого залишку.

У США викопне вугілля поділене на 4 класи: лігніти, суббітумінозне і бітумінозне вугілля, антрацити. У кожному класі виділено групи для лігнітів і неспіклого (суббітумінозного) вугілля за величиною вищої питомої теплоти згорання беззолного вугілля, а для вугілля, що спікається (бітумінозного), і антрацитів, – за вмістом зв'язаного вуглецю і виходом летких речовин. Постає необхідність оптимізації класифікації твердих горючих копалин.

Виклад основного матеріалу дослідження зповним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Територіально-просторова, енергетична та продовольча безпеки, є невід'ємними складовими для забезпечення безпеки життєвого потенціалу суспільства і кожного, окремо взятого, його жителя [13]. Реалізація, як основних, похідних видів безпеки різних рівнів, та і національної безпеки у цілому не можлива без надійного функціонування енергетичної та екологічної безпеки. Вуглець і водень є невід'ємною, базовою складовою, як усіх живих організмів так і газоподібних, рідких та твердих горючих копалин, що складають основу енергетичної безпеки. Горючі корисні копалини – природні органічні сполуки, що мають здатність горіти. Використовуються як джерело теплової енергії. Поширені в природі у твердому (кам'яне та буре вугілля, торф, горючі сланці, сапропеліти), рідкому (нафта, нафтоподібні речовини – рідинні та затверділі – природні асфальти, озокерит, кір тощо) й газоподібному (гази природні горючі) стані. Горючі корисні копалини складаються з горючої маси (вуглець, водень, кисень, сірка) і баласту (золи). З усіх твердих горючих корисних копалин найважливішим є вугілля [4].

Здатність вуглецю з'єднуватися з більшістю елементів і утворювати молекули різного складу та будови, обумовлює різноманіття органічних сполук. Органічні сполуки відіграють безпосередню та опосередковану роль у забезпеченні існування, як живих організмів так і Людини. Однією з таких важливих ролей є забезпечення різних рівнів енергетичної безпеки, яка, на даний момент, ще неможлива без використання різних видів горючих копалин у домі числі і твердих горючих копалин.

Вуглець (Carboneum) C – хімічний елемент, міжнародна назва походить від латинського carbo – вугілля, пов'язаного з давнім коренем kar – вогонь, атомний номер 6. Відносна атомна маса 12,011, електронегативність: 2,6; температура плавлення 3550°C (згоряє), температура кипіння 4800°C, густина (графіт) – 2,25 г/см³. Кількість власних мінералів вуглецю – 112; дуже велика кількість органічних сполук вуглецю – вуглеводнів та їх похідних. Вуглець знаходиться в природі як у вільному стані так і у вигляді сполук. Він дуже поширений в земній корі, а також у космосі; на Сонці він посідає четверте місце після водню, гелію та кисню. Вуглець складає приблизно 0,5% від маси земної кори (близько 1×10^{17} т). Колообіг вуглецю, як і будь-якого іншого елемента, відбувається за великим і малим циклами. Великий (геологічний) колообіг пов'язаний з хімічним вивітрюванням вуглецю літосфери і виносом в океан карбонатів вивержених порід з подальшим метаморфізмом і виділенням вуглекислоти у атмосферу. Біологічний колообіг вуглецю пов'язаний з життєдіяльністю організмів. Вуглець, що міститься у вигляді CO₂ в атмосфері ($23,5 \times 10^{11}$ т), служить сировиною для фотосинтезу рослин. Частина вуглецю у вигляді CO₂ повертається в атмосферу при розкладанні рослин, а інша частина накопичується у вигляді мертвої органіки, наприклад, покладів вугілля і торфу, продуктів процесу фотосинтезу рослин минулих геологічних епох. Багато вуглецю містять антрацит, кам'яне і буре вугілля, торф. Вуглець входить до складу нафти, природного газу, повітря, рослин, організму людини і тварин. Порівняно з середнім вмістом в земній корі, людство у надзвичайно великій кількості видобуває вуглець із надр у вигляді горючих копалин, які є основним джерелом енергії [5].

Горючі копалини є газоподібні, рідкі та тверді. Тверді горючі копалини – вуглеводневі осадові породи, переважно рослинного походження, що мають здатність горіти. За ступенем перетворення вихідних біогенних матеріалів у результаті вуглефікації розрізняють такі види твердих горючих копалин: торф, буре вугілля, кам'яне вугілля, антрацити, горючі й вуглисті сланці [6].

Торф – [нім. *Torf*] – біогенна пориста осадова порода (каустобіоліт). Колір бурий або темний. Природна вологість 75-95%, вміст вуглецю 45-66%. Він є першою стадією перетворення рослинного матеріалу у вугілля. Накопичується в болотах із залишків відмерлих рослин, які розкладаються в умовах підвищеної вологості та обмеженого доступу повітря (кисню). Головну роль при торфоутворенні відіграють процеси гуміфікації. Використовується переважно як місцеве паливо, для виготовлення комплексних органічних добрив, рідше – для бальнеологічних потреб [14].

Буре вугілля – горюча осадова порода рослинного походження із групи каустобіолітів, перехідна форма від торфу до кам'яного вугілля. Колір від світло-бурого до чорного. Має високу гігроскопічність. За складом належить до гуматів. Твердість незначна. Розрізняють м'яке буре вугілля (лігніт) із вмістом вуглецю в органічній речовині 63-71% і вологістю 40-60%, а також щільне буре вугілля із вмістом вологи 17-40%. За Міжнародною класифікацією буре вугілля поділяють на 6 класів за вологістю (< 20%, 20-30%, 40-50%, 50-60%, > 70%) та на п'ять груп за виходом смол напівкоксування. В Україні буре вугілля за виходом смол напівкоксування виділяють 4 групи, за теплотою згорання – 4 підгрупи (> 1,5; 31-31,5; 29-31; < 26 МДж/кг). Буре вугілля утворюється шляхом стадійного перетворення рослинних решток. Спочатку у водному середовищі у відновних умовах формується торф. Після перекриття торфу осадами і занурення у товщі порід в умовах підвищеної температури і тиску відбувається зміна компонентного і хімічного складу органіки і утворення бурого вугілля. Використовується переважно для спалення на ТЕС, як побутове паливо, а також для брикетування, газифікації, виробництва вуглелужних реагентів та монтан-воску (гірничого воску). Перспективним є зрідження бурого вугілля, а також його комплексна переробка [15].

Кам'яне вугілля – горюча осадова порода рослинного походження із групи *каустобіолітів*. Формування кам'яного вугілля відбувається шляхом стадійного перетворення рослинних решток. Спочатку, внаслідок розкладу решток у водному середовищі та відновних умовах утворюється *торф*. Далі, після перекриття торфу мінеральними осадами і занурення на значну глибину, під дією біогенних процесів, підвищеної температури та тиску відбувається ущільнення, вижимання води та зміна компонентного і хімічного складу органічної речовини з послідовним утворенням *бурого вугілля*, кам'яного вугілля та антрациту. Колір чорний, сірувато-чорний. Густина 1-1,8. Твердість 0,5-2,5. Вміст вуглецю 75-97%. Розповсюджене серед відкладів кам'яновугільної, пермської та юрської систем [16].

Антрацит – від гр. *anthrax* – вугілля, англ. *anthracite, hard coal*; нім. *Anthrazit*; фр. *anthracite*, ісп. *antracita* – найбільш метаморфізований різновид *воугілля кам'яного*, що має високу *теплотворну* здатність. кам'яне вугілля найвищого ступеня вуглефікації. Антрацит широко застосовується як високоякісне енергетичне паливо, а також як сировина у чорній та кольоровій металургії, хімічній та електротехнічній промисловості тощо. Антрацит – вуглецева сировина при виготовленні абразивів, відновлювачів, електродів [17]. Колір сірувато-чорний, блиск яскраво металічний, твердість до 2,5, густина 1,4-1,7. Вміст вуглецю 92-97%. Має електропровідність. Є продуктом природних перетворень відмерлого рослинного матеріалу. Утворюється переважно внаслідок регіонального метаморфізму при зануренні вугленосних товщ в область підвищених температур (350-550⁰C) і тиску. Залягає у вигляді пластів і лінзовидних тіл. Горить без диму, не спікається, має високу теплотворну здатність (33-35 МДж/кг). Використовується як високоякісне енергетичне паливо [18]. Вміст вуглецю, за різними даними, може коливатися від 91,0 до 97,0, а водню від 1,3 до 3,0 відсотків. Уважається, що у відповідних умовах антрацит може через проміжні стадії перетворитися на графіт. У такому разі безперервний ряд гумітів (торф – буре вугілля – кам'яне вугілля – антрацит) закінчується графітом [6].

Енергетичний стан речовини, тобто кількість накопиченої енергії, визначає хід подальших хімічних перетворень чи фізико-хімічних реакцій і як наслідок впливає на формування складу та властивостей речовини. А від так, енергетичний стан речовини впливає на процеси газогенерації, прояви газодинамічних явищ, або самозаймання вугілля. Але будь яким змінам в молекулярному складі передують структурні трансформації речовини, що визначають хід подальших хімічних перетворень, та фізико-хімічних реакцій [19].

Основним акумулятором енергії у складі твердих горючих копалин є вуглець і у невеликій кількості водень. Виходячи з цього, енергетична цінність твердих горючих копалин знаходиться у прямій залежності від вмісту у їхньому складі вуглецю та водню.

Для оцінки та порівняння різних видів твердих горючих копалин ми, виходячи з оптимального числа основних відсоткових показників вуглецю і водню, розробили методику з визначення коефіцієнта переведення різних видів твердих горючих копалин в умовний антрацит. Для переведення певного виду твердих горючих копалин, або вугілля певної марки в умовний антрацит пропонуємо розроблену нами формулу:

$$K_{SKM} = \frac{C+H}{A_{mCH}} \quad (1)$$

де K_{SKM} – коефіцієнт переведення твердих горючих копалин в умовний антрацит; C – маса вуглецю у взятих для оцінки відповідних типів твердих горючих копалинах – у відсотках; H – маса водню у взятих для оцінки відповідних типів твердих горючих копалинах – у відсотках; A_{mCH} – усереднений вуглецево-водневий показник складу антрациту – у відсотках, визначаємо за формулою:

$$A_{mCH} = C_{Am} + H_{Am} \quad (2)$$

де C_{Am} – середній показник маси вуглецю в антрациті – у відсотках, визначаємо за формулою:

$$C_{Am} = \frac{C_{max} + C_{min}}{2} \quad (3)$$

де C_{max} – максимальна маса вуглецю в антрациті (%); C_{min} – мінімальна маса вуглецю в антрациті (%); H_{Am} – середня маса водню в антрациті – у відсотках, визначаємо за формулою:

$$H_{Am} = \frac{H_{max} + H_{min}}{2} \quad (4)$$

де H_{max} – максимальна маса водню в антрациті (%); H_{min} – мінімальна маса водню в антрациті (%).

Для визначення числового значення усередненого вуглецево-водневого показника складу антрациту, виходячи з максимальних 97 і 3 та мінімальних 92 і 2 відсоткових показників, у його складі, вуглецю та водню відповідно, використовуємо формули 2, 3, 4. Результат приведено у формулі:

$$A_{mCH} = C_{Am} + H_{Am} = \frac{C_{max} + C_{min}}{2} + \frac{H_{max} + H_{min}}{2} = \frac{97 + 92}{2} + \frac{3 + 2}{2} = \frac{189}{2} + \frac{5}{2} = 94,5 + 2,5 = 9 \quad (5)$$

Після визначення числового значення усередненого вуглецево-водневого показника складу антрациту для переведення певного виду твердих горючих копалин, або вугілля певної марки в

умовний антрацит, у формулу 1 підставляємо числове значення усередненого вуглецево-водневого показника складу антрациту з формули 5 і формула 1 буде мати більш конкретизований вигляд:

$$K_{SKM} = \frac{C+H}{97}, \quad (6)$$

де K_{SKM} – коефіцієнт переведення твердих горючих копалин в умовний антрацит; C – маса вуглецю у взятих для оцінки відповідних типів твердих горючих копалинах (%); H – маса водню у взятих для оцінки відповідних типів твердих горючих копалинах (%); 97 – усереднений вуглецево-водневий показник складу антрациту, %.

З метою оцінки та порівняння різних видів твердих горючих копалин та самих видів вугілля, виходячи з відсоткових показників вмісту у них на суху і беззольну масу вуглецю і водню, ми застосували розроблений нами коефіцієнт переведення різних видів твердих горючих копалин в умовний антрацит – формула 6. Отримані результати приведені у табл. 3.

Таблиця 3

Переведення твердих горючих копалин в умовний антрацит*

Назва	Показники вмісту на суху і беззольну масу, %											
	вуглець			водень			вуглець + водень			умовний антрацит		
	min.	max.	med.	min.	max.	med.	min.	max.	med.	min.	max.	med.
Деревина	–	–	49,7	–	–	6,1	–	–	55,8	–	–	0,58
Торфи	53,0	62,0	57,5	5,7	6,5	6,1	58,7	68,5	63,6	0,61	0,71	0,66
Буре вугілля:												
- землисте	63,0	72,0	67,5	5,5	6,5	6,0	68,5	78,5	73,5	0,71	0,81	0,76
- щільне матове	67,0	75,0	71,0	5,5	6,5	6,0	72,5	80,5	76,5	0,75	0,83	0,79
Кам'яне вугілля Донбасу, марка:												
- Д	76,0	86,0	81,0	5,0	6,0	5,5	81,0	92,0	86,5	0,84	0,95	0,90
- Г	78,0	89,0	83,5	4,5	5,5	5,0	82,5	94,5	88,5	0,85	0,97	0,91
- Ж	84,0	90,0	87,0	4,0	5,4	4,7	88,0	95,4	91,7	0,91	0,98	0,95
- К	87,0	92,0	89,5	4,0	5,2	4,6	91,0	97,2	94,1	0,94	1,00	0,97
- ПС	89,0	94,0	91,5	3,8	4,9	4,4	92,8	98,9	95,9	0,95	1,02	0,99
- П	90,0	95,0	92,5	3,4	4,4	3,9	93,4	99,4	96,4	0,96	1,02	0,99
- антрацит	91,0	96,0	93,5	1,3	3,0	2,2	92,3	99,0	95,7	0,95	1,02	0,99

* Таблиця побудована на основі таблиці Елементний склад твердих горючих копалин різної природи і зрілості [6] із застосуванням даних розробленої авторами формули 6

За результатами таблиці можна зробити висновок, що за середнім відсотковим вмістом вуглецю і водню у перерахунку на суху беззольну масу, при переведенні в умовний антрацит мінімальний, максимальний і середній показник відповідно становить:

- деревина – середній – 0,58;
- торф – 0,61; 0,71; 0,66;
- буре вугілля – 0,71; 0,81; 0,78;
- антрацит – 0,95; 1,02; 0,99;
- кам'яне вугілля Донбасу в середньому у межах – 0,90-0,99.

Дану методику можна застосовувати для оцінки і порівняння твердих горючих копалин і різних видів вугілля усякого походження і неоднакового вуглецево-водневого складу.

Висновки Для кожного з видів твердих горючих копалин характерний широкий діапазон варіантів за хімічним складом та фізичними властивостями. Застосування розробленого нами коефіцієнта переведення твердих горючих копалин в умовний антрацит дає можливість аналізувати енергетичну цінність, різних типів твердих горючих копалин, родовищ, пластів твердих горючих копалин, різних марок вугілля, роботу підприємств з видобутку твердих горючих копалин, гірничозбагачувальних комбінатів та інших підприємств з переробки твердих горючих копалин, стан та перспективи розвитку різних рівнів енергетичної безпеки та системи цивільного захисту. Застосовувати при створенні комп'ютерних програм з моделювання, з метою виготовлення систем захисту з недопущення загорань, пожеж та вибухів при добуванні, використанні, та переробці твердих горючих копалин.

Перспективи подальших досліджень. Запропонований підхід оцінювання твердих горючих копалин, шляхом застосування розробленої нами методики переведення твердих горючих копалин через усереднений вуглецево-водневий показник, в умовний антрацит, може слугувати, як додатковим варіантом для оптимізації та удосконалення існуючих порядків класифікації, розроблення інтегрального хімічно-фізичного показника, так і для спонукання мотивації до пошуку нових підходів у вирішенні питань з удосконалення управління системи екологічної та енергетичної безпеки, одних із основних складових національної безпеки.

Література

- 1 Дзядикевич Ю.В. Шляхи гарантування енергетичної безпеки України / Ю. В. Дзядикевич // Інноваційна економіка. – 2014. – № 3. – С. 25-30. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/inek_2014_3_3т (дата звернення: 25.02.2021).
- 2 Зур'ян О., Ляшок А. Показники запасів та видобування горючих корисних копалин в Україні з 2013 по 2018 роки з позицій технічного аналізу / Зур'ян О., Ляшок А. // Мінеральні ресурси України. 2019. – №3. – С. 30-39. – Режим доступу: <https://mru-journal.com.ua/index.php/mru/issue/view/3-2019> (дата звернення: 25.02.2021).
- 3 Олевська Т. В. Сировинна база твердих горючих копалин України / Т. В. Олевська, М. О. Канар // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія : Гірництво. – 2015. – Вип. 28. – С. 62-70. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI_gir_2015_28_10 (дата звернення: 12.04.2021).
- 4 Саранчук В.І. Горючі корисні копалини. / В.І. Саранчук // Мала гірнича енциклопедія, т. 1 / За редакцією В.С.Білецького. – Донецьк: Донбас, 2004. – 640 с. – Режим доступу: <http://reposit.nupp.edu.ua/xmlui/handle/PoltNTU/964> (дата звернення: 12.04.2021).
- 5 Саранчук В.І., Ільяшов М.О., Ошовський В.В., Білецький В.С. // Основи хімії і фізики горючих копалин. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2008. – с. 640. – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/161786962.pdf> (дата звернення: 12.04.2021).
- 6 Саранчук В.І. Тверді горючі копалини. Мала гірнича енциклопедія В.І.Саранчук, М.О.Ільяшов, В.В. Ошовський, В.С.Білецький. / [за ред. В. С. Білецького]. – Донецьк : Східний видавничий дім, 2013. – Т. 3. – 644 с. – Режим доступу: <http://reposit.nupp.edu.ua/xmlui/handle/PoltNTU/964> (дата звернення: 12.04.2021).
- 7 Білецький В.С. Класифікація вугілля / В.С. Білецький, В.І. Саранчук // Мала гірнича енциклопедія, т. 1 / За редакцією В.С. Білецького. – Донецьк: Донбас, 2004. – 640 с. – Режим доступу: <http://reposit.nupp.edu.ua/xmlui/handle/PoltNTU/964> (дата звернення: 13.04.2021).
- 8 International Codification System for Medium and High Grade Coals // United Nations New York, 1988, С. 1-2. – Режим доступу: https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/coal/1988_International_Codification_System_for_Medium_and_High_Rank_Coals_January_1988_R.pdf (дата звернення: 15.10.2022).
- 9 Einteilung der Kohlenarten – Режим доступу: <https://www.brand-feuer.de/index.php/Kohle> (дата звернення: 13.02.2023).
- 10 Повірений С.Ф. Методика визначення відкритої пористості та коефіцієнта стиснення пір у пластових умовах / С.Ф. Повірений, В. М. Абеленцев, А.І. Лур'є, Є.В. Піддубна // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія : Геологія. Географія. Екологія. – 2016. – Вип. 44. – С. 44-54. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKhG_2016_44_8 (дата звернення: 05.07.2021).
- 11 Рудько Г. І. РКООН-2009 як інструмент адаптації класифікації запасів і ресурсів корисних копалин України до світових стандартів звітності / Г. І. Рудько, І. Р. Михайлів // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2017. – № 4. – С. 7-18. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/rngr_2017_4_2 (дата звернення: 05.07.2021).
- 12 Рудько Г. І. Управління ресурсами корисних копалин на основі рамкової класифікації ООН (національна класифікація запасів і ресурсів корисних копалин України) / Г. І. Рудько, В.І. Ловинюков, С.Ф. Литвинюк, О.В. Нецький // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ 2019. № 4(73) – С. 7-15. – Режим доступу: <https://rrngr.nung.edu.ua/index.php/rrngr/article/view/750/723> (дата звернення: 05.07.2021).
- 13 Бужин О.А. Управління продовольчою безпекою: потреба населення у харчових білках. / О.А. Бужин // Актуальні проблеми економіки. – 2014. – №8 (158). – С. 122-126.

- 14 Вовк В.М. Геологічний словник. Геологія корисних копалин. Петрологія. Торф. – Режим доступу: <https://geodictionary.com.ua/node/4228> (дата звернення: 19.02.2021).
- 15 Вовк В.М. Геологічний словник. Геологія корисних копалин. Петрологія. Буре вугілля. – Режим доступу: <https://geodictionary.com.ua/node/1884> (дата звернення: 19.02.2021).
- 16 Вовк В.М. Геологічний словник. Петрологія. Кам'яне вугілля. <https://geodictionary.com.ua/node/2760> (дата звернення: 19.02.2021).
- 17 Білецький В.С. Антрацит / В.С. Білецький // Мала гірнича енциклопедія, т. 1 / За редакцією В.С.Білецького. – Донецьк: Донбас, 2004. – 640 с. . – Режим доступу: <http://reposit.nupr.edu.ua/xmlui/handle/PoltNTU/964> (дата звернення: 20.02.2021).
- 18 Вовк В.М. Геологічний словник. Петрологія. Антрацит. – Режим доступу: <https://geodictionary.com.ua/node/1748> (дата звернення: 20.02.2021).
- 19 Бурчак О.В. Парамагнітні властивості кам'яного вугілля як показники стану речовини / О.В. Бурчак // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. — Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2010. – Вип. 88. – С. 40-45. – Режим доступу: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/33475> (дата звернення: 12.03.2021).

O. Buzhyn

DLC «Cherkasy Institute»

Interregional Academy of Personnel Management

ENVIRONMENTAL SAFETY MANAGEMENT – CLASSIFICATION METHOD OF SOLID COMBUSTIBLE FOSSILS

Environmental safety depends on the level of energy security development. Combustible minerals play a leading role in ensuring energy security. Solid combustible minerals make up a significant proportion in the total mass of combustible minerals. Currently, there is no single universal classification system for solid combustible minerals. Different countries use different systems for classifying coal by grade. At the same time, depending on the classification system, different sets of indicators are taken into account. The main energy accumulator in solid combustible minerals is carbon and a small amount of hydrogen. The energy of solid combustible minerals is directly dependent on the content of these chemical elements. To evaluate and compare different types of solid combustible minerals and their intraspecific differences, based on the presence of the optimal number of indicators of the main energy carriers, which are carbon and hydrogen, the conversion coefficient into conventional anthracite has been developed. The developed conversion coefficient of solid combustible minerals into conventional anthracite makes it possible to analyze the energy value of different types of solid combustible minerals, deposits, layers of solid combustible minerals, different grades of coal, operation of solid combustible mining enterprises, mining and processing enterprises, plants and factories processing solid combustible minerals, the state and prospects for the development of different levels of energy security. In the environmental safety system, the developed coefficient can be used in the development of computer simulation programs in creating protection systems to prevent combustion, fires and explosions in the extraction, use and processing of solid combustible minerals. The proposed option can serve as an additional variety to generalize and improve the existing classification systems, and to motivate to seek new approaches to further classification of solid combustible minerals.

Keywords: anthracite, peat, lignite, hard coal, conventional anthracite, average carbon-hydrogen index, conversion coefficient into conventional anthracite.

References

- 1 Dzyadykevych YU.V. Puty harantuvannya enerhetychnoyi bezpeky Ukrainy / YU. V. Dzyadykevych // Innovatsiyna ekonomika. – 2014. – № 3. – С. 25-30. – Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/inek_2014_3_3t (data zvernennya: 25.02.021).
- 2 Zur'yan O., Lyashok O. Pokaznyky zapasiv ta vydobuvannya horyuchykh korysnykh kopalyn v Ukraini z 2013 po 2018 roky z pozytsiy tekhnichnoho analizu / Zuryan O., Lyashok O. // Mineral'ni resursy Ukrainy. 2019. – №3. – С. 30-39. – Rezhym dostupu: <https://mru-journal.com.ua/index.php/mru/issue/view/3-2019> (data zvernennya: 25.02 2021).

- 3 Olevs'ka T. V. Syrovynna baza tverdykh horyuchykh kopalyn Ukrayiny / T. V. Olevs'ka, M. O. Kanar // Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu Ukrayiny "Kyyivs'kyi politekhnichnyy instytut". Seriya: Hirnystvo. – 2015. – Vip. 28. – S. 62-70. – Rezhy m dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI_gir_2015_28_10 (data zvernennya:12.04.2021)
- 4 Saranchuk V.I. Horyuchi korysni kopalyny. / V.I. Saranchuk // Mala hirnycha entsyklopediya, t. 1 / Za redaktsiyeyu V.S.Bilets'k'ho. – Donets'k: Donbas, 2004. – 640 s. – Rezhy m dostupu: <http://reposit.nupp.edu.ua/xmlui/handle/PoltNTU/964> (data zvernennya: 12.04.2021).
- 5 Saranchuk V.I., Illyashov M.O., Oshovs'kyi V.V., Bilets'kyi V.S. // Osnovy khimiyi ta fizyky horyuchykh kopalyn. – Donets'k: Skhidnyy vydavnychyy dim, 2008. – s. 640. – Rezhy m dostupu: <https://core.ac.uk/download/pdf/161786962.pdf> (data zvernennya: 12.04.2021).
- 6 Saranchuk V.I. Tverdi horyuchi kopalyny. Mala hirnycha entsyklopediya V.I.Saranchuk, M.O.Ilyashov, V.V. Oshovs'kyi, V.S.Bilets'kyi./[za red. V. S. Bilets'koho]. – Donets'k: Skhidnyy vydavnychyy dim, 2013. – T. 3. – 644 s. – Rezhy m dostupu: <http://reposit.nupp.edu.ua/xmlui/handle/PoltNTU/964> (data zvernennya: 12.04.2021).
- 7 Bilets'kyi V.S. Klasyfikatsiya vuhillya / V.S. Bilets'kyi, V.I. Saranchuk // Mala hirnycha entsyklopediya, t. 1 / Za redaktsiyeyu V.S. Bilets'kyi. - Donets'k: Donbas, 2004. - 640 s. – Rezhy m dostupu: <http://reposit.nupp.edu.ua/xmlui/handle/PoltNTU/964> (data zvernennya: 13.04.2021).
- 8 International system of codification of medium and high rank coal // United Nations Organization New - York, 1-2 (as of 15.10.2022.).
- 9 Einteilung der Kohlenarten – Rezhy m dostupu: <https://www.brand-feuer.de/index.php/Kohle> (as of 13.02.2023).
- 10 Poviren' S.F. Metodyka vyznachennya vidkrytoyi porystosti ta koefitsiyenta stysnennya pir u plastovykh umovakh / S.F. Povirenyy, V. M. Abelentsev, A.I. Lur'ye, YE.V. Piddubna //Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho universytetu imeni V. N. Karazina. Seriya: Heolohiya. Heohrafiya. Ekolohiya. - 2016. - Vip. 44. - S. 44-54. – Rezhy m dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKKhG_2016_44_8 (data zvernennya: (05.07.2021).
- 11 Rud'ko H. I. RKON-2009 yak instrument adaptatsiyi klasyfikatsiyi zapasiv ta resursiv korysnykh iskopayuchykh Ukrayiny do svitovykh standartiv zvitnosti / H. I. Rud'ko, I. R. Mykhayliv // Rozvidka ta rozrobka naftovykh ta hazovykh mestorozhdenyy. – 2017. – № 4. – S. 7-18. – Rezhy m dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/rrngr_2017_4_2 (data zvernennya: 05.07.2021).
- 12 Rud'ko H. I. Upravlinnya resursamy korysnykh kopalyn na osnovi ramkovoyi klasyfikatsiyi OON (natsional'na klasyfikatsiya zapasiv ta resursiv korysnykh kopalyn Ukrayiny) / D I. Rud'ko, V.I. Lovinyukov, S.F. Lytvynyuk, O.V. Nets'kyi // Rozvidka ta rozrobka naftovykh ta hazovykh rodovyshch 2019. № 4(73) – S. 7-15. – Rezhy m dostupu: <https://rrngr.nung.edu.ua/index.php/rrngr/article/view/750/723> (data zvernennya: 05.07.2021).
- 13 Buzhyn O.A. Upravlinnya prodovol'choyu bezpekoyu: potreba naselennya u kharchovykh bilkakh. / O.A. Buzhyn // Aktual'ni problemy ekonomiky. – 2014. – №8 (158). - S. 122-126.
- 14 Vovk V.M. Heolohichnyy slovnyk. Heolohiya korysnykh kopalyn. Petrolohiya Torf. – Rezhy m dostupu: <https://geodictionary.com.ua/node/4228> (data zvernennya: 19.02.2021).
- 15 Vovk V.M, Heolohichnyy slovnyk. Heolohiya korysnykh kopalyn. Petrolohiya Bure vuhillya. – Rezhy m dostupu: <https://geodictionary.com.ua/node/1884> (data zvernennya: 19.02.2021).
- 16 Vovk V.M. Heolohichnyy slovnyk. Petrolohiya Kam'yani vuhillya. <https://geodictionary.com.ua/node/2760> (data zvernennya: 19.02.2021).
- 17 Bilets'kyi V.S. Antratsyt/V.S. Bilets'kyi // Mala hirnycha entsyklopediya, t. 1 / Za redaktsiyeyu V.S.Bilets'k'ho. – Donets'k: Donbas, 2004. – 640 s. – Rezhy m dostupu: <http://reposit.nupp.edu.ua/xmlui/handle/PoltNTU/964> (data zvernennya: 20.02.2021).
- 18 Vovk V.M. Heolohichnyy slovnyk. Petrolohiya Antratsyt. – Rezhy m dostupu: <https://geodictionary.com.ua/node/1748> (data zvernennya: 20.02.2021).
- 19 Burchak O.V. Paramahnitni vlastyosti kam'yanoho vuhillya yak pokaznyky stanu rechovyny / O.V. Burchak// Heotekhnichna mekhanika: Mizhvid. zb. nauk. tr. - Dnipropetrovs'k: IHTM NANU, 2010. – Vip. 88. – S. 40-45. – Rezhy m dostupu: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/33475> (data zvernennya: 12.03.2021).

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ

УДК 622.24 + 621.694.2

DOI: 10.31471/2415-3184-2023-1(27)-43-53

*Д. О. Паневник**Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРУМИННОГО АПАРАТА ДЛЯ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ВИКИДІВ НИЗЬКОНАПІРНОГО НАФТОВОГО ГАЗУ

Експлуатація нафтового резервуара відзначається періодичними викидами низьконапірного газу, який накопичується в його газовому просторі. В процесі аналізу характеристик компресорів, що використовуються в системах утилізації нафтового газу встановлені техніко-економічні переваги використання струминних апаратів для підвищення екологічної безпеки експлуатації нафтових резервуарів. На основі аналізу напірних, енергетичних та кавітаційних характеристик встановлені закономірності зміни граничних режимних параметрів струминного апарата системи утилізації низьконапірного нафтового газу в газовому просторі нафтових резервуарів системи збору та підготовки вуглеводнів. Режим граничного напору відповідає нульовому значенню коефіцієнта інжекції та визначається величиною максимального тиску, створюваного струминним апаратом. Встановлена обернена нелінійна залежність максимального відносного напору від основного геометричного параметра струминного апарата. Зростання основного геометричного параметра струминного апарата викликає збільшення максимального коефіцієнта інжекції на 62,1 %. Оптимальний режим роботи струминного апарата має місце при його експлуатації з максимальними значеннями коефіцієнта корисної дії. Конструкція струминного апарата, величина основного геометричного параметра якого дорівнює 3, забезпечує його експлуатацію в оптимальному режимі. Кавітаційний режим роботи струминного апарата характеризується зниженням тиску на виході з робочої насадки струминного апарата до величини тиску насичених парів робочого середовища. Залежність мінімального тиску в проточній частині струминного апарата від величини витрати робочого потоку має обернений нелінійний характер. Рівність тиску насичених парів та поточного тиску рідини визначає гранично допустиму за умови роботи в кавітаційному режимі витрату робочого потоку.

Ключові слова: викиди газу, система утилізації, нафтовий резервуар, газорідинний ежектор, режими експлуатації, граничні параметри.

Вступ. Незважаючи на те, що попит на нафту та природний газ різко знижується відповідно до сценарію розвитку світової енергетики у 2050 році вони залишатимуться основним компонентом енергетичної системи [1]. Враховуючи наявні тенденції розвитку економіки у 2035 році природний газ займатиме першу сходинку у структурі енергоринку України [2]. Складність застосування низьконапірного нафтового газу є причиною його спалювання у факельних системах. За даними спеціалізованої компанії Crystal TCS PVT.LTD (India) вартість щорічно спалюваного у факельних установках нафтового газу становить 29,8 млрд.дол., причому з кожним роком вимоги до зменшення викидів в атмосферу стають більш жорсткими. Зростання світового енергоспоживання є критичним фактором, який стимулює зростання попиту на удосконалення систем утилізації низьконапірного нафтового газу. В процесі відновлення економік після пандемії Covid-19, темпи спалювання газу у факельних системах зросли, оскільки оператори відновили роботу родовищ вуглеводнів після тривалих періодів низького рівня їх технічного обслуговування [1]. Це призводить до викидів в атмосферу значних обсягів нафтового газу, включно з метаном, чорною сажею та оксидом азоту. Зокрема, втрати легких фракцій з газового простору нафтових резервуарів досягають 3 % видобутку продукції свердловин [3]. Скорочення втрат летючих вуглеводнів дозволяє зберегти близько 45 млрд кубометрів природного газу. Облаштування нових

нафтогазових родовищ системами утилізації низьконапірного газу сьогодні є обов'язковою умовою отримання ліцензії на розробку покладів вуглеводнів. Відповідно до рекомендацій Групи Світового банку з охорони навколишнього середовища, здоров'я та безпеки The World Bank Group EHS [4] до кінця 2025 року очікується повне припинення спалювання низьконапірного газу в системах збору та підготовки продукції нафтових свердловин.

Ініціатива Світового банку Global Gas Flaring Reduction Partnership (GGFR) спрямована на скорочення спалювання газу та охоплює сьогодні 53 національні та міжнародні нафтові компанії, 34 національні та регіональні уряди, 15 інститутів розвитку та міжнародних установ. Використання супутників для відстеження спалювання та викидів метану є сферою, яка може допомогти регуляторам контролювати операційну практику, швидко виявляти витoki та забезпечувати належне функціонування системи швидкої та невідомотної сплати суворих штрафів порушниками екологічного законодавства.

Висока імовірність забруднення навколишнього середовища, підвищена вибухопожежонебезпека, та суттєві економічні втрати є причиною постійної уваги світової спільноти до проблеми забезпечення негерметичності систем збору та підготовки продукції свердловин та зумовили формування у нормативно-законодавчій базі більшості розвинених країн жорстких граничних норм викидів вуглеводнів в атмосферу. Невпинне поширення технологій утилізації низьконапірного нафтового газу свідчить про їх світове значення та актуальність досліджень спрямованих на підвищення екологічної безпеки експлуатації нафтових резервуарів.

Аналіз останніх досліджень. У виробників нафти є цілий ряд доступних варіантів, щоб зменшити та уникнути спалювання газу у факельних системах, а низка нових технологій знаходиться у розробці. Застосування поверхнево активних речовин дозволяє зменшити випаровування нафтового газу з газового простору резервуарів на 47 % [5]. Плаваючі покрівлі нафтових резервуарів, які є одними з найбільш ефективних засобів зменшення викидів низьконапірного газу, допускають до 0,2 % втрат продукції свердловин [6]. Зменшення втрат низьконапірного газу вимагає забезпечення високої герметичності нафтових резервуарів.

На початку 50-х років минулого століття розроблені промислові ежекційні установки для утилізації низьконапірного нафтового газу в системах збору та підготовки продукції свердловин. Провідною компанією, яка розробляє та використовує ежекційні технології для утилізації низьконапірного газу, є Transvac Systems Limited (UK) з відділеннями в Нормандії, Північній Африці, Близькому Сході та Малайзії, яка позиціонує себе, як світовий постачальник інноваційних технологій, заснованих на використанні струминних апаратів. Протягом останніх 40 років науково-дослідним центром компанії Research and Development створено та впроваджено тисячі струминних апаратів, розроблених на основі власних досліджень в рамках низки ежекційних технологій. Альтернативними варіантами використання утилізаційних ежекційних установок є використання систем уловлювання легких нафтових фракцій, основним елементом яких є рідинно-кільцеві, гвинтові, поршневі та лопатеві компресори. Порівняно з найбільш поширеними рідинно-кільцевими компресорами установок утилізації нафтового газу необхідна площа розміщення ежекційних систем зменшується в 1,35 рази [7], що в обмежених умовах морський платформ є важливим фактором. Зокрема ежекційні системи компанії Transvac Systems Limited потужністю 600 кВт, встановлені в Північному морі та на Близькому Сході, потребують для розміщення майданчик розміром 18×20 м, а традиційні рідинно-кільцеві компресори аналогічної потужності – 18×27 м.

На нафтосервісному ринку утилізації нафтового газу сьогодні присутня значна кількість наукових установ (Institute of Petroleum Engineers), інтернет-спільнот і організацій (Society of Petroleum Engineers, Subsea UK, Society of Underwater Technology (SUT)) та компаній, як світових (Royal Dutch Shell, Chevron, Caltec Limited (UK)), так і регіональних (компанія Unique Systems Inc., New Jersey, USA).

Виділення частини невирішеної проблеми. Незважаючи на значну кількість досліджень присвячених використанню струминних апаратів в системах утилізації низьконапірного газу особливості експлуатації ежекційних систем для попередження викидів летючих компонентів вуглеводнів з газового простору нафтових резервуарів вивчені недостатньо. Обґрунтування технології застосування ежекційних утилізаційних систем передбачає пошук оптимальних схем включення струминного апарата, визначення його напірно-витратних характеристик [8], аналіз процесу змішування закручених потоків [9], вплив прискорення відносного обертального руху струминного апарата [10], визначення економічних показників застосування газорідинних

ежекторів [11]. При цьому поза увагою широкого кола дослідників залишається аналіз граничних режимів експлуатації струминних апаратів, внаслідок чого зменшується достовірність прогнозування робочих режимів ежекційних систем та ефективність їх застосування.

Мета та завдання досліджень. Метою досліджень є аналіз напірно-витратної та енергетичної характеристики газорідинного струминного апарата та визначення режимних параметрів, які відповідають граничним режимам експлуатації ежекційної системи в процесі утилізації летючих фракцій вуглеводнів в газовому просторі нафтових резервуарів.

Поставлена мета передбачає виконання наступних завдань досліджень:

- встановлення характеру залежності граничного напору та коефіцієнта інжекції від основного геометричного параметра струминного апарата;
- визначення співвідношень відносного напору та коефіцієнта інжекції, які забезпечують максимальний коефіцієнт корисної дії та оптимальний режим експлуатації струминного апарата;
- прогнозування умов забезпечення суцільності потоків в проточній частині струминного апарата.

Алгоритм реалізації поставлених завдань досліджень передбачає моделювання умов та визначення співвідношень режимних параметрів, які відповідають граничним режимам експлуатації газорідинного струминного апарата.

Висвітлення основного матеріалу. Характерною особливістю складу нафтових газів є наявність в них, окрім метану, також етану, пропану, бутанів і пари більш важких вуглеводнів. У багатьох з них присутні сірководень і негорючі компоненти: азот, вуглекислий газ, а також рідкісні гази – гелій та аргон. Низький тиск газу, який надходить від сепараторів та випаровується в нафтових резервуарах не дозволяє спрямовувати його в транспортну систему, внаслідок чого він спалюється в факельних системах морських та суходутних нафтогазових родовищ. Основні характеристики компресорів, що використовуються в системах утилізації нафтового газу наведені в таблиці 1 [12].

Таблиця 1

Основні характеристики альтернативних компресорів системи утилізації низьконапірних нафтових газів

Тип компресора	Стандарт	Коефіцієнт корисної дії	Основні характеристики
Ежектор	ASME B31.3 (PTC 24)	15 – 25	Проста конструкція, відсутність рухомих частин, висока всмоктувальна здатність, необхідність застосування газу для приводу
Рідинно-кільцевий компресор	API 681	25 – 50	Допускають наявність в газі рідкої фракції, здатні працювати в закритому водяному контурі, менший ніж для інших компресорів ККД
Маслозаповнений гвинтовий компресор	API 691	65 – 75	Необхідність застосування нафти в системі циркуляції, більший ніж у компресорів сухого стискування ККД
Гвинтовий компресор сухого стискування	API 691	55 – 70	Не потребує застосування водяної або нафтової циркуляційної системи, незадовільне охолодження, обмежена продуктивність та температура, високий рівень шуму
Поршневий компресор	API 618	80 – 90	Більша продуктивність та тиск, більш складне обслуговування
Пластинчастий компресор	-	40 – 70	Малі капітальні витрати, низька продуктивність

В процесі аналізу умов та ефективності використання окремих типів компресорів встановлено, що найбільш надійними є рідинно-кільцеві та маслозаповнені гвинтові компресори. Газорідинні ежектори є простою та надійною альтернативою традиційним компресорам у випадку наявності для їх приводу газу високого тиску.

Ежекційна система утилізації низьконапірних нафтових газів з нафтових резервуарів (компанія Conoco Inc.) встановлена на свердловинах прибережного шельфу Мексиканської Затоки [13] використовує для приводу струминних насосів водяні відцентрові насоси. Вартість

компонентів системи утилізації у складі поверхневого струминного апарата становить 5–6 тис. дол., а вартість альтернативного компресора – 10-13 тис. дол., тобто вдвічі більша. Основні витрати при обслуговуванні ежекційної системи утилізації пов'язані з вартістю електроенергії, що застосовується для живлення водяного насоса силового приводу. В таблиці 2 наведені значення експлуатаційних витрат пов'язаних з використанням систем утилізації низьконапірного нафтового газу.

Таблиця 2

Експлуатаційні витрати пов'язані з використанням системи утилізації низьконапірного нафтового газу (дол.)

Рік експлуатації	1	2	3	4	5
Продуктивність струминного апарата	141,585 м ³ /добу				
Витрати	1393	1449	1507	1567	2129
Собівартість утилізації нафтового газу – 31,0767 дол./тис.м³					
Продуктивність струминного апарата	424,755 м ³ /добу				
Витрати	3680	3827	3980	4139	4805
Собівартість утилізації нафтового газу – 26,486 дол./тис.м³					
Продуктивність струминного апарата	707,925 м ³ /добу				
Витрати	5966	6205	6542	6711	7479
Собівартість утилізації нафтового газу – 25,426 дол./тис.м³					
Продуктивність альтернативного компресора	850 м ³ /добу				
Витрати	6050	6292	6544	6806	9578
Собівартість утилізації нафтового газу – 45,556 дол./тис.м³					

Суттєве зростання витрат на п'ятому році експлуатації пов'язано з плановим капітальним ремонтом обладнання: додаткових 500 дол. для ежекційних систем та 2500 дол. для альтернативного компресора.

Основні схеми ежекційних систем для утилізації низьконапірного нафтового газу визначаються способом приводу струминного апарата (рис. 1).

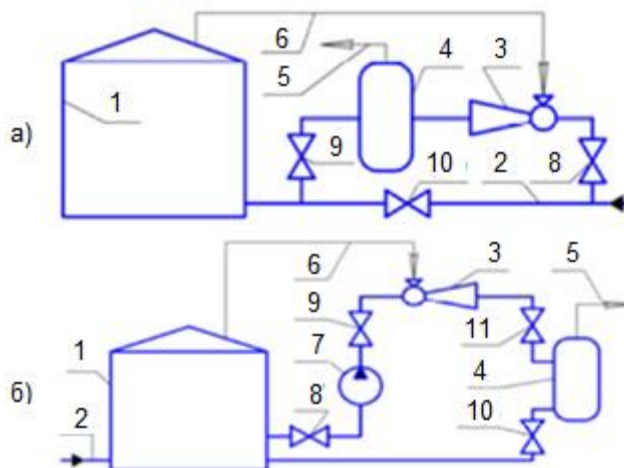


Рис. 1. Ежекційна система утилізації низьконапірного нафтового газу:
а) з приводом струминного насоса від тиску у викидній лінії свердловини;
б) з додатковим силовим приводом

1 – резервуар для зберігання нафти; 2 – нафтопровід; 3 – газорідинний струминний апарат;
 4 – сепаратор; 5 – відповідна труба; 6 – всмоктувальна лінія струминного апарата; 7 – насос;
 8...11 – засувки

Відповідно до схеми рисунка 1 а струминний апарат 3 приводиться в дію потоком нафти, який надходить по викидних лініях свердловин. Внаслідок розрідження створюваного струминним апаратом 3 відбувається відсмоктування низьконапірного нафтового газу, який накопичується у вільному просторі нафтового резервуара 1 внаслідок випаровування. В сепараторі 5 відбувається виділення рідкої фази продукції свердловин, після чого вона повертається в резервуар. Для створення робочого потоку може застосовуватись відцентровий насос 7 (рисунку 1 б), всмоктувальна лінія якого з'єднана з нафтовим резервуаром 1, а напірна – з робочою насадкою

струминного апарата 3. Відцентровий насос 7 подає робочу рідину на робочу насадку струминного апарата 3, який відсмоктує низьконапірний нафтовий газ з нафтового резервуара 1.

Зважаючи на високу швидкість витікання робочого потоку на виході з робочої насадки струминного апарата формується область низького тиску та створюються умови для підсмоктування інжектowanego потоку (рис. 2).

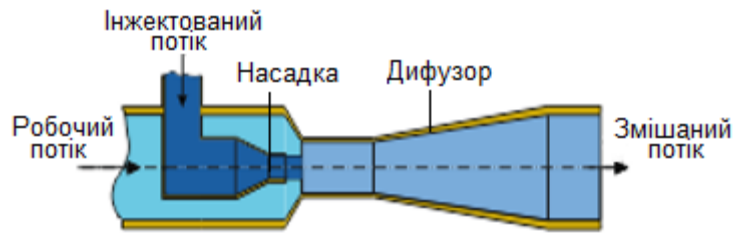


Рис. 2. Принципова схема струминного апарата

На відміну від традиційних ежекційних систем в проточній частині газорідинного струминного апарата відбувається взаємодія нестисливого робочого та стисливого інжектowanego потоків. Процес змішування характеризується вирівнюванням профілів швидкостей робочого та інжектowanego потоків та відновленням тиску в дифузорі струминного апарата.

Граничні режими експлуатації струминного апарата характеризуються наявністю особливих точок його напірної характеристики (рис. 3).

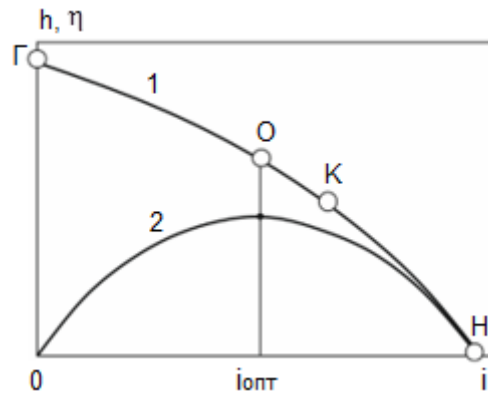


Рис. 3. Напірна (1) та енергетична (2) характеристика струминного апарата

Точка «Г» визначає здатність струминного апарата створювати граничний тиск і характеризується максимальною величиною відносного напору $h=h_{\max}$ та нульовим значенням коефіцієнта інжекції $i=0$. Граничний режим експлуатації струминного апарата визначає максимально допустиму глибину його розміщення в свердловині, мінімальне значення робочої витрати та максимальну величину діаметра робочої насадки. Оптимальний режим роботи струминного апарата характеризує точка «О», коли ежекційна система експлуатується в умовах максимального значення ККД. Даному режиму роботи струминного апарата відповідає оптимальне значення коефіцієнта інжекції $i_{\text{опт}}$. Робота в оптимальному режимі є пріоритетною при реалізації довготривалих технологічних процесів, зокрема, під час безпосереднього газовидобутку. Точка «К» відповідає роботі струминного апарата в кавітаційному режимі. При цьому порушується суцільність потоків в проточній частині струминного апарата, знижується напір та величина ККД. Кавітаційний режим роботи струминного апарата визначає максимально допустиму витрату робочого потоку, мінімально допустиму глибину розміщення в свердловині та мінімальне значення діаметра робочої насадки. Режим нульового напору (точка «Н») відзначається нульовим значенням відносного напору $h=0$ та максимальною величиною коефіцієнта інжекції $i=i_{\max}$. Режим нульового напору реалізується при експлуатації наддолотних ежекційних систем нагнітально-всмоктувального типу та ежекційних уловлювачів шарошок.

Визначимо співвідношення режимних параметрів, які зумовлюють існування та розташування особливих точок на напірній характеристиці струминного апарата. Напірна характеристика струминного апарата для випадку нестисливого робочого та стисливого інжектowanego потоку визначається рівнянням [14]:

$$h = \frac{\varphi_1^2}{K_p} \left[2\varphi_2 - \left(2 - \varphi_3^2 \right) \frac{(1+i)^2}{K_p} \right], \quad (1)$$

де $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – коефіцієнти швидкостей в характерних перерізах струминного апарата; K_p – основний геометричний параметр струминного апарата.

Максимальний напір струминного апарата відповідає нульовому значенню коефіцієнта інжекції. Після підстановки значення коефіцієнта інжекції $i=0$ в рівняння (1) отримаємо:

$$h_{\max} = \frac{\varphi_1^2}{K_p} \left[2\varphi_2 - \frac{(2 - \varphi_3^2)}{K_p} \right] \quad (2)$$

Режим нульового напору визначається максимальними значеннями коефіцієнта інжекції, яке визначається шляхом підстановки в рівняння (1) величини напору $h=0$.

$$\frac{\varphi_1^2}{K_p} \left[2\varphi_2 - \left(2 - \varphi_3^2 \right) \frac{(1+i)^2}{K_p} \right] = 0$$

Після розв'язку останнього рівняння відносно величини коефіцієнта інжекції отримаємо:

$$i_{\max} = \sqrt{\frac{2\varphi_2 K_p}{2 - \varphi_3^2}} - 1 \quad (3)$$

Граничні характеристики струминного апарата $h_{\max} = f(K_p)$, $i_{\max} = f(K_p)$ наведені на рис. 4.

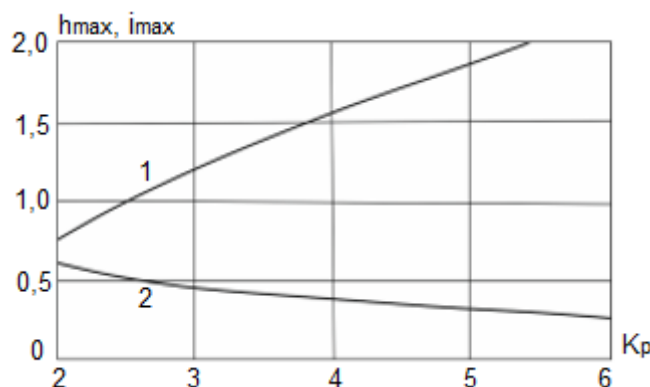


Рис. 4. Граничні характеристики струминного апарата (1 – максимальний коефіцієнт інжекції; 2 – граничний напір)

Відповідно до проведених розрахунків зростання величини основного геометричного параметра струминного апарата викликає зростання максимального коефіцієнта інжекції та зменшення граничного напору ежекційної системи.

ККД струминного насоса визначається за формулою:

$$\eta = \frac{hi}{1-h} \quad (4)$$

Останнє рівняння дозволяє трансформувати напірну характеристику $h = f(i)$ в енергетичну $\eta = f(i)$. Остання залежність має екстремальний характер (крива 2 на рис. 3). Формула (4) дозволяє встановити вплив основного геометричного параметра струминного апарата на величину його максимального ККД (табл. 3).

Таблиця 3

Співвідношення максимального ККД та основного геометричного параметра струминного апарата

K_p	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
$\eta_{\max}$	0,213	0,233	0,229	0,218	0,21

Таким чином, максимальні значення ККД струминного апарата відповідають величині його основного геометричного параметра $K_p \approx 3,0$.

Робочі співвідношення відносного напору та коефіцієнта інжекції визначаються значенням тисків та витрат в характерних перерізах ежекційної системи. Відносний напір струминного апарата визначається співвідношенням

$$h = \frac{P_3 - P_i}{P_p - P_i}, \quad (5)$$

де P_3 , P_i , P_p – значення тисків змішаного, інжектowanego та робочого потоків.

Тиск змішаного потоку визначається величиною тиску на вході в нафтовий сепаратор струминного апарата. Тиск інжектowanego потоку визначаємо враховуючи особливості роботи дихальних клапанів нафтового резервуара. Дихальні клапани розраховують на надлишковий тиск або вакуум в газовому просторі резервуара $20 \times 9,81$ Па. Для попередження виходу нафтових газів в навколишнє середовище приймаємо тиск інжектowanego потоку струминного апарата $P_i = 98,1$ Па. Тиск робочого потоку враховуючи схему включення струминного апарата визначаємо за формулою:

$$P_p = \Delta P_{pn} + P_3, \quad (6)$$

де ΔP_{pn} – гідравлічні втрати в робочій насадці струминного апарата.

Враховуючи відому формулу для визначення гідравлічних втрат в робочій насадці запишемо

$$\Delta P_{pn} = \frac{\rho Q_p^2}{2\mu_{pn}^2 f_p^2}, \quad (7)$$

де ρ – густина робочого потоку; Q_p – витрата робочого потоку; μ_{pn} – коефіцієнт витрати робочої насадки; f_p – площа робочої насадки.

Визначення за формулами (5)-(7) відносного напору струминного апарата дозволяє розрахувати величину коефіцієнта інжекції (рис. 5).

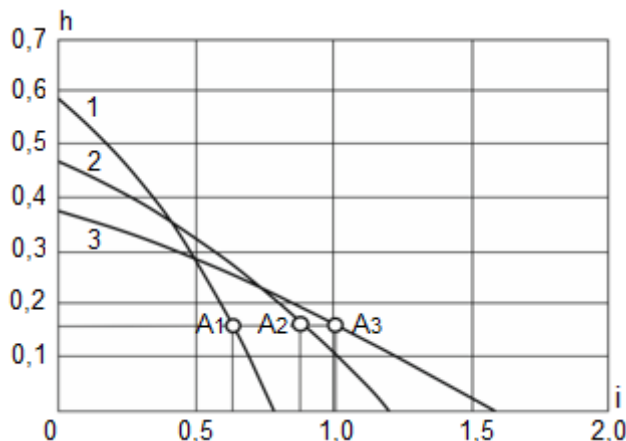


Рис. 5. Визначення продуктивності відсмоктування нафтового газу при використанні струминного апарата з різними значеннями основного геометричного параметра:

$$1 - K_p = 2,0; K_p = 3,0; K_p = 4,0$$

Точки A_1 , A_2 , A_3 визначають режим роботи струминного апарата. Таким чином, продуктивність відсмоктування нафтового газу може регулюватись зміною основного геометричного параметра струминного апарата.

В процесі дослідження кавітаційних характеристик струминного апарата використовуємо закон збереження енергії записаний у вигляді рівняння Бернуллі (рис. 6).

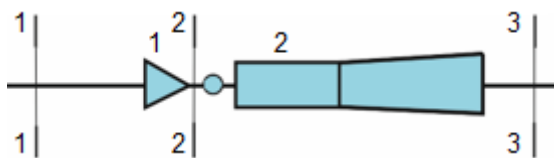


Рис. 6. Гідралічна система струминного апарата (1 – робоча насадка; 2 – камера змішування з дифузором)

Переріз 1 – 1 записаний для входу в робочу насадку, а переріз 2 – 2 – для виходу з робочої насадки струминного апарата. Мінімальний тиск в проточній частині струминного апарата відповідає перерізу 2 – 2. Запишемо рівняння Бернуллі для перерізів 1 – 1 та 2 – 2.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{1-2} \quad (8)$$

де Z_1 , Z_2 – відмітки геометричних положень перерізів 1 – 1 та 2 – 2; P_1 , P_2 – значення тисків в перерізах 1 – 1 та 2 – 2; V_1 , V_2 – значення швидкостей в перерізах 1 – 1 та 2 – 2; h_{1-2} – втрати напору на ділянці потоку між перерізами 1 – 1 та 2 – 2.

Проаналізуємо рівняння (8).

$Z_1 = Z_2$ – перерізи 1 – 1 та 2 – 2 знаходяться на одному рівні; $h_{1-2} = \Delta P_{pn} / \rho g$, де ΔP_{pn} – втрати тиску в робочій насадці струминного апарата.

Враховуючи записані співвідношення рівняння для визначення мінімального тиску в проточній частині струминного апарата матиме вигляд

$$P_2 = P_1 + \frac{\rho}{2}(V_1^2 - V_2^2) - \Delta P_{pn} \quad (9)$$

Для визначення величини тиску P_1 , значення якого входить в рівняння (9), використовуємо рівняння Бернуллі записане для перерізів 1 – 1 та 3 – 3.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_3 + \frac{P_3}{\rho g} + \frac{V_3^2}{2g} + h_{1-3} \quad (10)$$

де Z_3 – відмітка геометричних положень перерізу 3 – 3; P_3 , V_3 – значення тисків та швидкостей в перерізі 3 – 3; h_{1-3} – втрати напору на ділянці потоку між перерізами 1 – 1 та 3 – 3.

Проаналізуємо складові рівняння (10).

$Z_1 = Z_3$ – перерізи 1 – 1 та 3 – 3 знаходяться на одному рівні. Втрати напору між перерізами 1 – 1 та 3 – 3 становлять $h_{1-3} = \Delta P_{1-3} / \rho g = (\Delta P_{pn} + \Delta P_n) / \rho g$, де ΔP_n – втрати тиску в напірній лінії струминного апарата. Тоді величину тиску P_1 можна визначити з рівняння

$$P_1 = P_3 + \frac{\rho}{2}(V_3^2 - V_1^2) + \Delta P_{1-3} \quad (11)$$

Запишемо рівняння для визначення тиску P_2 шляхом підстановки останнього рівняння у формулу (9)

$$P_2 = P_3 + \frac{\rho}{2}(V_3^2 - V_2^2) + \Delta P_n \quad (12)$$

Перетворимо рівняння (12) використовуючи очевидні співвідношення

$$V_3 = \frac{4Q_p}{\pi d_n^2}; \quad V_2 = \frac{4Q_p}{\pi d_{pn}^2}, \quad (13)$$

де d_n – діаметр напірної лінії.

Внаслідок малої довжини гідралічні втрати в напірній лінії є незначними і ми можемо прийняти $\Delta P_n \approx 0$. Тоді формула для визначення тиску P_2 приймає вигляд:

$$P_2 = P_3 + \frac{8\rho}{\pi^2} Q_p^2 \left(\frac{1}{d_n^4} - \frac{1}{d_{pn}^4} \right) \quad (14)$$

Зменшення величини тиску P_2 до значення тиску насичених парів рідини визначає наявність кавітації в проточній частині струминного апарата (рис. 7).

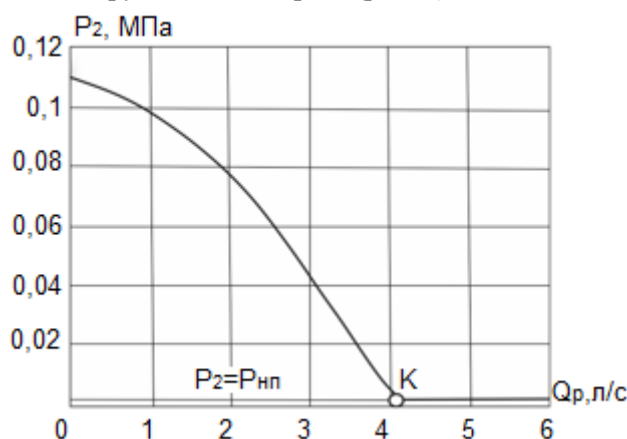


Рис. 7. Залежність тиску на виході з робочої насадки від витрати робочого потоку

Горизонтальна пряма в нижній частині графіка визначає величину тиску насичених парів рідини. Перетин даної прямої з залежністю $P_2 = f(Q_p)$ (точка К) визначає максимальне значення робочої витрати $Q_{p\max}$, перевищення якого відповідає роботі струминного апарата в кавітаційному режимі. Для розглянутих умов максимальне значення робочої витрати відповідно до рис. 7 становить $Q_{p\max} = 4,12$ л/с.

Висновки. На основі аналізу напірно-витратної та енергетичної характеристики газорідного струминного апарата встановлені закономірності зміни режимних параметрів, які відповідають граничним режимам експлуатації ежекційної системи утилізації летючих фракцій вуглеводнів в газовому просторі нафтових резервуарів:

- зміна основного геометричного параметра струминного апарата в діапазоні від 2 до 6 викликає зменшення відносного граничного напору на 57 % та зростання максимального коефіцієнта інжекції на 62,1 %;
- максимальний ККД ежекційної системи відповідає конструкції струминного апарата, величина основного геометричного параметра якого дорівнює 3;
- прогнозування умов забезпечення суцільності потоків в проточній частині струминного апарата може здійснюватись шляхом порівняння фактичної величини тиску на виході з робочої насадки струминного апарата із значенням тиску насичених парів робочої рідини.

Завдання подальших досліджень полягає у дослідній перевірці робочого поля характеристик струминного апарата системи утилізації летючих фракцій вуглеводнів.

Література

1. Flaring Emissions – Analysis – IEA. Tracking report – September 2022. 7 p. <https://www.iea.org/reports/flaring-emission>.
2. Маркевич К., Омельченко В. Глобальні енергетичні тренди крізь призму національних інтересів. Аналітична доповідь (Центр Разумкова). Київ: Заповіт, 2016. 118 с.
3. Паневник О.В. Визначення граничних умов струминного апарата системи утилізації вуглеводнів. Нафтогазова галузь України. 2013. № 3. С. 46–49.
4. Flare Gas Recovery System Market By Capacity (Small, Medium, Large, Very large); Application (Upstream, Downstream, Others) and Region: Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2021-2030. Allied Market Research. March 2023. Report Code: A15565. <https://www.alliedmarketresearch.com/flare-gas-recovery-system-market-A15565>.
5. Farhan M.M., Al-Jumaily M.M., Al-Muhammadi A.D., Ismail A.S. Development of a New Method for Reducing the Loss of Light Hydrocarbons at Breather Valve of Oil Tanks. Energy Procedia. 2017. Vol. 141. P. 471–478. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.061>.
6. Gwangwava N., Motlhabane T., Addo-Tenkorang R., Ogunmuyiwa E.N., Ude A.U., Goriwondo W.M. Root Cause Analysis for Fuel Losses in Bulk Oil Storage Tanks. Proceedings of the International

Conference on Industrial Engineering and Operations Management Pretoria / Johannesburg, South Africa, October 29 – November 1, 2018. P.333–345. <http://ieomsociety.org/southafrica2018/proceedings/>.

7. Leagas T., Seefeldt G., Hoon D. Ejector Technology for Efficient and Cost Effective Flar Gas Recovery. GPA-GCC 24th Annual Technical Conference. Kuwait City, Kuwait, May 10-11, 2016. 10 p.

8. Saker A. A., Hassan H. Z. Study of the Different Factors That Influence Jet Pump Performance. Open Journal of Fluid Dynamics. 2013. Vol.3. No2. Article ID:32658. 6 p. DOI:10.4236/ojfd.2013.32006.

9. Panevnyk D.A. Simulation of a downhole jet-vortex pump's working process. Nafta-Gaz 2021. No. 9. P. 579–586. DOI: 10.18668/NG.2021.09.02.

10. Wu X-F., Li M.-H., Liu H.-L., Tan M.-G., Lu Y.-D. Performance of water-jet pump under acceleration. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. 2021. Vol. 13. P. 794–803. <https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2021.10.004>.

11. Lyubin E.A. Substance of Oil Vapor Recovery Technology Using Ejector System for Vertical Cylindrical Storage Oil Tanks. Middle-East Journal of Scientific Research. 2014. № 21 (1): P.140–143. DOI: 10.5829/idosi.mejsr.2014.21.01.21312.

12. Saadawi H. Ten Years' Experience with Flare Gas Recovery Systems in Abu Dhabi. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, USA, September 30 – October 02, 2013. 8 p. Paper Number: SPE-166133-MS. <https://doi.org/10.2118/166133-MS>.

13. Webb W.G. Vapor Jet System: An Alternative Vapor Recovery Method. SPE/EPA Exploration and Production Environmental Conference, San Antonio, Texas, March 7–10, 1993. P. 111–117. Paper Number: SPE-25942-MS. <https://doi.org/10.2118/25942-MS>.

14. Panevnyk D.O. The study on the influence of the injected flow swirling on the characteristics of the jet pump. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. 2022. Vol.113. Issue 1. P. 22-30. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.0942>.

D. Panevnyk

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

STUDY OF HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF JET DEVICE FOR PREVENTING EMISSIONS OF LOW-PRESSURE PETROLEUM GAS

The oil reservoir operation is characterized by periodic emissions of low-pressure gas accumulating in its gas space. In the process of analyzing the characteristics of compressors used in petroleum gas utilization systems, the technical and economic advantages of using jet devices to improve the environmental safety of oil reservoirs have been established. Based on the analysis of pressure, energy and cavitation characteristics, the regularities were established for changing the limiting mode parameters of jet device of the low-pressure petroleum gas utilization system in the gas space of oil reservoirs of the hydrocarbon collection and treatment system. The limit pressure mode corresponds to the zero value of the injection coefficient and is determined by the maximum pressure value created by the jet device. An inverse nonlinear dependence of the maximum relative pressure on the main geometric parameter of the jet device is established. An increase in the main geometric parameter of the jet device causes an increase in the maximum injection coefficient by 62.1%. The optimal operation mode of the jet device takes place when it is operated with maximum values of the efficiency factor. The jet device design, the value of the main geometric parameter of which equals 3, ensures its operation in the optimal mode. The cavitation operation mode of the jet device is characterized by a decrease in pressure at the outlet of the working nozzle of the jet device to the pressure value of saturated vapors of the operation environment. The dependence of the minimum pressure in the flow part of the jet device on the flow rate value of the working flow has an inverse non-linear character. The equality between saturated vapors pressure and current liquid pressure determines the maximum permissible flow rate of the working flow during operation in the cavitation mode.

Key words: gas emissions, utilization system, oil reservoir, gas-liquid ejector, operating modes, limiting parameters.

References

1. Flaring Emissions – Analysis – IEA. Tracking report – September 2022. 7 p. <https://www.iea.org/reports/flaring-emission>.
2. Markevych K., Omelchenko V. Hlobalni enerhetychni trendy kriz pryzmu natsionalnykh interesiv. Analitychna dopovid (Tsentr Razumkova). Kyiv: Zapovit, 2016. 118 p.
3. Panevnyk O.V. Vyznachennia hranychnykh umov strumynnoho aparata systemy utylizatsii vuh-levodniv. Naftohazova haluz Ukrainy. 2013. № 3. P. 46–49.
4. Flare Gas Recovery System Market By Capacity (Small, Medium, Large, Very large); Application (Upstream, Downstream, Others) and Region: Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2021-2030. Allied Market Research. March 2023. Report Code: A15565. <https://www.alliedmarketresearch.com/flare-gas-recovery-system-market-A15565>.
5. Farhan M.M., Al-Jumialy M.M., Al-Muhammadi A.D., Ismail A.S. Development of a New Method for Reducing the Loss of Light Hydrocarbons at Breather Valve of Oil Tanks. Energy Procedia. 2017. Vol. 141. P. 471–478. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.061>.
6. Gwangwava N., Motlhabane T., Addo-Tenkorang R., Ogunmuyiwa E.N., Ude A.U., Goriwondo W.M. Root Cause Analysis for Fuel Losses in Bulk Oil Storage Tanks. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Pretoria / Johannesburg, South Africa, October 29 – November 1, 2018. P.333–345. <http://ieomsociety.org/southafrica2018/proceedings/>.
7. Leagas T., Seefeldt G., Hoon D. Ejector Technology for Efficient and Cost Effective Flar Gas Recovery. GPA-GCC 24th Annual Technical Conference. Kuwait City, Kuwait, May 10-11, 2016. 10 p.
8. Saker A. A., Hassan H. Z. Study of the Different Factors That Influence Jet Pump Performance. Open Journal of Fluid Dynamics. 2013. Vol.3. No2. Article ID:32658. 6 p. DOI:10.4236/ojfd.2013.32006.
9. Panevnyk D.A. Simulation of a downhole jet-vortex pump's working process. Nafta-Gaz 2021. No. 9. P. 579–586. DOI: 10.18668/NG.2021.09.02.
10. Wu X-F., Li M.-H., Liu H.-L., Tan M.-G., Lu Y.-D. Performance of water-jet pump under acceleration. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. 2021. Vol. 13. P. 794-803. <https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2021.10.004>.
11. Lyubin E.A. Substance of Oil Vapor Recovery Technology Using Ejector System for Vertical Cylindrical Storage Oil Tanks. Middle-East Journal of Scientific Research. 2014. № 21 (1): P.140–143. DOI: 10.5829/idosi.mejsr.2014.21.01.21312.
12. Saadawi H. Ten Years' Experience with Flare Gas Recovery Systems in Abu Dhabi. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, USA, September 30 – October 02, 2013. 8 p. Paper Number: SPE-166133-MS. <https://doi.org/10.2118/166133-MS>.
13. Webb W.G. Vapor Jet System: An Alternative Vapor Recovery Method. SPE/EPA Exploration and Production Environmental Conference, San Antonio, Texas, March 7–10, 1993. P. 111–117. Paper Number: SPE-25942-MS. <https://doi.org/10.2118/25942-MS>.
14. Panevnyk D.O. The study on the influence of the injected flow swirling on the characteristics of the jet pump. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. 2022. Vol.113. Issue 1. P. 22-30. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.0942>.

*А. П. Олійник, О. М. Туць
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

КОМПЛЕКСНИЙ МАТЕМАТИЧНИЙ ПРОЦЕС ПОШИРЕННЯ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН ПРИ АВАРІЯХ НА МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДАХ

У статті наведено результати аналізу науково-технічної літератури та інших джерел інформації стосовно забруднення ґрунтів при аваріях на об'єктах трубопровідного транспорту. Система газопостачання в Україні являє собою складну енергетичну систему, яка характеризується великою довжиною, значною потужністю, складною структурою, різним віком і станом магістральних газопроводів. Старіння газопроводів, велике число аварій, відмов та ушкоджень на лінійній частині ускладнюють процес технічної експлуатації газотранспортної системи та збільшують матеріальні витрати.

У цих умовах актуальним є питання підвищення екологічної безпеки з метою запобігання аварій, безперебійного постачання природного газу, зниження втрат та негативного впливу на навколишнє середовище.

Встановлено, що при глибині прокладання газопроводу 1,5 м концентрація шкідливої речовини на поверхні землі практично рівна нулю. Крім того, математична модель дозволяє оцінити величину зони впливу джерела шкідливих речовин по всій території досліджуваної зони, в якій прокладено один або декілька трубопроводів.

Проведені розрахунки носять тестовий характер, для вивчення реальних аварійних ситуацій необхідно мати інформацію про наступні фактори: швидкість прийняття заходів по відключенню аварійної ділянки; фізико-механічні параметри ґрунтів; робочий тиск в трубопровідній системі.

Тому запропонована математична модель дасть можливість проаналізувати поширення продуктів аварійного витoku залежно від місця локалізації аварійних витоків природного газу властивостей ґрунтів, швидкості реагування та поширення аварійної ситуації.

Ключові слова: газопроводи, забруднення, довкілля, ґрунти, екологічна безпека.

Вступ. Однією з найважливіших проблем, що виникають внаслідок антропогенної діяльності є забруднення ґрунтів при аваріях на об'єктах трубопровідного транспорту. Тематиці досліджень присвячено значну кількість робіт [1-4, 6-9], в яких науковці вказану проблему вирішують шляхом аналізу явища забруднення через розбиття його на певні етапи: зміна рівня ґрунтових вод, поширення шкідливих речовин, визначення гранично допустимих концентрацій. Загальну схему розв'язання такого роду задачі наведено в роботі [7], проте це вимагає деталізації для конкретних систем. При вирішенні проблеми водопостачання великих міст використовуються відкриті джерела (ріки, озера, водосховища), а також підземні води пластів. Тому частково проблема зміни напрямку руху забрудненої води може бути вирішена шляхом побудови свердловин, в які закачують чисту воду, вказане закачування створює примусовий рух ґрунтових вод, забруднених внаслідок діяльності людини, що створює перешкоду подальшому переміщенню забруднень вздовж пласта.

Математична модель, що реалізує вказану схему, містить рівняння фільтрації ґрунтових вод та рівняння поширення ділянок, які доповнюються вхідними даними (властивості ґрунтів, води та домішок, даними про геометрію області, крайовими та початковими умовами, тощо).

Математична модель процесу. Модель поширення домішок одержується із закону збереження маси домішок в елементі ґрунту, ця модель описується рівнянням нерозривності і в найпростішому варіанті має вигляд [3]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(C(H+h)) + \frac{\partial}{\partial x}(C(H+h)u) + \frac{\partial}{\partial y}(C(H+h)v) = Q(x,y,t), \quad (1)$$

де $C(x,y,t)$ – шукана концентрація домішок; $h(x,y,t)$ – рівень ґрунтових вод; $H(x,y,t)$ – поверхня, через яку не проникають ґрунтові води; u, v – компоненти швидкості. Враховуючи, що за законом Дарсі [3]:

$$u = -\frac{k}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x}, \quad v = -\frac{k}{\mu} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{k g p}{\mu}, \quad p = \rho g h \quad (2)$$

враховуючи (2) рівняння (1) може бути подане у вигляді:

$$\frac{\partial}{\partial t}(C(H+h)) - \frac{k}{\mu} \rho g \frac{\partial}{\partial x} \left[C(H+h) \frac{\partial h}{\partial x} \right] - \frac{k}{\mu} g \rho \frac{\partial}{\partial y} \left[C(H+h) \frac{\partial h}{\partial y} \right] = Q(x, y, t), \quad (3)$$

з урахуванням закону Фіка [3]:

$$w = -D \text{grad } C, \quad (4)$$

де в (4) w – вектор швидкості, $D > 0$ – коефіцієнт гідродинамічної дисперсії; рівняння (3) може бути записаним у вигляді [7]:

$$\frac{\partial}{\partial t}[C(H+h)] = \frac{\partial}{\partial x} \left[D(H+h) \frac{\partial C}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[D(H+h) \frac{\partial C}{\partial y} \right] = Q(x, y, t). \quad (6)$$

Граничні та початкові умови задачі передбачають задання допустимого рівня ґрунтових вод, розподілу тиску в пластах та початкові концентрації домішок, а також розподіл тиску та концентрації по границі досліджуваної області. Особливістю аварійних ситуацій є великий градієнт тиску газу, що транспортується по відношенню до пластового тиску.

Одним з природніх способів переходу до дискретної моделі – апроксимація різницевиими схемами двох рівнянь – рівняння Бусінеска, яке не містить C і для неоднорідного середовища записується у вигляді:

$$\frac{m(x,y)}{\rho y} \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu(x,y)(H+h) \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu(x,y)(H+h) \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \varphi(x, y, t), \quad (7)$$

де $\varphi(x, y)$ – інтенсивність забруднення в точці (x, y) в деякий момент часу t ; $m(x, y)$ – маса елементу ґрунту; $\mu(x, y)$ – в'язкість, і рівняння (6).

Оскільки (7) не містить величини C , доцільним є використання безумовно стійких неявних схем, що дозволяє проводити розрахунок з достатньо великим кроком по часу та по відповідних координатах. При цьому загальна схема розв'язання нелінійних різницеви рівнянь є наступною: спочатку з різницевого аналога рівняння (7) знаходяться невідомі величини $h_j^i = h(x_i, y_j, t)$, де (x_i, y_j) – точки різницевої сітки, після чого вказані величини використовуються в різницеви рівняннях для визначення C_j^i , звідки останні і визначаються. При розв'язанні дискретних аналогів рівнянь (7) та (6) використовуються стандартний метод змінних напрямків, який полягає в послідовному розв'язанні за методом прогонки набору одновимірних задач, а у випадку, коли (7) передбачає використання умови $\frac{\partial h}{\partial t} = 0$ – метод верхньої релаксації для еліптичного рівняння.

Реалізація моделі та чисельний алгоритм. При визначенні значень $h(x, y, t)$ рівняння (7) може бути перетвореним на основі наступних допущень [3]:

1) Течія рідини розглядається в циліндричній формі і є симетричною відносно вертикальної осі, фактично, розглядається течія в прямокутній області.

2) Динамічна в'язкість μ та густина ρ вважаються сталими.

3) Температура та проникність середовища вважаються сталими.

4) Тиск в області визначається початковими значеннями атмосферного тиску та рівняння $H_0 = h(x_m, y_m, t_0)$, враховуються також технологічні параметри відповідних процесів. При цьому (7) може бути замінена моделлю Дарсі:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \\ u = -\frac{k}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \\ v = -\frac{k}{\mu} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{k \rho g}{\mu} \end{cases}, \quad (8)$$

коли умова $v \gg v^2$ не виконується, використовується закон Форхгеймера [4]:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \\ -\frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\mu}{k} u - \beta \frac{\rho V^2}{v_k} \frac{u}{V} = 0 \\ -\frac{\partial p}{\partial y} + \rho g - \frac{\mu}{k} v - \beta \frac{\rho V^2}{\sqrt{k}} \frac{v}{V} = 0 \end{cases}, \quad (9)$$

де β – безрозмірний коефіцієнт, який залежить від структури пористого середовища, $\beta \approx 1$; k – коефіцієнт, який за розмірністю співпадає з коефіцієнтом проникності; V – характерна швидкість фільтрації. Система (8) або (9) доповнюються граничними умовами виду:

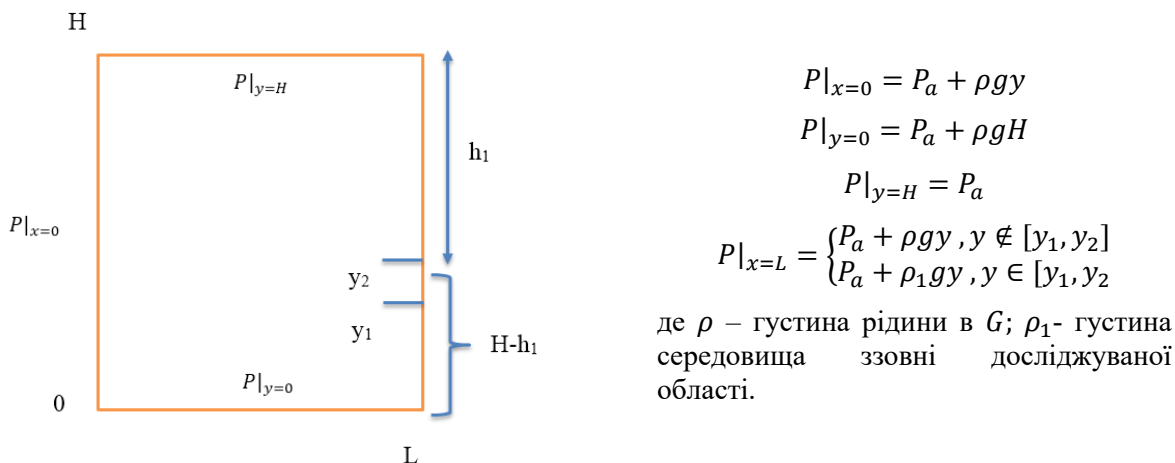
$$\rho|_{\partial G} = f(x, y), \quad (10)$$

де $f(x, y)$ – неперервна функція в досліджуваній області G – якщо розподіл тиску по границі є неперервним, або ж кусково-неперервною – в тому випадку, коли границя G має частини, непроничні для рідини.

Розв’язок задачі з кусково-неперервною функцією $f(x, y)$ в (10) дозволяє вивчити розмір зони впливу наявності витоків з області на конфігурацію течії в цілому, а також вивчити поведінку течії в залежності від того, а яке середовище відбувається витік рідини. При цьому задачі (8) та (9) з математичної точки зору зводяться до задачі Діріхле для тиску рідини:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = 0, \quad (11)$$

з граничними умовами типу (10).



Задача розв’язується методом верхньої релаксації, в роботі [8] встановлено залежність між значеннями параметрів релаксації та збіжністю ітераційного процесу.

Рівняння (6) розв’язується за методом змінних напрямків [7] з використанням знайдених на попередньому кроці значень функції $h(x, y, t)$:

$$h(x_i, y_j, t) = \frac{P(x_i, y_j, t) - P_a}{\rho y}, \quad (12)$$

При цьому рівняння (6) при його чисельній реалізації зводиться до системи лінійних алгебраїчних рівнянь з тридіагональною матрицею з урахуванням граничних умов для концентрації домішок та структури функції щільності джерел домішок $Q(x, y, t)$.

Результати досліджень. При чисельній реалізації методу проведено розрахунки тиску та рівня рідини в досліджуваній області. Досліджено вплив наявності ділянок, в яких рідина проникає за її межі, а виток рідини чинить вплив на конфігурацію течії.

На рис. 1 показано, що швидкість витoku рідини з досліджуваної області тим вища, чим глибше знаходиться зона витoku, крім того, результати розрахунків, подані на рис.1, засвідчують, що зміна величини горизонтальної компоненти швидкості є чуттєвою лиш в невеликому околі біля зони витoku.

На рис. 2 наведено розподіл концентрацій домішок при певному вигляді функції $Q(x, y, t)$, що характеризує щільність джерел забруднень при різних конфігураціях розподілу коефіцієнта дифузії.

На рис. 3 подано розподіл концентрації домішок по глибині, якщо глибина зони, на якій відбувається забруднення, складає 1,5 км. Встановлено, що при такій глибині концентрація шкідливої речовини на поверхні землі практично рівна нулю. Крім того, можна оцінити величину зони впливу джерела шкідливих речовин по ширині досліджуваної зони.

Проведені розрахунки носять тестовий характер, для вивчення реальних аварійних ситуацій необхідно мати інформацію про наступні фактори:

- швидкість прийняття заходів по відключенню аварійної ділянки;
- фізико-механічні параметри ґунтів;
- робочий тиск в трубопровідній системі.

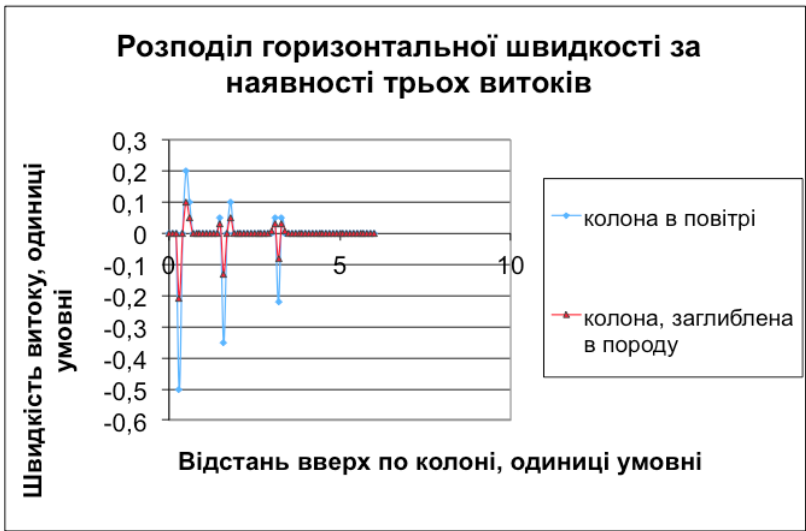


Рис. 1. Розподіл горизонтальної компоненти швидкості за наявністю трьох витоків

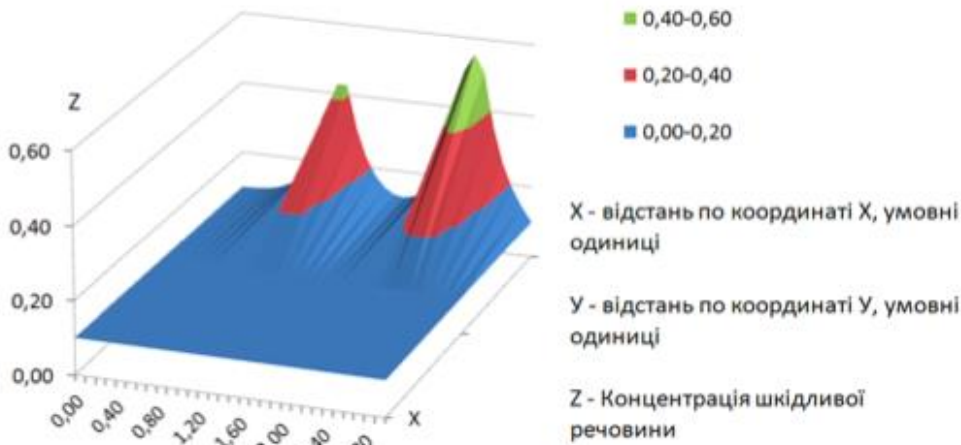


Рис. 2. Розподіл концентрації шкідливої речовини в модельній області за наявності витоків різної інтенсивності

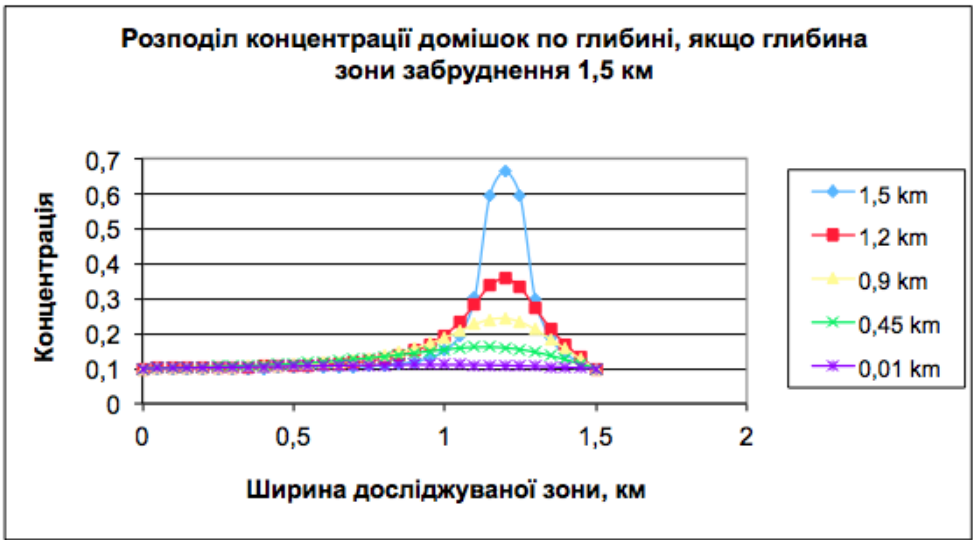


Рис. 3. Розподіл концентрації домішок на різних глибинах

При цьому поширення шкідливих речовин може мати таку картину (рис. 5, 6):

- верхня поверхня труби $\alpha=90^\circ$.

Викид має місце перпендикулярно осі труби, визначається перепадом тиску $p = p_0 - kx$, k - перепад тиску, при цьому величина k залежить від того, як швидко відповідні служби зупинять транспорт вуглеводнів аварійною ділянкою газопроводу.

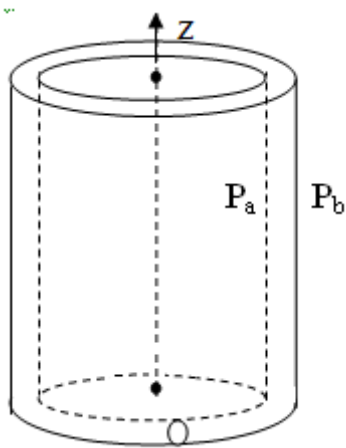


Рис. 4. Фрагмент труби

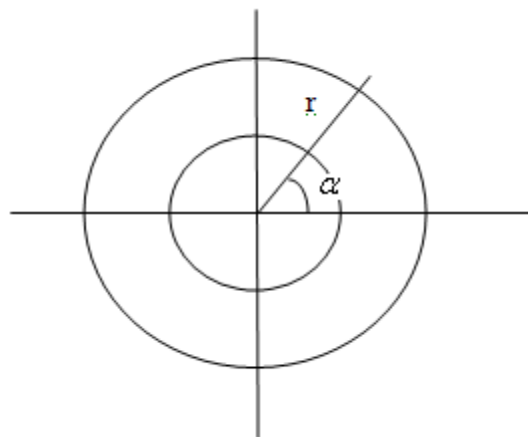


Рис. 5. Вибір координат в перерізі

При умові $k < 1$ реалізується стандартна модель дифузії (8):

$$0 \leq \alpha < 90$$

$$p = p_a + \rho g y + p_d$$

де p_a – атмосферний тиск; $\rho g y$ – тиск ґрунту на глибині залягання трубопроводу; p_d – тиск при втраті суцільності трубопроводом. Величина витоку залежить від p_d та комплексу $p_a + \rho g y$, вона обумовлює величину зони забруднення. Такі ж закономірності справедливі і для $0^\circ < \alpha < 90^\circ$. При $\alpha = 90^\circ$ можна оцінити глибину, на яку проникає забруднююча речовина із залежності

$$p_d = \rho g y,$$

звідки визначаємо умову, що робочий тиск в трубопроводі скадає 1 МПа. Густина породи 8000 кг/м куб, то глибина проникнення зарулюючх речовин в ґрунт сягає 12,5 метрів .

Висновки. Основними результатами роботи є :

- побудова комплексного математичного процесу поширення шкідливих речовин на основі рівняння Бусінеска та рівняння нерозривності з метою вивчення особливостей забруднення підземних вод;
- встановлення та реалізація широкого спектру граничних та початкових умов;
- розробка алгоритмів чисельної реалізації моделей на основі методів змінних напрямків для параболічного та методу верхньої релаксації для еліптичного рівняння;
- розробка програмного комплексу реалізації моделей;
- проведення тестових розрахунків для модельних зон забруднення ґрунтових вод.
- аналіз поширення продуктів аварійного витоку залежно від місця локалізації аварійних витоків властивостей ґрунтів, швидкості реагування на виникнення аварійної ситуації;
- отримання експрес-методу оцінки величини зони поширення продуктів, що транспортуються, в ґрунт при виникненні аварійних ситуацій.

Література

- 1 Мандрик О.М. Розвиток наукових основ підвищення рівня екологічної безпеки при транспортуванні природного газу: дис. на здоб. наук ступ. доктора техн. наук / О.М.Мандрик. Івано-Франківськ, 2013. 140 с.
- 2 Дубовой В.М., Квєгний Р.Н, Михальов О.І., Усов А.В. Моделювання та оптимізація систем : підручник. Вінниця: ПП «Едельвейс», 2017. 804 с.

- 3 Трубопровідний транспорт газу / М.П. Ковалко та ін. Київ: Агенство з раціонального використання енергії та екології, 2002. 600 с.
- 4 Олійник А.П. Математичні моделі процесу квазістаціонарного деформування трубопровідних та промислових систем при зміні їх просторової конфігурації: Наукове видання. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2010. 320 с.
- 5 Олійник А. П., Штаєр Л. О. Дослідження впливу параметрів релаксації на збіжність чисельного методу послідовної верхньої релаксації для задачі Діріхле. *Карпатські математичні публікації*. 2012. Т. 4, № 2. С. 289–296.
- 6 Олійник А.П., Мороз А.А. Математичне моделювання процесів забруднення ґрунтів як результату технологічних процесів. *МНТК «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій»*. Тернопіль, 2015. С. 22-24.
- 7 Фізико-хімічна геотехнологія: навч. посібник [Текст] / М. М. Табаченко, О. Б. Владико, О. Є. Хоменко, Д. В. Мальцев. Д.: Національний гірничий університет, 2012. 310 с.
- 8 Boger C. Production gas from its source. *Oilfield Review* [Текст] / Boger C., Kieschnick I., Lewis R. E. Waters G. Autumn 2006, P. 36-49.
- 9 Zhao C., Villiappan S. Finite element modeling of methane gas / Migration in coal seams. *Computers and structures*. 1995. V.55, No 4. P. 625–629.
- 10 Rice J. R., Cleary M. P. Some basic stress-diffusion solutions for fluid-saturated elastic porous media with compressible constituents. *Reviews of Geophysics and Space Physics*. 1992. No 14. P. 227–241.
- 11 Задачі термодифузії та методи їх розв'язку [Текст] / під ред. д.т.н. В. П. Ляшенко. Кременчук: КНУ ім. М. Остроградського, 2012. 112 с.

A. Oliynyk, O. Tuts
Ivano-Frankivsk National
Technical University of Oil and Gas

COMPLEX MATHEMATICAL PROCESS OF HARMFUL SUBSTANCES SPREAD DURING MAIN GAS PIPELINES ACCIDENTS

The article presents the analysis results of scientific and technical literature and other sources information on soil pollution during accidents at pipeline transportation facilities.

The gas supply system of Ukraine is a complex energy system characterized by long length, significant power, complex structure, different age and state of the main gas pipelines. The aging of gas pipelines, a large number of accidents, failures and damage to the linear part complicate the maintenance process of the gas transportation system and increase material costs.

In these conditions, the improvement of environmental safety to prevent accidents, the uninterrupted supply of natural gas, reduction of losses and negative impact on the environment are relevant issues. It has been established that with a gas pipeline laying depth of 1.5 m the concentration of harmful substance on the top of the ground is almost zero. In addition, the mathematical model makes it possible to estimate the impact area of the harmful substances source on the entire studied territory with one or several pipelines.

The performed calculations are of a test nature. To study the real emergency situations, it is necessary to have information about the following factors: the speed of measures on the fault section disconnection; physical and mechanical parameters of soils; working pressure in the pipeline system.

The proposed mathematical model will make it possible to analyze the spread of emergency leaks products depending on the location of emergency leaks of natural gas, properties of soils, speed of response and spread of an emergency situation.

Key words: gas pipelines, pollution, environment, soils, environmental safety.

References

- 1 Mandryk O.M. Rozvytok naukovykh osnov pidvyshchennia rivnia ekolohichnoi bezpeky pry transportuvanni pryrodnoho hazu: dys. na zdob. nauk stup. doktora tekhn. nauk / O.M.Mandryk. Ivano-Frankivsk, 2013. 140 s.

- 2 Dubovoi V.M., Kviehnyi R.N, Mykhalov O.I., Usov A.V. Modeliuvannia ta optymizatsiia system : pidruchnyk. Vinnytsia: PP «Edelveis», 2017. 804 s.
- 3 Truboprovodnyi transport hazu / M.P. Kovalko ta in. Kyiv: Ahenstvo z ratsionalnoho vykorystannia enerhii ta ekolohii, 2002. 600 s.
- 4 Oliinyk A.P. Matematychni modeli protsesu kvazistatsionarnoho deformuvannia truboprovodnykh ta promyslovykh system pry zmini yikh prostоровoi konfiguracyi: Naukove vydannia. Ivano-Frankivsk: IFNTUNH, 2010. 320 s.
- 5 Oliinyk A. P., Shtaier L. O. Doslidzhennia vplyvu parametriv relaksatsii na zbizhnist chyselnoho metodu poslidovnoi verkhnoi relaksatsii dlia zadachi Dirikhle. Karpatski matematychni publikatsii. 2012. T. 4, № 2. S. 289–296.
- 6 Oliinyk A.P., Moroz A.A. Matematyчне modeliuвання protsesiv zabrudnennia gruntiv yak rezultatu tekhnologichnykh protsesiv. MNTK «Fundamentalni ta prykladni problemy suchasnykh tekhnologii». Ternopil, 2015. S. 22-24.
- 7 Fyzyko-khimichna heotekhnolohiia: navch. posibnyk [Tekst] / M. M. Tabachenko, O. B. Vladyko, O. Ye. Khomenko, D. V. Maltsev. D.: Natsionalnyi hirnychy universytet, 2012. 310 s.
- 8 Boger C. Production gas from its source. Oilfield Review [Tekst] / Boger C., Kieschnick I., Lewis R. E. Waters G. Autumn 2006, R. 36-49.
- 9 Zhao C., Villiappan S. Finite element modeling of methane gas / Migration in coal seams. Computers and structures. 1995. V.55, No 4. P. 625–629.
- 10 Rice J. R., Cleary M. P. Some basic stress-diffusion solutions for fluid-saturated elastic porous media with compressible constituents. Reviews of Geophysics and Space Physics. 1992. No 14. P. 227–241.
- 11 Zadachi termodyfuzii ta metody yikh rozviazku [Tekst] / pid red. d.t.n. V. P. Liashenko. Kremenchuk: KNU im. M. Ostrohradskoho, 2012. 112 s.

*А. С. Федорів¹, Т. Б. Качала², А. В. Пукіш³**¹Науково-дослідний і проектний
інститут ПАТ „Укрнафта”,**²Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу,**³ПАТ „Укрнафта”*

ЗНЕШКОДЖЕННЯ ТА УТИЛІЗАЦІЯ НАФТОШЛАМІВ, ЩО УТВОРИЛИСЯ В ПРОЦЕСАХ ВИДОБУВАННЯ ТА ПІДГОТОВКИ НАФТИ

В статті проведено літературний огляд методів утилізації нафтовмісних відходів, що утворюються в результаті технологічних процесів видобування та підготовки нафти, аварійних розливів вуглеводнів, тощо. Тривале зберігання відходів у місцях їх видалення може спричинити до потрапляння нафтопродуктів у ґрунти та підземні води. Встановлено основні напрямки та тенденції сучасних способів утилізації нафтошламів, а саме: фізичних (розділення в полі відцентрових сил), фізико-хімічних (механічне роділення та реагентне оброблення відходів), термічних (спалювання, низькотемпературний піроліз), біотермічних (розкладання нафтошламу під впливом спеціальних мікроорганізмів). Вирішальним чинником, який буде визначати напрямки знешкодження та утилізацію нафтошламів є їхній склад і фізико-хімічні властивості. Найбільш економічно вигідною є переробка так званих «легких» нафтошламів, що плавають на поверхні води. Виявлено основні проблеми під час перероблення нафтовмісних відходів (неоднорідність якісного і кількісного складу відходів в місцях їх зберігання). Оцінено потенційний негативний вплив вуглеводнів у випадку їх потрапляння до компонентів довкілля. Проведено відбирання проб та визначення фізико-хімічних властивостей нафтовмісних відходів (густина, вміст механічних домішок, води). Запропоновано принципову технологічну схему знешкодження нафтошламів в залежності від їх фізико-хімічних властивостей. Запропонована технологічна схема дозволяє раціонально вибрати метод утилізації та ефективно знешкоджувати небезпечні відходи з отриманням товарних продуктів (нафта, піролізна нафта, напівкокс) та нетоксичної ґрунтосуміші. Запропоновано шляхи подальшого використання отриманих речовин.

Ключові слова: знешкодження, утилізація, нафтошлам, видобування, підготовка нафти

Вступ. Процеси видобування та підготовки нафти супроводжуються утворенням значної кількості нафтовмісних відходів. На даний час на більшості нафтогазодобувних підприємств відсутня ефективна технологія знешкодження та утилізації таких відходів. Тим більше така технологія була відсутня і в минулому, що сприяло накопиченню значної кількості нафтовмісних відходів у шламосховищах. Переважна більшість шламосховищ, які збудовані в минулому не відповідають сучасним вимогам безпечної експлуатації, які ставляться до такого роду об'єктів. В шламонакопичувачах нафтошлами можуть зберігатися протягом кількох десятків років. Все це створює значну потенційну загрозу забруднення атмосферного повітря, ґрунтів, підземних вод, що підтверджується результатами досліджень наведеними у роботі [1].

Огляд літературних джерел . У роботі [2] запропоновано використання нафтошламів у виробництві портландцементу. Встановлено, що введення 5 мас. % відходів газопереробки у сировинну суміш при випалі портландцементу дозволяє знизити робочу температуру випалу клінкеру на 200 °С без погіршення основних характеристик цементу. При цьому зростає час тужавіння бетону.

У роботі [3] проведено класифікацію способів знешкодження нафтовмісних відходів. Зокрема авторами виділено хімічний біологічний і термічний способи знешкодження. При цьому найбільшого поширення набув хімічний спосіб знешкодження. Автори зазначають, що значну перспективу має використання нафтовмісних відходів під час виробництва будівельних матеріалів.

Вченими [4] проведено аналіз способів утилізації нафтовмісних відходів, серед яких виділено екстракцію розчинником, ультразвукову обробку, центрифугування, оброблення поверхнево-активними речовинами, спалювання, заморожування, піроліз, мікрохвильове оброблення, електрокінетику, пінну флотацію, стабілізацію/затвердіння, окиснення, біообробку/компостування. Авторами описано переваги та недоліки кожного із способів утилізації

нафтошламів. При цьому вчені роблять висновок про необхідність розроблення нового економічно обґрунтованого способу утилізації нафтовмісних відходів.

У роботі [5] описано спосіб регенерації твердих і напівтвердих нафтошламів шляхом вилучення нафтопродуктів екстракцією з допомогою гасу. Автори стверджують, що такий метод є простішим та ефективнішим, а також дешевшим за інші аналогічні методи.

У роботі [6] запропоновано метод перероблення відходів у порошок, який може застосовуватись для дорожнього будівництва. Для отримання мінерального порошку використовується метод механічної активації. Для тонкого подрібнення мінеральних частинок використовується метод струминного помелу.

Останнім часом чітко прослідковується тенденція до екологізації виробництва, зокрема нафтовидобутку, що проявляється у забороні будівництва нових місць зберігання та накопичення нафтошламів та створення програм щодо утилізації відходів, що накопичилися за попередній період. Тому питання підбору економічно вигідних та екологічно безпечних методів сьогодні є дуже актуальним.

Всі запропоновані методи утилізації відходів можуть бути ефективно застосовані за певних умов (залежно від фізико-хімічних властивостей нафтовмісної субстанції). Через те, що нафтові шлами характеризуються стійкістю, високою густиною, мінливістю складу і властивостей з плином часу, проблема утилізації нафтових шламів до цього часу повністю не вирішена. Таким чином для налагодження безвідходного циклу переробки необхідно мати комплексний підхід, тобто застосування комбінованого методу.

Актуальності цій проблемі додає суттєвий вплив на компоненти довкілля нафтопродуктів, у випадку їх потрапляння у поверхневі та підземні води та ґрунти. Зокрема, гранично-допустима концентрація нафтопродуктів у водоймах рибогосподарського призначення становить $0,05 \text{ мг/дм}^3$, у водоймах комунально-побутового призначення – $0,3 \text{ мг/дм}^3$, питної води централізованого водопостачання – $0,1 \text{ мг/дм}^3$, у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання вміст нафтопродуктів не допускається. Граничний вміст нафтопродуктів у ґрунті становить не більше 1000 мг/кг . Все це вказує, що надходження навіть зовсім незначних обсягів нафтопродуктів здатне забруднювати значні території та водні об'єкти. Щодо атмосферного повітря, то зберігання нафтовмісних відходів у відкритих резервуарах та ємностях обумовлює постійне надходження парів легких вуглеводнів до атмосфери.

Методи досліджень. Визначення масової частки води в нафтошламах проводили за методом Діна-Старка. Для цього досліджуваний нафтошлам нагрівали у колбі з холодильником у присутності розчинника, що не змішується з водою. Розчинник переганяється разом із водою, що знаходиться в зразку. Конденсований розчинник і вода постійно розділялися в пастці (насадка Діна-Старка), причому вода залишалася в градуйованому відсіку пастки, а розчинник повертався в дистиляційну посудину.

Вміст механічних домішок проводили методом фільтрування досліджуваного нафтошламу з попереднім розчиненням його в бензині або толуолі та промиванням осаду на фільтрі розчинником з подальшим висушуванням і зважуванням.

Результати досліджень та їх обговорення. Під впливом атмосферних чинників, в процесі зберігання нафтошламів відбувається їхнє “старіння” – підвищення стійкості до розділення фаз (води та нафти) за рахунок концентрування та адсорбції твердих стабілізаторів емульсій на міжфазній поверхні. Частка легких вуглеводневих фракцій зменшується через процеси випаровування, а частка асфальтено-смолопарафінових речовин, механічних домішок збільшується, в результаті чого, нафтошлами перетворюються на стійку слабоплинну суміш важких компонентів нафти механічних домішок та води. Такі суміші не піддаються розділенню термохімічними методами, на відміну від свіжовидобутих нафтових емульсій.

Відповідно до класифікації, запропонованої [7] всі шлами прийнято поділяти на:

- ті, що плавають на поверхні води;
- донні;
- немасляні (вміст нафти $< 2\%$).

Всі інші шлами розглядаються як нестабільні, які з плином часу мимоволі перейдуть в один з вищезазначених.

Вирішальним фактором, який буде визначати напрямки знешкодження та утилізацію нафтошламів є їхній склад і фізико-хімічні властивості. Найбільш економічно вигідною є переробка так званих «легких» нафтошламів, що плавають на поверхні води.

З метою визначення найбільш ефективного технологічного підходу з утилізації відходів в нафтошламах необхідно встановити вміст цінних компонентів – вуглеводнів, кількість яких розраховують як залишок після віднімання баласту (механічних домішок та води). Нами проведено дослідження фізико-хімічних властивостей нафтошламів, що зберігаються на об’єктах західного нафтопромислового регіону. Результати досліджень наведено у таблиці.

Таблиця

Результати досліджень фізико-хімічного складу нафтошламів

Назва об’єкта	Густина за температури 20 °С, г/см ³ (мін-макс)	Масова частка води, % (мін-макс)	Масова частка механічних домішок, % (мін-макс)
Ставок-нагромаджувач № 1	0,932 - 0,956	30,3 - 41,0	0,63 - 10,4
Ставок-нагромаджувач № 2	0,946 - 0,994	20,27 - 30,04	5,17 - 15,54
Ставок-нагромаджувач № 3	0,958 - 0,962	19,37 - 30,85	8,11 - 11,3
Ставок-нагромаджувач № 4	0,910 - 1,067	16,05 - 31,79	0,36 - 21,92
Ставок-нагромаджувач № 5	0,986 - 1,009	39,27 - 41,77	9,52 - 11,08
Ставок-нагромаджувач № 6	0,982 - 1,001	33,3 - 41,7	8,36 - 10,99

Як видно з результатів досліджень густина нафтошламу коливається у межах від 0,932 г/см³ до 1,001 г/см³. Масова частка води в досліджуваних відходах коливалась в широких межах від 19,37 % до 41,77 % від загальної маси. Вміст мінеральної частини становив 0,36 % до 21,92 %.

На сьогоднішній день, перспективними є технології, що дозволяють ефективно знешкоджувати нафтовмісні відходи з мінімальним впливом на навколишнє середовище, при цьому які дають змогу отримувати з відходів цінні сировинні ресурси, при мінімальних капітальних затратах. Технології з переробки відходів нафтогазовидобування можливо розділити на наступні методи:

- 1) термічний – це спалювання у відкритих амбарах, печах різних типів, газифікація, піроліз [8];
- 2) механічний – це перемішування, відстоювання і фізичне розділення нафтошламів за допомогою декантерів;
- 3) хімічний – це екстрагування з допомогою розчинників, затвердіння із застосуванням неорганічних компонентів;
- 4) фізико-хімічний – це інтенсифікація фізичного методу на основі застосування спеціально підібраних хімічних реагентів;
- 5) біологічний – це мікробіологічне розкладання нафтопродуктів в ґрунті безпосередньо в місцях зберігання, біотермічне розкладання;
- 6) комбіновані методи – поєднання вище перерахованих методів.

На рисунку нами запропонована схема комплексної утилізації нафтошламів з вилученням ресурсноцінних продуктів (вуглеводнів).

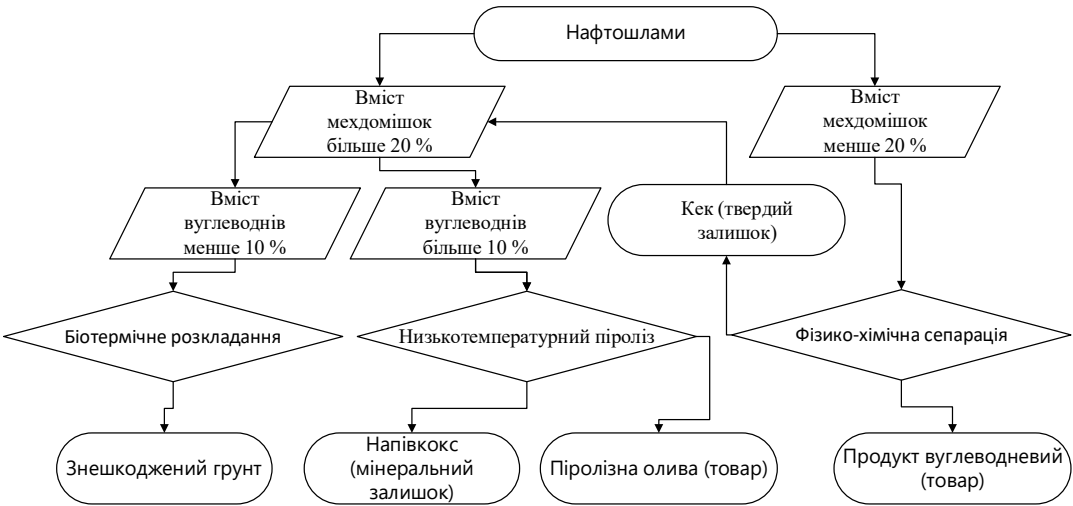


Рис. Схема знешкодження та утилізації нафтошламів різного типу

Нафтошлами в залежності від вмісту мехдомішок (більше чи менше 20 % за масою) утилізуються різними методами. Зокрема нафтошлам із вмістом вуглеводневої частини більше 20 % піддається фізико-хімічному вилученню вуглеводнів шляхом центрифугування із застосуванням спеціальних хімічних реагентів (деемулгатори, флокулянти). Залишкова частина - твердий кек, який в основному складається із механічних домішок з вмістом важких вуглеводнів, в подальшому проходить обробку згідно технології для нафтошламу, що містить вуглеводні у кількості менше 20 %.

Нафтошлам із вмістом вуглеводнів менше 20 % може утилізуватись двома шляхами. При вмісті вуглеводнів більше 10 % відходи доцільно знешкоджувати шляхом низькотемпературного піролізу. В результаті перероблення утворюється піролізна олива та напівкокс (мінеральний залишок). Піролізна олива є товарним продуктом і може використовуватись як сировина для одержання палива або безпосередньо як паливо (аналог мазуту). Напівкокс є нетоксичним, екологічно безпечним продуктом і може бути використаний в якості сорбента, наповнювача при виготовленні дорожньо-будівельних матеріалів.

Нафтошлам із вмістом вуглеводнів менше 10 % знешкоджується шляхом біотермічного розкладання з використанням спеціальних препаратів-біодеструкторів, які включають мікроорганізми, що здатні знешкоджувати вуглеводні. При цьому нафтошлами розміщуються на спеціальних майданчиках, де проводиться їх оброблення – додавання біодеструктора, спецкомпонентів (торф, солома), полив, перемішування, тощо. В результаті біологічної обробки на майданчика утворюється ґрунтосуміш, яка не містить вуглеводнів або містить їх у допустимих концентраціях, які не перевищують ГДК. Відповідно до гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті, затверджених Наказом Міністерства охорони здоров'я України № 1595 від 14 липня 2020 року ГДК нафтопродуктів у ґрунті становить 1000 мг/кг.

Висновки: Відсутність ефективних способів перероблення нафтовмісних відходів зумовило накопичення значних їх обсягів на нафтовидобувних та нафтопереробних підприємствах. Накопичення небезпечних відходів становить значну потенційну небезпеку для компонентів довкілля. В результаті проведених досліджень запропонована комплексна схема знешкодження та утилізації нафтошламів, в залежності від їх фізико-хімічних властивостей, яка дозволяє ефективно знешкоджувати небезпечні відходи з отриманням товарних продуктів та нетоксичної ґрунтосуміші. Запропоновано шляхи подальшого використання отриманих речовин.

Література

- 1 Троценко, А. В. Дослідження впливу на навколишнє середовище місць зберігання нафтошламів / А. В. Троценко, П. Г. Дригулич, А. В. Пукіш // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. - 2010. - № 1. - С. 171-177.
- 2 ЦАПКО, Н. С. Використання відходів нафтохімії у виробництві цементу. Вісник Харківського національного університету імені ВН Каразіна, серія" Геологія. Географія. Екологія", 2015, 43: 200-205.
- 3 Ragimova, K., & Abdullayeva, N. (2015). Особливості знешкодження нафтовмісних промислових відходів. *Науковий вісник НЛТУ України*, 25(3), 106-112. вилучено із <https://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/1133>
- 4 JOHNSON, Olufemi Adebayo; AFFAM, Augustine Chioma. Petroleum sludge treatment and disposal: A review. *Environmental Engineering Research*, 2019, 24.2: 191-201.
- 5 EL NAGGAR, A. Y., et al. Petroleum cuts as solvent extractor for oil recovery from petroleum sludge. *Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels*, 2010, 1.1: 10-19.
- 6 Орфанова, Марія Михайлівна Удосконалення засобів і методів зменшення відходів нафтогазового виробництва : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 21.06.01 "Екологічна безпека" / М. М. Орфанова ; Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу. - Івано-Франківськ, 2008. - 18 с. - 14-16.
- 7 Berne, F, and Cordonnier, J. Industrial water treatment. Refining petrochemicals and gas processing techniques. France: N. p., 1995. ISBN : 9782710806738 Web. 266 pages
- 8 Zhiwei Chu, Yingjie Li, Chunxiao Zhang, Yi Fang, Jianli Zhao, A review on resource utilization of oil sludge based on pyrolysis and gasification, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Volume 11, Issue 3, 2023, 109692, ISSN 2213-3437, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109692>.

A.Fedorov¹, T. Kachala², A. Pukish³

¹*Research and Design Institute*

Public PJSC "Ukrnafta",

²*Ivano-Frankivsk National*

Technical University of Oil and Gas,

³*PJSC "Ukrnafta"*

NEUTRALIZATION AND DISPOSAL OF OIL SLUDGES FORMED DURING OIL EXTRACTION AND TREATMENT

The article provides a literature review of the disposal methods of oil-containing waste formed as a result of technological processes of oil extraction and treatment, emergency spills of hydrocarbons, etc. The long-term storage of waste in places of its extraction can result in petroleum products entering the soil and underground water. The main directions and trends in modern methods of oil sludge disposal have been established, namely: physical (separation in the centrifugal force field), physico-chemical (mechanical separation and reagent treatment of waste), thermal (incineration, low-temperature pyrolysis), biothermal (decomposition of oil sludge under the influence of special microorganisms). The decisive factors that will determine the direction of neutralization and disposal of oil sludge are their composition and physical and chemical properties. The most economically beneficial is the processing of so-called "light" oil sludge floating on the surface of water. The main problems during processing of oil-containing waste have been identified (heterogeneity of the qualitative and quantitative composition of waste in the places of its storage). The potential negative impact of hydrocarbons in case they get into the components of the environment has been estimated. Sampling and determination of physico-chemical properties of oil-containing waste (density, content of mechanical impurities, water) have been carried out. A basic technological scheme for neutralization of oil sludges has been proposed depending on their physical and chemical properties. The proposed technological scheme helps to rationally choose a disposal method and effectively neutralize hazardous waste with the production of commercial products (oil, pyrolysis oil, semi-coke) and a non-toxic soil mixture. The ways of further use of the obtained substances have been proposed.

Keywords: neutralization, disposal, oil sludge, extraction, oil treatment.

References

- 1 Trotsenko, A. V. Doslidzhennya vplyvu na navkolyshnye seredovyshe mist' zberihannya naftoshlamiv / A. V. Trotsenko, P. H. Dryhulych, A. V. Pukish // Naukovyy visnyk Ivano-Frankivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu nafty i hazu. - 2010. - № 1. - S. 171-177.
- 2 TSAPKO, N. S. Vykorystannya vidkhodiv naftokhimiyyi u vyrobnytstvi tsementu. Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho universytetu imeni VN Karazina, seriya "Heolohiya. Heohrafiya. Ekolohiya", 2015, 43: 200-205.
- 2 Ragimova, K., & Abdullayeva, N. (2015). Osoblyvosti zneshkodzhennya naftovmisnykh promyslovykh vidkhodiv. Naukovyy visnyk NLTU Ukrayiny, 25(3), 106-112. vylucheno iz <https://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/1133>
- 3 JOHNSON, Olufemi Adebayo; AFFAM, Augustine Chioma. Petroleum sludge treatment and disposal: A review. Environmental Engineering Research, 2019, 24.2: 191-201.
- 4 EL NAGGAR, A. Y., et al. Petroleum cuts as solvent extractor for oil recovery from petroleum sludge. Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels, 2010, 1.1: 10-19.
- 5 Orfanova, Mariya Mykhaylivna Udoshkonalennya zasobiv i metodiv zmenshennya vidkhodiv naftohazovoho vyrobnytstva : avtoref. dys. na zdobuttya nauk. stupenya kand. tekhn. nauk : spets. 21.06.01 "Ekolohichna bezpeka" / M. M. Orfanova ; Ivano-Frankiv. nats. tekhn. un-t nafty i hazu. - Ivano-Frankivs'k, 2008. - 18 s. - 14-16.
- 6 Berne, F.. Ochystka stochnykh vod neftepererabotky [Tekst] : Per.s fr. / F. Berne ; Podhotovka vodnykh system okhlazhdenyia : Per.s fr. / ZH. Kordon'e. - M. : Khymyia, 1997. - 288 s. - Al'ternatyvnoe nazvanye : Vodoochystka/ F.Berne, ZH.Kordon'e. - ISBN 5-7245-1097-9. - ISBN 2-7108-0613-4. - ISBN 0768-147X.
- 7 Zharov, O.A. Sovremennye metody pererabotky nefteshlamov / O.A. Zharov, V.L. Lavrov // Ékolohyya proyzvodstva. – 2004. – №5. – S. 43 – 51.

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ОЦІНКА СТАНУ ДОВКІЛЛЯ

УДК 502:517

DOI: 10.31471/2415-3184-2023-1(27)-66-74

І. Я. Климчук, Л. М. Архипова
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН КЛІМАТУ В КАРПАТСЬКОМУ РЕГІОНІ: НАСЛІДКИ ТА ВИКЛИКИ ДЛЯ ГІРСЬКОЛИЖНИХ КУРОРТІВ

Зміна клімату – це глобальне явище, яке має значний вплив на екосистеми та природні ресурси. Карпатський регіон, розташований у Центральній Європі, є особливо вразливим до наслідків зміни клімату, враховуючи його різноманітні екосистеми, включаючи ліси, гори та річки, а також залежність від цих ресурсів для його соціально-економічного розвитку. Це дослідження вивчає вплив зміни клімату на Карпатський регіон за останні 40 років. Особлива увага приділена змінам клімату на різних висотах.

Використовуючи дані з численних метеорологічних та гідрологічних станцій Карпатського регіону, проаналізовано зміни температури та опадів, зокрема на різних висотах. Аналіз показав, що в регіоні спостерігається загальне потепління, за майже 40 років температура в регіоні зросла на 2,4°C та зменшення кількості опадів із загальним зменшенням за майже 40 років на 117 мм. Висувається припущення, що ці зміни можуть суттєво вплинути на потік водних джерел у регіоні, оскільки в районах з низькою кількістю опадів і високими температурами спостерігається зниження доступності води.

Зменшення доступності води може мати серйозні наслідки для соціально-економічного розвитку Карпатського регіону, особливо в туристичному і сільськогосподарському секторі, які значною мірою залежать від водних ресурсів. Крім того, зміни у водному потоці можуть вплинути на природні екосистеми регіону, які вже перебувають під тиском людської діяльності та змін у землекористуванні.

Дослідження підкреслює важливість використання передових технологій, таких як супутниковий збір даних для моніторингу довкілля. Результати цього дослідження свідчать про те, що супутниковий збір даних є більш точним, достовірним і ефективним методом збору даних, ніж традиційні наземні вимірювання та дані отримані з найближчих метеостанцій.

Ключові слова: Карпатський регіон, зміни клімату, опади, температура, тренд, різні висоти.

Постановка проблеми: Карпатський регіон є життєво важливою екосистемою, яка підтримує низку туристичних, сільськогосподарських та екологічних систем. Однак цей регіон стикається із загрозою зміни клімату, яка спричиняє значні зміни температури, кількості опадів та структури водних потоків. Проблема полягає в тому, що ці зміни призводять до зменшення потоку води та її доступності, особливо в районах з низькою кількістю опадів і високими температурами. Це має серйозні наслідки для туристичних, сільськогосподарських та екологічних систем, а також для населення, яке залежить від цих ресурсів. Незважаючи на важливість цього питання, існує невелика кількість досліджень щодо впливу зміни клімату на водні ресурси в Карпатському регіоні. Тому існує потреба дослідити вплив зміни клімату на водні ресурси в цьому регіоні, щоб розробити ефективні стратегії моніторингу та управління цими ресурсами в контексті триваючої зміни клімату. Це дослідження має на меті заповнити цю критичну прогалину в знаннях, проаналізувавши зміни температури, кількості опадів за останні 40 років.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вплив зміни клімату на водні ресурси в гірських регіонах стає все більш важливою темою досліджень в останні роки. Огляд останніх досліджень і

публікацій на цю тему свідчить про те, що зростає кількість доказів, які вказують на те, що зміна клімату має значний вплив на доступність і якість водних ресурсів у гірських регіонах, зокрема в Карпатах.

Одним з досліджень, яке виділяється, є робота Молдован І.А. та її колег (2020), які використовували супутникові дані для аналізу змін снігового покриву і танення льодовиків у Карпатах. Вони виявили, що сніговий покрив зменшувався протягом останніх кількох десятиліть, що призвело до змін у часі та величині водного потоку в гірських річках. Вони також виявили, що танення льодовиків стає все більш важливим джерелом води в регіоні, що має наслідки для управління та планування водних ресурсів.

Ще одним помітним дослідженням є робота Овсепяна А. та його колег (2021), які досліджували вплив зміни клімату на водні ресурси у Вірменському нагір'ї, що має багато спільного з Карпатами. Вони виявили, що за останні кілька десятиліть у регіоні спостерігається зменшення кількості опадів і підвищення температури, що призвело до змін у доступності та якості води. Вони також виявили, що регіон вразливий до посух і дефіциту води, що має наслідки для сільського господарства і населених пунктів [6].

Крім того, з'являється все більше досліджень, які зосереджуються на соціальному та економічному впливі зміни клімату на гірські регіони. Наприклад, у дослідженні Такаакі К. [7] з колегами (2020) вивчався вплив зміни клімату на туристичну галузь в японських Альпах. Вони виявили, що зміни снігового покриву та погодних умов призвели до занепаду гірськолижного туризму, що мало економічні та соціальні наслідки для гірських громад.

Загалом, ці дослідження підкреслюють нагальну потребу в удосконаленні стратегій моніторингу, управління та адаптації до впливу зміни клімату на водні ресурси в гірських регіонах, зокрема в Карпатах. Вони також підкреслюють важливість міждисциплінарних досліджень, які враховують як фізичні, так і соціальні аспекти цього критичного питання.

Мета та завдання роботи. Мета роботи полягає в оцінці змін клімату в Карпатському регіоні.

Основним завданням даної роботи є збір і аналіз ключових метеорологічних даних, таких як температура повітря та кількість опадів за майже 40 років, та виявлення різноманітних залежностей впливу кліматичних показників на дебіт природних водних джерел. Пошук найточнішого методу збору даних.

Викладення основного матеріалу. Паризька угода 2015 року встановлює глобальні рамки для обмеження рівня глобального потепління значно нижче 2°C, переважно до 1,5°C (градусів Цельсія), порівняно з доіндустріальним рівнем. Для досягнення цієї глобальної температурної мети країни прагнуть якнайшвидше скоротити зростання викидів парникових газів, а потім швидко скорочувати їх, ґрунтуючись на найкращих наявних наукових даних, економічній та соціальній доцільності [8].

Наслідки зміни клімату вже добре помітні щодо підвищення температури повітря, танення льодовиків і зменшення полярних крижаних шапок, підвищення рівня моря, посилення опустелювання, а також по екстремальних погодних явищах, таких як хвилі спеки, посухи, повені і шторми. Зміна клімату не є глобально рівномірною та впливає на деякі регіони більше, ніж на інші. На наступних діаграмах представлено, як зміна клімату вплинула на досліджувані пункти за останні 40 років, як джерело даних використовується ERA5, атмосферний реаналіз глобального клімату п'ятого покоління ECMWF, що охоплює часовий діапазон з 1979 по 2021 рік з просторовою роздільною здатністю 30 км [1].

Мікроклімати та місцеві відмінності не відображаються. Тому температура часто буде вищою, ніж показано на екрані, особливо в містах, а кількість опадів може змінюватись в залежності від рельєфу місцевості.

Для збору даних і їх аналізу використовувався сервіс Meteoblue. Meteoblue використовує передові технології для створення, відображення та розповсюдження даних про погоду. Meteoblue обчислює запатентовані моделі симуляції погоди з високою роздільною здатністю. Важливо, що жодна модель погоди (її також називають «автономною» або «необробленою») не є ідеальною. Залежно від погодної ситуації, місця розташування, пори року чи навіть часу доби один прогноз може бути точнішим за інший [1].

Щоб краще зрозуміти масштаби кліматичних змін у Карпатському регіоні, було зібрано кліматичні дані у 20 різних точках на різних висотах, зокрема, акцентовано увагу на температурі та рівню опадів за останні кілька десятиліть, щоб виявити будь-які значні зміни в кліматичних

показниках. На меті було дізнатися різницю зміни клімату на різноманітних висотах, особливо на вершинах Карпатських гір та в підніжжі рис.1 [2].

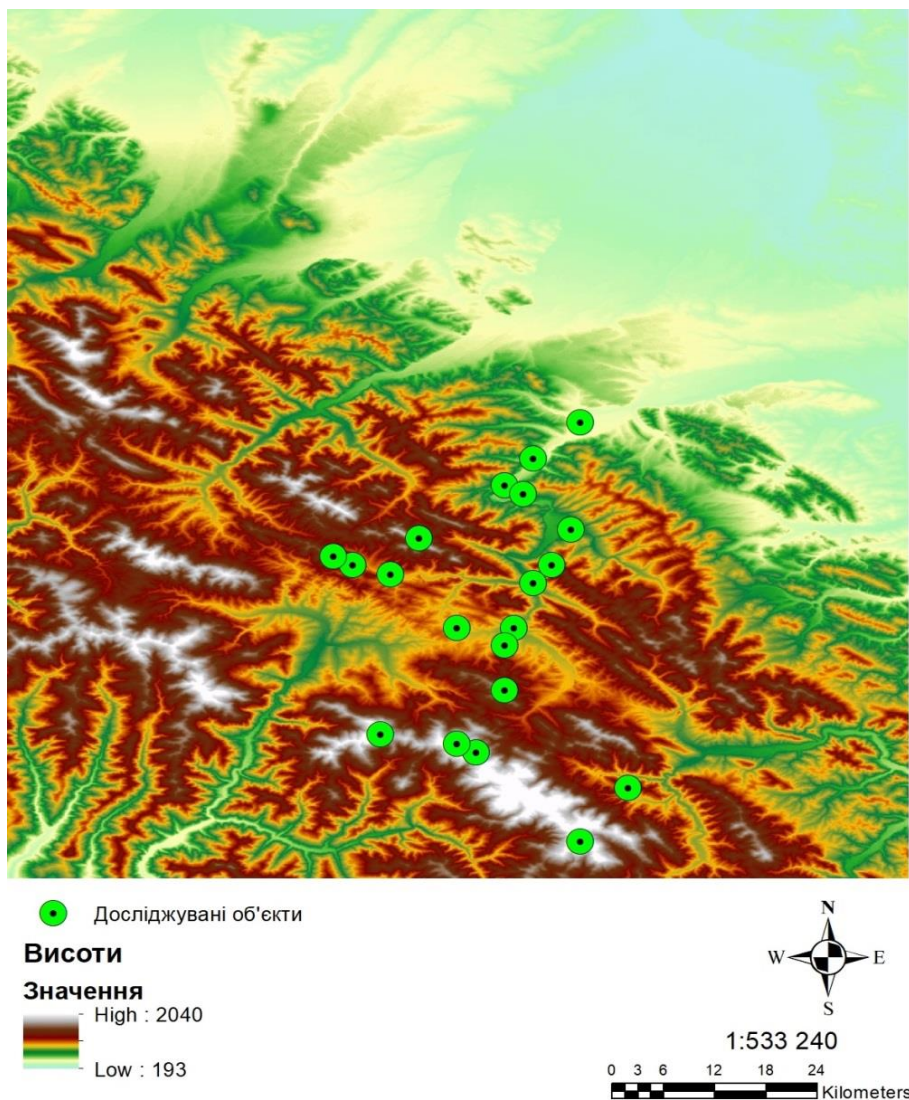


Рис. 1. Карта абсолютних висот досліджуваної території з точками аналізу метеорологічних параметрів

Результати дослідження виявили чітку тенденцію до підвищення температури та зменшення кількості опадів у регіоні за останні кілька десятиліть. Це викликає занепокоєння, оскільки має значні наслідки для доступності та якості водних ресурсів у регіоні, що, в свою чергу, впливає на туристичну сферу та інші аспекти місцевої економіки [10].

Проаналізовані метеорологічні дані, наведені в табл. 1, на початку та наприкінці тренду, надали можливість отримання кількісних параметрів змін температури та опадів у часі в кожному з 20 пунктів спостережень за 40 років.

Аналіз залежності змін клімату від висоти місцевості не виявив суттєвих закономірностей. Отже, для більш детального аналізу розглянемо територію найбільшого гірськолижного курорту Буковель, що знаходиться в Івано-Франківській області.

Буковель, розташований в українських Карпатах, є одним з найпопулярніших туристичних напрямків у регіоні [11]. Завдяки своєму стратегічному розташуванню, Буковель був обраний як місце для збору даних про зміну клімату в Карпатському регіоні. Також проаналізувавши метеорологічні дані інших популярних туристичних місць в регіоні, було визначено, що подібна ситуація спостерігалася і в інших місцях, де проводився аналіз даних [3].

Дані, зібрані в Буковелі, виявили тенденцію до підвищення температури та зменшення кількості опадів, що збігається з результатами, отриманими в інших місцях регіону. Це підкреслює масштаби зміни клімату в Карпатах і необхідність постійного моніторингу та досліджень для кращого розуміння його впливу на екосистему та природні ресурси регіону [4].

Таблиця 1

Кількісні показники зміни середньорічної температури повітря та річної суми опадів за 40 років на різних абсолютних висотах в Карпатському регіоні

№	Місце дослідження	Висота, м.н.р.м.	Середньорічна температура за 1979-2021 рр., С°			Середньорічні опади за 1979-2021 рр., мм.		
			початок тренду, С°	кінець тренду, С°	ріст темп. за 40 років, на С°	початок тренду, мм	кінець тренду, мм	зменшення річної суми опадів, мм
1	Яремче	580	6	8,3	2,3	1051,1	942,4	108,7
2	Делятин	419	6	8,3	2,3	1051,1	942,4	108,7
3	Микуличин	716	4,50	7	2,5	1255,9	1070,8	185,1
4	г.Синяк	1613	2,9	5,4	2,5	1484,4	1373,6	110,8
5	Дземброня	917	3,7	6,2	2,5	1253,9	1120,6	133,3
6	г.Пожижевськ	1794	2,7	5,1	2,4	1301,7	1201,2	100,5
7	Вороненко	920	3,7	6,2	2,5	1253,9	1120,6	133,3
8	г.Кукул	1526	2,7	5,1	2,4	1301,7	1201,2	100,5
9	Ямна	600	6	8,3	2,3	1051,1	942,4	108,7
10	Буковель	1163	2,9	5,4	2,5	1484,4	1373,6	110,8
11	г. Довга	1295	3,3	5,8	2,5	1376,1	1226,6	149,5
12	г. Петрос	2020	2,7	5,1	2,4	1301,7	1201,2	100,5
13	Ворохта	850	4,5	7	2,5	1255,9	1170,8	85,1
14	Поляниця	878	3,7	6,2	2,5	1253,9	1120,6	133,3
15	г. Ягідна	1168	3,7	6,2	2,5	1253,9	1120,6	133,3
16	Дора	481	6,5	8,8	2,3	999,6	921,4	78,2
17	г. Говерла	2061	2,7	5,1	2,4	1301,7	1201,2	100,5
18	г. Осередок	887	3,7	6,2	2,5	1253,9	1120,6	133,3
19	г. Піп Іван	2022	2,7	5,1	2,4	1301,7	1201,2	100,5
20	Татарів	685	5,3	7,7	2,4	1110,6	989,6	121

На верхньому графіку рис. 2 показано відхилення середньомісячних температур червня від середньобагаторічної норми для кожного місяця (Червня) з 1979 року до теперішнього часу. Аномалія показує, наскільки місяць був теплішим або холоднішим за середній кліматичний показник за більше ніж 43 роки (1979-2022 рр.). Таким чином, червоні місяці були теплішими, а сині - холоднішими ніж норми. У більшості місць із роками спостерігається збільшення кількості теплих місяців, що відображає глобальне потепління, пов'язане зі зміною клімату.

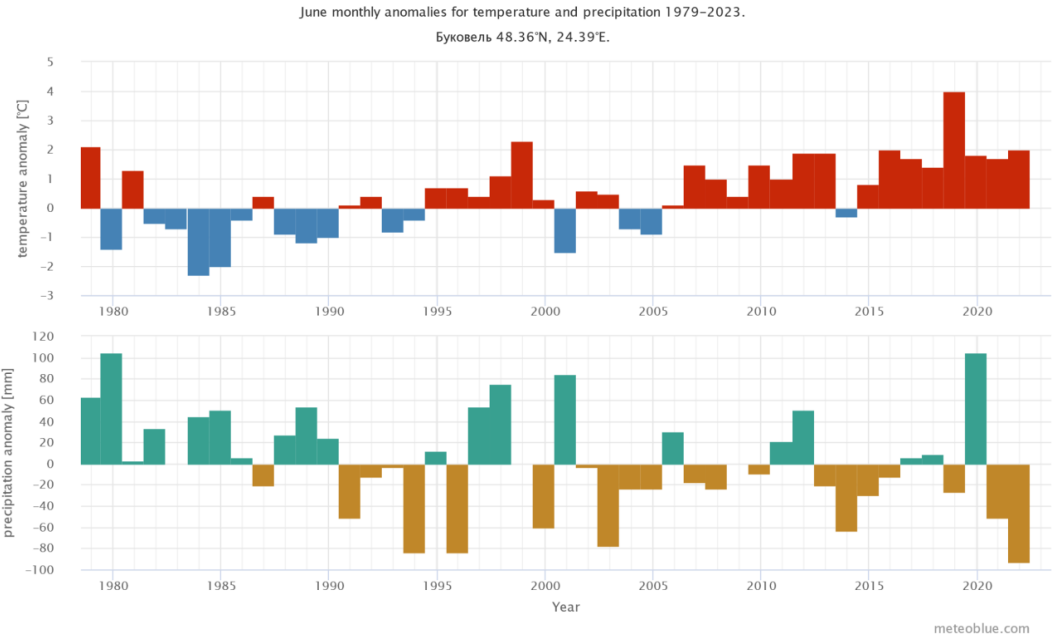


Рис. 2. Відхилення середньомісячної температури та суми опадів за червень в період 1979-2022 року від середньобагаторічного значення

На нижньому графіку рис. 2 показано відхилення місячних червневих сум опадів від середньобаторічної норми для кожного місяця (Червня) з 1979 року до теперішнього часу. Аномалія показує, у якому місяці випало більше чи менше опадів, ніж у середньому за 43 роки 1979-2022 років. Таким чином, зелені місяці були більш мокрими, а коричневі - більш сухими, ніж зазвичай [5].

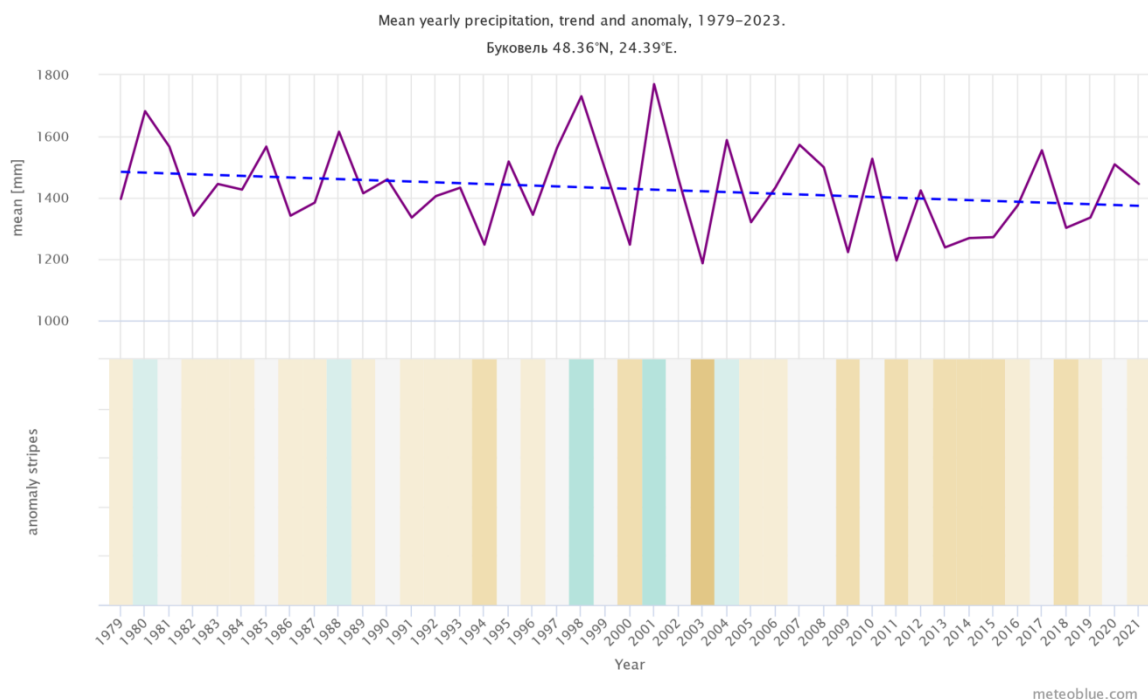


Рис. 3. Лінія тренду зміни кількості опадів в період 1979-2022 року

Таким чином, можемо візуально спостерігати збільшення температури повітря та зниження кількості опадів на прикладі місяця червня за останні 43 роки.

На верхньому графіку рис. 3 показано оцінку середньої кількості опадів для великого регіону Буковель. Пунктирна синя лінія – це лінійна тенденція зміни клімату. Якщо лінія тренду йде вгору ліворуч, то тенденція випадання опадів позитивна і в Буковелі стає вологіше через зміну клімату. Якщо лінія горизонтальна, то чіткої тенденції не видно, а якщо вона йде вниз, то умови в Буковелі згодом стають сушішими.

У нижній частині графіка рис. 3 показані кольором смуги опадів. Кожна кольорова смуга є загальною кількістю опадів за рік: синя - більш мокрі роки, червона - більш сухі.

Таким чином, бачимо, що лінійна тенденція зміни клімату вказує на зменшення опадів і збільшення посушливих років.

На верхньому графіку рис.4 показано оцінку середньорічної температури для великого регіону Буковель. Пунктирна синя лінія – це лінійна тенденція зміни клімату. Якщо лінія тренду піднімається зліва направо, то тенденція зміни температури позитивна і в Буковелі стає тепліше через зміну клімату. Якщо лінія горизонтальна, то чіткої тенденції не видно, а якщо вона йде вниз, то умови в Буковелі згодом стають холоднішими.

У нижній частині графіка рис.3 показані кольором смуги потепління. Кожна кольорова смуга є середньою температурою за рік: синя - більш холодні роки, червона - більш теплі.

На графіку, що представляє зібрані кліматичні дані з Буковелю, простежується чітка тенденція до підвищення середньорічної температури повітря за останні кілька десятиліть. Це тривожна тенденція, оскільки вона свідчить про вплив зміни клімату на Карпатський регіон.

Наступний графік рис.5, який ілюструє середньомісячні зміни температури повітря та кількості опадів протягом досліджуваного періоду. Графік розділений на дві частини: верхня частина відображає зміни температури, а нижня - зміни опадів.

Дивлячись на зміни температури, очевидно, що графік показує чітку тенденцію до підвищення температури протягом 40-річного періоду дослідження. Лінійний графік відображає середньомісячну зміну температури за ці роки, і видно, що найвищі зміни температури відбуваються в літні місяці червень, липень і серпень, тоді як найнижчі зміни температури

відбуваються в зимові місяці грудень, січень і лютий. Середньомісячне підвищення температури становить приблизно 0,1-0,3°C за десятиліття, з більш значним підвищенням на 1,2-1,5°C протягом літніх місяців.

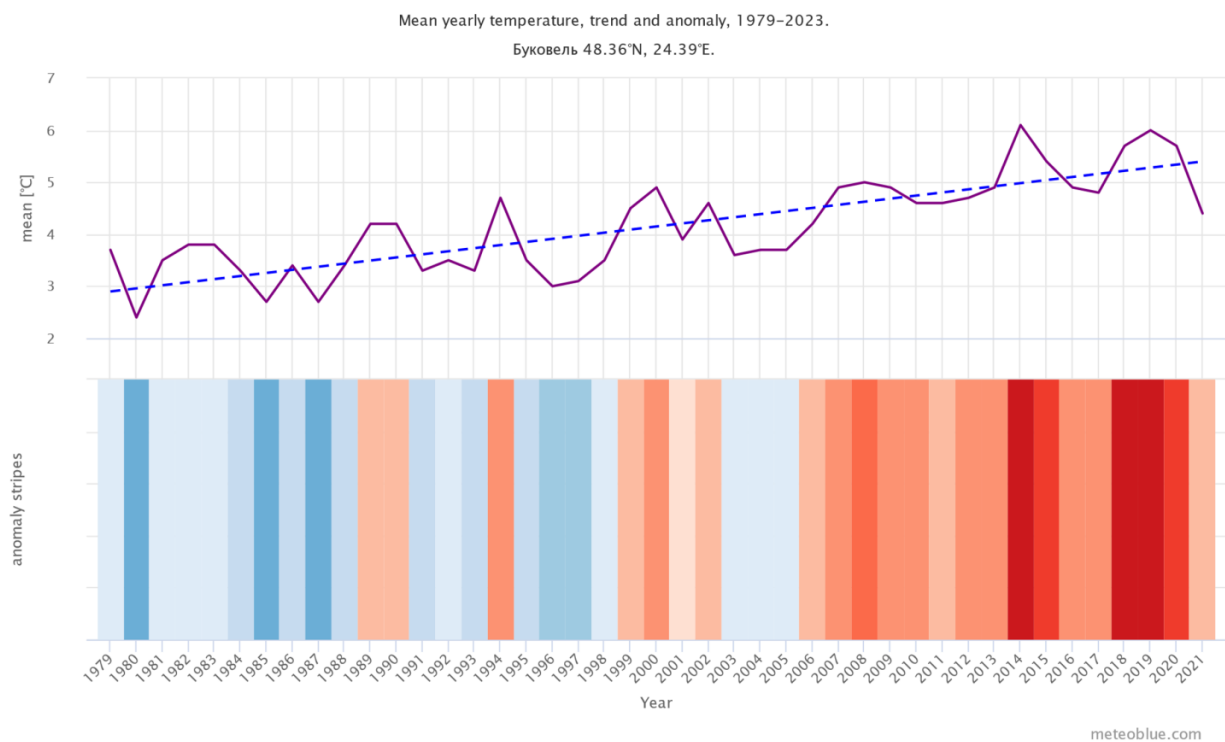


Рис. 4. Збільшення середньорічної температури впродовж 1979-2022 років

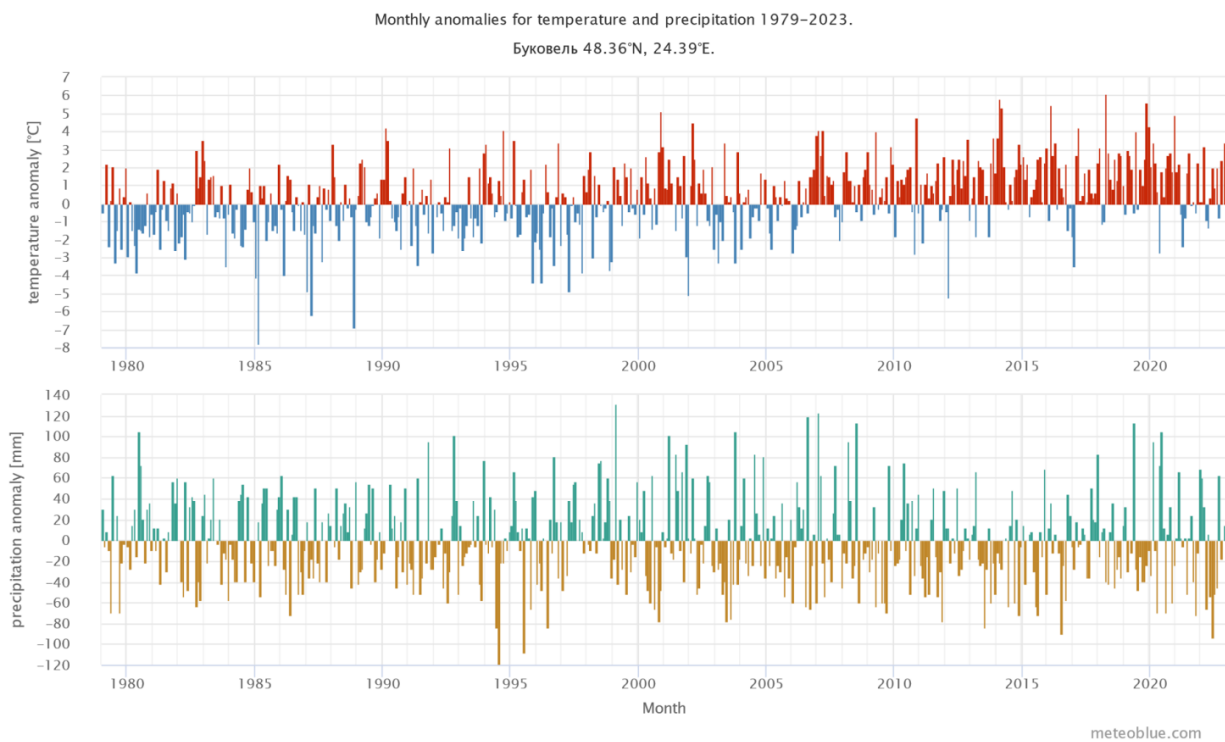


Рис. 5. Середньомісячна аномалія зміни температури та опадів впродовж 1979-2022 років

З іншого боку, нижня частина графіка показує зміни кількості опадів за той самий досліджуваний період. Графік ілюструє чітку тенденцію до зменшення кількості опадів у Карпатському регіоні протягом досліджуваного періоду. Лінійний графік відображає середньомісячні зміни кількості опадів, і видно, що найбільші зміни кількості опадів відбуваються у весняні місяці березень, квітень і травень, тоді як найменші зміни кількості опадів відбуваються

у літні місяці червень, липень і серпень. Середньомісячне зменшення кількості опадів становить приблизно 2-3 мм за десятиліття, з більш значним зменшенням на 15-20 мм протягом літніх місяців.

Таким чином, графік на рис. 4 дає візуальне уявлення про середньомісячні зміни температури повітря та кількості опадів у Карпатському регіоні за 40-річний період. Графік показує, що за досліджуваний період спостерігається загальне підвищення температури та зменшення кількості опадів. Ці зміни можуть мати значний вплив на екосистеми та природні ресурси регіону, а також на соціально-економічний розвиток території.

Потепління та зменшення кількості опадів у Карпатському туристичному регіоні створює значні наслідки та виклики для гірськолижних курортів. Зменшення снігового покриву може призвести до скорочення гірськолижного сезону, що зменшить доходи та можливості працевлаштування для місцевої економіки. Гірськолижним курортам, можливо, доведеться більше покладатися на штучне виробництво снігу, що може бути дорогим та екологічно нестійким. Туристи також можуть змінити свої вподобання на інші види зимового відпочинку або обрати гірськолижні курорти в інших регіонах, що призведе до скорочення туризму в Карпатському туристичному регіоні. Крім того, наслідки зміни клімату можуть спричинити зміни природних ландшафтів та екосистем у цьому регіоні [12].

Для вирішення цих проблем гірськолижні курорти повинні розробити стратегії адаптації, такі як диверсифікація своєї діяльності, інвестиції в технології штучного засніження та просування альтернативних туристичних продуктів [13].

Висновки. Отже, це дослідження підкреслює значний вплив зміни клімату на Карпатський регіон Центральної Європи. Аналіз метеорологічних і гідрологічних даних з регіону показує, що за період 1979-2022 років температура в ньому підвищилася на 2,4°C, а кількість опадів за цей же період зменшилася на 117 мм. Ці кліматичні зміни мають однаковий суттєвий вплив на різних висотах. Такі зміни, особливо в районах з низькою кількістю опадів і високими температурами, можуть призвести до зменшення доступності води, що можуть мати наслідки для соціально-економічного розвитку регіону, особливо в туристичному та сільськогосподарському секторах.

Результати цього дослідження також свідчать про те, що зміни можуть вплинути на природні екосистеми регіону, які вже перебувають під тиском людської діяльності та змін у землекористуванні. Тому вкрай важливо вжити заходів для пом'якшення наслідків зміни клімату та адаптації до його впливу, щоб захистити природні екосистеми регіону та забезпечити соціально-економічний розвиток Карпатського регіону.

Це дослідження підкреслює важливість використання передових технологій, таких як збір супутникових даних для моніторингу навколишнього середовища. Результати показують, що супутниковий збір даних є більш точним, надійним та ефективним методом збору даних, ніж традиційні наземні вимірювання та дані, отримані з найближчих метеостанцій. Використання супутникових даних може покращити наше розуміння впливу зміни клімату на Карпатський регіон і допомогти розробити ефективні стратегії адаптації.

Отже, це дослідження підкреслює нагальну потребу вжити заходів для вирішення проблеми зміни клімату в Карпатському регіоні і в цілому. Це включає реалізацію заходів зі скорочення викидів парникових газів, розробку стратегій адаптації для пом'якшення впливу зміни клімату на природні екосистеми та соціально-економічний розвиток регіону, а також використання передових технологій моніторингу довкілля для покращення нашого розуміння наслідків зміни клімату.

Література

- 1 Meteoblue. (2023). Meteoblue. Retrieved from <https://www.meteoblue.com/>
- 2 IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- 3 Giannakopoulos, C., Le Sager, P., and Bindi, M. (2005). Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global temperature rise. Report for WWF. Athens, Greece: MEDACC project.
- 4 Hannah, L., Midgley, G., and Millar, D. (2002). Climate change-integrated conservation strategies. *Global Ecology and Biogeography*, 11, 485-495.

- 5 Körner, C. (2003). *Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. New York, NY: Springer.
- 6 Hovsepyan, R., Avagyan, A., & Aghababyan, A. (2021). Assessment of Climate Change Impact on Water Resources in the Armenian Highlands. *Water*, 13(1), 43.
- 7 Takaaki, K., Matsuyama, H., & Sasaki, H. (2020). Impacts of Climate Change on Mountain Tourism: Case Study of Japanese Ski Resorts. *Sustainability*, 12(5), 1835.
- 8 WMO (World Meteorological Organization). (2021). *The Global Climate in 2020*. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.
- 9 Xu, X., Liu, Y., Zhang, L., Zhang, J., Wan, S., Li, X., Li, J., Li, B., Li, X., and Liang, E. (2013). Effects of climate change on vegetation phenology and productivity in the Loess Plateau, China. *Climatic Change*, 116(2), 405-420.
- 10 Kravchynskyi R., Korchemlyuk M., Khilchevskyi V., Arkhypova L., Mykhailiuk I., Mykhailiuk J. 2021. Spatial-factorial analysis of background status of the Danube River basin state on the northeastern slopes of the Ukrainian Carpathians. *Journal of Physics: Conference Series*, 1781(1), 11-12.
- 11 Klymchuk I., Matiyiv K., Arkhypova L., Korchemlyuk M. 2022. Mountain Tourist Destination – The Quality of Groundwater Sources. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23(3), 208-214. doi.org/10.12912/27197050/147764
- 12 Корчемлюк М.В., Приходько М.М., Архипова Л.М. Вплив змін клімату на водний режим гірської частини басейну р.Прут. Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2016. – Вип. 1(6). – С.118-128
- 13 Arkhypova L., Fomenko N., Kinash I., Golovnia O. Territorial Recreational Systems and Sustainable Development. *Advances in Economics, Business and Management Research*, volume 99. 7th International Conference on Modeling, Development and Strategic Management of Economic System (MDSMES 2019) Published by Atlantis Press. Web of Science P.189-194 <https://www.atlantispress.com/proceedings/mdsmes-19/125919213>

I. Klymchuk, L. Arkhypova

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

RESEARCH ON CLIMATE CHANGE IN THE CARPATHIAN REGION: CONSEQUENCES AND CHALLENGES FOR SKI RESORTS

Climate change is a global phenomenon that has a significant impact on ecosystems and natural resources. The Carpathian region, located in Central Europe, is particularly vulnerable to the effects of climate change, given its diverse ecosystems, including forests, mountains, and rivers, and the dependence on these resources for its socio-economic development. This study examines the impacts of climate change on the Carpathian region over the past 40 years, with a particular focus on climate change at different altitudes.

Using data from numerous meteorological and hydrological stations across the region, the changes in temperature and precipitation, particularly at different altitudes, were analyzed. The analysis showed that the region was experiencing an overall increase in temperature, with 2.4°C increase in the region over nearly 40 years, and a decrease in precipitation, with a total decrease of 117 mm over nearly 40 years. These changes could have a significant impact on the flow of water sources in the region, as areas with low precipitation and high temperatures experience a decrease in water availability.

Reduced water availability can have serious consequences for the socio-economic development of the Carpathian region, especially in the tourism and agricultural sectors, which are heavily dependent on water resources. In addition, changes in water flow could affect the region's natural ecosystems, which are already affected by human activities and land use changes.

The study emphasizes the importance of using advanced technologies such as satellite data collection for environmental monitoring. The results of this study indicate that satellite data collection is a more accurate, reliable and efficient method of data collection than traditional ground-based measurements and data obtained from nearby weather stations.

Keywords: Carpathian region, climate change, precipitation, temperature, trend, different altitudes.

References

- 1 Meteoblue. (2023). Meteoblue. Retrieved from <https://www.meteoblue.com/>
- 2 IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- 3 Giannakopoulos, C., Le Sager, P., and Bindi, M. (2005). Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global temperature rise. Report for WWF. Athens, Greece: MEDACC project.
- 4 Hannah, L., Midgley, G., and Millar, D. (2002). Climate change-integrated conservation strategies. *Global Ecology and Biogeography*, 11, 485-495.
- 5 Körner, C. (2003). *Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. New York, NY: Springer.
- 6 Hovsepyan, R., Avagyan, A., & Aghababyan, A. (2021). Assessment of Climate Change Impact on Water Resources in the Armenian Highlands. *Water*, 13(1), 43.
- 7 Takaaki, K., Matsuyama, H., & Sasaki, H. (2020). Impacts of Climate Change on Mountain Tourism: Case Study of Japanese Ski Resorts. *Sustainability*, 12(5), 1835.
- 8 WMO (World Meteorological Organization). (2021). *The Global Climate in 2020*. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.
- 9 Xu, X., Liu, Y., Zhang, L., Zhang, J., Wan, S., Li, X., Li, J., Li, B., Li, X., and Liang, E. (2013). Effects of climate change on vegetation phenology and productivity in the Loess Plateau, China. *Climatic Change*, 116(2), 405-420.
- 10 Kravchynskyi R., Korchemlyuk M., Khilchevskyi V., Arkhypova L., Mykhailiuk I., Mykhailiuk J. 2021. Spatial-factorial analysis of background status of the Danube River basin state on the northeastern slopes of the Ukrainian Carpathians. *Journal of Physics: Conference Series*, 1781(1), 11-12.
- 11 Klymchuk I., Matiyiv K., Arkhypova L., Korchemlyuk M. 2022. Mountain Tourist Destination – The Quality of Groundwater Sources. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23(3), 208-214. doi.org/10.12912/27197050/147764
- 12 Korchemlyuk M.V., Prykhod'ko M.M., Arkhypova L.M. Vplyv zmin klimatu na vodnyy rezhym hirs'koyi chastyny baseynu r.Prut. *Problemy heomorfolohiyi i paleoheohrafiyi Ukrayins'kykh Karpat i prylehlykh terytoriy – L'viv: LNU imeni Ivana Franka*, 2016. – Vyp. 1(6). – S.118-128
- 13 Arkhypova L., Fomenko N., Kinash I., Golovnia O.. *Territorial Recreational Systems and Sustainable Development. Advances in Economics, Business and Management Research*, volume 99. 7th International Conference on Modeling, Development and Strategic Management of Economic System (MDSMES 2019) Published by Atlantis Press. Web of Science P.189-194 <https://www.atlantispress.com/proceedings/mdsmes-19/125919213>

*Л. В. Штогрин, Д. В. Касіянчук,
В. В. Бараніченко, М. В. Штогрин
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ ПРИРОДНИХ ЧИННИКІВ ФОРМУВАННЯ ЗСУВІВ У РЕГІОНІ СКЛАДЧАСТИХ КАРПАТ (У МЕЖАХ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

Метою публікації є геоінформаційний аналіз природних чинників та оцінювання їхнього впливу на розвиток зсувних процесів у регіоні Складчастих Карпат (в межах Закарпатської області) з урахуванням інженерно-геологічного районування.

Для досягнення поставленої в роботі мети використовувалися наступні матеріали та методи дослідження: кадастр зсувів Закарпатської області (ДНВП «Геоінформ України») за період активізації 1980, 1998-2001 рр.; картографічна інформація по гідрографії, тектонічній будові, дані метеостанцій регіону.

Проведений геоінформаційний аналіз за допомогою інструментів QGIS дозволив розрахувати ураженість зсувами по окремим інженерно-геологічним областям, районам, відстані від зсувів до базису ерозії, розломів, епіцентрів землетрусів, статистичний аналіз засобами програми Statistica кількісно оцінив вплив природних чинників на розвиток зсувів. Факторний аналіз встановив, що висока ураженість зсувами низькогірських масивів Вододільно-Верховинських Карпат (Ж-3) та середньовисотних Полонинсько-Чорногірських та Рахівсько-Чивчинських хребтів (Ж-4) пояснюється сукупним впливом геоморфології (абсолютні відмітки, крутизна схилу, підрізання схилів річковою ерозією), крім того, на область (Ж-4) суттєвий вплив має тектонічний та сейсмічний фактори (зсуви розвиваються в зонах впливу тектонічних розломів та поблизу осередків землетрусів), при цьому атмосферні опади відіграють роль провокуючого чинника. Розглянуті фактори пояснюють 68-77 % причин розвитку зсувних процесів, можна припустити, що решта відсотків належать геологічній будові (наявність двокомпонентного глинистого флішу) та впливу антропогенного фактору (вирубка лісів, підрізка схилів при прокладанні доріг, будівництві комунікацій, споруд і т. п.).

Ключові слова: геоінформаційний аналіз, зсуви, Складчасті Карпати, розломи, факторний аналіз.

Постановка проблеми. Згідно останнього Щорічника активізації ЕГП [1] останніми роками нові зсуви утворюються через техногенні обставини або через інтенсивні опади – востаннє це відбулося влітку 2020 року через аномальну кількість опадів, яка випала в травні – червні, коли норма опадів була перевищена у 1,6-3 рази (метеостанція Рахів: травень 83 мм/136 мм, червень 105 мм/314 мм), тоді активізувався 21 новий зсув загальною площею 0,56 км².

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Оскільки проблема поширення зсувних процесів, зокрема у гірських районах, є актуальною в Україні, то природно, що питанням вивчення чинників їх розвитку присвячено чимало праць українських науковців: Адаменка О. М., Рудька Г. І. [2], Яковлева Є. О. [3], Кузьменка Е. Д. [4, 8], Карпенка О. М. [4], Ковальчука І. П. [5], Іванік О. М. [6, 9], Касіянчука Д. В. [8, 10].

Що стосується чинників утворення зсувів у Карпатському регіоні, на території Закарпатської області, то у роботі [11] виконано оцінювання причин розвитку зсувних процесів у Тис-Апшицькому межиріччі, зокрема відзначено, що зсуви утворюються внаслідок поєднання особливостей геологічної будови, несприятливих метеорологічних умов, а тригерним фактором є діяльність людини. У працях [6,7] відзначено вагомість впливу річкової ерозії та тектонічного чинника на розвиток природних небезпек Українських Карпат, у тому числі і зсувів.

Гірські території Європи теж потерпають від зсувних процесів, так за даними моніторингу в 2013 році була створена Європейська карта схильності до зсувів (ELSUS1000) з кроком 1 км, яка поділена на сім кліматично-фізико-географічних зон з урахуванням розмежування території на гірські та негірські регіони [12]. У публікації [13] виконано дослідження чинників розвитку неглибоких зсувів у Швейцарії, враховуючи регіональні відмінності території, геологічні, геоморфологічні умови та клімат.

Дана робота присвячена аналізу природних чинників розвитку зсувів регіону Складчастих Карпат, враховуючи інженерно-геологічне районування на основі формаційного аналізу геолого-тектонічної будови України [14].

Викладення основного матеріалу. Карпатська гірськоскладчаста область сформувалась в альпійську епоху орогенезу та характеризується переважанням флішової формації, яка є середовищем розвитку геологічних процесів. У межах Складчастих Карпат виділено систему структурно-тектонічних зон першого порядку; поперечні та діагональні розломи, які є джерелом сейсмічних струшувань. В принасувних зонах, а також у вузлах перетину поздовжніх та поперечних розривних дислокацій формується та розвивається понад 70 % зсувів та обвалів [2, 14, 15]. У тектонічно ослаблених зонах, на контакті пісковиків з аргілітами, при втраті щільності та обводненні флішового масиву, утворюються прошарки глин, які є дзеркалом ковзання структурно-пластичних зсувів [16].

Тектонічна будова представлена зонами Мармароських і Пенінських скель, сформованими малоамплітудними розломами та густою системою зон дроблення. Серед диз'юнктивних порушень основну роль відіграють пологі насуви, які зумовлюють складну лускувату структуру, також ця зона зберігає риси антиклінальної складки. Кути падіння порід на крилах складок 35-70° [17]. Складчасті структури порушені розломами північно-західного та північно-східного напрямків. З точки зору геоморфології, більша частина території зайнята ерозійними схилами, розділеними вузькими долинами гірських річок та струмків. Вододільні простори вузькі, подекуди гребенеподібні, на окремих ділянках на вододілах збереглися субгоризонтальні площини – релікти древніх поверхонь вирівнювання. Ґрунтові води спорадичного поширення розвинуті в елювіально-делювіальних і делювіальних четвертинних відкладах, потужність останніх змінюється від 1 до 5-6 м, а в районах розвитку зсувів – до 10 м і більше. Водозбагаченість тісно пов'язана з кількістю атмосферних опадів, водовміщуючими породами є суглинисто – щебеневі, місцями щебенево-брилові породи. Глибина залягання ґрунтових вод 0,5-1,5 м [18].

Клімат континентальний з середньорічною температурою від 6 до 8 °С, загальна кількість опадів за рік змінюється від 840 до 1200 мм, і закономірно збільшується з північного заходу на північний схід.

Вихідними даними для роботи був кадастр зсувів по Закарпатській області ДНВП «Геоінформ». В даному кадастрі зареєстровані 1518 зсувів, активізація яких відбулася в 1980, 1998 -2001 рр. Зсуви представлені такими даними: № зсуву, просторові координати, рік активізації, механізм зміщення, геоморфологія схилу, місцеположення зсуву, параметри зсуву: абсолютна відмітка, крутизна поздовжнього профілю, розміри зсувів.

Методика і методологія досліджень. Згідно інженерно-геологічного районування територія досліджень в межах Закарпатської області охоплює Середньо- та низькогірські масиви Вододільно-Верховинських Карпат (Ж-3), Середньовисотні Полонинсько-Чорногорські та Рахівсько-Чивчинські гірські хребти і пасма (Ж-4), які відносяться до регіону Складчастих Карпат (рис. 1).

Засобами QGIS виконано розрахунок ураженості (відношення загальної площі зсувів до площі інженерно-геологічних районів) (табл. 1).

Таблиця 1

Розрахунок кількості зсувів та ураженості в інженерно-геологічних районах Складчастих Карпат

Номер ІГР області/району	Район	Кількість зсувів / Площа, км ²	Ураженість, %
Ж-3/129	Вододільно-Верховинсько-Горганські хребти	416/45,07	2,55
Ж-3/130	Ворохта-Путівльське древньотерасове низькогір'я з Ясинською котловиною	25/6,07	1,93
Ж-4/131	Гірські хребти Свидовець, Чорна Гора, Лосова	194/68,7	4,40
Ж-4/132	Рахівсько-Чивчинський масив	75/16,45	3,39
Ж-4/133	Скелясті пасма	98/16,02	5,14
Ж-4/134	Полонинський хребет	558/91,58	3,31
Ж-4/135	Завигорлат-Гутинська міжгірська долина	151/11,58	1,87

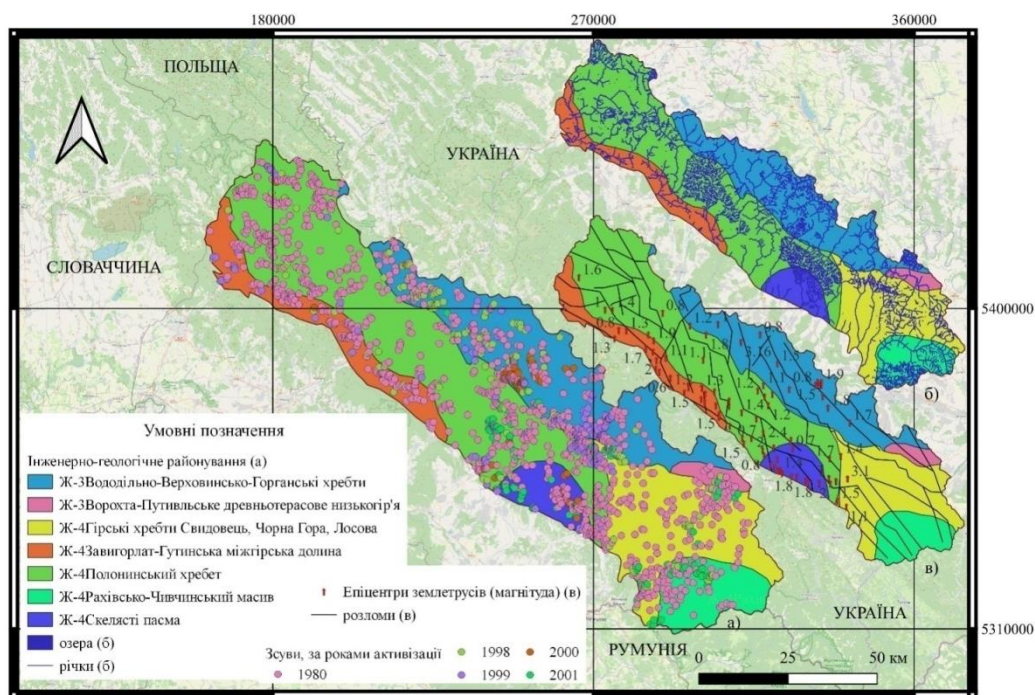


Рис. 1. Інженерно-геологічне районування Складчастих Карпат у межах Закарпатської області з урахуванням ураженості зсувами, гідрографії та сейсмічних умов

Висока ураженість зсувами інженерно-геологічних районів № 133, 131, 132, 134, 129 вказує на поєднання як геологічно-тектонічних умов (гірські хребти являють собою тектонічні скиби, складені флішовими породами крейдового та палеогенового віку: глинистими сланцями, пісковиками, аргілітами, алевролітами, різко дислоковані, розбиті розломами та насувами [17]), геоморфологічних, гідрографічних умов (гірський рельєф, круті схили, густа річкова мережа), так і кліматичних умов, зокрема через наявність тривалих у часі та інтенсивних опадів, коли зменшується зчеплення порід по нашаруванню і створюються умови для зсувів-ковзання та блокових зсувів.

Для вивчення природних чинників застосовувався геоінформаційний аналіз, який дозволяє поєднати просторові умови та статистичний підхід до аналізу даних. Побудована цифрова модель рельєфу використовувалась для доповнення існуючого кадастру зсувів інформацією про крутизну та експозицію схилу (рис. 1). Оцифровані шари річок, тектонічних порушень дозволили розрахувати відстані від зсувів до найближчого базису ерозії, розлому, до епіцентру землетрусу (рис. 2), побудовані карти атмосферних опадів та температури повітря (рис. 3) на основі даних дешифрування знімків.

Таким чином, у роботі були проаналізовані такі просторові чинники абсолютні відмітки, крутизна та експозиція схилу, відстань до базису ерозії, до розлому, до епіцентрів землетрусів, атмосферні опади та температура повітря регіону (табл. 2).

Абсолютні відмітки зсувів. Параметр «абсолютні відмітки зсувів» визначає вплив рельєфу на розвиток зсувних процесів через циркуляцію атмосферних фронтів. Регіон Складчастих Карпат належить до середньовисотних (абсолютні відмітки змінюються від 160 м до 1710 м, середнє значення 621 м), переважна більшість зсувів (1361 шт.) розвивається на відмітках 200-1000 м, при цьому для території області Ж-3 найбільш ураженими є висоти 400-800 м (948 шт.). На території Ж-4 утворення зсувів відбувається переважно на більш високих абсолютних відмітках – до 1000 м (984 шт.). Як видно з таблиці зі збільшенням висоти (понад 1000 м) кількість зсувів зменшується.

Крутизна поздовжнього профілю. Найбільш крутими схилами характеризуються гірські хребти Ж-4 з середніми кутами нахилу 26° , максимальне значення 70° , область Ж-3 відзначаються трохи пологішими схилами з середнім значенням 22° , максимальне значення 50° . Найбільше зсувів (1319 шт.) розвиваються на схилах з кутами нахилу від 10° до 40° , що вказує на тісний зв'язок між розвитком зсувних процесів і крутизою схилів – 87%.

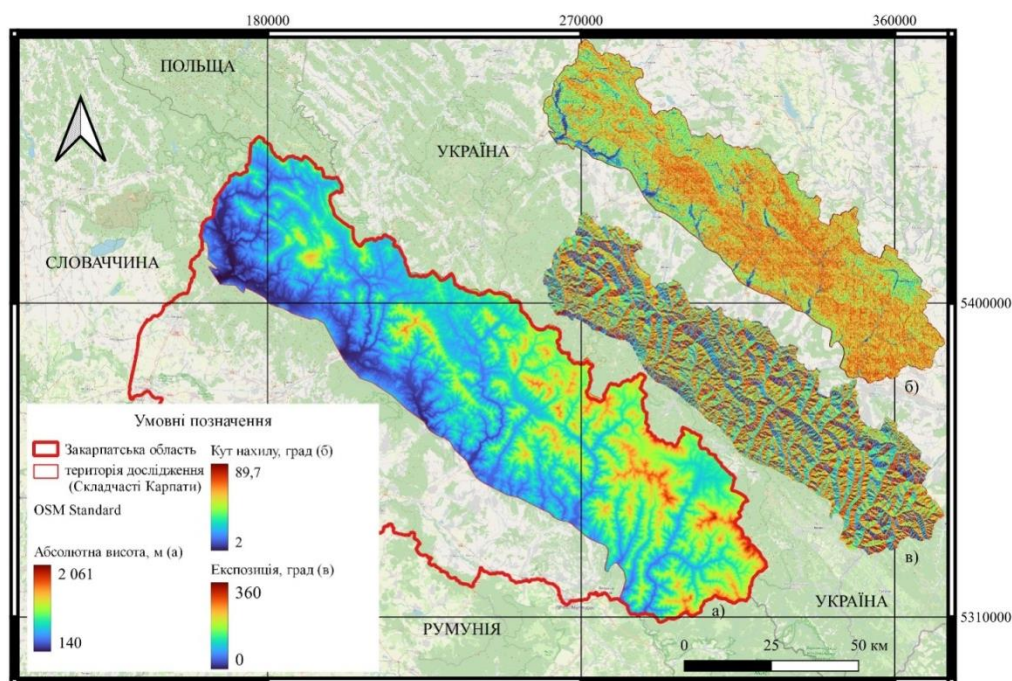
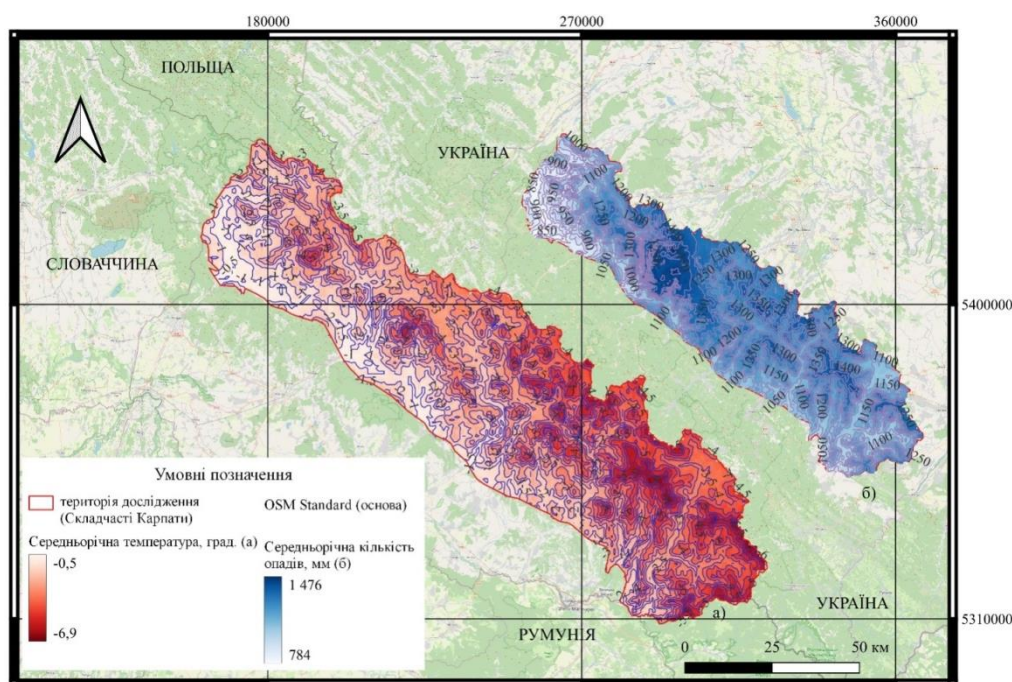


Рис. 2. Карти геоморфологічних параметрів зсувів

Рис. 3. Карта розподілу атмосферних опадів, температури повітря регіону (за даними дешифрування <https://www.worldclim.org/>)

Експозиція схилу. З картографічних шарів рельєфу та розташування зсувів визначалася експозиція схилу з кроком 45° : пн., пн.сх., сх., пд.сх., пд., пд.зх., зх., пн.зх. (табл. 2). Аналіз експозиції схилу розвитку зсувів свідчить, що більшість зсувів (985 шт.) розвиваються на схилах східної та південної сторони. Це закономірно, тому що вони більше освітлюються сонцем, зазнають більше тепла, сильніше відбуваються процеси вивітрювання, а потім під впливом атмосферних опадів швидше насичуються вологою. Проте, третя частина зсувів – 533 утворюються на схилах північно-західного напрямку, тому охарактеризувати експозицію однозначно неможливо.

Базис ерозії. Досліджуваний регіон характеризується густою мережею річок $1,4\text{--}2,0 \text{ км/км}^2$ [19], на яких часто формуються паводки та розвивається бічна ерозія. Сильні довготривалі дощі спричиняють підйом рівня води в річках та сприяють підрізання схилу, тому близькість зсувів до

базису ерозії може розглядатися як один із факторів виникнення зсувів. Результати свідчать, що на розвиток третини зсувів впливає базис ерозії: 514 шт. знаходиться на відстані менше 200 м до річки, з них 306 шт. розташовані на території області Ж-4.

Таблиця 2

Розподіл зсувів відносно просторових чинників з урахуванням інженерно-геологічного районування

Досліджуваний чинник	Діапазон	Кількість зсувів		
		Весь регіон	Ж-3	Ж-4
Абсолютні відмітки зсувів, м	0-200	9		9
	200-400	215		215
	400-600	442	48	394
	600-800	506	251	255
	800-1000	189	78	111
	1000-1200	96	45	51
	1200-1400	49	13	36
	1400-1600	12	7	5
Крутизна, град	0-10	98	22	76
	10-20	375	125	250
	20-30	635	244	391
	30-40	309	114	195
	40-50	80	29	51
	>50	21	10	11
Експозиція схилу, град.	пн.	140	17	123
	пн.сх.	129	32	97
	сх.	172	56	116
	пд.сх.	257	75	182
	пд.	311	106	205
	пд.зх.	238	81	157
	зх.	171	48	123
	пн.зх.	100	27	73
Відстань до базису ерозії, м	0-200	514	208	306
	200-400	580	146	434
	400-600	247	61	186
	600-800	112	18	94
	800-1000	46	7	39
	>1000	19	2	17
Відстань до найближчого розлому, м	0-500	278	83	195
	500-1000	240	68	172
	1000-2000	457	141	316
	2000-4000	451	105	346
	4000-6000	71	30	41
	6000-8000	21	15	6
Відстань до епіцентрів землетрусів, м	0-2000	238	35	203
	2000-4000	378	130	248
	4000-6000	252	120	132
	6000-8000	164	70	94
	8000-10000	117	43	74
	>10000	369	44	325

Відстань до тектонічного розлому. На розвиток зсувів впливає наявність розломних зон, які створюють навколо себе ослаблену зону. На межі зчленування Складчастих Карпат і Закарпатського прогину пролягає Закарпатський глибинний розлом, який разом з іншими розломами різних порядків та напрямків створює систему тріщин, напружено-деформований стан [20], тому цей чинник може розглядатися в контексті розвитку зсувів. Враховуючи, що для регіону Складчастих Карпат характерна блокова структура, то ширина зони впливу коливається від декількох сотень метрів до декількох тисяч метрів [15]. Розраховані відстані до найближчого розлому вказують, що майже всі зсуви (1426 шт.) розташовані в радіусі до 4000 м., з них у Ж-4 – 1029 шт., у Ж-3 – 397 шт.

Сейсмічність регіону. Глибина землетрусів в районі Міжгір'я становить 6-17 км, на території Рахівщини реєструються землетруси на глибині 17–27 км, з середньою магнітудою 1,7, а максимальна магнітуда рівна 3. Загалом, розподіл гіпоцентрів землетрусів у Карпатському регіоні має мозаїчний характер [21]. Аналіз відстаней до епіцентру землетрусу (табл. 2) свідчить, що 41 % (616 шт.) розвиваються у радіусі до 4000 м., при чому, більшість (451 зсув) зареєстрований в області Ж-4. Це пояснюється тим, що південно-західна частина регіону приурочена до Закарпатського глибинного розлому навколо якого розвиваються землетруси.

Метеорологічні параметри характеризують клімат регіону і свідчать про динамічну зміну навколишнього середовища. Атмосферні опади впливають на водонасичення верхнього шару геологічного середовища, створюючи сприятливі умови для сповзання зсувних мас, вони відіграють роль «пускового гачка» для підготовлених іншими факторами гірських порід. Аналізувались дані середньорічної сумарної кількості опадів за даними метеостанцій, розташованих поблизу або на досліджуваній території. Відмічається більша кількість опадів для теплого періоду року (рис. 4) (в період з червня по липень реєструється 171-174 мм опадів (високогірна метеостанція Плай з абсолютною відміткою 1343 м), найменша кількість опадів реєструється метеостанціями Рахів (531 м) та Нижній Студений (670 м) і становить близько 123-134 мм). Саме в такі надмірно зволожені періоди переважно активізуються зсуви.

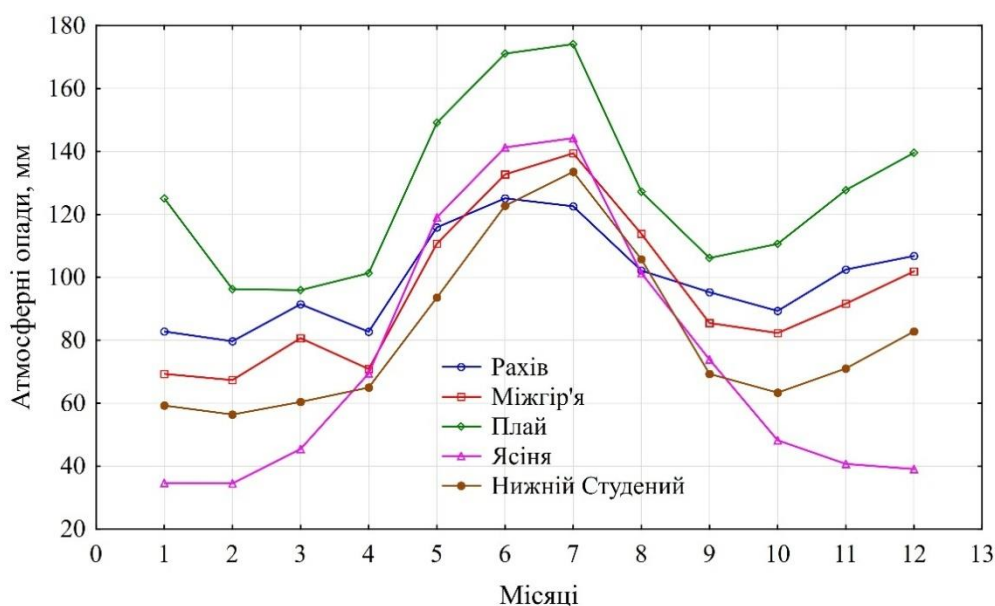


Рис.4. Розподіл атмосферних опадів протягом року по метеостанціям (середньобаторічні значення)

Довготривалі та інтенсивні опади забезпечують інфільтрацію води, збільшують вологонасичення, поровий тиск, зменшують стійкість схилу, що призводить до сповзання зсувних мас. Дані активізації зсувів з кадастру добре узгоджуються сильними дощами, особливо, в теплий період з травня по серпень: 1980 р. (травень-листопад), 1998 р. (березень-листопад), 1999 р. (лютий-травень), 2000 р. (березень-липень), 2001 р. (лютий-березень і червень-вересень). Найбільша кількість опадів (349 мм) зареєстрована в березні 2001 р, коли перевищила середнє значення в 3,8 рази, тоді активізувалось 109 зсувів загальною площею 1,65 км².

Факторний аналіз просторових чинників. Для того, щоб зрозуміти причини та механізми розвитку зсувних процесів проводився факторний аналіз методом головних компонент з обертанням системи координат методом Варімакс. Під час роботи факторний аналіз об'єднує параметри з сильною кореляцією, коли факторне навантаження більше 0,7 (у табл.3 виділено курсивом), це вказує на те, що параметр тісно пов'язаний з досліджуваним чинником (у нашому випадку – розвитком зсувних процесів). Додатний знак факторного навантаження свідчить про прямий зв'язок параметра з чинником, від'ємний – про обернений. Неодмінною умовою проведення факторного аналізу є підпорядкованість досліджуваних параметрів нормальному закону розподілу. Перевірка показала, що “абсолютна відмітка зсуву” підпорядковується нормальному закону, а решта факторів – логнормальному, екстремальному та Вейбула. Щоб наблизити розподіл до нормального виконувалось логарифмування.

Таблиця 3

Матриця факторних навантажень

Параметр	Середньо- та низькогірські масиви Вододільно-Верховинських Карпат (Ж-3)			Середньовисотні Полонинсько-Чорногорські та Рахівсько-Чивчинські гірські хребти і пасма (Ж-4)			
	фактор 1	фактор 2	фактор 3	фактор 1	фактор 2	фактор 3	фактор 4
Абсолютна відмітка зсуву	0,787	-0,088	-0,334	0,887	0,009	-0,055	0,002
Крутизна схилу	0,807	-0,083	-0,106	0,773	-0,019	0,337	-0,141
Відстань до базису ерозії	0,525	0,422	0,443	0,029	-0,006	0,899	0,079
Відстань до розлому	0,021	-0,624	0,257	-0,009	0,038	0,065	0,967
Відстань до епіцентру землетрусу	-0,128	-0,706	-0,115	0,616	-0,263	-0,339	0,216
Сумарна річна кількість опадів	-0,268	-0,301	0,753	-0,108	0,871	0,154	-0,043
Середньорічна температура повітря	0,135	0,037	-0,799	0,006	-0,853	0,129	-0,078
Частка загальної дисперсії	0,24	0,19	0,23	0,25	0,22	0,15	0,15

Проаналізуємо результати факторного аналізу по окремим інженерно-геологічним областям.

Для низькогірських масивів Вододільно-Верховинських Карпат (Ж-3) виділено три фактори: перший – пояснює прямий вплив рельєфу на розвиток зсувів: найбільше навантаження мають абсолютна відмітка зсуву (0,79) та крутизна профілю (0,81), крім того, показує прямий вплив річкової ерозії (0,53). Другий фактор свідчить, що зсуви розвиваються далеко від епіцентрів землетрусів (-0,71) та від тектонічних розломів (-0,62). Третій фактор пояснює вплив метеорологічних параметрів: прямий вплив на утворення зсувів мають атмосферні опади (0,75) та обернений вплив – температура повітря (-0,80). Зазначені фактори пояснюють 68 % дисперсії.

Для середньовисотних Полонинсько-Чорногірських та Рахівсько-Чивчинських хребтів (Ж-4) виділено чотири фактори. Перший фактор показує прямий вплив геоморфології рельєфу на розвиток зсувів: найбільше факторне навантаження мають абсолютна відмітка зсуву (0,89) та крутизна профілю (0,77), а також вплив сейсмічності (0,62). Другий фактор об'єднує вплив кліматичних умов: пряма кореляція з опадами (0,87) та обернена – з температурою повітря (-0,85). На відміну від області Ж-3, третій фактор підсилює вплив базису ерозії (0,9), а четвертий фактор свідчить, що утворення зсувів відбувається внаслідок напружено-деформованого стану геологічного середовища, створеного зоною тектонічних розломів (0,97). Сумарна дисперсія факторів 77 %.

Висновки. Сучасні ГІС є невід'ємною частиною просторового та часового аналізу даних екзогенних геологічних процесів. Проведений геоінформаційний аналіз дозволив розрахувати ураженість зсувами по окремим інженерно-геологічним областям, районам, відстані від зсувів до базису ерозії, розлому, епіцентрів землетрусів, а статистичний аналіз кількісно оцінив вплив природних факторів на розвиток зсувів. Факторний аналіз встановив, що висока ураженість зсувними процесами регіону Складчастих Карпат пояснюється сукупним впливом геоморфології (абсолютні відмітки, крутизна схилу, підрізання схилів річковою ерозією), на інженерно-геологічну область Ж-4 суттєвий вплив має тектонічний фактор (зсуви розвиваються в зонах впливу тектонічних розломів та поблизу осередків землетрусів), при цьому атмосферні опади відіграють роль провокуючого фактору. Перераховані фактори пояснюють 68-77 % причин розвитку зсувних процесів, можна припустити, що решта відсотків належать геологічній будові (наявність двокомпонентного глинистого флішу) та впливу антропогенного фактору (вирубка лісів, підрізка схилів при прокладанні доріг, будівництві комунікацій, споруд і т. п.).

Розуміння причин та механізмів розвитку зсувних процесів дозволяють використовувати цю інформацію для визначення уразливості територій, а також для прийняття інженерних рішень при розробленні протизсувних заходів заради безпеки населення та регіону. Особлива потреба для

сталого розвитку територій, які є маркерами в екологічному стані гірських територій, це – вивчення динаміки, оцінку та управління змінами від розвитку небезпечних екзогенних геологічних процесів як зсуви.

Література

- 1 Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів за даними моніторингу ЕГП (2020). Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України»
- 2 Адаменко, О.М., & Рудько, Г.І. (1998). Екологічна геологія. Підручник для студентів вищих навчальних закладів, екологічних, геологічних, географічних спеціальностей. Манускрипт.
- 3 Яковлев, С. О., Красноок, Л. М., & Лескова, Г. В. (2000). Прогнозна оцінка можливої активізації зсувного процесу на території Закарпатської області в 2000 році. Звіт з науково-дослідної роботи. Геоінформ.
- 4 Кузьменко, Е. Д., Блінов, П.В. & Петрик, М.В. (2004). Карпатські зсуви: деякі геоморфологічні характеристики та зв'язок їх з літологією. Геоінформатика.
- 5 Ковальчук, І. П. (2003). Гідролого-геоморфологічні процеси в карпатському регіоні України. Праці Наукового товариства ім. Шевченка.
- 6 Ivanik, O., Shevchuk, V., & Gadiatska, K. (2019). Geological and Geomorphological Factors of Natural Hazards in Ukrainian Carpathians. *Journal of Ecological Engineering*, 20(4). <https://doi.org/10.12911/22998993/102964>
- 7 Snitynskyi, V., Khirivskyi, P., & Hnativ, R. (2020). Landslides and erosion phenomena in the foothills of the Carpathian region rivers. *Scientific Journal “Theory and building practice” (JTBP)*. Lviv: LPNU. <https://doi.org/10.23939/jtbp2020.01.009>
- 8 Shtohryn, L., Kasiyanchuk, D., & Kuzmenko, E. (2020). The problem of long-term prediction of landslide processes within the Transcarpatian inner depression of the Carpatian region of Ukraine. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. Retrieved from <https://doi.org/10.26471/cjees/2020/015/118>
- 9 Іванік, О. М. (2008). Просторовий аналіз та прогнозна оцінка формування водно-гравітаційних процесів на основі ГІС у карпатському регіоні. Геоінформатика.
- 10 Касіячук, Д. В. (2014). Обґрунтування вибору факторів активізації небезпечних геологічних процесів (на прикладі території Карпатського регіону). *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*.
- 11 Shekhunova, S.B., Aleksieienkova, M.V., & Siumar, S.P. (2020). Natural and man-induced landslides formation factors within the Tysa-Apshytsia interfluvium (Transcarpathia, Ukraine). Second EAGE Workshop on Assessment of Landslide Hazards and impact on communities, Retrieved from <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202055018>
- 12 The_European_landslide_susceptibility_map_ELSUS_1000_Version_1. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/258779847>
- 13 Zweifel, L., Samarin, M. & Alewell, C. (2021). Investigating causal factors of shallow landslides in grassland regions of Switzerland, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* Retrieved from <https://doi.org/10.5194/nhess-21-3421-2021>
- 14 Климчук, Л.М., Блінов, П.В. & Величко, В.Ф. (2008). Сучасні інженерно-геологічні умови України як складова безпеки життєдіяльності. ВПЦ “Експрес”.
- 15 Штогрин, Л.В., Анікеєв, С. Г., & Багрій, С.М. (2021). Відображення активності зсувних процесів в регіональних гравітаційних та магнітних полях (на прикладі Закарпатської області). *Геодинаміка*.
- 16 Geodynamics. Retrieved from <https://doi.org/10.23939/jgd2021.01.065>
- 17 Кузьменко, Е.Д., & Штогрин, Л.В. (2002). Комплексна обробка геофізичних даних та прогноз зсувних процесів на ділянках досліджень Міжгірського району Закарпатської області. Звіт з науково-дослідної роботи, ІФНТУНГ.
- 18 Державна геологічна карта України масштабу 1:200000, аркуші М-34-XXIX (Сніна), М-34-XXXV (Ужгород), L-34-V (Сату-Маре). (2003). Міністерство екології та природних ресурсів України, державне геологічне підприємство «Західукргеологія».
- 19 Рубан, С.А., & Ніколішина, А.В. (2005). Ґрунтові води України. ДВ УкрДГРІ.
- 20 Геренчук, К.І. (1981). Природа Закарпатської області: монографія. Вища школа.
- 21 Мончак, Л. С., & Анікеєв, С. Г. (2017). Відображення тектонічної будови західного регіону України у гравімагнітних полях. *Геодинаміка*.

22 Максимчук, В. Ю., Пиріжок, Н. Б. & Тимошук, В. Р. (2014). Деякі особливості сейсмічності Закарпаття. Геодинаміка.

*L. Shtohryn, D. Kasiyanchuk,
V. Baranichenko, M. Shtohryn
Ivano-Frankivsk National
Technical University of Oil and Gas*

GEO-INFORMATION ANALYSIS OF NATURAL FACTORS OF LANDSLIDE FORMATION IN THE REGION OF THE FOLDED CARPATHIANS (IN THE TRANSCARPATHIAN REGION)

The article aims at performing the geoinformation analysis of natural factors and an assessment of their impact on the development of landslide processes in the region of the Folded Carpathians (in the Transcarpathian region) by engineering and geological zoning.

The following research materials and methods were used in the study: cadastre of landslides of the Transcarpathian region (SRDE "Geoinform of Ukraine") for the period of activation in 1980, 1998-2001; cartographic information on hydrography, tectonic structure, data from weather stations in the region.

The performed geoinformation analysis using QGIS tools made it possible to calculate the impact of landslides on separate engineering and geological areas, districts, the distance from landslides to the base of erosion, faults, earthquake epicenters, the performed statistical analysis using the Statistica program quantitatively assessed the influence of natural factors on the development of landslides. The factor analysis established that the high susceptibility to landslides of the low-mountain massifs of the Vododil-Verkhovyna Carpathians (Ж-3) and the medium-altitude Polonyna-Chornohora and Rakhiv-Chyvchyn ranges (Ж-4) could be explained by the combined influence of geomorphology (absolute elevations, slope steepness, undercutting of slopes by river erosion). In addition, the region (Ж-4) is significantly influenced by tectonic and seismic factors (landslides develop in the zones affected by tectonic faults and near the centers of earthquakes), while atmospheric precipitation plays the role of a trigger factor. The considered factors explain 68-77% of the reasons for the development of landslide processes. It can be assumed that the remaining proportion is related to the geological structure (the presence of two-component clay flysch) and the influence of manmade factors (deforestation, trimming of slopes during the construction of roads, construction of communications, structures, etc.).

Key words: geoinformation analysis, landslides, Folded Carpathians, faults, factor analysis.

References

- 1 Informatsiyni shchorichnyk shchodo aktyvizatsii nebezpechnykh ekzohennykh heolohichnykh protsesiv za danymy monitorynhu EHP (2020). Derzhavne naukovy-vyrobnyche pidpriemstvo «Derzhavnyi informatsiyni heolohichnyi fond Ukrainy»
- 2 Adamenko O. M., & Rudko H. I. (1998). Ekolohichna heolohiia. Pidruchnyk dlia studentiv vyshchykh navchalnykh zakladiv, ekolohichnykh, heolohichnykh, heohrafichnykh spetsialnostei. Manuskrypt.
- 3 Iakovliev, Ye. O., Krasnook L. M., & Leskova H. V. (2000). Prohnozna otsinka mozhlyvoi aktyvizatsii zsvnoho protsesu na terytorii Zakarpatskoi oblasti v 2000 rotsi. Zvit z naukovy-doslidnoi roboty. Heoinform.
- 4 Kuzmenko, E. D., Blinov, P.V. & Petryk, M.V. (2004). Karpatski zsuvy: deiaki heomorfolohichni kharakterystyky ta zviazok yikh z litolohiieiu. Geoinformatika.
- 5 Kovalchuk I. P.(2003). Hidroloho-heomorfolohichni protsesy v karpatskomu regioni Ukrainy. Pratsi Naukovoho tovarystva im. Shevchenka
- 6 Ivanik, O., Shevchuk, V., & Gadiatska, K. (2019). Geological and Geomorphological Factors of Natural Hazards in Ukrainian Carpathians. Journal of Ecological Engineering, 20(4). Retrieved from <https://doi.org/10.12911/22998993/102964>
- 7 Snitynskyi, V., Khirivskyi, P., & Hnativ, R. (2020). Landslides and erosion phenomena in the foothills of the Carpathian region rivers. Scientific Journal "Theory and building practice" (JTBP). Lviv: LPNU. Retrieved from <https://doi.org/10.23939/jtbp2020.01.009>.
- 8 Shtohryn, L., Kasiyanchuk, D., & Kuzmenko, E. (2020). The problem of long-term prediction of landslide processes within the Transcarpatian inner depression of the Carpatian region of Ukraine.

Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. Retrieved from <https://doi:10.26471/cjees/2020/015/118>

9 Ivanik, O. M. (2008). Prostorovyi analiz ta prohnozna otsinka formuvannia vodno-hravitatsiinykh protsesiv na osnovi HIS u karpatskomu rehioni. Heoinformatyka.

10 Kasiyanchuk, D. V. (2014). Obgruntuvannia vyboru faktoriv aktyvizatsii nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv (na prykladi terytorii Karpatskoho rehionu). Ecological Safety and Balanced Use of Resources.

11 Shekhunova S. B., Alekseiienkova M. V., & Siumar S. P (2020). Natural and man-induced landslides formation factors within the Tysa-Apshytsia interfluve (Transcarpathia, Ukraine). Second EAGE Workshop on Assessment of Landslide Hazards and impact on communities. Retrieved from <https://doi:10.3997/2214-4609.202055018>

12 The_European_landslide_susceptibility_map_ELSUS_1000_Version_1. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/258779847>

13 Zweifel, L., Samarin, M. & Alewell, C. (2021). Investigating causal factors of shallow landslides in grassland regions of Switzerland, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Retrieved from <https://doi.org/10.5194/nhess-21-3421-2021>

14 Klymchuk, L. M. Blinov, P. V. & Velychko, V. F. (2008). Suchasni inzhenerno-heolohichni umovy Ukrainy yak skladova bezpeky zhyttiediialnosti. VPTs “Ekspres”.

15 Shtohryn, L. V., Anikayev, S. H., & Bagriy, S. M. (2021). Reflection of the activity of landslide processes in the regional gravitational and magnetic fields (on the example of the Transcarpathian region)

16 Geodynamics. Retrieved from <https://doi:10.23939/jgd2021.01.065>

17 Kuzmenko, E. D., Shtohryn, L. V. (2002). Kompleksna obrobka heofizychnykh danykh ta prohnoz zsuvenykh protsesiv na dilianakh doslidzhen Mizhhirskoho raionu Zakarpatskoi oblasti. Zvit z naukovo-doslidnoi roboty. IFNTUNH.

18 Derzhavna heolohichna karta Ukrainy masshtabu 1:200000, arkushi M-34-XXIX (Snina), M-34-XXXV (Uzhhorod), L-34-V (Satu-Mare). (2003). Ministerstvo ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy, derzhavne heolohichne pidpriemstvo «Zakhidukrheolohiia».

19 Ruban, S. A., & Nikolishyna, A. V. (2005). Gruntovi vody Ukrainy. DV UkrDHRI.

20 Herenchuk, K. I. (1981). Pryroda Zakarpatskoi oblasti: monohrafiia. Vyscha shkola.

21 Monchak, L. S., & Anikieiev, S. H. (2017). Vidobrazhennia tektonichnoi budovy zakhidnoho rehionu Ukrainy u hravimahnitnykh poliakh. Geodynamics.

22 Maksymchuk, V. Yu., Pyrizhok, N. B. & Tymoshchuk, V. R. (2014). Deiaki osoblyvosti seismichnosti Zakarpattia. Geodynamics. Retrieved from <https://doi:10.23939/jgd2014.02.139>

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

УДК 504.06

DOI: 10.31471/2415-3184-2023-1(27)-85-91

*В. Ф. Синящик, О. В Харламова,
В. М. Шмандій, Т. Є Ригас,
Л. А. Безденєжних*

*Кременчуцький національний університет
імені Михайла Остроградського*

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ СТАЛОГО РОЗВИТКУ У СИСТЕМІ ПОВОДЖЕННЯ З ПЛАСТИКОВИМИ ВІДХОДАМИ

Проаналізовано властивості мікроорганізмів, із забруднених пластиком територій. Результати досліджень показали, що кишковий мікробіом видів личинки великої воскової моли використовує пластик як джерело вуглецю, а кишковий мікробіом хробака здатний виживати на полістиролі. Також ідентифіковано ферменти, які розкладають поліетилен в слині воскових черв'яків, що є важливим для боротьби з забрудненням пластиком.

Ферментативна біодеградація пластмас здійснюється за допомогою традиційного цільноклітинного біокаталізу або безклітинного підходу. Показано, що використання штамів дикого типу в поєднанні з біоінформаційним аналізом дає можливість виявити потенційні ферменти, які ефективно біодеградують пластмаси та сприяють забезпеченню екологічної безпеки.

У статті обговорюється важливість підвищення ефективності існуючих процесів біодеградації пластику, зокрема застосування попередньої обробки, щоб збільшити сприйнятливості поліолефінів. Показано, що розробка ферментів може сприяти загальній біодеградації пластмас, наводяться приклади успішної конструювання ПЕТ-гідролази з використанням машинного навчання. Результати досліджень демонструють ефективність цих стратегій для біодеградації пластмас та можуть бути корисними для подальшого розвитку у цій галузі.

Досліджено процес біодеградації полістиролу (ПС) за допомогою личинок жука *Uloma sp*, які активно живляться ПС та виділяють ферменти, що розкладають його на біомасу та інші біохімічні сполуки. В результаті експерименту визначено рівень виживання та відсоток втрати ваги ПС. Встановлено, що личинки жука *Uloma sp* можуть ефективно деградувати ПС, що є важливим аспектом у зменшенні обсягів відходів та забезпеченні екологічно безпечного способу переробки пластику.

Ключові слова: Екологічні аспекти, сталий розвиток, поводження з пластиковими відходами, забезпечення екологічної безпеки, пластик, мікроорганізми, біодеградація, ферменти

Постановка проблеми. Найбільшими викликами сьогодення є управління пластиковими відходами та зменшення забруднення навколишнього середовища, особливо враховуючи зростаючий попит на пластикові вироби. Через виклики, які існують у поточному сценарії, існує потреба терміново змінити стратегію поводження з пластиком із захоронення та спалювання на більш стійку та екологічно чисту альтернативу [1].

Зі збільшенням кількості пластикових відходів, які утворюються в усьому світі, традиційні методи, такі як захоронення та спалювання, більше не є стійкими та негативно впливають на навколишнє середовище [2]. Сучасне виробництво та споживання великої кількості пластикових виробів призводить до накопичення величезної кількості пластикових відходів. Це негативно впливає на навколишнє середовище та здоров'я людей. Тому виникає проблема відновлення ресурсів та поводження з пластиковими відходами з використанням підходу біологічного розкладання.

Одним із найефективніших способів поводження з пластиковими відходами є добування з них енергії. Порівняно зі спалюванням і утилізацією на звалищах, перетворення пластику в паливо може зменшити небезпечні викиди та зараження патогенами. У процесі створення палива з пластикових відходів реакційні фактори (такі як температура, час перебування та швидкість підвищення температури) можуть контролювати загальний процес перетворення [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процес біодеградації синтетичного пластику в основному залежить від характеристик полімерів і кількох факторів навколишнього середовища. Фізико-хімічні властивості синтетичних пластмас (кристалічність, гідрофільність, молекулярна маса та міцність) є вирішальними факторами, що визначають процес біодеградації. Пластмаси з меншим ступенем розгалуженості в структурі мають вищу кристалічність, що несприятливо для біодеградації; аморфні області в полімерній структурі більш сприйнятливі до мікробної атаки порівняно з кристалічними областями [4]. Отже, біорозкладаність LDPE (пластик низької щільності) вище, ніж з HDPE (пластик високої щільності), що пояснюється сильно розгалуженою структурою LDPE. Крім того, здатність до біологічного розкладання пластмаси зменшується зі збільшенням їх молекулярної маси, оскільки знижена розчинність полімеру перешкоджає мікробній дії та подальшій асиміляції продуктів розкладання в мікробних клітинах. Це також пояснює підвищену біорозкладаність гідрофільних пластиків в порівнянні з гідрофобними полімерами. Наявність функціональних груп у полімерній структурі також підвищує сприйнятливості пластмас до біодеградації, оскільки присутність цих функціональних груп сприяє підвищенню гідрофільності полімеру [5]. Крім того, м'який пластик, як правило, руйнується швидше, ніж твердий або міцний пластик.

Постановка завдання. Біорозкладані пластики мають потенційно менший вплив на навколишнє середовище, але їхнє використання не є безпечним і екологічно стійким. Швидкість розкладання біорозкладаної пластмаси в різних середовищах різна, що може призводити до накопичення хімічних забруднювачів та продуктів розкладання в навколишньому середовищі. Крім того, в дослідженні [6] показано, що біорозкладані пластики також можуть утворювати мікропластик, що створює екологічний ризик для водних екосистем.

Отже, доцільно проводити подальші дослідження та оцінювати екологічний ризик при використанні біорозкладаної пластмаси, і враховувати її можливий вплив на навколишнє середовище. Повна заміна звичайних синтетичних пластиків на біорозкладані пластики поки що є неможливою, і доцільно шукати компромісні рішення, такі як використання біорозкладаної пластмаси тільки в обмеженому обсязі та використання переробних технологій для зменшення відходів.

Виклад основного матеріалу. Нами досліджено різноманітних мікроорганізмів, які знайдені в місцях, забруднених пластиком (сільськогосподарські ґрунти та звалища відходів). Вони перевірені на здатність споживати пластик як джерело вуглецю з використанням традиційного методу культурального аналізу.

Результати дослідження показали, що кишковий мікробіом видів личинки великої воскової молі може використовувати пластикові субстрати як джерело вуглецю. Але розміри мікрочастинок LDPE спричиняють зменшення кількості бактерій, що виділяються з кишківника дощового черв'яка *Lumbricus terrestris*. Також, кишковий мікробіом хробака (*Zophobas morio*) здатний виживати на полістиролі (PS), що змінює морфологію поверхні цього матеріалу [7,8].

Окрім кишкового мікробіому, було успішно ідентифіковано два ферменти, що розкладають пластик, відомі як (*Ceres i Demetra*), які присутні в слині воскових черв'яків (*Galleria mellonella*). Ці ферменти здатні окислювати та деполімеризувати поліетилен після кількох годин витримки при кімнатній температурі та нейтральному рН. Відкриття нових ферментів, що розкладають пластик, є життєво важливим, оскільки ферменти відіграють вирішальну роль у фрагментації полімерів [9].

Ми провели дослідження та виявили, що можна здійснити ферментативну біодеградацію пластмас здійснити за допомогою традиційного цільноклітинного біокаталізу або безклітинного підходу. У процесі аналізу біодеградації пластику ми використовували початкову ферментацію мікробних штамів за оптимальних умов, таких як температура, рН і додавання поживних речовин. Після цього ми здійснили біокаталіз цілої клітини шляхом інкубації мікробних штамів при вищій щільності клітин з зразками пластику в середовищі біодеградації. Якщо використовувати безклітинний підхід, то необхідно руйнувати клітини мікроорганізмів після початкової ферментації. У традиційному цільноклітинному біокаталізі ферментативна дія ферментів, що

розкладають пластик, що виділяються з мікробних штамів (тобто дикого типу або рекомбінантних), призводить до фрагментації полімеру. При прийнятті цільноклітинного підходу умови бродіння, такі як доступність кисню, робоча температура та рН, є ключовими умовами для забезпечення виживання та росту мікроорганізмів, що експресують ферменти, відповідальні за біодеградацію пластику.

У традиційному цільноклітинному біокаталізі ферменти, що виділяються з мікробних штамів, розкладають пластик, що призводить до його фрагментації. Для успішного росту і виживання мікроорганізмів, які відповідають за біодеградацію пластику, ключовими є умови бродіння, такі як доступність кисню, робоча температура та рН. Потенційно можна використовувати біокаталіз цілої клітини для біодеградації поліолефінів з вуглецевими структурами. Оскільки ферменти, що відповідають за біодеградацію цих пластиків, ще потрібно ідентифікувати, традиційний цільноклітинний підхід з використанням штамів дикого типу в поєднанні з біоінформаційним аналізом може допомогти нам виявити потенційні ферменти, які ефективно біодеградує ці пластмаси і сприяють захисту навколишнього середовища [10].

Крім пошуку нових штамів і ферментів для розкладання пластику, важливо також розвивати стратегії для покращення існуючих процесів біодеградації. Для поліолефінів ми використовували попередню обробку, таку як ультрафіолетове опромінення, термічна та хімічна обробка, щоб підвищити їх сприйнятливості до біодеградації. Це сталося тому, що їх високогідрофобна природа, яка в основному пояснюється структурою вуглеводневого ланцюга, перешкоджає дії мікробів під час процесу біодеградації. Попередня обробка полімерів індукє окислення полімеру та сприяє подальшому процесу біодеградації, який передбачає інкубацію попередньо обробленого пластику з мікроорганізмами. Інші нові стратегії попередньої обробки, такі як гамма-опромінення та плазмова обробка, також були досліджені для покращення загального процесу біодеградації пластику. Зазвичай, попередня обробка полімерів призводить до збільшення кількості функціональних груп у полімерному ланцюзі (наприклад, карбонільних, карбоксильних і складних ефірів). Нами виявлені зміни в морфології поверхні пластмас після процесу попередньої обробки, а швидкість біодеградації попередньо оброблених пластмас була вищою, ніж у пластмас без попередньої обробки [11].

Розробка ферментів з потрібними властивостями може сприяти підвищенню загальної біодеградації пластмас. Ферменти, які ефективно розкладають інші синтетичні пластмаси, ще потрібно ідентифікувати. Застосування структурного алгоритму машинного навчання дозволило створити надійну та активну ПЕТ-гідролазу (швидка ПЕТаза). Відмічену підвищену активність у біодеградації ПЕТ порівняно з ПЕТазою дикого типу та кількома іншими сконструйованими ферментами, які були розроблені до цього часу [12,13].

Біорозкладання піностиролу (PS) личинками жука *Uloma sp.* є одним із можливих способів переробки цього пластику в екологічно безпечний спосіб. Личинки можуть переробляти піностирол і перетворювати його на біомасу та інші біохімічні сполуки. Процес біодеградації полягає в тому, що личинки жука живляться піностиролом, а потім виділяють ферменти, які розкладають його на менші компоненти. Результатом цього процесу є утворення біомаси та інших біохімічних сполук, які можуть бути використані в різних галузях, наприклад, у виробництві добрив або як джерело енергії.

Личинки жуків вирощувалися в поліпропіленових пластикових контейнерах (11,5×8×6 см) у лабораторії в умовах навколишнього середовища (температура: 28 ± 1 °C, вологість: $80 \pm 2\%$) протягом 28 днів. Була взята випадкова група з ста личинок жуків і їх годували на єдиній дієті з PS у дозі 2,5 г. Личинки були піддані контролю, шляхом годування лише сотами з бджолиного воску або режиму голодування. Усі випробування були проведені тричі. Встановлено рівень виживання та відсоток втрати ваги ПС. Різницю мас визначали за допомогою аналітичних ваг з точністю зчитування 0,01 мг, і вимірювання продовжували один раз на 4 дні протягом 28 днів експерименту. Протягом 28 днів проводили випробування деградації матеріалу ПС на личинках жука *Uloma sp.* Личинки активно жували фрагменти ПС (рис.1), особливо коли він був у прямому контакті з ними. З часом, з'являлися заглиблення в матеріалі ПС, які збільшувалися з часом. Швидкість споживання фрагментів личинками оцінювали за втратою маси матеріалу, яку спричиняли личинки.

Під час експерименту було помічено покращення споживання матеріалу ПС. З початкових 2,5 г загальна втрата ваги наприкінці експерименту становила $1,04 \pm 0,02$ г (рис.2). Середня норма споживання ПС кожною личинкою *Uloma* оцінювалася в 0,37 мг на день.



Рис.1. Експеримент зі споживання піностиролу личинками жука

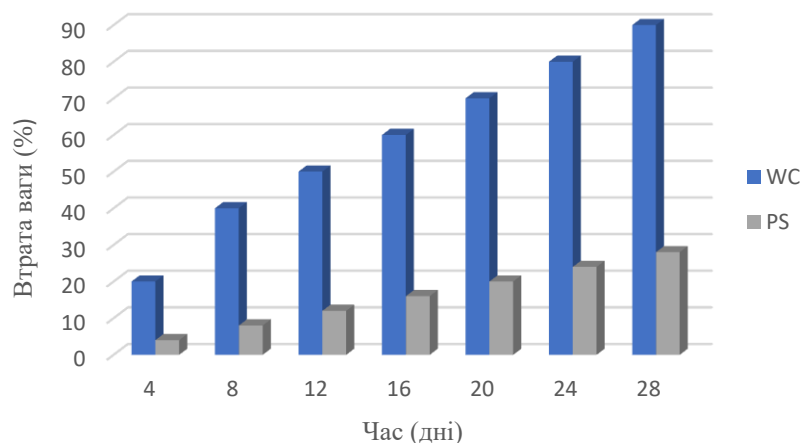


Рис. 2. Порівняння відсотка втрати ваги воскових стільників (WC) і полістиролу (PS) після споживання личинок *Uloma*

Личинки жука, які харчувалися WC і PS, завершили свій ріст і пройшли всі стадії розвитку (личинка, лялечка і дорослий жук), тоді як негодовані личинки не сформували лялечок і не змогли завершити свій життєвий процес. Личинки жука, які отримували WC та PS, завершували свій життєвий цикл відповідно за 210 ± 2 та 171 ± 1 дня (табл.). Помічено, що личинки, яких годували PS, мали меншу тривалість життя дорослих порівняно з личинками, яких годували WC. Дорослі жуки, утворені з личинок, які харчувалися кормом як PS, так і WC, були здатні виробляти наступне покоління. Самки жуків відкладають яйця, і протягом тижня з яєць вилуплюються личинки. Однак щойно вилупилися личинки жука, що годували PS, не змогли закріпитися. У випадку личинок, які харчуються PS, відсутність належних поживних речовин може бути причиною зниження довголіття дорослої особини та невдалого другого покоління. І личинки, і жук показують канібалізм і підрахунок мертвих личинок або жуків у кормі для PS показує зменшення кількості мертвих, що свідчить про те, що личинки, яких годують лише PS, поглинають основні поживні речовини, необхідні для росту та виживання, споживаючи мертвих личинок/жука. Отже, можна стверджувати, що *Uloma sp.* схильні споживати його суспензію, коли є дефіцит їжі або основних поживних речовин, необхідних для розвитку[14,15].

Результати вказують на те, що PS корм підтримує ріст личинок жука, а перетравлення проковтнутого PS може забезпечити енергію для підтримки та виживання личинок жука. Хоча

PS-корм не виявляв жодного летального впливу на личинки жуків, він явно вплинув на ріст і розвиток личинок другого покоління.

Таблиця

Зміна біомаси та здатності до завершення життєвого циклу для негодованих личинок *Uloma* та личинок при різних типах харчування

Тип харчування	Початкова маса, мг/личинки	Маса в кінці тесту, мг/личинки	Зміна маси (%)	Тривалість стадії розвитку (днів)		
				Личинка	Лялечка	Жук
Віск (WC)	64	78	+23	50	8	153
Полістирол (PS)	62	64,6	+4	39	8,5	124
Полістирол+Віск (PS-WC)	62,2	76	+22	42	8	138
Негодовані	62,3	57	-8	16,4	—	—

Вид *Uloma*, зазвичай харчується восковими сотами. Коли личинок жука *Uloma* годували WC у присутності PS, вони спочатку їли WC, а потім PS. Доданий восковий стільник значно збільшив швидкість деградації PS на відміну від одного PS. Втрата ваги після деградації (%) становила 41,5 % для личинок, які отримували лише PS, і 63 % для личинок, які отримували PS-WC. Середня норма споживання PS для кожної личинки *Uloma* була оцінена і виявилася, що вона становить 0,37 мг на день для личинок, яких годували лише PS, і 0,56 мг на день для личинок, яких годували PS-WC.

Додаткове живлення забезпечило швидшу деградацію PS і вищу живучість черв'яків, які харчувалися PS-WC. Крім того, було помічено, що використання PS як єдиної дієти призводить до збільшення ваги на 4,5 % від початкової ваги. З іншого боку, при контакті з раціоном WC та PS-WC личинки мали приріст маси 23 % та 22 % відповідно. Негодовані личинки мали втрату ваги 8 % від початкової. Спостереження за стадіями розвитку личинок, яких годували PS-WC, показали, що личинки були здатні утворювати лялечки, а потім, будучи дорослим жуком, завершувати свій життєвий цикл. Личинки мали тривалість життя дорослих особин 138 днів, і жуки були здатні виробляти ефективне наступне покоління. Новоутворені личинки, які споживали PS-WC, мали вищу виживаність порівняно з личинками другого покоління, яких годували PS; виявлено, що вони живуть більше одного місяця. Стандартний корм WC здатний забезпечувати вищу продуктивність личинок жуків. Це пояснюється тим, що до складу бджолиного воску, входять мед, пилок, а ексувія личинок медоносних бджіл є джерелом вітамінів, білків, амінокислот і мікроелементів, які можуть засвоюватися шляхом травлення. Таким чином, WC може бути кращим джерелом дієтичних потреб, ніж вуглеводні з PS.

Отже, результати свідчать про те, що екзувії личинок медоносної бджоли є джерелом вітамінів, білків, амінокислот і мікроелементів, які можуть бути засвоєні шляхом травлення. Таким чином, WC може бути більш ефективним джерелом дієтичних потреб, ніж вуглеводні з PS.

Висновки. Сучасні підходи до поводження з відходами пластмас нездатні забезпечити екологічну безпеку з одночасним розкладанням кількох типів синтетичних пластмас. На сьогоднішній день дослідження біодеградації пластику були зосереджені на перевірці здатності мікроорганізмів і ферментів деполімеризувати один тип пластику. Показано, що потенціал ферментів у реалізації одночасного розкладання змішаних пластикових відходів має очевидну перевагу перед звичайними підходами переробки, оскільки поточні технології переробки все ще вимагають попереднього сортування пластикових відходів.

У лабораторних умовах встановлено, що личинки жуків *Uloma* sp. здатні розвиватися на поліпропіленовому пластику (PS). Особини, які отримували PS, мали меншу тривалість життя порівняно з личинками, які отримували бджолиний віск. Зниження довголіття дорослої особини та невдалого другого покоління ми пов'язуємо із відсутністю належних поживних речовин у кормі для личинок, які споживали PS. Личинки та дорослі жуки показували канібалізм, але кількість мертвих личинок чи жуків в кормі для PS зменшувалася з часом.

В цілому, результати дослідження підтверджують можливість забезпечення сталого розвитку у системі поводження з пластиковими відходами шляхом використання жуків для біологічного розкладання поліпропіленового пластику.

Література

- 1 А. О. Тітова, О.В. Харламова, Л. А. Безденежних, С. А. Бігдан. Оптимізація системи управління твердими побутовими відходами у кременчуцькій територіальній громаді// Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського», №3/2021(128). С.51-56.
- 2 А. В. Генова, С. А. Бігдан, В. М. Шмандій, О. В. Харламова, Т. Є. Ригас. Реалізація інтегрованої системи моніторингу задля забезпечення екологічної безпеки водних ресурсів. Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety». 13(1/2023).
- 3 Азаров С.І., Харламова О.В. Моделювання впливу антропогенних чинників на стан довкілля. Науково-практичний журнал «Екологічні науки», Київ. 2020. №1(28), С. 97–101.
- 4 A. Muthukumar, S. Veerappapillai, Biodegradation of plastics – a brief review, Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res., 31 (2015), pp. 204-209
- 5 Zeenat, Elahi, A., Bukhari, D. A., Shamim, S., & Rehman, A., 2021. Plastics degradation by microbes: a sustainable approach. J. King Saud Univ. Sci., 336.
- 6 S.Bahl, J.Dolma, “Biodegradation of plastics: a state of the art review” Mater. Today: Proc., 39(2021), pp.31-344.
- 7 S.S.Ali, T.Elsamahy, E.Koutra, “Degradation of conventional plastic wastes in the environment: a review on current status of knowledge and future perspectives of disposal” Sci. Total Environ., 771(2021), Article 144719.
- 8 E.Huerta Lwanga, B.Thapa, X.Yang, “Decay of low-density polyethylene by bacteria extracted from earthworm's guts: A potential for soil restoration” Sci. Total Environ., 624(2022), pp.753-757.
- 9 A.Sanluis-Verdes, P.Colomer-Vidal, F.Rodriguez-Ventura, “Wax worm saliva and the enzymes therein are the key to polyethylene degradation by *Galleria mellonella*” Nat. Commun., 131(2022), p.5568.
- 10 R.Wei, W.Zimmermann, “Microbial enzymes for the recycling of recalcitrant petroleum-based plastics: how far are we, Microb. Biotechnol., 106(2019), pp.1308-1322.
- 11 D.Jeyakumar, J.Chirsteen, “Synergistic blending on fungi mediated biodegradation of polypropylenes”, Bioresour. Technol., 148(2020), pp.78-85.
- 12 H.Lu, D.J.Diaz, N.J.Czarnecki, Machine learning-aided engineering of hydrolases for PET depolymerization, Nature, 6047907(2022), pp.662-667.
- 13 V.Tournier, C.M.Topham, A.Gilles, An engineered PET depolymerase to break down and recycle plastic bottles Nature, 5807802(2020), pp.216-2.
- 14 M.O. Mahgoub, W. Lau, Observations on the biology and larval instars discrimination of wax moth *Achroia grisella* F. (Pyralidae: lepidoptera), J. Entomol., 12 (1) (2015), pp. 1-11.
- 15 N. Nukmal, Effect of styrofoam waste feeds on the growth, development and fecundity of mealworms (*Tenebrio molitor*), Online J. Biol. Sci., 18 (1) (2018), pp. 24-28.

**V. Sinyashchyk, O. Kharlamova,
V. Shmandiy, T. Rigas, L. Bezdeneznych**
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN THE PLASTIC WASTE MANAGEMENT SYSTEM

The properties of microorganisms from plastic-contaminated areas were analyzed. Research results have shown that the gut microbiome of larval species of the large wax moth uses plastic as a carbon source, and the gut microbiome of the worm is able to survive on polystyrene. Enzymes that break down polyethylene in the saliva of wax worms have also been identified, which is important for combating plastic pollution.

Enzymatic biodegradation of plastics is carried out using traditional whole-cell biocatalysis or a cell-free approach. It is shown that the use of wild-type strains in combination with bioinformatic analysis makes it possible to identify potential enzymes that effectively biodegrade plastics and contribute to environmental safety.

The paper discusses the importance of improving the efficiency of existing plastic biodegradation processes, particularly the application of pretreatment to increase the receptivity of polyolefins. It is shown that the development of enzymes can contribute to the general biodegradation of plastics, examples of successful construction of PET hydrolase using machine learning are given. The research

results demonstrate the effectiveness of these strategies for the biodegradation of plastics and may be useful for further development in this field.

The process of biodegradation of polystyrene (PS) was studied with the help of *Uloma* sp beetle larvae, which actively feed on PS and secrete enzymes that decompose it into biomass and other biochemical compounds. As a result of the experiment, the survival rate and percentage of weight loss of the PS were determined. It was established that the larvae of the beetle *Uloma* sp. can effectively degrade PS, which is an important aspect in reducing waste volume and ensuring an environmentally safe way of recycling plastic.

Key words: Environmental aspects, sustainable development, handling of plastic waste, ensuring ecological safety, plastic, microorganisms, biodegradation, enzymes.

References

- 1 .A.O. Titova, O.V. Kharlamova, L. A. Bezdenezhniy, S. A. Bigdan Optymizatsiia systemy upravlinnia tverdymy pobutovymy vidkhodamy u kremenchutskii terytorialnii hromadi// Naukovyi zhurnal «Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho», No. 3/2021(128). P.51-56.
- 2 A. V. Genova , S. A. Bihdan , V. M. Shmandiy , O. V. Kharlamova , T. E. Ryhas. Realizatsiia intehrovanoi systemy monitorynhu zadlia zabezpechennia ekolohichnoi bezpeky vodnykh resursiv. Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety». 13(1/2023).
- 3 Azarov S.I., Kharlamova O.V. Modeliuvannia vplyvu antropohennykh chynnykiv na stan dovkillia. Naukovo-praktychnyi zhurnal «Ekolohichni nauky», Kyiv.. No. 1(28), pp. 97–101.
- 4 A. Muthukumar, S. Veerappapillai, Biodegradation of plastics – a brief review,Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res., 31 (2015), pp. 204-209
- 5 Zeenat, Elahi, A., Bukhari, D. A., Shamim, S., & Rehman, A., 2021. Plastics degradation by microbes: a sustainable approach. J. King Saud Univ. Sci., 336.
- 6 S.Bahl, J.Dolma, “Biodegradation of plastics: a state of the art review” Mater. Today: Proc.,39(2021), pp.31-344.
- 7 S.S.Ali, T.Elsamahy, E.Koutra, “Degradation of conventional plastic wastes in the environment: a review on current status of knowledge and future perspectives of disposal” Sci. Total Environ.,771(2021), Article144719.
- 8 E.Huerta Lwanga, B.Thapa, X.Yang, “Decay of low-density polyethylene by bacteria extracted from earthworm's guts: A potential for soil restoration” Sci. Total Environ.,624(2022), pp.753-757.
- 9 A.Sanluis-Verdes, P.Colomer-Vidal, F.Rodriguez-Ventura, “Wax worm saliva and the enzymes therein are the key to polyethylene degradation byGalleria mellonella”Nat. Commun.,131(2022), p.5568.
- 10 R.Wei, W.Zimmermann, “Microbial enzymes for the recycling of recalcitrant petroleum-based plastics: how far are we, Microb. Biotechnol.,106(2019), pp.1308-1322.
- 11 D.Jeyakumar, J.Chirsteen, “Synergistic d blending on fungi mediated biodegradation of polypropylenes”,Bioresour. Technol.,148(2020), pp.78-85.
- 12 H.Lu, D.J.Diaz, N.J.Czarnecki, Machine learning-aided engineering of hydrolases for PET depolymerization, Nature,6047907(2022), pp.662-667.
- 13 V.Tournier, C.M.Topham, A.Gilles, An engineered PET depolymerase to break down and recycle plastic bottlesNature,5807802(2020),pp.216-219.
- 14 M.O. Mahgoub, W. Lau, Observations on the biology and larval instars discrimination of wax moth *Achroia grisella* F. (Pyralidae: lepidoptera), J. Entomol., 12 (1) (2015), pp. 1-11.
- 15 N. Nukmal, Effect of styrofoam waste feeds on the growth, development and fecundity of mealworms (*Tenebrio molitor*), Online J. Biol. Sci., 18 (1) (2018), pp. 24-28.

*В. М. Чупа, Я. О. Адаменко
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ ЗОЛЬНОСТІ ТА ВМІСТУ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ЗОЛІ РІЗНИХ ВИДІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ТА ТВЕРДОПАЛИВНИХ ПЕЛЕТ

В статті розглянуто актуальне для сьогодення питання поводження з твердими побутовими відходами та акцентовано увагу на те, що найбільш ефективним методом скорочення обсягу відходів є термічна обробка. Приділено увагу такому важливому параметру при спалюванні твердих побутових відходів як зольність та вміст хімічних елементів в золі, зокрема важких металів.

Останнім часом проблема відходів стає все більш актуальною у зв'язку зі зростанням кількості відходів та негативним впливом на навколишнє середовище. Одним зі способів зменшення кількості відходів є їх переробка на паливо. Тверді побутові відходи та твердопаливні пелети є джерелом енергії, але вони також можуть містити важкі метали, які можуть бути шкідливі для здоров'я людини та навколишнього середовища.

Проведено дослідження зольності різних типів відходів, деревних твердопаливних пелет зроблених з різної деревини. Під час виїзної експедиції на полігон твердих побутових відходів (ТПВ) в с. Рибне були зібрані зразки відходів для подальшого дослідження. Було проведено аналіз рівня зольності суміші відходів, який відповідає морфологічному складу полігону твердих побутових відходів у селі Рибне, та зроблений подальший аналіз золи на вміст важких металів. Також, проведено аналіз зольності та дослідження золи на вміст хімічних елементів суміші деревних твердопаливних пелет, що було зроблене з різних видів деревини.

Досліджено рівень зольності для різних видів відходів (пластик, біо-відходи, гума, папір, текстиль, дерево, тощо) та різних видів твердопаливних деревних пелет (дуб, бук, хвоя, тощо). Розроблено графік для порівняння показника калорійності різних видів відходів та пелет до рівня їх зольності. Для спрощення розрахунку застосовувалось програмне забезпечення Microsoft Excel. При визначенні використовувались реальні значення калорійності, що були отримані під час лабораторного дослідження за допомогою калориметра ІКА С1, показники зольності отримані методом озолення зразків у муфельній печі з подальшим зважування зразків, та дослідженням хімічного складу зразків на на прецизійному аналізаторі EXPERT 3L з постійною подачею гелію у канали коліматора.

Ключові слова: тверді побутові відходи, термічне знешкодження, калорійність, зольність, важкі метали.

Постановка проблеми. Проблема твердих побутових відходів (ТПВ) є великою загрозою в Україні та в багатьох інших країнах, оскільки обсяги утворення цих відходів постійно зростають. Це призводить до утворення величезних звалищ ТПВ поруч з містами. Для регулювання управління відходами, ЄС встановив «Рамкову директиву ЄС про відходи», яка встановлює правила збору, утилізації та переробки всіх видів відходів [1].

Технології перетворення відходів в енергію (Waste-to-energy – WtE) розвиваються як різноманітні методи очищення від відходів з метою перетворення їх на електроенергію, тепло, паливо та інші корисні матеріали. Процес WtE залишає за собою залишки відходів, такі як зола, шлак, котельна зола, стічні води та викиди.

В останні роки, в багатьох країнах з'явився інтерес до нових екологічно безпечних та безвідходних технологій термічної переробки побутових відходів з утворенням горючих газів. Хоча не існує універсального методу переробки ТПВ, комбінований метод, який використовує відходи як джерело енергії та вторинну сировину, є найбільш прийнятним методом [2].

Метою роботи є визначення рівня зольності відходів, по різних їх типах, а також, зольності твердопаливних пелет, порівняти кількість теплової енергії з рівнем зольності та проаналізувати вміст хімічних елементів, зокрема важких металів, що присутні в золі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження складу та кількості золи під час термічної утилізації твердих побутових відходів присвячено чимало робіт українських науковців. Питанням екологічної безпеки ТПВ після спалювання займалися Г. А. Кроїк, В. О. Дзюба,

О. В. Шевченко [3]. Визначенням вмісту токсичних сполук в золі після спалювання ТПВ досліджували А. М. Демків, В. Л. Сидоренко С. І. Азаров [4].

Викладення основного матеріалу. При плануванні процесу спалювання суміші твердих побутових відходів (ТПВ) враховуються багато факторів, таких як технологія утилізації, морфологічний склад, потреба у попередній підготовці відходів (сортування, подрібнення), стан відходів, їх фракційний склад та вологість, а також шлак і зола що утворюється в процесі спалювання. Зольність палива є одним із найважливіших показників який треба враховувати. [5].

Для оцінки морфологічного складу ТПВ були використані усереднені дані за 2020-2021 роки, що були надані КП "Полігон ТПВ". Ці дані були отримані згідно з методичними рекомендаціями, затвердженими Міністерством з питань житлово-комунального господарства України 16 лютого 2010 року № 39 [6]. Встановлено, що приблизно 64-68% ТПВ, що надходять на полігони, придатні для відновлення енергії. Близько 32% ТПВ не придатні для одержання енергії, оскільки вони є негорючими, включають скло та метал, а також несортований залишок, який не враховується під час лабораторних досліджень та розрахунку енергетичного потенціалу ТПВ.

Після проведення дослідження калорійності відходів та пелет, було проведено дослідження зольності всіх видів палива, а саме 7 проб ТПВ по різних їх видах, 7 проб твердопаливних пелет з різних порід дерев та 2 проби сумішей: 1) суміш, що відповідає морфологічному складу ТПВ полігону с. Рибне, 2) усереднена суміш деревних пелет [7].

Підготовлено 16 проб по 5 г. згідно встановленого компонентного складу, що наведено в табл. 1, також була підготовлене інша група дослідних зразків.

Таблиця 1

Опис досліджуваних компонентів ТПВ і пелет у зразках

Види пелет	Компоненти ТПВ	Опис проб ТПВ
Дуб	Папір та картон	Папір та картон різного розміру та різної щільності не придатний для сортування як сировина через забрудненість
Хвоя-30% Бук-30% Дуб 40%	Пластик	PET – 21,8%; LDPE – 1,85%; LDDE – 1,8%; PP – 3,49%; HDPE – 8,7%; PS – 1,3%; інші невстановлені види пластику – 61,1%
Хвоя-50% Бук-30% Дуб 20%	Дерево	Гілки дерев та тирса різного розміру
Топінамбур	Текстиль	Шматки різноманітних тканин
Хвоя (1)	Гума та шкіра	Взуття, ущільнення тощо
Хвоя (2)	Біо-відходи	Суміш органічних решток (фрукти, овочі тощо)
Бук	Несортований горючий залишок	Шматки пінопласту та інший несортований горючий залишок

Групи проб відходів та твердопаливних пелет готувались до проведення аналізів з метою визначення зольності та хімічного складу та вмісту важких металів в золі. Для проведення передбачених досліджень попередньо прожарений тигель, який зберігався в ексікаторі з осушуючою речовиною, зважують на вагах з точністю до 0,0002 г. Потім із аналітичної проби палива, бралась наважка масою (5±0,1) г. Тигель з наважкою зважують на вагах з точність до 0,0002 г. Маса пустого тигля та маса з наважкою віднімається, для визначення точної ваги зразка. Підготовка зразків включала в себе: (а) – підготовка тигля, (б) – готування суміші, (в) – проведення озолення зразка у муфельній печі (рис. 1).

Прокалювання зразків проводилось в муфельній печі SNOL 8.2/1100 при температурі 810 °С. Після процесу озолення тиглі повторно зважувались разом із золою, що утворилася. Потім розраховувався вміст золи із загальної маси проби у відсотках.

Зольність досліджуваної проби визначають за формулою, %:

$$A^a = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100\%, \quad (1)$$

де m_1, m_2, m_3 – маса тигля відповідно прожареного, з наважкою проби палива, із зольним залишком після прожарювання, г.

Після розрахунків отримуємо значення зольності та прирівнюємо їх до калорійності (табл. 2).



Рис. 1. Підготовка зразків ТПВ і пелет для визначення зольності

Таблиця 2

Калорійність та зольність досліджуваних проб

Вид палива	Калорійність (Дж/г)	Зольність (%)
Папір, картон	13457	7,83
Пластик	39970	0,61
Текстиль	17580	0,55
Дерево	17947	2,1
Гума	32373	55,1
Біо-відходи	13637	37,8
Несортований горючий залишок	9622	23,3
Дуб	18313	1,13
Хвоя-30% Бук-30% Дуб 40%	18399	1,24
Хвоя-50% Бук-30% Дуб 20%	17882	1,21
Топінамбур	17728	0,8
Хвоя (1)	17643	1,27
Хвоя (2)	17693	1,25
Бук	17668	1,03
Усереднена суміш пелет	17947	0,51
Суміш відходів Рибненського полігону	18488	3,89

Також, із попередніх досліджень за допомогою калориметра ІКА С1 було встановлено калорійність для кожного із зразків твердопаливних деревних пелет та їх усередненої суміші, та різних типів відходів, а також суміші ТПВ відповідно до морфологічного складу придатного для спалювання, полігону с. Рибне.

Згідно отриманих даних в таблиці наведеній вище можна отримати візуалізацію отриманих даних за допомогою зведеного графіка (рис. 2).

Проаналізувавши графік можна зазначити, що найбільший показник зольності спостерігається в зразках гуми – 55,1%, біо-відходів – 37,8% та в несортованого горючого залишку – 23,3%. При цьому найкраще співвідношення калорійності (39970 Дж/г.) до зольності (0,61%) в зразках пластику. Також найгірше співвідношення калорійності (13637 Дж/г.) до зольності (37,8%) спостерігається в зразках біо-відходів.

Дослідження вмісту важких металів в золі спалених ТПВ та твердопаливних пелет проводився на приладі EXPERT 3L (рис. 3). Для проведення аналізу проби ТПВ та пелет потрібно підготувати, їх необхідно нагріти у муфельній печі при температурі 800-830°C до повного перетворення зразків на золу.

Принцип роботи EXPERT 3L базується на методі спектрального аналізу спектрів флюоресценції елементів випромінених при адсорбції високоенергетичного випромінювання, іншими словами – рентгенофлюоресцентний аналіз. Атоми досліджуваного об'єкту збуджуються рентгенівським-, гамма – чи іонізуючим випромінюванням (на противагу до методів WDS чи EDX,

де збудження відбувається пучком електронів). При взаємодії атомів речовини з високоенергетичним випромінюванням, електрони близькі до ядра атома вибиваються із своїх орбіталей.

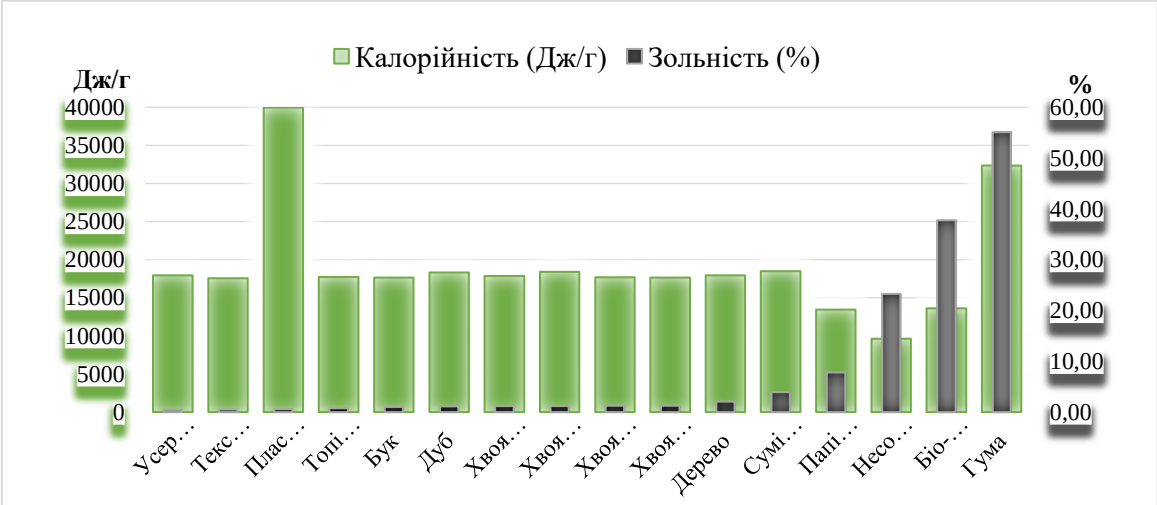


Рис. 2. Графік порівняння рівня калорійності та зольності палива

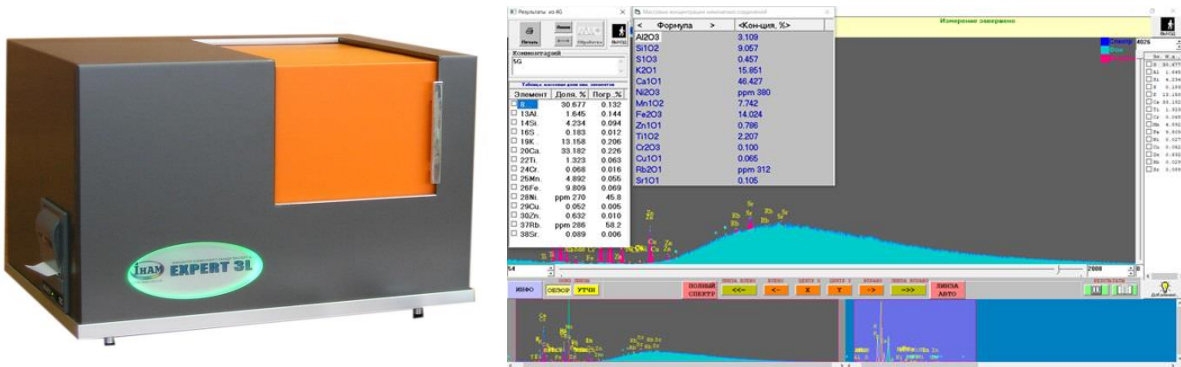


Рис. 3. Прилад EXPERT 3L та його інтерфейс

При цьому електрони з вищих енергетичних орбіталей займають їх місце, виділяючи при цьому фотони - характеристичне флюоресцентне випромінювання. Тобто відбувається емісія випромінювання з меншою енергією за поглинуту. За допомогою різноманітних детекторів (PIN diode, Si(Li), Ge(Li), Silicon Drift Detector SDD) реєструють спектр флуоресценції. За положенням максимумів у спектрі випромінювання можна провести якісний елементарний аналіз такого спектру флуоресценції, а за їх величиною, використавши еталонні зразки, зробити кількісний аналіз.

Дані що були отримані під час проведення аналізу на вміст токсичних хімічних речовин та важких металів в золі ТПВ та твердопаливних пелетах наведені (табл. 3, 4).

Таблиця 3

Вміст хімічних елементів (важких металів) в ТПВ полігону с. Рибне

Вміст хімічних елементів у золі (%)	Вид палива							
	папір, картон	пластик	текстиль	дерево	гума	біо-відходи	несортований горючий залишок	суміш відходів Рибненського полігону
1	2	3	4	5	6	7	8	9
O	41,78500	33,04000	35,68100	39,01300	27,15100	27,41700	28,82400	25,01320
Mg	0,00000	0,00000	0,66500	1,56400	1,35200	2,55100	1,06100	0,00000
Al	13,03200	1,54000	0,70400	9,98700	8,78800	2,62800	3,38000	0,62340
Si	15,79000	4,12600	7,15800	12,68700	7,54200	1,48100	3,56900	3,04660

Продовження табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
P	0,00000	0,00000	2,70200	0,58200	2,84100	6,02000	1,43400	0,05780
S	0,42100	0,76300	2,10000	1,70800	0,95600	1,85200	1,14100	0,89420
Cl	0,00000	2,20600	0,00000	2,38300	3,45100	5,21100	5,24700	15,88420
K	0,00000	1,32600	1,72600	9,23900	1,97800	51,02700	24,99900	12,81280
Ca	25,27100	42,14800	25,41200	20,19900	19,25400	1,44000	26,67500	34,09900
Ti	0,98000	10,75200	19,01000	0,64200	36,47200	0,00032	1,07900	1,19300
Cr	0,12300	0,53000	0,76200	0,00000	8,78800	0,00000	0,00046	0,37180
Mn	0,00045	0,05900	0,05500	0,99200	0,95600	0,00022	0,05600	0,21900
Fe	0,99700	2,72700	0,05600	0,79700	0,38500	0,24600	1,77900	4,78920
Ni	0,00076	0,00037	0,22100	0,00000	1,90100	0,00037	0,00046	1,69450
Cu	0,00030	0,08800	0,00038	0,00015	0,46800	0,00011	0,05400	0,14000
Zn	0,10900	0,12700	0,00000	0,12100	0,00018	0,00020	0,34400	0,60840
Ga	0,00036	0,00000	0,00000	0,00000	0,00041	0,00000	0,00000	0,00000
Br	0,00010	0,41600	0,00000	0,00044	0,00005	0,00031	0,07000	0,21280
Rb	0,00023	0,00000	0,00000	0,00000	0,00009	0,00042	0,00057	0,00000
Sr	0,00067	0,00013	0,00000	0,00010	0,00028	0,00024	0,00013	0,06090
Zr	0,00012	0,00000	0,00000	0,00000	0,00002	0,00000	0,00019	0,00000
Mo	0,00000	0,00063	0,00000	0,00000	0,00018	0,00000	0,00043	0,00000
Sb	0,00000	0,08100	0,00000	0,00000	0,00009	0,00000	0,00000	0,00000
Pd	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00006	0,00016	0,00014	0,00000
I	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00038	0,00023	0,00000	0,00000
Re	0,00091	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Ir	0,00045	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Ru	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Sn	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Nb	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00008
Ag	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00008
Cd	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00004
Pb	0,06500	0,00000	0,00000	0,00018	0,00000	0,00000	0,00000	0,01640

Таблиця 4

Вміст хімічних елементів (важких металів) в твердопаливних пелетах

Вміст хімічних елементів у золі (%)	Вид палива							
	дуб	хвоя-30%, бук-30%, дуб- 40%	хвоя-50%, бук-30%, дуб- 20%	топінабур	хвоя (1)	хвоя (2)	бук	усереднена суміш пелет
1	2	3	4	5	6	7	8	9
O	30,11700	28,91100	29,66500	26,86500	30,67700	30,25000	35,76200	30,32100
Mg	0,00000	0,00000	0,00000	0,61700	0,00000	0,00000	0,00000	0,08814
Al	2,02500	1,61300	1,49900	1,60600	1,64500	1,64500	1,88400	1,70243
Si	2,79100	2,75300	3,09600	2,59000	4,23400	3,16100	13,53100	4,59371
P	0,00000	0,00000	0,00000	0,52000	0,00000	0,44200	0,78700	0,24986
S	0,42700	0,48600	0,21200	0,22000	0,18300	0,20900	0,11800	0,26500
Cl	0,00000	0,00000	0,00000	1,08900	0,00000	0,00000	0,00000	0,15557
K	16,49200	18,65200	13,80100	28,38100	13,15800	14,68500	13,29900	16,92400
Ca	33,96400	35,20800	36,53800	35,82500	33,18200	37,89100	20,04300	33,23586
Ti	3,12800	0,74500	0,66900	0,18000	1,32300	0,42500	1,40100	1,12443
Cr	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,06800	0,00000	0,00000	0,00971
Mn	5,58800	2,68800	3,12300	0,22400	4,89200	7,44400	1,64300	3,65743
Fe	4,64400	8,01000	10,92100	1,48000	9,80900	3,32500	10,97700	7,02371
Ni	0,00047	0,05400	0,00029	0,00005	0,00027	0,00000	0,00000	0,00787
Cu	0,10500	0,08100	0,00049	0,00019	0,05200	0,05300	0,00032	0,04171
Zn	0,35700	0,56900	0,17600	0,15200	0,63200	0,37400	0,20100	0,35157

Продовження табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ga	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00007	0,00001
Br	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Rb	0,00049	0,00030	0,00037	0,00013	0,00029	0,00000	0,00028	0,00026
Sr	0,12300	0,10200	0,10100	0,19600	0,08900	0,09700	0,08000	0,11257
Zr	0,00041	0,00000	0,00000	0,00007	0,00000	0,00000	0,05300	0,00764
Mo	0,00038	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00005
Sb	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Pd	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
I	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Re	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Ir	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Ru	0,06500	0,00031	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00933
Sn	0,00000	0,06900	0,00048	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00993
Nb	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Ag	0,00000	0,00000	0,00000	0,00012	0,00000	0,00000	0,00000	0,00002
Cd	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Pb	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00038	0,00005

Основні хімічні речовини та сполуки, які зустрічаються при аналізі даних зразків, а саме токсичні елементи та важкі метали характеризуються малими концентраціями. Частка важких металів і шкідливих для здоров'я людини хімічних елементів не перевищує допустимі норми. Вміст та склад ТПВ є мінливим показником, тому рівні токсичних речовин в золі може змінюватись.

Висновки. Досліджено рівні зольності для різних груп відходів та твердопаливних деревних пелет. Пластикові відходи мають найбільшу ступінь калорійності при одній з найменших рівнів зольності, що є хорошим показником. Водночас найнижча калорійність спостерігається в біо-відходів при досить високому рівні зольності.

Розроблено порівняльний графік, який візуалізує відношення рівнів калорійності та зольності різних видів твердих побутових відходів та твердопаливних пелет.

Також досліджено вміст хімічних елементів в золі. Перевищення рівнів концентрацій токсичних хімічних речовин та важких металів не спостерігалось.

Література

- 1 Директива 2008/98/ЄС про відходи. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_029-08#Text
- 2 Директива 2010/75/ЄС про промислові викиди. Режим доступу: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/55-GOEEI/%202010_75_%D0%84%D0%A1.pdf
- 3 Kroi'k, G. A., V. O. Dzjuba, and O. V. Shevchenko. "До питання оцінки екологічної безпеки побутових відходів після вогневого знешкодження." *Journal of Geology, Geography and Geoecology* 16.3/2 (2008): 17-20.
- 4 Демків, А. М., В. Л. Сидоренко, and С. І. Азаров. "Лабораторні дослідження викидів токсичних сполук в процесі згоряння твердих побутових відходів." (2018).
- 5 Kanfoud S., Kouloughli S. Municipal Solid Waste Management in Constantine, Algeria. *Journal of Geoscience and Environment Protection*. 2017. № 5. P. 25–31.
- 6 Про звіт комунального підприємства «Полігон ТПВ» за 2019 рік та затвердження плану розвитку на 2020 рік [Електронний ресурс] // Івано-Франківська міська рада. – 2020. – Режим доступу: <http://www.namvk.if.ua/prdt/462069/>.
- 7 Чупа, В. М., Адаменко, Я. О., & Чупа, К. О. (2023). Дослідження термічного потенціалу різноманітних сумішей твердих побутових відходів до твердопаливних пелет. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*, 2(26), 149–154. [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2022-2\(26\)-149-154](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2022-2(26)-149-154)

V. Chupa, Ya. Adamenko
*Ivano-Frankivsk National
Technical University of Oil and Gas*

STUDY OF ASH LEVEL AND CONTENT OF CHEMICAL ELEMENTS IN ASH OF DIFFERENT TYPES OF HOUSEHOLD SOLID WASTE AND SOLID FUEL PELLETS

The article deals with the current issue of solid household waste management and focuses on the fact that the most effective method of reducing the amount of waste is heat treatment. Attention is paid to such important parameters during the incineration of solid household waste as the ash content and the content of chemical elements in the ash, in particular heavy metals.

Recently, the problem of waste is becoming more and more relevant due to the increase in the amount of waste and the negative impact on the environment. One of the ways to reduce the amount of waste is to convert it into fuel. Solid household waste and solid fuel pellets are a source of energy, but they can also contain heavy metals that can be harmful to human health and the environment.

A study of the ash content in various waste types and wood solid fuel pellets made from different types of wood was conducted. During the field trip to the landfill of solid household waste (SHW) in the village of Rybne the samples were taken for further research. The ash level of the waste mixture was analyzed, which corresponded to the morphological composition of the landfill of solid household waste in the village of Rybne, and a further analysis of the ash for the content of heavy metals was carried out. Also, the contents of ash and chemical elements in the mixture of wood solid fuel pellets made from different types of wood were analyzed.

The level of ash content for different types of waste (plastic, bio-waste, rubber, paper, textiles, wood, etc.) and different types of solid fuel wood pellets (oak, beech, pine, etc.) was studied. A graph was developed to compare the calorie content of different types of waste and pellets to their ash content. Microsoft Excel software was used to simplify the calculation. The study involved the actual calorific values obtained during laboratory research with the help of IKA C1 calorimeter, the ash content obtained by the method of ashing samples in a muffle furnace with subsequent weighing of samples, and the investigation of the chemical composition of samples on the EXPERT 3L precision analyzer with a constant supply of helium in collimator channels.

Key words: solid household waste, thermal disposal, caloric content, ash content, heavy metals.

Reference

- 1 Dyrektyva 2008/98/Yes pro vidkhody. Rezhym dostupu: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_029-08#Text
- 2 Dyrektyva 2010/75/Yes pro promyslovi vykydy. Rezhym dostupu: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/55-GOEI/202010_75_%D0%84%D0%A1.pdf
- 3 Kroi'k, G. A., V. O. Dzjuba, and O. V. Shevchenko. "Do pytannia otsinky ekolohichnoi bezpeky pobutovykh vidkhodiv pislia vohnovoho zneshkodzhennia." *Journal of Geology, Geography and Geoecology* 16.3/2 (2008): 17-20.
- 4 Demkiv, A. M., V. L. Sydorenko, and S. I. Azarov. "Laboratorni doslidzhennia vykydiv toksychnykh spoluk v protsesi zghoriannia tverdykh pobutovykh vidkhodiv." (2018).
- 5 Kanfoud S., Kouloughli S. Municipal Solid Waste Management in Constantine, Algeria. *Journal of Geoscience and Environment Protection*. 2017. № 5. P. 25–31.
- 6 Pro zvit komunalnogo pidpriemstva «Polihon TPV» za 2019 rik ta zatverdzhennia planu rozvytku na 2020 rik [Elektronnyi resurs] // Ivano-Frankivska miska rada. – 2020. – Rezhym dostupu: <http://www.namvk.if.ua/prdt/462069/>.
- 7 Chupa, V. M., Adamenko, Ya. O., & Chupa, K. O. (2023). Doslidzhennia termichnogo potentsialu riznomanitnykh sumishei tverdykh pobutovykh vidkhodiv do tverdopalyvnykh pelet. *Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannia*, 2(26), 149–154. [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2022-2\(26\)-149-154](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2022-2(26)-149-154)

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

УДК 681.3

DOI: 10.31471/2415-3184-2023-1(27)-99-107

*І. Є. Смик, Л. М. Архипова**Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу*

АНАЛІЗ ВПЛИВУ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ В ІВАНО-ФРАНКІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ

Робота присвячена аналізу впливу метеорологічних умов на ефективність роботи сонячних панелей на території Івано-Франківської області. Розглядається питання використання сонячних панелей як одного з ключових джерел альтернативної енергії та важливості оцінки їх ефективності залежно від метеорологічних умов.

Досліджується взаємозв'язок між різними метеорологічними параметрами, такими як середньомісячна температура повітря, середньомісячна кількість опадів і середньомісячна швидкість вітру, та виробництвом сонячної електроенергії. Розраховані коефіцієнти кореляції між зазначеними параметрами та виробництвом сонячної енергії. У результаті отримано значення кореляції, на підставі яких зроблено висновки щодо впливу різних факторів на ефективність роботи сонячних панелей.

Акцентується увага на тому, що при плануванні розташування малих сонячних електростанцій важливо враховувати середню температуру повітря, оскільки існує сильна позитивна кореляція між нею та виробництвом сонячної електроенергії. Зазначається, що оптимальна температура для ефективної роботи сонячних панелей становить $+21^{\circ}\text{C}$.

У статті також наводяться рекомендації щодо врахування середньої швидкості вітру та середньої кількості опадів при плануванні розташування сонячних електростанцій, зокрема для туристичної галузі в Івано-Франківській області.

Отримані результати можуть бути корисні для розробки нових технологій та стратегій використання сонячної енергії в різних кліматичних умовах.

Ключові слова: сонячні панелі, ефективність, метеорологічні умови, альтернативна енергія, дослідження, статистичний аналіз, технології, безперебійна робота, удосконалення систем.

Постановка проблеми. Сонячна енергія - це енергія, отримана від Сонця у вигляді тепла та світла, яка відіграє важливу роль у керуванні кліматом і погодою на Землі, а також у підтримці життя на планеті. Технологія, що перетворює сонячну енергію в електроенергію, називається сонячною енергетикою. Цей процес може відбуватись безпосередньо з використанням фотовольтаїки або опосередковано через використання систем концентрованої сонячної енергії, де лінзи та дзеркала збирають сонячне світло з великої площі і зосереджують його в тонкий промінь, а механізм відстежує положення Сонця. Прогнозується, що до 2050 року сонячна енергетика стане основним джерелом електроенергії. Фотовольтаїка та концентрована сонячна енергія займуть відповідно 16% та 11% світового виробництва електроенергії [1, с.87].

Однак, ефективність роботи сонячних панелей залежить від метеорологічних умов, таких як опади, хмарність, температура, тощо. Це означає, що вплив метеорологічних умов на ефективність сонячних панелей має велике значення для забезпечення енергетичної безпеки та сталого розвитку.

Дослідження аналізу впливу метеорологічних умов на ефективність сонячних панелей в Івано-Франківській області є особливо актуальним, оскільки область має багату природну історію та значний потенціал для використання сонячної енергії.

Отже, проведення дослідження з аналізу впливу метеорологічних умов на ефективність сонячних панелей в Івано-Франківській області може стати важливим кроком у розвитку використання альтернативних джерел енергії в регіоні.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Серед науковців, які присвятили свої роботи цій темі, можна відзначити С. О. Кудрю, А. Р. Щокіна, Л. В. Яценка, І. М. Войтовича та

П. О. Кудрю. Зокрема, увага дослідників зосереджена на використанні сонячної енергії як одного з ключових джерел альтернативної енергії. З огляду на те, що ефективність роботи сонячних панелей залежить від метеорологічних умов, дослідження впливу цих параметрів на ефективність сонячних панелей є важливим напрямком наукових досліджень.

Постановка завдання. Виходячи з вище означеного аналізу проблеми та вже накопиченого науково-практичного досвіду перед нами постали наступні завдання:

- проаналізувати вплив метеорологічних умов на роботу сонячних панелей в Івано-Франківській області;
- визначити оптимальні параметри роботи сонячних панелей в залежності від метеорологічних умов;
- розробити рекомендації щодо оптимальної організації роботи сонячних панелей в залежності від метеорологічних умов з метою підвищення енергетичної ефективності та зменшення витрат на енергію.

Виклад основного матеріалу. Один із секторів, який значною мірою сприяє підвищенню попиту на електроенергію, є туризм. Готелі, ресторани, транспортні компанії та інші представники туристичної галузі використовують великі обсяги енергії для задоволення потреб своїх клієнтів. Це спричинює негативний вплив на довкілля, оскільки більшість електроенергії на сьогоднішній день виробляється за допомогою використання невідновлюваних природних ресурсів.

Зокрема, нами розраховано, що за даними енергетиків, в середньому на одну людину припадає приблизно 11,47 кВт електроенергії споживання за добу. Відповідно до статистичних даних, туристи відвідали Івано-Франківську область та використали приблизно наступні обсяги електроенергії (при середньому перебуванні в області протягом трьох днів): у 2017 році – 24 млн.кВт-год (2,1 млн туристів); у 2018 році – 25,23 млн.кВт-год (2,2 млн туристів); у 2019 році – 22,9 млн.кВт-год (2 млн туристів); у 2020 році – 20,64 млн.кВт-год (1,8 млн туристів); у 2021 році – 22,9 млн.кВт-год (2 млн туристів).

Сьогодні більша частина електроенергії генерується на теплових електростанціях (ТЕС), які споживають понад третину видобутого в світі палива. Тенденція першочергового використання ТЕС відображається в прогнозах на наступне десятиліття. Вплив ТЕС на навколишнє середовище змінюється в залежності від використовуваного палива.

Наразі ТЕС України використовують наступні енергоносії: енергетичне кам'яне вугілля – 53%; природний газ – 41%; мазут – 6% [6].

Під час спалювання твердого палива в атмосферу викидаються такі речовини: сірчаний та сірчистий ангідриди, газоподібні продукти згорання, легкий попел, оксид азоту, оксиди кремнію та кальцію, а також миш'як та радіоактивні елементи у певних випадках.

Електростанція потужністю 100 МВт, що працює на вугіллі, може мати щорічні викиди в атмосферу приблизно 5 тис. т SO_2 (за умови нейтралізації до 80%) та 10 тис. т NO_x . На поверхні землі в районі такої електростанції може утворитися близько 400 тис. т золи, яка містить приблизно 80 т важких металів, включаючи миш'як, свинець, кадмій, ванадій та інші, крім того тепла електростанція (ТЕС) потужністю 1 000 МВт споживає протягом року кількість кисню, еквівалентну тій, яку може виділити за аналогічний період 101 000 гектарів лісового масиву [6].

Ці дані підкреслюють важливість оптимізації та зменшення споживання електроенергії в туристичному секторі, а також актуальність впровадження відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі, для забезпечення сталого розвитку туризму в Івано-Франківській області.

Сонячні панелі є важливим джерелом альтернативної енергії, але їх ефективність залежить від різних параметрів, включаючи метеорологічні умови. Отже, для розуміння процесів, що відбуваються при використанні сонячних панелей, необхідно зрозуміти основні фізичні принципи, на яких ґрунтується їх робота.

Сонячні панелі працюють за принципом перетворення сонячної енергії в електричну енергію. Для цього використовуються фотоелектричні елементи, які містять напівпровідникові матеріали, здатні генерувати електричний струм при поглинанні фотонів світла. Однак, ефективність роботи сонячних панелей може змінюватися в залежності від метеорологічних умов, таких як опади, хмарність, температура повітря та інші параметри [2].

При аналізі вироблення сонячної енергії, найбільш важливими показниками є середня температура та опади, а також швидкість вітру.

Середня температура має вплив на ефективність сонячних панелей, оскільки збільшення температури може знизити їх ефективність.

Нижче наведено таблицю з середньою температурою повітря, зафіксованою в період з 2015 по 2022 роки. Дані отримані від станції метеорологічних спостережень Карпатська селестокова станція (м. Яремче) та виконаний базовий статистичний аналіз.

Таблиця 1

Середня температура повітря у 2015-2022 роках по дних Карпатської селестоковій станції, °С, [3]

Місяць	2015 рік	2016 рік	2017 рік	2018 рік	2019 рік	2020 рік	2021 рік	2022 рік
січень	-0	-3.4	-5.7	-1.0	-3.3	+0.2	+0.2	-0.3
лютий	0	+3.8	-0.6	-3.4	+1.5	+2.5	+2.5	+2.1
березень	+4.1	+4.8	+6.6	-0.7	+5.6	+4.6	+4.6	+3.8
квітень	+8.5	+10.8	+8.8	+13.9	+9.8	+8.8	+8.8	+7.4
травень	+13.9	+14.1	+13.7	+16.5	+13.7	+11.7	+11.7	+14.9
червень	+17.7	+19.1	+18.5	+18.5	+20.9	+18.6	+18.6	+19.1
липень	+20.2	+20.0	+19.2	+19.7	+19.1	+19.1	+19.1	+20.1
серпень	+21.0	+18.6	+20,0	+20.2	+20.1	+15.3	+15.3	+20.0
вересень	+16.0	+16.3	+14	+15.1	+14.8	+15.3	+15.3	+12.7
жовтень	+7.5	+6.7	+9.7	+9.7	+9.7	+11	+11	+10.2
листопад	+5.0	+1.2	+3.4	+2.3	+5.9	+4.0	+4.0	+1.2
грудень	+2.5	-0.3	+1.9	-1.0	+1.8	+0.9	+0.9	-0.1

Як бачимо, відзначається тенденція до зростання середньої температури у більшості місяців з кожним наступним роком. Однак, були випадки, коли температура знижувалася у певних місяцях, наприклад, в лютому 2017 року температура становила -0.6°С, що на 4.4 градуса нижче, ніж у лютому 2016 року.

Значні коливання температури можуть впливати на ефективність сонячних панелей та виробництво сонячної енергії. Температура повітря має вплив на рівень виробництва електроенергії, оскільки тепло є фактором, який зменшує ефективність сонячних панелей. При зростанні температури панелі нагріваються і стають менш ефективними, що призводить до зменшення виробництва електроенергії.

Відобразимо зміни середньої місячної температури повітря у вигляді діаграми (рис.1).

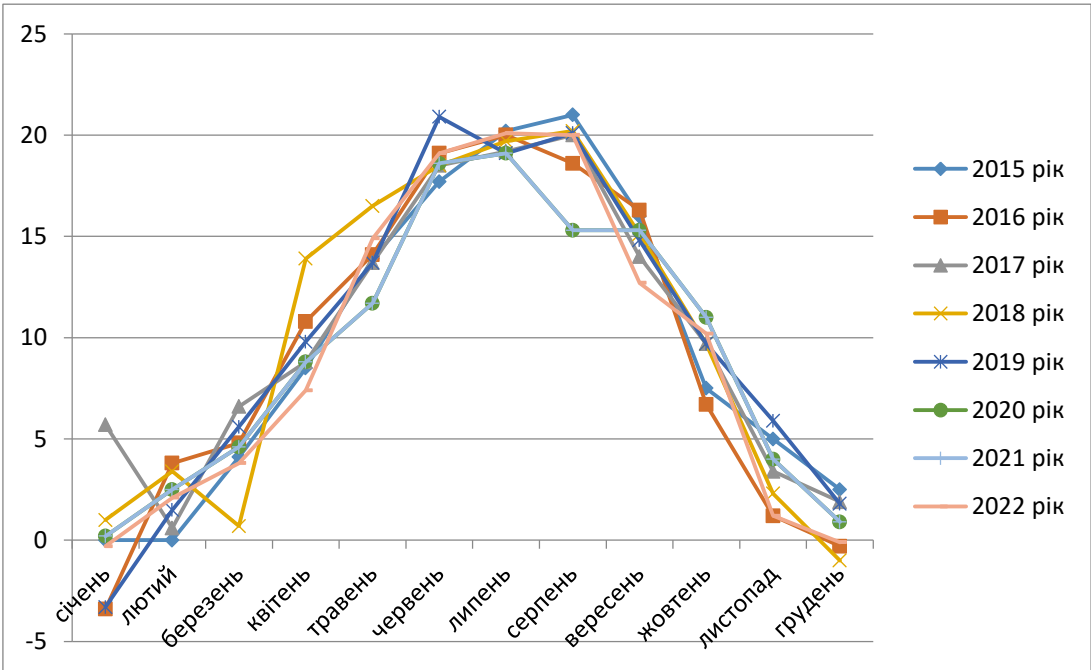


Рис.1. Динаміка зміни середньої місячної температури за 2015-2022 роки

У цілому, аналіз діаграми дає змогу зробити висновок про тенденцію до зростання середньої температури повітря. За даними літературних джерел середньорічна температура повітря за останні 40 років підвищилась приблизно на +2°С. Тож прогнозно кількість виробленої сонячної

електроенергії на Прикарпатті буде зростати за умови подальших змін клімату та глобального підвищення температури [7,8].

Для опадів спостерігається зворотня тенденція (табл.2). Їх кількість зменшується і збільшується нерівномірність розподілу всередині року [7,8].

Таблиця 2

Середня кількість опадів 2015-2022 роках, мм [3]

Місяць	2015 рік	2016 рік	2017 рік	2018 рік	2019 рік	2020 рік	2021 рік	2022 рік
січень	30.6	27.2	9	36.6	36.3	13.5	39.4 м	24.6
лютий	21.7	23.1	24.5	45.8	14.6	59.7	42.1	11.5
березень	50.8	36.7	46.0	52.7	21.8	50.5	68.7	0
квітень	38.1	69.0	31.7	20.0	25.9	12.7	40.4	0
травень	80.9	98.6	71.9	43.6	235.3	124.5	92.2	17.7
червень	61.6	98.2	76.4	140.1	54.1	237.4	94.6	78.9
липень	37.3	59.8	83.3	95.2	90.1	21.9	153.0	50.6
серпень	8.4	37.7	51.0	29.2	16.6	114	54.1	63.8
вересень	49.4	34.2	174.2	43.2	47.1	114	27.1	180.7
жовтень	35.9	125.9	52.4	22.7	33.0	89.3	11.4	19.3
листопад	35.9	55.2	43.5	37.3	20.8	1	17.1	0
грудень	8.2	23.3	49.5	71.8	33.5	24	92.8	0

Загалом, відзначається значна зміна кількості опадів у кожен окремий рік. За загальним розрахунком, найбільша кількість опадів у 2015-2022 роках була зафіксована у травні з медіаною 80.9 мм, а найменша кількість опадів у січні 2022 року з медіаною 0 мм. За період з 2015 по 2022 роки середня кількість опадів за місяць складає від 8,2 мм до 235,3 мм.

Значні коливання кількості опадів можуть впливати на ефективність сонячних панелей та виробництво сонячної енергії. У літературних джерелах [9,10] знаходимо підтвердження того, що існує залежність виробництва електроенергії від величини хмарності. Оскільки опади пов'язані з хмарністю, логічно було б висунути гіпотезу, що у разі випадіння великої кількості опадів, виробництво електроенергії може знижуватися, а сонячні панелі будуть менш ефективними.

Третій показник, який був нами обраний - швидкість вітру (табл.3). Як і попередній, цей параметр впливає на розподіл хмарності, як наслідок може вплинути на кількість сонячної радіації, яка потрапляє на сонячні панелі.

Таблиця 3

Середня швидкість вітру у 2015-2022 роках, м/с [3]

Місяць	2015 рік	2016 рік	2017 рік	2018 рік	2019 рік	2020 рік	2021 рік	2022 рік
січень	3.0	2.3	2.6	2.5	2.6	2.3	2.1	4.0
лютий	1.9	3.1	3.0	2.1	3.3	3	3.1	3.1
березень	2.4	2.8	2.9	2.2	3.5	2.4	2.6	2.7
квітень	3.8	2.9	3.2	2.8	3.3	2.6	2.7	2.8
травень	2.6	2.2	2.0	2.3	2.8	3.3	3.0	2.6
червень	2.2	2.2	2.6	2.2	2.2	2.4	2.3	2.3
липень	2.0	2.6	2.0	2.5	2.3	1.6	2.0	2.6
серпень	1.8	2.2	2.1	1.7	1.8	1.6	1.6	1.7
вересень	2.4	2.0	2.2	2.2	2.3	1.6	2.5	2.2
жовтень	2.6	3.2	3.0	2.2	1.5	1.6	2.2	2.0
листопад	2.9	2.3	2.1	2.2	3.0	17.5	1.9	1.7
грудень	2.2	3.5	3.0	2.6	2.4	3.1	2.6	2.1

Середні значення коливаються від 1,5 до 4 м/с в залежності від місяця та року. Найвища середня швидкість вітру спостерігалася в січні 2022 року (4 м/с), тоді як найнижча - в липні 2020 року (1,6 м/с). Загалом, середня багаторічна швидкість вітру на Прикарпатті коливається в межах 2-3 м/с, на висоті вимірювання?. Такі значення обмежують використання промислових вітрових електростанцій й вимагають більш детальних досліджень ефективності комбінованих комплексів з відновлюваних джерел енергії у туристичному секторі Карпатського регіону [9,10].

Проаналізуємо показники вироблення сонячної енергії на прикладі СЕС в м. Тлумач потужністю 3 кВт, яка була встановлена за грантові кошти на даху бюджетної установи. Її показники роботи доступні в онлайн режимі (табл.4).

Таблиця 4

Помісячне виробництво сонячної електроенергії за 2015-2022 роки, тис.кВт·год [5]

Рік	місяць												Всього
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
2015	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	37.89	59.19	30.48	31.78	159.35
2016	30.7	38	64.8	109.1	125.3	114.0	126.0	120.21	100.4	38.58	25.49	19.24	911.76
2017	27.4	47.2	67.5	105.1	111.8	119.57	122.9	127.51	85.84	66.33	13.07	11.98	906.27
2018	26.9	34.3	75.1	128.0	126.1	95.03	106.4	126.32	103.7	81.20	17.22	9.42	929.54
2019	13.1	49.1	83.8	98.69	88.84	117.83	121.9	127.43	104.7	78.19	20.08	22.89	926.65
2020	35.4	41.9	89.9	138.1	97.17	94.00	112.7	136.19	110.5	43.49	23.40	9.74	932.47
2021	16.9	46.5	76.9	96.28	108.2	105.20	117.4	114.65	97.08	98.58	28.12	10.32	916.27
2022	31.9	38.6	108	84.78	133.3	127.89	117.4	102.78	58.82	71.08	18.20	1.60	894.16

Відобразимо результати у вигляді діаграми на рис. 2.

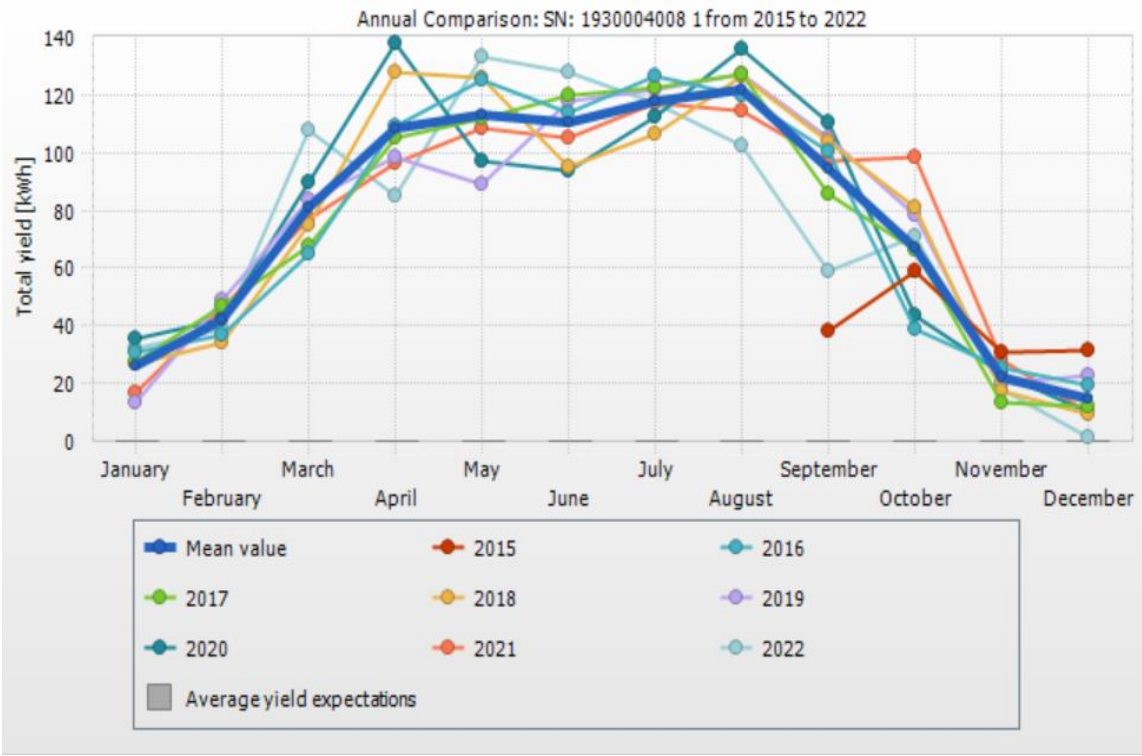


Рис.2. Графік вироблення сонячної енергії [5]

Загальне річне виробництво «сонячної» електроенергії збільшувалося з 2015 року та досягло максимального значення у 2020 році - 932,47 тис. кВт·год за рік.

Помісячні значення варіюються залежно від пори року, а отже, знаходяться в залежності від комплексу метеорологічних параметрів. Найбільші значення виробництва сонячної електроенергії зафіксовані у квітні, травні та червні, що може пояснюватися більш ясною та теплою погодою в ці місяці. У зимовий період значення знижуються, що пояснюється більшою хмарністю та зменшенням тривалості дня [15].

Також можна зазначити, що найнижчі значення виробництва сонячної електроенергії спостерігаються в листопаді та грудні, що пов'язано зі зменшенням кількості годин сонячного світла в ці місяці.

Порівняємо ці значення з показниками погоди за той же період. Наприклад, у 2016 році, коли було досягнуто виробництва сонячної електроенергії в 911,76 тис. кВт·год, середня температура повітря у січні була -4,4 °С, а в липні - 21,1 градусів Цельсія. Кількість опадів у ці місяці становила 30 мм та 102 мм відповідно.

У 2020 році, коли було зафіксовано максимальний вихід виробництва сонячної енергії, середня температура повітря у січні була -3,6 градусів Цельсія, а в червні - 20,1 градусів Цельсія. Кількість опадів у ці місяці становила 28 мм та 103 мм відповідно.

Проведемо розрахунок кореляції між середньою температурою повітря, середньою кількістю опадів, середньою швидкістю вітру та загальним виробництвом сонячної електроенергії за місяцями для 2015-2022 років. Для цього вирахуємо середнє місячне значення для кожного параметра осереднене за вісім років (табл.5).

Таблиця 5.

Середнє значення для кожного параметра за кожний місяць протягом 2015-2018 років

Місяць	Середня температура, °С	Середня кількість опадів, мм	Середня швидкість вітру, м/с	Середня. сонячна енергія, тис.кВт·год
Січень	-1.16	27.61	2.81	25.73
Лютий	1.75	31.62	2.69	42.66
Березень	4.39	44.57	2.60	82.35
Квітень	9.60	32.20	3.02	98.60
Травень	13.69	109.66	2.60	108.16
Червень	18.56	102.53	2.25	103.63
Липень	19.62	73.98	2.16	111.49
Серпень	18.66	58.32	1.81	97.87
Вересень	15.34	83.72	2.24	82.07
Жовтень	9.16	48.78	2.34	58.66
Листопад	3.61	27.48	2.48	27.40
Грудень	0.91	32.69	2.72	11.50

Для того, щоб оцінити взаємозалежності між середньою температурою, середньою кількістю опадів, середньою швидкістю вітру та загальним виробництвом сонячної електроенергії, ми розрахували коефіцієнти кореляції. Коефіцієнт кореляції Пірсона має значення від -1 до 1, де -1 означає сильну негативну кореляцію, 1 означає сильну позитивну кореляцію, а 0 означає відсутність кореляції.

Отже, розрахована кореляція між середньою температурою повітря та сонячною енергією – 0.80, між середньою кількістю опадів та сонячною енергією – -0.18, між середньою швидкістю вітру та сонячною енергією – -0.55.

З отриманих результатів можна зробити такі висновки:

1) Існує сильна позитивна кореляція між середньою температурою повітря та виробництвом сонячної енергії, але тільки до певної критичної температури. Це свідчить про те, що зі збільшенням температури повітря до оптимального рівня, збільшується кількість виробленої сонячної енергії. Однак після досягнення цієї точки, ефективність виробництва енергії знижується через збільшення опору фотоелементів внаслідок їх перегріву.

2) Є слабка негативна кореляція між середньою кількістю опадів та виробництвом сонячної енергії. Хоча опади тісно пов'язані із хмарністю, їх кількість і, відповідно, тривалість практично не мають впливу на виробництво електроенергії сонячними панелями.

3) Є помірна негативна кореляція між середньою швидкістю вітру та виробництвом сонячної енергії, що може свідчити про те, що зі збільшенням швидкості вітру може спостерігатись зменшення виробленої сонячної енергії. Це може бути пов'язано з тим, що висока швидкість вітру може призводити до погіршення погодних умов, таких як хмарність або опади, підіймати в повітря пил і сміття, які в свою чергу впливають на ефективність сонячних панелей.

З урахуванням результатів кореляційного аналізу, можна сказати, що середня температура повітря має найбільший вплив на виробництво сонячної енергії, тоді як вплив опадів і швидкості вітру є незначним. Тож проведемо регресійний аналіз для залежності температури та вироблення електроенергії сонячними панелями (рис. 3).

Функціональна залежність була встановлена за допомогою програмного забезпечення TableCurve 2D. Програма використовує основні критерії статистики: сума квадратів середнього, сума квадратів помилок (залишків), ступінь свободи, обчислений залежно від кількості параметрів моделі, стандартна помилка, коефіцієнт детермінації (r^2), коефіцієнт детермінації з поправкою на ступінь свободи ($DF\ r^2$) та F-статистика (критерій Фішера).

Залежність відображена у вигляді многочлена 10-го ступеня, оскільки вона найкраще описувала дані, існуючи на тлі інших можливих моделей. Це було підтверджено за допомогою статистичного аналізу, включаючи критерій Фішера та коефіцієнт детермінації.

Значення коефіцієнта детермінації оцінювали за допомогою квантильних таблиць F-розподілу та таблиць значень коефіцієнтів. Критичні значення критерію Фішера були визначені відповідно до стандартних таблиць. Гіпотеза (наявність тісної залежності) була відхилена, якщо значення, знайдене в таблиці (F_{stat}), було більше, ніж розраховане (F_{statm}), і було прийнято як та, що підтвердилося, якщо $F_{\text{stat}} < F_{\text{statm}}$. У нашому випадках (рис. 3) гіпотеза була підтверджена за умови, що рівень значущості був прийнятий на рівні 1%.

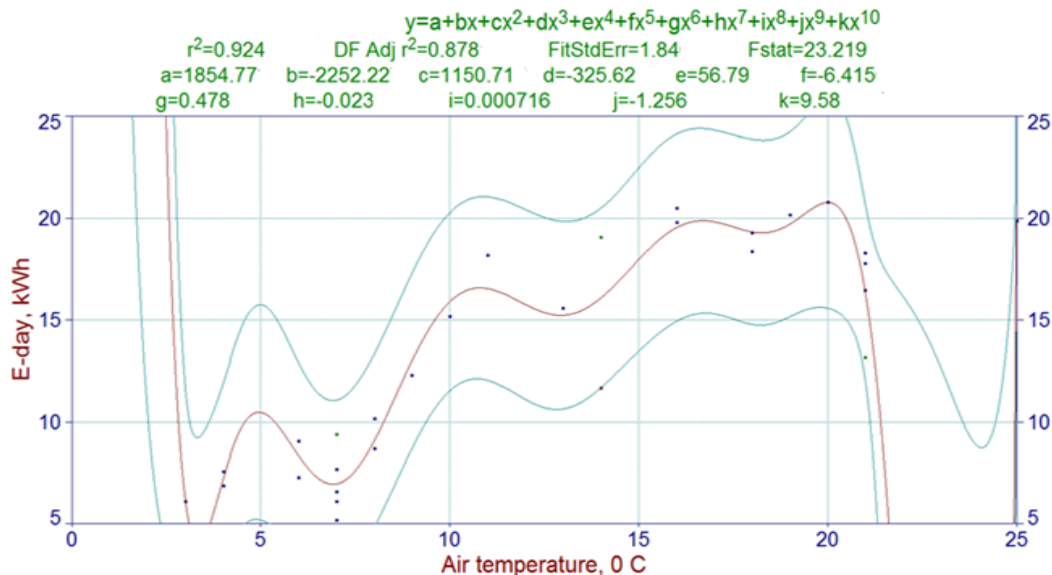


Рис. 3 - Графік залежності отримання електроенергії фотоелектричними панелями від температури повітря для м. Тлумач

Висновки. Отримана функціональна залежність, за результатами регресійного аналізу, дає можливість прогнозувати ефективність роботи малих сонячних електростанцій в конкретному населеному пункті. Це дозволить у подальшому розрахувати доцільність встановлення малих сонячних електростанцій, їх ефективність та окупність, зробити вибір на користь відновлюваних джерел енергії та збереження навколишнього середовища.

Сонячна енергетика могла б частково вирішити енергетичні проблеми туристичної галузі в Карпатському регіоні, особливо по енергопостачанню віддалених неелектрифікованих садиб, а в умовах нестабільного електропостачання, відключення електроенергії такі установки забезпечували б безперебійне електропостачання.

Таким чином, під час планування розташування сонячних електростанцій слід враховувати показники середньої температури повітря для оптимального розташування та ефективності роботи сонячних панелей. З отриманих даних можна зробити висновок, що збільшення кількості виробленої сонячної енергії корелює з підвищенням середньої температури повітря, але тільки до +21°C. Після того панелі перегріваються і рівень виробництва електроенергії знижується.

Література

- 1 Виниченко К. Р. Використання енергії сонця в сучасних кліматичних умовах URL: <http://lib.ndu.edu.ua:8080/dspace/bitstream/123456789/2340/1/%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B5%20%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%96%D1%81%D1%81%D1%8F.%202022%D1%80.pdf#page=99>
- 2 Сонячні батареї: принцип роботи URL: <https://sunsayenergy.com/technology/sonyachni-batareyi-princip-roboti>
- 3 Статистика погоди. Кліматичні дані за роками та місяцями URL: <https://meteopost.com/weather/climate/>
- 4 Освітлення міста URL: https://1ua.com.ua/tlumach/ua/solar_panels

- 5 Sunny Portal URL: <https://www.sunnyportal.com/Templates/Start.aspx?ReturnUrl=%2fTemplates%2fNoticePage.aspx>
- 6 Вплив електростанцій на довкілля URL: <https://msd.in.ua/vpliv-elektrostantsij-na-dovkillya/>
- 7 Струк Т.В., Яремко О.Є., Корчемлюк М.В., Архипова Л.М. Тенденції глобального потепління на Прикарпатті. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: науково-технічний журнал/засн.ІФНТУНГ. №1(15)- Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. - С. 212-220
- 8 Лагойда М.М., Яремко О.Є., Архипова Л.М. Тенденції часового розподілу кліматичних показників на території Івано-Франківської області. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: науково-технічний журнал/засн.ІФНТУНГ. №1(19)- Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2019. - С. 34-42 DOI: 10.31471/2415-3184-2019-1(19)-34-42.
- 9 Mandryk O, Moskalchuk N, Arkhypova L, Prykhodko M and Pobigun O 2020 Prospects of environmentally safe use of renewable energy sources in the sustainable tourism development of the Carpathian region of Ukraine, E3S Web Conf. 166 04005
- 10 Arkhypova, L.M., Mandryk, O.M., Moskalchuk, N.M., Prykhodko, M.M., Radlovska K.O. Renewable energy resources in the system of sustainable development of Carpathian region of Ukraine Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1781(1), 012010
- 11 Глушко, О., & Степенко, С. . Параметри, характеристики і фактори, що впливають на ефективність та надійність роботи фотоелектричних перетворювачів у складі електроенергетичних систем. Технічні науки та технології, (1(23)), 2021, 249–264 URL: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-1\(23\)-249-264](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-1(23)-249-264)
- 12 Присяжнюк Л. І. Використання повного факторного експерименту для моделювання генерації електроенергії сонячними батареями. Технологія та конструювання в електронній апаратурі, 2022, № 4–6, с. 32–38 URL: <http://dx.doi.org/10.15222/>
- 13 Q. -T. Phan, Y. -K. Wu, Q. -D. Phan and H. -Y. Lo, "A Novel Forecasting Model for Solar Power Generation by a Deep Learning Framework With Data Preprocessing and Postprocessing," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 59, no. 1, pp. 220-231, Jan.-Feb. 2023
- 14 A. Prystupa, V. Kazymyr, A. Zabašta, A. Revko, S. Stepenko and K. Novyk, "Autonomous Power Supply Development for Hydrometeorological Monitoring Station," 2022 IEEE 7th International Energy Conference (ENERGYCON), Riga, Latvia, 2022, pp. 1-6
- 15 Mandryk O, Moskalchuk N, Arkhypova L, Pryhodko M and Pobigun O 2020 Research quantitative indicators of the potential of solar energy in the Carpathian region of Ukraine, IOP Conf. Ser: Mater. Sci. Eng. 749 012033

I. Smyk, L. Arkhypova
Ivano-Frankivsk National
Technical University of Oil and Gas

ANALYSIS OF INFLUENCE OF METEOROLOGICAL CONDITIONS ON THE EFFICIENCY OF SOLAR PANELS IN IVANO-FRANKIVSK REGION

The article is devoted to analysing the influence of meteorological conditions on the efficiency of solar panels in Ivano-Frankivsk region. The issue of using solar panels as one of the key sources of alternative energy and the importance of evaluating their effectiveness depending on meteorological conditions were considered.

The relationship between various meteorological parameters, such as average air temperature, average precipitation, and average wind speed, and the production of solar electricity were investigated. Using the Pearson method, the correlation coefficients between the specified parameters and solar energy production were determined. As a result, the correlation values were obtained, on the basis of which conclusions were drawn regarding the influence of various factors on the efficiency of solar panels.

It is emphasized that when planning the location of small solar power plants, it is important to take into account the average air temperature, since there is a strong positive correlation between it and the production of solar electricity. It is noted that the optimal temperature for the efficient operation of solar panels is +21°C.

The article also provides recommendations on taking into account the average wind speed and average precipitation when planning the location of solar power plants, in particular for the tourism industry in Ivano-Frankivsk region.

The obtained results can be useful for the development of new technologies and strategies for the use of solar energy in different climatic conditions.

Keywords: solar panels, efficiency, meteorological conditions, alternative energy, research, statistical analysis, technology, uninterrupted operation, system improvement.

References

- 1 Vinichenko K. R. Vykorystannya enerhiyi sontsya u suchasnykh klimatychnykh umovakh URL: <http://lib.ndu.edu.ua:8080/dspace/bitstream/123456789/2340/1/%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B5%20%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%96%D1%81%D1%81%D1%8F.%202022%D1%80.pdf#page=99>
- 2 Sonyachni batareyi: pryntsyp roboty URL: <https://sunsayenergy.com/technology/sonyachni-batareyi-princip-roboti>
- 3 Statystyka pohody. Klimatychni dani za rokamy ta misyatsyamy URL: <https://meteopost.com/weather/climate/>
- 4 Osvitlennya mista URL: https://1ua.com.ua/tlumach/ua/solar_panels
- 5 Sunny Portal URL: <https://www.sunnyportal.com/Templates/Start.aspx?ReturnUrl=%2fTemplates%2fNoticePage.aspx>
- 6 Vplyv elektrostanciy na dovkillya URL: <https://msd.in.ua/vpliv-elektrostancij-na-dovkillya/>
- 7 Struk T.V., Yaremko O.YE., Korchemlyuk M.V., Arkhypova L.M. Tendentsiyi hlobal'noho poteplinnya na Prykarpatti. Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannya: naukovo-tekhnichnyy zhurnal/zasn.IFNTUNH. №1(15)- Ivano-Frankivs'k: IFNTUNH, 2017. - S. 212-220
- 8 Lahoyda M.M., Yaremko O.YE., Arkhypova L.M. Tendentsiyi chasovoho rozpodilu klimatychnykh pokaznykiv na terytoriyi Ivano-Frankivs'koyi oblasti. Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannya: naukovo-tekhnichnyy zhurnal/zasn.IFNTUNH. №1(19)- Ivano-Frankivs'k: IFNTUNH, 2019. - S. 34-42 DOI: 10.31471/2415-3184-2019-1(19)-34-42.
- 9 Mandryk O, Moskalchuk N, Arkhypova L, Prykhodko M and Pobigun O 2020 Prospects of environmentally safe use of renewable energy sources in the sustainable tourism development of the Carpathian region of Ukraine, E3S Web Conf. 166 04005
- 10 Arkhypova, L.M., Mandryk, O.M., Moskalchuk, N.M., Prykhodko, M.M., Radlovska K.O. Renewable energy resources in the system of sustainable development of Carpathian region of Ukraine Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1781(1), 012010
- 11 Hlushko, O., & Stepenko, S. . Parametry, kharakterystyky ta faktory, shcho vplyvayut' na efektyvnist' ta nadiynist' roboty fotoelektrychnykh peretvoryuvachiv u skladi elektroenerhetychnykh system . Tekhnichni nauky ta tekhnolohiyi, (1(23), 2021, 249–264 URL: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-1\(23\)-249-264](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-1(23)-249-264)
- 12 Prysyazhnyuk L. I. Vykorystannya povnoho faktornoho eksperymentu dlya modelyuvannya heneratsiyi elektroenerhiyi sonyachnyimi batareyami. Tekhnolohiya ta konstruyuvannya v elektronniy aparaturi, 2022, № 4–6, s. 32–38 URL: [http://dx.doi.org/10.15222/Q. -T. Phan, Y.-K. Wu, Q. -D. Phan and H.-Y. Lo, "A Novel Forecasting Model for Solar Power Generation by a Deep Learning Framework With Data Preprocessing and Postprocessing," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 59, no. 1, pp. 220-231, Jan.-Feb. 2023](http://dx.doi.org/10.15222/Q. -T. Phan, Y.-K. Wu, Q. -D. Phan and H.-Y. Lo,)
- 13 A. Prystupa, V. Kazymyr, A. Zabašta, A. Revko, S. Stepenko and K. Novyk, "Autonomous Power Supply Development for Hydrometeorological Monitoring Station," 2022 IEEE 7th International Energy Conference (ENERGYCON), Riga, Latvia , 2022, pp. 1-6
- 14 Mandryk O, Moskalchuk N, Arkhypova L, Pryhodko M and Pobigun O 2020 Research quantitative indicators of the potential of solar energy in the Carpathian region of Ukraine, IOP Conf. Ser: Mater. Sci. Eng. 749 012033

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ТУРИСТИЧНО-РЕКРЕАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

УДК 379.85

DOI: 10.31471/2415-3184-2023-1(27)-108-119

*С. В. Качала, Х. А. Стасевич,
Т. Б. Качала*

*Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

МОНІТОРИНГ ПОСЛУГ ЕКОСАДИБ КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ТУРИЗМУ

Посилення ролі туризму як для економічного, так і для соціально-культурного розвитку багатьох країн світу, а також загострення проблем, що невід’ємно пов’язані з його організацією та розвитком, змушують знаходити шляхи та механізми щодо нових, екологічно значимих напрямків його впровадження.

Потреба вивчення безпечних шляхів підвищення рівня привабливості суб’єктів туристичної діяльності в Карпатському регіоні є актуальною, у зв’язку з зростаючим попитом на внутрішній туризм, що пов’язаний із пандемією COVID-19 та війною. Компанія Google на запит Державного агентства розвитку туризму надала інформацію про топ туристичних об’єктів, місць і напрямків в Україні за кількістю пошукових запитів Google-Maps&Search за 2020 рік [1].

Туризм є одним із тих секторів всесвітньої економіки, що постраждав найбільше у зв’язку з обмеженнями на пересування, а особливо складна ситуація склалася в авіаційній галузі. Українські туристи, маючи значно менший перелік варіантів для відпочинку, ніж попередні роки, все частіше вибирають місцеві курорти. Карантинні обмеження, воєнний стан ситуація з обмеженнями різко змінюється щодня, виникла потреба в подорожах на короткі відстані.

Беручи до уваги проблеми довкілля, які виникають під час діяльності закладів розміщення, з’явилась необхідність в комплексній оцінці ситуації та визначення основних видів їх екологізації на прикладі садиб Карпатського регіону. Оскільки процес екологізації туризму є досить складним та довготривалим завданням, велике значення було приділено аналізу організації і проведення екологізації закладів розміщення в зарубіжних країнах, вивченню кращих прикладів досвіду.

Ключові слова: екологізація, екологічна безпека, збалансоване природокористування, рекреаційний ландшафт, туризм.

Постановка проблеми. Актуальність даної теми дослідження полягає в необхідності комплексного підходу до розробки стратегії раціонального розвитку туризму в Карпатському регіоні, зокрема й розвитку екосадиб. Екологізація туризму сприяє сталому розвитку територій, передбачає участь місцевого населення у наданні послуг, створює економічні стимули до охорони довкілля. Метою дослідження є вивчення особливостей розвитку екологізації та шляхів її впровадження, для підвищення рівня привабливості закладів розміщення, на прикладі садиби «Три сосни», що знаходиться в місті Косів, Івано-Франківської області.

Таким чином об’єктом дослідження є підвищення рівня екологічної безпеки туризму та сервісу. Для зміни підходу до використання природних комплексів та територій необхідне проведення оцінки сучасного стану ландшафтів, що є основою для розробки екологічно оптимальних методів використання природних об’єктів для туризму. В якості робочої гіпотези було висунуто припущення, що екологізація закладів розміщення виступає фактором підвищення якості обслуговування та є одним із інструментів підвищення рівня привабливості садиби, з мінімальною шкодою для довкілля. При розробці теми дослідження застосовувалися формально-логічні методи – індукції та дедукції, порівняння, аналогій, моделювання, змістовно-логічні (аналізу та синтезу, гіпотетичний, історичний). Інформаційною базою роботи є дані про кількість засобів розміщення на одному з найвідоміших сервісів з онлайн-бронювання житла booking.com та

дані, взяті із українського інтернет-ресурсу присвяченого темі відпочинку в Карпатському регіоні – Karpaty.info. Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості застосування принципів екологізації в практичні діяльності екосадиб та інших закладів колективного розміщення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні десятиліття проблема екологізації розглядається як ключовий напрямок економічного зростання регіону, метою якої є необхідний економічний добробут майбутніх поколінь, що базується на збереженні довкілля та мінімізації екологічних ризиків. Сучасний погляд на методологію дослідження означеної проблеми потребує новаторського підходу, адже екологізація сама по собі є результатом зміни світогляду людства, ринкових трансформацій в її багатогранності та протиріччї, перегляду пріоритетів державного, суспільно-політичного та економічного розвитку країни, прийняття нових та переосмислення існуючих законодавчих документів, розповсюдження позитивної практики збереження довкілля.

На сьогодні туризм є галуззю, що динамічно розвивається і приносить високі прибутки у світову економіку, водночас виступаючи одним із найважливіших чинників соціально-культурного розвитку, що сприяють підвищенню рівня та якості життя населення. Спектр виконуваних функцій туризму дає можливість використовувати його в якості дієвого інструменту стимулювання соціально-економічного зростання на макро- та мезорівнях господарювання [2]. Проблемами та перспективами екологізації займалося у своїх працях багато вчених [3-7].

На основі опрацьованого матеріалу нами розроблено схему рівнів екологізації в туристичній сфері: глобальному, національному, регіональному, локальному (рис. 1).

Глобальний рівень • Економічна ситуація в світі • Світові стандарти екологічної політики • Тенденції функціонування світового ринку туристичних послуг	Національний рівень • Стандарти екологічної політики держави • Програма сталого розвитку туризму держави • Здійснення інноваційної, інвестиційної політики держави в екологічній сфері
Регіональний рівень • Стратегія сталого розвитку туризму в регіонах • Стратегічна екологічна оцінка регіону	Локальний рівень • Підприємства (формування екологічного іміджу підприємства) • Індивід (формування екологічної свідомості, відповідального та шанобливого ставлення до природних ресурсів)

Рис. 1. Структура розгляду поняття «екологізація» в сфері туризму

Постановка завдання. Екологізація в туристичному бізнесі має на меті зберегти природні ресурси, і розвивати суб'єкти господарювання та туристичну інфраструктуру раціонально, передбачати потенційні загрози для екологічного стану довкілля, регулювати антропогенне навантаження на екосистеми, підвищувати екологічну свідомість працівників туристичного сектору, просувати ідеї сталого розвитку туризму серед туристів. Екологізація туристичного бізнесу є необхідною передумовою для збереження природних ресурсів і для проведення цієї ж діяльності. Відзначимо, що невід'ємною складовою екологічного менеджменту в сфері туризму є стандарт управління природокористуванням ISO 14001 (EMS), створений в 1991 р Міжнародною асоціацією зі стандартизації. Для того щоб відповідати йому, організація зобов'язана підтвердити, що проводить спеціальну політику з охорони навколишнього середовища. У ряді країн в доповнення до ISO 14001 були створені власні стандарти, наприклад, у Великій Британії - BS 7750 Specification for Environmental Management Systems, в Канаді - CAN / CSA Z750-94: Guidelines for an Environmental Management System [8].

Виходячи з мети даного дослідження, нами було поставлено ряд завдань: описати теоретичні та методичні основи екологізації в сфері туризму; з'ясувати принципи організації заходів екологізації як інструменту підвищення туристичної привабливості; сформувати систему екологічних показників для планування розвитку садиб та технології використання природних ресурсів; визначити проблеми впровадження екологізації в Карпатському регіоні; окреслити шляхи вдосконалення садиб Карпатського регіону на прикладі садиби «Три сосни» (м. Косів).

Виклад основного матеріалу. Екосадиби Карпатського регіону – дуже популярний засіб розміщення для туристів, адже кожен відпочивальник прагне максимального єднання з природою. Тематикою даного дослідження є аналіз екосадиб Чернівецької, Закарпатської, Львівської та Івано-Франківської областей.

Варто зазначити, що в законодавстві та науковій літературі не існує єдиного визначення поняття «екосадиби». У вітчизняній науковій літературі поняття «зелена садиба», «екосадиба», «агро-садиба», «сільська садиба», «садиба» часто є тотожними або схожими за змістом.

В представленій роботі ми визначаємо екосадибу як колективний засіб розміщення розташований у мальовничій сільській або приміській зоні, (часто з використанням натуральних матеріалів у інтер'єрі та екстер'єрі закладу) з сільським або фермерським господарством або без нього, що надає послуги проживання, харчування, проведення дозвілля та відпочинку невеликої групи туристів.

Як ми вже зазначали в попередньому розділі, в Україні відсутня обов'язкова категоризація та сертифікація на «зеленість» чи екологічність закладів розміщення, в тому числі і садиб. Проводити аналіз екосадиб, на основі тих закладів розміщення, котрі мають сертифікат «Української гостинної садиби» та тих, котрі оголошені зеленими садибами Банком даних сільського зеленого туризму, вважаємо недоцільним через малу кількість суб'єктів господарювання внесених до цих реєстрів. Кількість садиб, котрі мають сертифікат «Українська гостинна садиба» складає 24 одиниці станом на 2021 рік (рис. 2) [9].



Рис. 2. Кількість садиб «Українська гостинна садиба» з розподілом по областях Карпатського регіону

Дана діаграма, на нашу думку, не є достатньо репрезентативна та реальна, в контексті нашого дослідження. В подальшому, ми будемо порівнювати кількість екосадиб, за допомогою інформації з сайту для здійснення бронювань по всьому світу booking.com та інтернет-сайту, котрий має на меті рекламу садиб та інших закладів розміщення саме в Карпатському регіоні Karpaty.info [10-11].

Вважаємо, що підрахунок екосадиб за допомогою використання інтернет-ресурсів є найбільш точним та демонструє реальну ситуацію на ринку надання послуг розміщення. Також, мусимо зазначити, що Українською службою статистики проводився підрахунок агро-садиб, з 2012 по 2014 рік. Але, з невідомих нам причин, збір даних більше не відбувається. Вважаємо, що опис цих даних є вже не актуальним.

Для початку розглянемо офіційні дані, щодо кількості колективних засобів розміщення надані Державною службою статистики України з 2016 по 2019 рік (рис. 3).

Проаналізувавши діаграму, можемо відзначити, що за офіційними даними найбільша кількість закладів колективного розміщування є в Львівській області, а найменша кількість - в Чернівецькій області. Станом на 2019 рік, у Львівській області 130 закладів розміщення, в Івано-Франківській - 64 заклади розміщення, а у Закарпатській – 59, у Чернівецькій лише 13. Загальна кількість закладів розміщення в Карпатському регіоні на кінець 2019 року – 266 закладів. Також, з наведених даних, можна зробити висновок, про значне зменшення кількості закладів розміщення в період 2017-2018 рр. по всіх чотирьох областях. Висуваємо припущення, що дані за останні два роки не є достовірними або змінився метод первинного збору інформації. Тому що, в 2018-2019 роках не спостерігалось зниження попиту на заклади колективного розміщування [12].

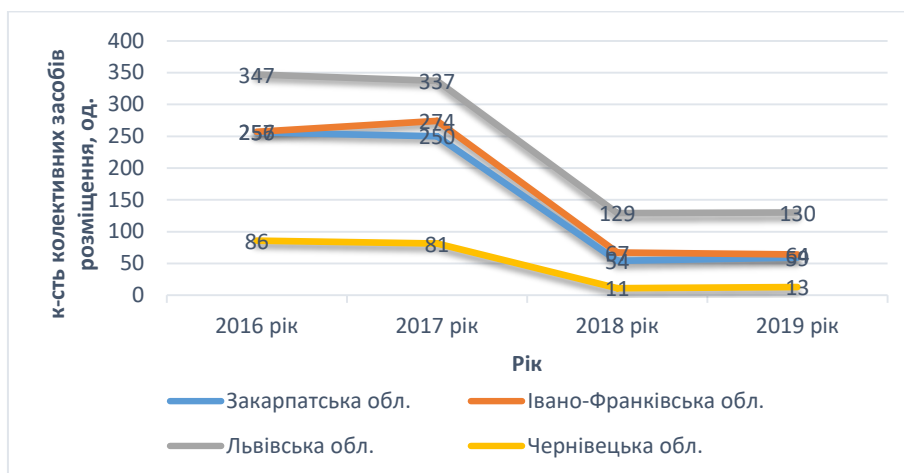


Рис. 3. Динаміка кількості колективних закладів розміщення в Карпатському регіоні з 2016 по 2019 роки (дані Державної служби статистики України)

Так як, Державна статистична служба України ще не опублікувала дані по кількості закладів розміщування за 2020 рік, пропонуємо поглянути на результати аналізу кількості екосадиб зібраних нами із сайтів booking.com та Karpaty.info, які презентують кількість пропозицій від власників екосадиб та інших закладів колективного розміщення, станом на 2021 рік.

Отже, пропонуємо вам переглянути результати дослідження на базі даних, взятої із сайту Karpaty.info. Цей сайт – це туристичний Інтернет-каталог, який пропонує гостям переглянути різні варіанти закладів розміщення, трансферів, проведення дозвілля, перелік басейнів, саун, авто прокату, перегляд карт місцевості, телефони рятувальних служб, варіанти розваг та іншого, саме в Карпатському регіоні. Цей сайт, на відміну від Booking.com, не виступає посередником між гостем та закладом розміщення, тобто гості тільки знайомляться із інформацією з каталогу, а з закладами розміщення зв'язуються самостійно, на пряму [10]. Отже, за даними сайту, свої послуги пропонують 1146 екосадиб в Івано-Франківській області, 549 екосадиб – Закарпатська область, 535 екосадиб у Львівській області, та лише 74 екосадиби в Чернівецькій області (рис. 4).

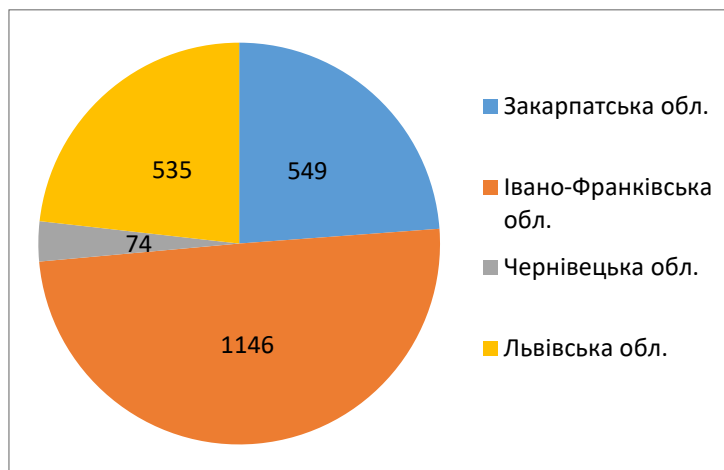


Рис. 4. Кількість екосадиб Карпатського регіону, з розподілом по областях [10]

Далі, пропонуємо розглянути структуру розподілу екосадиб безпосередньо в кожній області. Отже, в Закарпатській області налічується 549 екосадиб, відповідно даних сайту. Найбільша кількість з них зосереджена в Хустському районі, Рахівському районі, Мукачівському районі та Берегівському районі. Як бачимо, найбільша кількість екосадиб є в тих районах, які є найцікавішими для туристів. Мукачево відоме своїм замком «Паланок», визнаний сьогодні одним з найбільш архітектурно цікавих і добре збережених укріплень в Україні. Берегово рахується столицею виноробства Закарпаття [10].

У Івано-Франківській області налічується 1146 екосадиб, котрі пропонують свої послуги гостям на сайт Karpaty.info. Найбільша кількість, а саме, 797 екосадиб, зосереджена в Надвірнянському районі, 218 екосадиб у Верховинському районі, 87 екосадиб у Косівському

районі, 7 екосадиб у Коломийському районі (рис. 5). Звичайно, найбільша кількість екосадиб розташовані в близькості до курорту Буковель, котрий знаходиться в селі Поляниця.

Надвірнянщина – край чудової природи, унікальних традицій, історичних пам'яток, активного відпочинку. В Надвірнянському районі знаходяться: природний заповідник «Горгани», більше десяти природних заказників, 24 заповідні урочища. Територією району проходить міжнародний Східно-Карпатський туристичний шлях. Найпопулярніші туристичні атракції: Природний заповідник Горгани; Гори Довбушанка, Сивуля та Великий вододільний хребет та інші. У зв'язку із значною кількістю екосадиб саме в цьому регіоні, пропонуємо переглянути розподіл по кількості екосадиб в межах Надвірнянського району, до якого входять такі популярні місця як місто Яремче та село Поляниця.

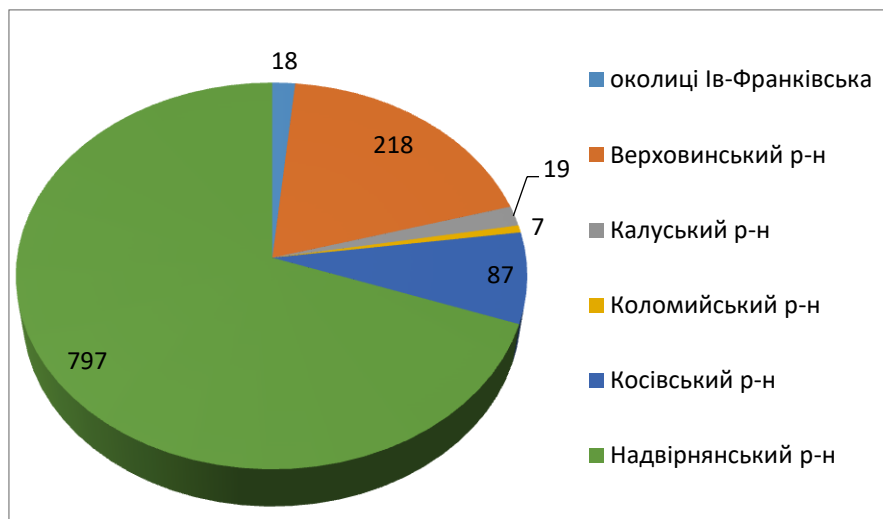


Рис. 5. Структура кількості екосадиб в околицях Івано-Франківська [10]

Отже, найбільша кількість екосадиб в Надвірнянському районі зосереджена в селі Микуличин – 188 екосадиб, 102 екосадиби у Ворохті, 131 екосадиба знаходиться у місті Яремче, 116 екосадиб у Яблуниці.

Чернівецька область представлена на сайті Karpaty.info найменшою кількістю екосадиб, лише 74 одиниці, із них аж 72 екосадиби є у Вишнівському районі, інші дві – у Сокирянському районі та в околицях міста Чернівці. На чернівецьких землях 243 території та об'єкти належать до природно-заповідного фонду, в тому числі 7 заказників, 8 пам'яток природи, ботанічний і дендрологічний парк Чернівецького державного університету, Вишнівський національний природний парк та Сторожинецький дендропарк загальнодержавного значення, а також 136 пам'яток природи, 40 парків, які є пам'ятками садово-паркового мистецтва, та 39 заповідних урочищ місцевого значення [10].

Львівська область представлена 535 екосадибами, які пропонують свої послуги на сайті. Найбільша кількість із них знаходиться у Стрийському районі, а саме 440 екосадиб. 67 екосадиб є у Дрогобицькому районі, 15 – у Самбірському районі, 3 – у Яворівському районі, 2 – у Золочівському районі та 8 екосадиб у передмісті Львова.

Отже, проаналізувавши кількість екосадиб, на даних веб-сайту Karpaty.info, було виявлено, що в Карпатському регіоні налічується 2304 екосадиби. Найбільша кількість екосадиб розміщується у Івано-Франківській області, а саме 1146 садіб. З них, 797 садіб знаходяться в Надвірнянському районі, адже саме там знаходиться найвідоміший гірськолижний курорт Буковель, курортні містечка Яремче, Косів, Татарів, Яблуниця, Ворохта, які становлять великий інтерес для туристів. Приблизно однакова кількість садіб у Закарпатській та Львівській областях, більше 500 садіб. Інтернет-сайт Karpaty.info дуже популярний серед індивідуальних туристів, котрі планують свій відпочинок самостійно та не працюють із туристичними агентствами. На жаль, у зв'язку із недосконалою податковою, фіскальною, статистичною політикою, ми не можемо оцінити ступінь заповненості ліжко-місць в екосадибах, не можемо проаналізувати середньорічне навантаження цих об'єктів. Згідно з даними державної статистичної служби України, в Карпатському регіоні зареєстровано 266 закладів колективного розміщування. Розуміємо, що послуги з проживання надають набагато більше суб'єктів господарювання, різних категорій та різного рівня сервісу.

Також ми проаналізували кількість закладів розміщення в Карпатському регіоні за допомогою всесвітньо відомого сайту для бронювання готелів, мотелів та апартаментів Booking.com. Хочемо відзначити, деяку різницю у системі функціонування цього сайту і сайту Karpaty.info. Сайт booking.com виступає посередником між закладом розміщення та потенційним клієнтом. Тому, заклади розміщення економ сегменту не часто пропонують тут свої послуги. Часто відбувається так, що при бронюванні через сайт ціна на номер більша, ніж при бронюванні на пряму. Це пов'язано з тим, що за умовами договору, сайт знімає 15% від вартості номеру з кожного бронювання через сайт. Зазвичай, тут пропонують свої послуги готелі різного рівня, яким вигідно рекламувати себе таким чином. Адже сайт дуже популярний закордоном, за рахунок розміщення там своєї пропозиції, готельєри отримують значну частку бронювань від іноземних гостей.

Відповідно, до пропозиції сайту booking.com можна обрати різні види закладу розміщення: готель, мотель, апартаменти, хостели, гостьові будинки, будинки для відпочинку, вілли, замиські будинки, шале, курортні готелі. Власники самі обирають категорію, до якої відносять свій заклад розміщення. Отже, в даному дослідженні до категорії екосадиб ми віднесли такі види закладів розміщення із сайту: гостьові будинки, будинки для відпочинку, шале, замиські будинки, вілли. На нашу думку, саме ці категорії підходять під наше визначення екосадиб.

Загалом на сайті booking.com зареєстровано 2460 помешкань в Карпатському регіоні. Найбільша кількість – 1231 помешкання зареєстровано у Львівській області, 522 помешкання у Івано-Франківській та 598 у Закарпатській областях. Лише 109 помешкань зареєстровано у Чернівецькій області (рис. 6). Звертаємо Вашу увагу, що в наступній діаграмі взяті до уваги всі заклади розміщення регіону, в тому числі і готелі, мотелі та хостели [11].

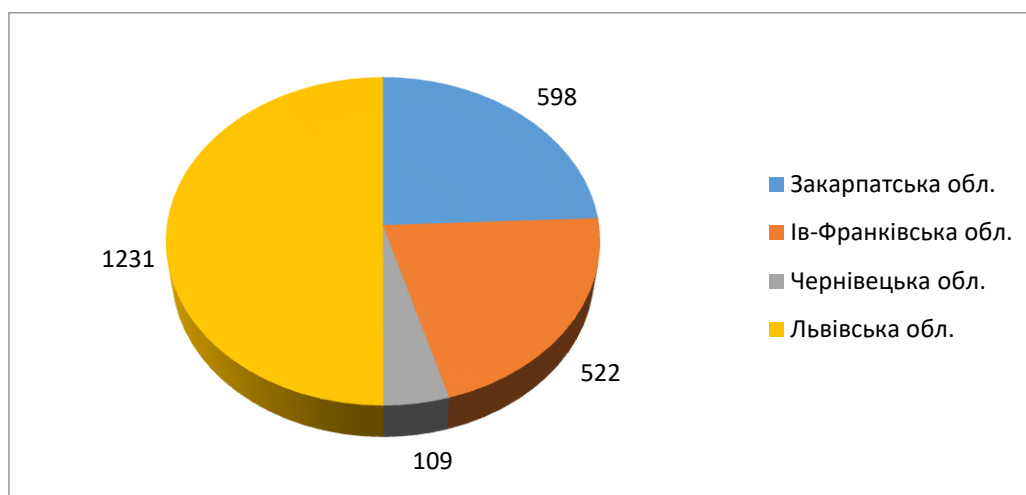


Рис. 6. Структура закладів розміщення представлених на сайті booking.com в Карпатському регіоні

Цікавим є той факт, що на цьому сайті більшість об'єктів в Карпатському регіоні – це готелі та мотелі. Це зв'язано із тим, що саме такі заклади розміщення найчастіше шукають відвідувачі цього сайту. Аж 762 пропозиції апартаментів запропоновано в Львівській області на цьому сайті. Це значно більше, ніж в інших областях регіону (рис. 7) [11].

У Львівській області переважаючим є пропозиція апартаментів, також там велика кількість готелів 255, у Івано-Франківській області є 180 готелів та 136 апартаментів. У Чернівецькій області зареєстровано найменше засобів розміщення, лише 41 готель та 37 апартаментів, 9 хостелів.

Розглянемо кількість пропонованих на сайті закладів розміщення, що в нашому розумінні співвідносяться із поняттям екосадиби. Отже, у Закарпатській області пропонують свої послуги 140 екосадиб. Найбільше у населених пунктах Поляна (14%), Ізки (12%), Берегове (11%), Ясіня (11%), Рахів (11%), Мукачево (8%), Синяк (8%) та інші.

Як бачимо із діаграми вище, в Закарпатській області пропоновані на сайті заклади розміщення розподілені по області рівномірно. Одна із найпопулярніших екосадиб в регіоні знаходиться в селі Ізки. Курортний екоготель «Ізки» розташований в мальовничій сільській місцевості. При готелі діє лижна школа і облаштовано спа-зону. Оформлені у замиському стилі номери вирізняються дерев'яними меблями та приємним освітленням. Заклад надає широкий

спектр додаткових послуг: лижна школа, спа, риболовля, сироваріння, відвідування пасіки, катання на квадроциклах, велосипедах та інші [13].

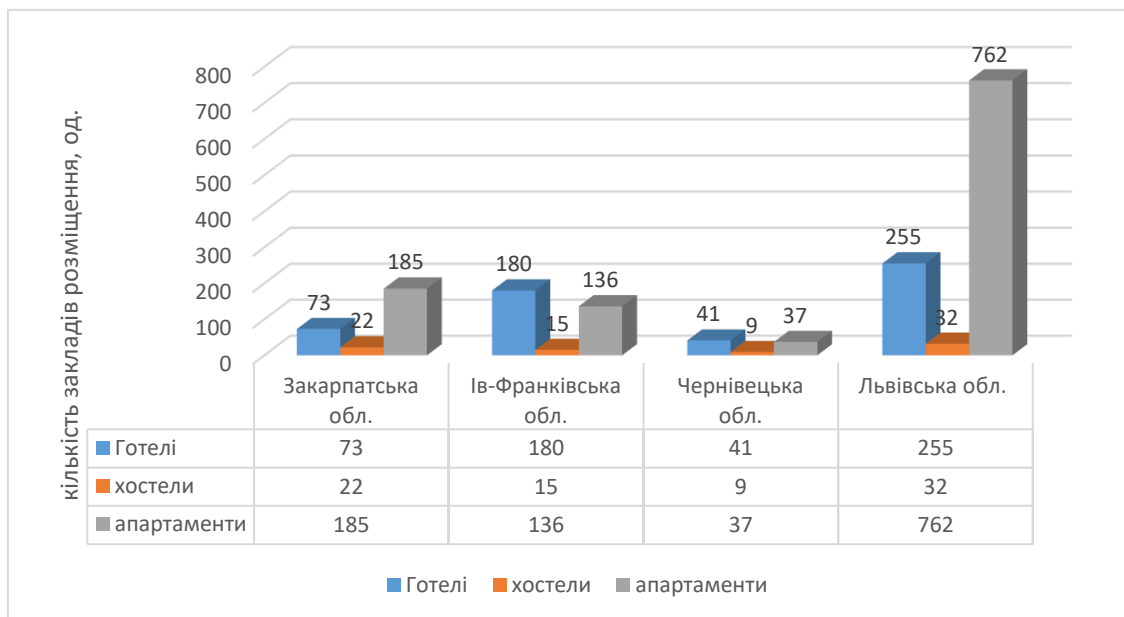


Рис. 7. Співвідношення кількості готелів, апартаментів та хостелів в Карпатському регіоні

Екосадиби Івано-Франківської області представлені на сайті booking.com 196 пропозиціями помешкання. Із них 62 екосадиб знаходяться в містечку Яремче, 27 – у Микуличині, 22 – у Верховині, 16 – у Ворохті, 11 – у Яблуниці, 9 – у Поляниці, 8 – у Косові, та інших населених пунктах (рис. 8), [11].

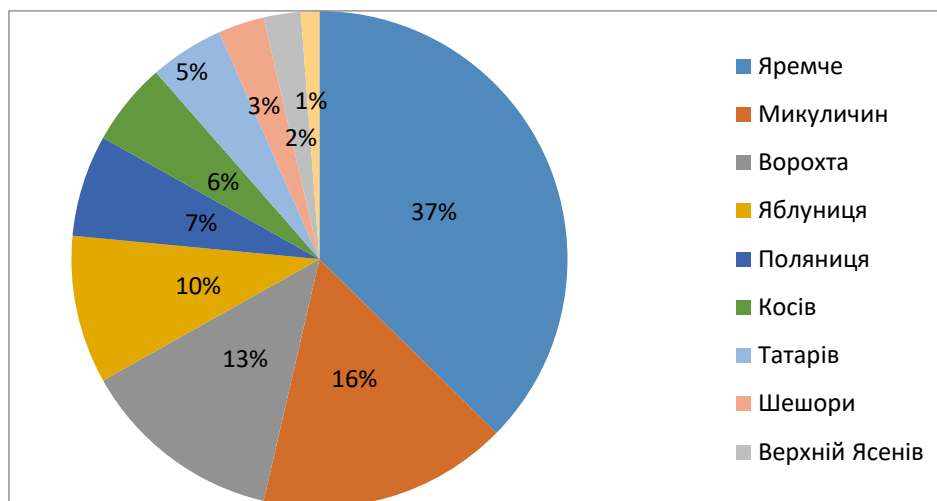


Рис. 8. Співвідношення кількості екосадиб у Івано-Франківській області

У Чернівецькій області представлено 23 екосадиби, більшість з них (16 екосадиб) знаходяться у селі Мигове. Мигове – це невелике село розташоване у Вижицькому районі, на північно-східних схилах Покутсько-Буковинських Карпат. Середня висота — 505 м над рівнем моря. Славиться джерелами мінеральних вод. У Мигівському лісництві є мисливські угіддя. На території села розташований однойменний гірськолижний курорт, на висоті 740 м над рівнем моря. Завдяки природнім умовам та вигідному розташуванню, сніг випадає тут рано та у достатніх для катання кількостях. Сезон зазвичай триває з грудня до середини квітня [11].

Також 5 екосадиб знаходяться в околицях міста Чернівці, та 2 екосадиби в околицях містечка Вижиця. Вижиця – невелике прикарпатське містечко з населенням всього близько 5 тисяч мешканців. Але дивовижна краса навколишніх гір та лісів, стрімкого Черемошу у поєднанні з оригінальною архітектурою австрійських часів робить її справжньою перлиною прикарпатської частини Буковини. Розташована Вижиця біля підніжжя Карпат, на правому березі бурхливого Черемошу, за 70 км від обласного центру – Чернівців.

Як ми вже зазначали вище, у структурі закладів розміщення у Львівській області, переважають міські готелі (255 готелів), апартаменти (762), хостели (32), та мотелі (9). Саме Львівська область налічує найбільшу кількість пропозиції помешкання на booking.com. Загальна кількість екосадиб у Львівській області складає 168 закладів розміщення. З них – 46 екосадиб знаходяться у населеному пункті Славське, де розташовується однойменний гірськолижний курорт. 27 екосадиб у Східниці – курортній перлині Львівської області, «Українська Швейцарія» та відомий бальнеологічний (лікувальний) курорт з 1976 р. 23 екосадиби у Трускавці, курорті який спеціалізується на лікуванні урологічних, гастроентерологічних захворюваннях, захворюваннях ендокринної системи та опорно-рухового апарату, серцево-судинної системи та багато інших. 9 екосадиб є у населеному пункті Сколе, 9 – у Моршині, 9 – у передмісті Львова, 7 екосадиб в селищі Тухля та інших населених пунктах.

Відповідно до пропозицій помешкання, в тому числі і екосадиб з інтернет-сайту booking., найбільша кількість екосадиб запропонована у Івано-Франківській області, а саме 196 екосадиб, 168 екосадиб у Львівській області, 140 – у Закарпатській, та 23 екосадиби у Чернівецькій області.

Проаналізувавши діаграму вище, відзначимо, що кількість екосадиб у Івано-Франківській області перевищує кількість екосадиб у інших областях, згідно даних обох джерел. Також, у Чернівецькій області найменша кількість екосадиб відповідно даних обох джерел. Кількість екосадиб у Івано-Франківській області на 50 % більша, ніж у Закарпатській області та Львівській області, згідно даних сайту Karpaty.info.

Отже, офіційні дані надані державним управлінням статистики, та сайтами з пошуку помешкання booking.com та Karpaty.info досить сильно відрізняються. Можемо відзначити такі особливості:

- на сайті з пошуку помешкання booking.com зазвичай розміщено пропозиції помешкання у середньому та дорогому ціновому сегменті, адже власники оголошень, повинні платити 15% від вартості кожного замовлення для сайту;

- сайт booking.com більш популярний для іноземців;

- на сайті booking.com можна залишати відгуки про помешкання, що дає потенційним клієнтам більше можливостей щодо формування своїх очікувань від сервісу. Відгуки можуть залишати тільки ті туристи, котрі справді здійснили резервацію через сайт. Висока достовірність та правдивість відгуків впливає на потенційного клієнта;

- бронювання через сайт booking.com більш безпечні для туриста, адже є служба підтримки клієнтів та важелі впливу на ситуацію зі сторони компанії. Сайт Karpaty.info служить інформаційним довідником, і всі домовленості відбуваються між замовником та екосадибою, та спираються виключно на взаємну довіру.

- на 1777 екосадиб більше (в Карпатському регіоні) пропонує сайт Karpaty.info, ніж booking.com так як саме він спеціалізується на поширенні інформації для індивідуальних туристів, пропонує прямі контакти до власників садиб, але й відповідно, власники екосадиб пропонують більш вигідні ціни;

- сайт Karpaty.info популярний саме для пошуку помешкання у Івано-Франківській області. В таких курортах як Моршин, Трускавець, є свої окремі інтернет-ресурси, де розміщені пропозиції екосадиб та іншого житла в цьому регіоні;

- сайт Karpaty.info пропонує більш дешевші заклади розміщення, ніж booking.com;

- згідно правил сайту booking.com, інформація розміщена там в більшій мірі перевіряється та швидше оновлюється. Адміністратори сайту постійно контролюють відповідність фото, та опису інформації щодо реального стану закладу розміщення.

Загалом, у Карпатському регіоні функціонує близько двох тисяч екосадиб, які пропонують послуги з розміщення для туристів. Широкий ціновий діапазон, різний рівень комфортності, великий вибір додаткових послуг, різна відстань до туристичних дестинацій. Припускаємо, що кількість екосадиб є достатньою на ринку та відповідає попиту, очікуванням клієнтів різних категорій, віку, фінансових можливостей. Необхідною є чітка та правдива статистика щодо кількості ліжок-місць, завантаженості екосадиб в різні періоди року, формування звітностей для органів туризму, які допоможуть в подальшому раціональному розвитку галузі туризму в регіоні. На даний момент, більшість екосадиб діють поза законом, тому відсутній контроль за їхньою діяльністю з боку держави, що ставить клієнтів у потенційну небезпеку, при замовленні проживання в екосадибах.

Найбільша фактична кількість еко-садиб у Івано-Франківській області, а саме 1146. Найбільша концентрація екосадиб у таких населених пунктах: Ворохта (102), Микуличин (187), Яремче (131), Яблуниця (116), Поляниця (157). Також великий вибір екосадиб є у Верховинському та Косівському районах.

У Закарпатській та Львівській областях майже однакова кількість садиб (більше 500). У Закарпатській області більшість із них знаходяться біля відомих курортів, а саме місто Берегове (43 екосадиби). Рахівський (116 екосадиб) та Хустський (198 екосадиб) райони також володіють великою кількістю закладів розміщення сільського зеленого туризму. У Львівській області найбільша кількість екосадиб зосереджена біля гірськолижного курорту Славське, Східниці та курортних міст Трускавець та Моршин.

Чернівецька область має найменшу кількість екосадиб, спираючись на дані із двох інтернет-ресурсів. Більшість із них знаходяться біля Вишніви та Мигового.

Дослідивши ринок послуг та конкурентний статус екосадиби «Три сосни» можна зробити наступні висновки: «Три сосни» затишна садиба з чудовим місцем розташуванням, з виглядом на озеро та гори. Чудово підходить для тихого сімейного відпочинку, адже в садибі лише 2 номери. Серед своїх головних конкурентів садиба «Три сосни» займає позицію послідовника лідера, отримуючи максимальні бали з таких категорій як «устаткування номеру», «місце розташування» та «якість сервісу» випереджаючи конкурентів «Двір Писанки» та «Садиба затишна».

Серед сильних сторін готелю слід відзначити основні: привабливе розташування, оптимальне співвідношення ціни і якості послуг що надаються, індивідуальний підхід до гостя, приватність та відокремленість садиби; наявність власної стоянки для авто та інші, близькість до туристичних атракцій регіону.

Для покращення свого становища, підвищення середньорічного рівня завантаженості та підсилення слабких сторін варто звернути увагу на такі позиції як:

1. Розширення спектру додаткових послуг (наприклад розробка цікавих пішохідних маршрутів для туристів, пропозиція послуг гіда, надання трансферів, супровід в походах, надання послуг харчування, продаж екопродукції).

2. Вдосконалення матеріальної бази підприємства, в тому числі і застосування пропозиції із екологізації (встановлення сонячної батареї, зміна дизайну кімнат на стиль «еко», встановлення сантехніки із економічною витратою води, застосування екозасобів для прибирання). Це дасть змогу не тільки зекономити ресурси, але й позиціонувати себе на ринку як екологічне підприємство. Такі заходи відповідають тренду на екологічність, який починає затверджувати свої позиції і на українському ринку. Високий екологічний імідж слугувати вагомою конкурентною перевагою, що помітно виділятиме садибу «Три сосни» серед решти схожих садиб Косівщини.

3. Збільшення номерного фонду. Щоб збільшити рентабельність та бути адаптованим для прийому компаній людей (10-15 осіб) в садибі «Три сосни» потрібно збільшити кількість кімнат, наприклад побудувати ще один корпус садиби. Звичайно, це потребує значних фінансових вкладень, але вважаємо, що садиба «Три сосни» має всі можливості стати впізнаваною та приймати більшу кількість гостей.

4. Підвищення якості обслуговування та таближення сервісу до міжнародних стандартів, дотримуючись оптимального співвідношення «ціна-якість».

5. Персоніфікація обслуговування та орієнтація на потреби клієнта зі створенням атмосфери гостинності.

На основі вищевикладеного, сформуємо конкурентні переваги екосадиби «Три сосни». Конкурентними перевагами називають матеріальні та нематеріальні активи, а також сфери діяльності, які стратегічно важливі для готелю й дозволяють йому перемагати в конкурентній боротьбі.

Впровадження принципів екологізації в садибі «Три сосни» додасть ще декілька абсолютних конкурентних переваг для засобу розміщення, а саме: високий екологічний імідж підприємства, сприяння збалансованому розвитку туризму в регіоні. Вважаємо, що комплекс заходів запропонованих в даній роботі дасть змогу власникам садиби «Три сосни» розвиватись в галузі гостинності та вийти на новий рівень ведення підприємницької діяльності, позиціонувати себе на ринку надання послуг та можливо, стати лідером ринку.

Висновки. За допомогою дослідження теоретичних особливостей розвитку екологізації та шляхів її впровадження, виявлено, що екологізаційні принципи та методи сприяють підвищенню рівня привабливості закладів розміщення будь-яких розмірів, форм, власності, типу. Було

досліджено, що в науці немає єдності щодо самого терміну «екологізація». Відсутнє визначення екологізації і в чинному законодавстві. Таким чином, основою цих процесів є екологізація освіти та науки, з метою зміни суспільно пануючої думки, стосовно способу використання ресурсів природи. Екологізація туристичної галузі – це науково обґрунтована діяльність людини, яку буде спрямовано на розумне управління процесом взаємодії працівників галузі і туристів з навколишнім природним середовищем. Екологізація туристичного бізнесу є необхідною передумовою для збереження природних ресурсів і для проведення цієї ж діяльності.

Було з'ясовано принципи організації екологізації як інструменту підвищення туристичної привабливості, до яких належать такі принципи: планованості та комплексності процесів екологізації; принцип раціональності розміщення об'єктів туристичної інфраструктури і концентрації продуктивних сил з урахуванням екологічних проблем; принцип максимального врахування економічних і соціальних умов регіонів, рівня використання природно-ресурсного потенціалу; принцип розрахунку можливих змін, що можуть вплинути на здоров'я та умови життя людей, природних і антропогенних ландшафтів; принцип науковості, тобто здійснення екологічної експертизи проектів та організація науково обґрунтованих форм екологізації та інші.

Було проаналізовано діяльність екосадиб Карпатського регіону та визначено, що в регіоні функціонує близько двох тисяч екосадиб, які пропонують послуги з розміщення для туристів. Припускаємо, що кількість екосадиб є достатньою на ринку та відповідає попиту. Було визначено, що найбільша фактична кількість екосадиб у Івано-Франківській області. У Закарпатській та Львівській областях майже однакова кількість садиб. Чернівецька область має найменшу кількість екосадиб. Охарактеризовано особливості використання цих ресурсів для реклами засобу розміщення в регіоні та відмінності цільової аудиторії двох сайтів.

Авторами запропоновано шляхи вдосконалення екосадиб Карпатського: впровадження альтернативних джерел енергії; сортування та переробка твердих побутових відходів; збереження історико-культурної спадщини Косівщини за допомогою використання елементів прикладного мистецтва в інтер'єрі; встановлення сантехніки із економічною витратою води; екологізація сервісу (використання безсульфатних та безхлорових миючих засобів та інше.

Література

- 1 Одеса, Карпати, Херсонщина – Держагентство розвитку туризму назвало найпопулярніші місця відпочинку в Україні/[Електронний ресурс]// Радіо Свобода// URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/news-populiarni-mistsia-vidpochynku-v-ukrajini/31001668.html>
- 2 Миронов Ю. Б. Сталий розвиток туризму: сутність, завдання та принципи [Електронний ресурс] / Ю. Б. Миронов // Львів: ЛТЕУ.. – 2017. – URL: https://tourlib.net/statii_ukr/myronov7.htm.
- 3 Г.І. Гапоненко. Проблеми та Перспективи екологізації туризму в Україні. *Problems of Economy*, 2021, 47.1. С. 4-10
- 4 Калініченко Т. Б. До питання формування організаційно-економічного механізму управління природокористуванням [Електронний ресурс]/ Т.Б. Калініченко// – URL: <http://www.meprints.ksame.krakow.ua>.
- 5 Mtapuri O., Giampiccoli A. Tourism, community-based tourism and ecotourism: a definitional problematic. *South African Geographical Journal = Suid-Afrikaanse Geografiese Tydskrif*, 2019, 101.1: P. 22-35.
- 6 Грабар М. В., Пригара О. В., Екологізація туризму як умова сталого розвитку, «Інтелект ХХІ». 2021. № 5. С. 16-19.
- 7 Паньків Н. Екологізація сфери туризму в контексті сталого розвитку / [Електронний ресурс]/ Н. Паньків // Сталий розвиток – стан та перспективи : матеріали міжнародного наукового симпозіуму SDEV'2018, Львів-Славське, Україна, 28 лютого–3 березня 2018 року. — Львів : Панорама, 2018. — С. 325–327.
- 8 Guide to Developing an Environmental Management System Plan/ [Електронний ресурс] / Режим доступу: URL: <https://www.epa.gov/ems/guide-developing-environmental-management-system-plan>
- 9 Українська гостинна садиба / [Електронний ресурс]// URL: <http://ruraltourism.com.ua/?a=viewmaterial&id=2>
- 10 Сайт Карпати інфо / [Електронний ресурс]// URL: <https://www.karpaty.info/ua>
- 11 Сайт букінг / [Електронний ресурс]// URL: <https://www.booking.com>
- 12 Державна служба статистики України / [Електронний ресурс]// URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>

S. Kschala, Kh. Stasevich, T. Kachala
*Ivano-Frankivsk National
 Technical University of Oil and Gas*

MONITORING THE SERVICES OF ECO-ESTATES IN THE CARPATIAN REGION AND WAYS TO INCREASE TOURISM ECOLOGIZATION

Strengthening the role of tourism for both the economic and socio-cultural development of many countries in the world as well as the aggravation of the problems inherent in its organization and development make the scientists look for the ways and mechanisms for new and ecologically significant directions of its implementation.

The need to study safe ways to increase the level of attractiveness of tourism entities in the Carpathian region is relevant, in connection with the growing demand for domestic tourism, which is associated with the COVID-19 pandemic and the war. At the request of the State Tourism Development Agency, Google provided information on the top tourist objects, places and destinations in Ukraine by the number of Google-Maps&Search searches for 2020.

Tourism is one of the sectors of the global economy that has been most affected by travel restrictions, and the aviation industry has been particularly hard hit. Ukrainian tourists, having a much smaller list of options for recreation than in previous years, tend to choose local resorts. Since the situation with quarantine restrictions is changing every day, there is a need for short-distance travel.

Taking into account the environmental problems arising during the activity of accommodation facilities, there was a need for comprehensive assessment of the situation and determination of the main types of their ecologization based on the example of the estates in the Carpathian region. Since the process of tourism ecologization is a rather complex and long-term task, great importance was attached to the analysis of the organization and implementation of the ecologization of accommodation facilities in foreign countries, to the study of the best practices.

Key words: ecologization, environmental safety, balanced nature management, recreational landscape, tourism.

References

- 1 Odesa, Karpaty, Khersonshchyna – Derzhahentstvo rozvytku turyzmu nazvalo naypopulyarnishi mistysya vidpochynku v Ukrayini/[Електронний ресурс]// Radio Svoboda// URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/news-populyarni-mistsia-vidpochynku-v-ukrajini/31001668.html>
- 2 Myronov YU. B. Stalyy rozvytok turyzmu: sutnist', zavdannya ta pryntsyipy [Електронний ресурс] / YU. B. Myronov // L'viv: LTEU.. – 2017. – URL: https://tourlib.net/statti_ukr/myronov7.htm.
- 3 H.I. Haponenko. Problemy ta Perspektyvy ekolohizatsiyi turyzmu v Ukrayini. Problems of Economy, 2021, 47.1. S. 4-10
- 4 Kalinichenko T. B. Do pytannya formuvannya orhanizatsiyno-ekonomichnoho mekhanizmu upravlinnya pryrodokorystuvanniam[Електронний ресурс]/ T.B Kalinichenko// – URL: <http://www.mepprints.ksame.krakow.ua>.
- 5 Mtapuri O., Giampiccoli A. Tourism, community-based tourism and ecotourism: a definitional problematic. South African Geographical Journal = Suid-Afrikaanse Geografiese Tydskrif, 2019, 101.1: P. 22-35.
- 6 Hrabar M. V., Pryhara O. V., Ekolohizatsiya turyzmu yak umova staloho rozvytku, «Intelekt KHKHI». 2021. № 5. S. 16-19.
- 7 7. Pan'kiv N. Ekolohizatsiya sfery turyzmu v konteksti staloho rozvytku / [Електронний ресурс]/ N. Pan'kiv // Stalyy rozvytok – stan ta perspektyvy : materialy mizhnarodnoho naukovoho sympoziumu SDEV'2018, L'viv-Slavs'ke, Ukrayina, 28 lyutoho–3 berezhnya 2018 roku. — L'viv : Panorama, 2018. — S. 325–327.
- 8 Guide to Developing an Environmental Management System Plan/[Електронний ресурс]/ URL: <https://www.epa.gov/ems/guide-developing-environmental-management-system-plan>
- 9 Ukrayins'ka hostynna sadyba / [Електронний ресурс]// URL: <http://ruraltourism.com.ua/?a=viewmaterial&id=2>
- 10 Sayt Karpaty info / [Електронний ресурс]// URL: <https://www.karpaty.info/ua>
- 11 Sayt bukinh / [Електронний ресурс]// URL: <https://www.booking.com>

- 12 Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy /[Elektronnyy resurs]// URL:
<http://www.ukrstat.gov.ua/>
- 13 Eko-kurort «Izky» /[Elektronnyy resurs]// URL: https://izki.ua/ciny_na_projivanna/

Х. В. Чех, С. В. Качала
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу

3D ПРОЕКТУВАННЯ ЕКОТУРИСТИЧНОГО ПРОДУКТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В даній роботі розглянуто створення екологічного бренду для села Слобода, яке розташоване в Коломийському районі, Івано-Франківської області. Реалізація створення цілісного унікального іміджу «Нового села Слобода» відбуватиметься в чотири послідовних етапи: формування відпочинкової зони (альтанок та мангалів), проектування глемпінгового містечка "Glam Camping", польсько-український музейний комплекс нафтопромислу під відкритим небом «Галицька колиска нафтопромислу» та відновлення санаторного туризму на основі запасів якісної мінеральної води й озокериту. Найголовніший етап – це проектування глемпінгового містечка «Glam Camping» на віддаленій ділянці села площею 1,28 га. Глемпінги ідеально вписуються в концепцію екологічного туризму, оскільки це видозмінена форма кемпінгів, але з умовами проживання готелю 5 зірок. Основний спосіб поширення реклами через соціальні мережі, а саме Instagram, Facebook, Viber, Telegram. Для цього створені спеціальні рекламні макети, які будуть поширювати через соціальні мережі, та в туристичних агенціях, на місцевому рівні та згодом на закордонному туристичному ринку. Вартість глемпінгового містечка становить 1820250 грн та при завантаженні 75% окупиться протягом 2 років, 9 місяців, 2 днів, а при 50% протягом 4 років, 1 місяця, 28 днів. Інвестиційний проект глемпінгового містечка є економічно вигідним, строк окупності значно менший від строку служби активної частини основних виробничих фондів, а також менший від фактично досягнутого строку окупності капіталовкладень у даній галузі. Тому інвестування коштів в село Слобода та зокрема в «Glam Camping» є вигідним та швидко прибутковим.

Ключові слова: екотуризм, екологічний бренд, інформаційні технології, бренд-айдентика, 3D проектування, інфраструктура.

Постановка проблеми. Висвітлені проблеми: Івано-Франківська область незважаючи на невелику площу, має великий природо-ресурсний потенціал. На жаль, весь ресурсний потенціал області раціонально не використовується, враховуючи його можливості. Але потрібно пам'ятати, що й перенасичення використання туристичних ресурсів є шкідливим, тому потрібно знайти баланс, який вигідний з екологічної та економічної сторони.

Отже враховуючи наявний туристичний потенціал села Слобода та його переваги, такі як:

- можливість розбудови транспортного сполучення із дорогою національного значення Н10 та Н09, а ще близьке розташування до міста Коломия – районного центру;
- знаходиться в помірному кліматичному поясі, його оточують гірські хребти Карпат та гора Варатик, а ще протікають дві річки: гірська Сопівка та потік Сухий;
- існують запаси дуже якісної мінеральної води;
- природа майже недоторкана, але землі активно використовуються для сільських угідь;
- немає значних джерел забруднення на території села, відповідно стан атмосферного повітря відповідає нормативним показникам;
- потенціал для відновлення туризму санаторного типу;
- велика історична та культурна спадщина: спільна історія з поляками (в Слободі народився польський письменник, співець Гуцульщини — Станіслав Вінценз).

В умовах ринкових перетворень в громаді наразі відновлюється сервісна туристична інфраструктура. Уже діють 5 садиб зеленого туризму та 2 готельно-відпочинкові комплекси. Діє лікувально-оздоровчий комплекс «Прикарпатські зорі» та туристичний комплекс «Згарда» та інші. Село Слобода є перспективним для розвитку туризму, туристичної інфраструктури та збільшення потоку відвідувачів, в першу чергу, завдяки вигідному географічному розташуванню

Печеніжинська територіальна громада та село Слобода в тому числі, мають вагомий туристичний потенціал не тільки в межах Коломийського району, а й у межах Карпатського регіону. Влада села прагне розвивати Слободу зі туристичної сторони, оскільки це розвиток регіону, збільшення робочих місць, зменшення виїзду населення села закордон та надходження до бюджету коштів, розвиток інфраструктури міста та залучення туристів.

З 2018 року в Україні почали з'являтися перші глемпінги, безпосередньо перший відкрили на Чернігівщині, і з кожним роком попит зростає, і відповідно пропозиції також. Станом на грудень 2021 рік в всій Україні більше 30 різних глемпінгів і їх наповненість туристами становить понад 80%. Велика кількість глемпінгів зосереджена на Заході, Півдні України, а також в центральній частині країни. Найважливіше для успіху – це, звісно, локація. Люди їдуть у глемпінг, щоб відпочити від ритму міст і відчуття єднання із природою. Тож гарний краєвид, недоторкана природа навколо відразу роблять місцевість привабливою для глемпінгів, саме тому даний вид туристичної діяльності є як ніколи актуальним для досліджуваної території.

В даній роботі закладено основи розвитку, формування та комплексної розробки Слободи, як екологічного села.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивченням екотуризму займалось багато науковців у своїх працях: О. О. Бейдика, Л. Г. Богуш, О. Ю. Дмитрука, Ю. В. Зінько, О. О. Любіцевої, М. П. Мальської, М. Й. Рутинського, В. В. Смаль, І. В. Смаля, В. В. Храбовченко, В. В. Худо та ін. У цих працях підкреслюється важливість та значення екотуризму, детально висвітлюється понятійно-термінологічний апарат, систематизуються підходи до визначення екотуризму як окремого виду туризму.

Питаннями розвитку готельних послуг, індустрії гостинності у своїх працях займалися вчені: Давиденко І. В., Олійник О. В., Любіцева О. О., Зінько Ю. В. та ін. Проте, розгляду глемпінгу, як перспективного напрямку готельних послуг, присвячено не так багато праць у науковій площині.

Постановка завдання. Створення нового цілісного унікального іміджевого екотуристичного продукту «Нового села Слобода» через формування і комплексне просування на внутрішньому та міжнародному рівнях села Слобода, як екологічного бренду у сфері історичного, рекреаційного, лікувально-оздоровчого та сільського туризму є пріоритетною для успішного виходу на туристичний ринок. Створення нових інвестиційних проектів, сприяння новому рівню міжсекторальної співпраці, розвитку туристичної галузі, задоволення актуальних потреб місцевої громади та забезпечення сталого розвитку території, як екологічного села з відповідною туристичною інфраструктурою. Таким чином ми можемо виділити наступні завдання: визначити основні переваги села Слобода, які позитивно впливають на розвиток туризму в даному регіоні; спроектувати глемпінгове містечко «Glam Camping» та розробити його 3d модель, разом із елементами інтер'єру; розробити основу іміджевої стратегії просування «Нового села Слобода» та окремих елементів інфраструктури на туристичному ринку послуг; визначити портрет туриста Коломийського району; розрахувати вартість глемпінгового містечка та його період окупності.

Виклад основного матеріалу. Село Слобода знаходиться в Печеніжинській селищній територіальній громаді Коломийського району, Івано-Франківської області. У минулому це один з найбільших осередків нафтової промисловості на Прикарпатті. С. Щепановський у 1881 році заснував у Слободі-Рунурській перше об'єднання з видобутку нафти та вулканічних порід, а саме озокериту. На початку двадцятого століття околиці Слободи були третім за величиною нафтовим регіоном Європи. Спогади про минуле збереглися до сьогоднішніх днів [1].

Мальовниче село Слобода знаходиться між горами та лісами, і ньому проживають працьовиті люди, більшість з яких займаються сільським господарством, садівництвом та вирощують велику рогату худобу. Хвойні та мішані ліси створили цілющий мікроклімат в селі, який разом з рослинними та мінеральними ресурсами здавна використовувався для лікування та реабілітації [2].

В умовах посилення регіональної конкуренції виникає необхідність у формуванні унікального екологічного бренду села Слобода з метою ефективного позиціонування конкурентних переваг місцевої громади як на території України, так і за її межами.

Реалізація створення цілісного унікального іміджу «Нового села Слобода» відбуватиметься в чотири послідовних етапи:

Етап 1. Формування відпочинкової зони. Облаштування території для відпочинку з сім'єю, друзями, колегами та водночас активного проведення часу. Встановлення альтанок, мангалів, колисанки вуличної, міні-дитячий та спортивний майданчики.

Етап 2. Проектування глемпінгового містечка. Облаштування трьох екологічних геокупольних глемпінгів з великими панорамними вікна для зручнішого спостереження за місцевими краєвидами. Основний мотив глемпінгів відпочинок в комфортабельних умовах, проте на одинці з природою з бережливим ставленням до неї.

Етап 3. Польсько-український музейний комплекс нафтопромислу під відкритим небом «Галицька колиска нафтопромислу». Провести дослідження спільної українсько-польської історичної спадщини села Слобода з метою ідентифікації унікальних історичних характеристик села для розвитку історичного туризму та залучення туристів не тільки з України, а ще й з Європи, в першу чергу з Польщі.

Етап 4. Відновлення санаторного туризму на основі запасів мінеральної води та озокериту.

Етапи будуть виконуватися послідовно, відповідно виручка з кожного етапу буде йти на реалізацію наступного. Важливим після реалізації кожного кроку є реклама та просування туристичної інфраструктури серед потенційних споживачів, щоб вона приносила прибуток громаді. Також невід'ємною частиною є створення індивідуального логотипу, брендбуку, рекламних буклетів та іншої рекламної атрибутики для більш успішного просування туристичних послуг.

Реалізація проекту «Створення унікального екологічного іміджу «Нового села Слобода» та його популяризація на вітчизняному та міжнародному рівнях» спрямована на виявлення й просування інтересів місцевої громади для виконання конкретних завдань її соціально-економічного розвитку, зокрема створення нових інвестиційних проектів, сприяння новому рівню міжсекторальної співпраці, розвитку туристичної галузі, задоволення актуальних потреб місцевої громади, забезпечення сталого розвитку території.

Другий та найголовніший етап формування нового екологічного цілісного бренду села Слобода – це проектування глемпінгового містечка на окраїні села. Об'єкт проектування – це три сучасні екологічні глемпінги (геокупольна форма глемпів з великими панорамними вікнами) для відпочинку на одинці з природою в Слободі. Особливість глемпінгів – це комфортний всесезонний геокупол який є альтернативою будь-якому готельному приміщенню та сезонність закладу цілорічна, прибуток відповідно також.

Глемпінг - є похідним від слова «гламур», та «кемпінг» - це гламурний кемпінг з високим рівнем комфорту в готельній обстановці, зберігаючи при цьому відчуття проживання наодинці з природою, без необхідності штучного відокремлення від природи для збереження природного середовища [3].

Глемпінги будуть спроектовані на ділянці площею 1,28 га, яка підходить для побудови глемпінгів за критеріями віддаленості від автомагістралей та заселеної частини села та наявністю природних атракцій (ліс, гори та річка). На цій ділянці зосереджена тільки відпочинкова зона туристичного комплексу (рис.1).



Рис. 1. Ділянка для побудови глемпінгів на кадастровій карті

Функціональне зонування плану туристичного комплексу – глемпінгового містечка, є дуже важливим процесом в плані проектування закладу. Схема зонування території – це карта, на якій показано розташування об'єктів комплексу, до схеми є відповідні умовні позначення (рис.2, рис.3).



Рис. 2. Схема планування території глемпінгів



Рис. 3. Умовні позначення до схеми території глемпінгів

Глемпінгове містечко включає в себе три глемпінги: два з них двомісні площею 33,6 м² та висотою 4 м, а третій розрахований на чотирьох осіб - площа 46 м² та 7 м висота наметового будиночка. До глемпінгів веде освітлені стежки і кожен з них обладнаний індивідуальною зоною відпочинку (барбекю, гамак, столик із кріслами) і для загального користування є оглядовий майданчик із біноклем. Харчування не передбачується, проте є доставка національних традиційних страв села Слободи, які приготовлені в кафе на території села за місцевими рецептами (сніданки, обіди та вечері; вибір страв узгоджується за попереднім замовленням), також можна замовити заморожені напівфабрикати для самостійного приготування на барбекю.

Адміністративна, технічна, господарська та відпочинкові зони будуть розміщені на відстані 800 м від проєктованих глемпінгів у вже існуючому приміщенні, задля збереження природи, і нанесення їй мінімального негативного впливу, та щоб не навантажувати територію комплексу

додатковими процесами та забезпечити відвідувачам відчуття перебування наодинці з природою та усамітнення від навколишнього світу. Площа цього багатофункціонального приміщення становить 93 м², та вміщає в собі (рис.4):

- технічну зону (6,7 м²) – кімната для зберігання генератора, додаткового мотору для води та інструментів.
- господарську зону (22,7 м²), де знаходиться кімната для обслуговуючого персоналу, складське приміщення, інвентар для прибирання глемпінгів, пральня та сушильна машинка, праска та прасувальна дошка, морозильна камера для зберігання морожених напівфабрикатів для барбекю, та інші побутові речі необхідні при активному функціонуванні глемпінгового містечка.
- адміністративна та відпочинкова зони (63,6 м²) вміщують в собі санвузол, стійку рецепції, зону для відпочинку з ноутбуком загального користування та безкоштовним Wi-Fi, ігрову зону – більярд та читальну зону (невеличку бібліотеку) з великим вибором книг на українській, англійській та польській мовах на різноманітну тематику. Польська мова обов'язкова, оскільки потенційними відвідувачами є саме поляки, у зв'язку з спільною історією з селом, та близьким розташуванням, до кордону з Польщею. Саме тому основна частина книг в читальній зоні про історію краю, нафтову промисловість села та перспективи розвитку Слободи, як екологічного села. Місцеві жителі зможуть відвідувати ігрову зону (більярд) у спеціально виділений час за певну платню, а ще у низький сезон для залучення коштів на отримання приміщення.



Рис. 4. Планування функціонального приміщення

Глемпінги складаються з однієї великої житлової кімнати, яка складається з трьох зон: коридор, вітальня та спальня з панорамними вікнами та невеличкої ванної кімнати (рис.5).



Рис. 5. Планувальна структура трьох глемпінгів

За концепцією глемпінгу всі будівлі переважно будують в екологічному стилі. Еко-стиль найкраще впливає саме на здоров'я людини. Головною особливістю цього виду є екологічність усіх матеріалів. Еко-стиль ще називають натюрель, і він може бути виражений його філософією, природне походження, природні матеріали, кольори та правильні форми [4].

Інтер'єр глемпінгів виражений в скандинавському стилі, який має ідеальне поєднання з еко-стилем зовні. Скандинавський стиль характеризується трьома основними компонентами – функціональність, простота і краса [5].

Скандинавський стиль інтер'єру глемпінгів зображений на рисунку 6.



Рис. 6. Скандинавський інтер'єр глемпінгів

Планування території, глемпінгів та функціонального приміщення, а також їхній інтер'єр розроблений в програмному забезпеченні «Planner 5D». Planner 5D — це умовно-безкоштовний веб-додаток, є доступна версія для мобільних пристроїв, призначений для проектування будинків, готелів, ресторанів, кімнат та інших приміщень. Дизайн інтер'єру подається у вигляді 2D та 3D моделей. В основі додатку є ідея надання людям без професійних інженерних та архітектурних навичок можливості створити наочний план приміщення з тривимірною візуалізацією [6].

Основна концепція глемпінгів - це збереження природного середовища регіону, відповідно дерева та інші рослини на території знищуватися не будуть. Також будуть насажені нові дерева та рослини, які відповідають ландшафтному та рослинному типу ділянки проектування. В Слободі більша частина лісу – це хвойні дерева та рослини. Штучні декоративні водойми та інші ландшафтні декоративні споруди не відповідають концепції закладу.

Вода на території комплексу буде добуватися із свердловини, оскільки централізованої води в селі немає та такий варіант є кращий для збереження природи. Свердловина буде знаходитися вище за висотою від глемпінгів, і вода буде йти напором по трьох відведених трубах до кожного закладу, але для підстрахування буде влаштований в свердловині безшумний мотор, який спрацюватиме у разі слабкого напору постачання води [7].

Стічні води з глемпінгів оброблятимуться автономною каналізацією (очисна споруда). Це система природної фільтрації призначена для біологічного очищення господарсько-побутових і близьких за складом виробничих стічних вод від будь-яких будівель і споруд, що знаходяться поза зоною централізованої системи каналізації. Ідеально підходить для котеджів, заміських будиночків, а також для глемпінгів. Підходить для встановлення у високих ґрунтових водах і найвагоміша перевага – це, те що неприємний запах повністю відсутній. Не менш важливою перевагою є те, що система очищення – повністю самопливна, тобто працює без насосів, рух рідини здійснюється природним чином за рахунок закону гравітації та повністю незалежний від електрики, відсутня автоматика та електроприлади. Продуктивність автономної каналізації до 3000 л за добу, вистачить для обслуговування 8 осіб. Автономна каналізація має високий ступінь очищення - до 98%, тому очищена вода буде використовуватися раціонально. Наприклад, для поливу газонів та технічного обслуговування території, оскільки система очистки потужна та цілком підходить для подальшого її використання [8].

Електроенергія на території закладу буде власна, щоб не перезавантажувати місцеву електролінію, яка є дуже слабка і може не витримати додаткового навантаження. Враховуючи, що неподалік знаходиться річка, а саме на відстані 50 м, електроенергія буде добуватися саме звідти. В річці встановлюється невеличка гідро-акумуляційна станція, а саме турбіна яка виробляє електроенергію. Для цього способу вироблення електрики не потрібно встановлювати дамбу, оскільки світла потрібно для забезпечення всього лиш трьох глемпінгів, де немає великих можливостей витрати електроенергії. У турбінному режимі вода з верхньої водойми переливається в нижню, а вироблена електроенергія через лінії подається в енергосистему споживачам. Ефективність такого способу акумулювання енергії становить близько 75%.

Розвиток малої гідроенергетики сприяє децентралізації енергетичної системи України, чим вирішує низку проблем в енергопостачанні віддалених і важкодоступних районів сільської місцевості, де поблизу немає ліній електропередач, а постачання палива пов'язане зі значними витратами енергії та часу. У випадку коли електроенергія не буде використовуватися, ГЕС змінюють свою потужність аж до повної зупинки, просто пропускаючи воду в обхід турбін [9].

Оскільки глемпінги використовуються в дикій природі, проблема теплоізоляції та тепла є особливо гострою. Двошарова мембрана з ПВХ/ПВДФ ефективно блокує тепло та холод, роблячи шатровий готель комфортним як в жарке літо, так і в холодну зиму. Таке використання слою внутрішнього утеплення є дуже економічно важливим рішенням.

Ще одним економічно важливим моментом є – панорамні вікна, це в першу чергу естетично привабливо, красиві краєвиди за вікном, та це ще забезпечує більше денного природного світла, а відповідно економія на освітленні в денний час.

Щодо економічної вигоди закладу, то в основа створення є швидше соціальна, аніж економічна. За допомогою цього закладу, з'явиться ще одна екологічна туристична атракція, яка розвиватиме в тому числі регіон побудови. За рахунок загальної пізнаваності, додаткових робочих місць саме для місцевого населення, договірні відносини з кафе, яке забезпечуватиме харчування туристам. Працюватимуть тільки місцеві жителі, оскільки це додаткові робочі місця та раціональний вихід. Для початку функціонування глемпінгів на постійній основі потрібно двох адміністраторів та покоївок, та одного працівника технічного обслуговування, який працюватиме за договором по найму робочої сили, тільки в разі потреби. Відпочинкова зона та спортивно-дитячий майданчик це також цікава атракція для села, оскільки зараз таких місць для активного відпочинку в селі Слобода немає.

Використання інформаційних технологій є невід'ємною складовою просування проекту на туристичному ринку, особливо в умовах сучасного світу. Саме тому нами розроблено ряд інформаційних продуктів, які допоможуть краще зрозуміти призначення та якість розробленого проекту. Основою будь-якого фірмового стилю, і в тому числі екологічного села Слобода - є серія кольорів які представляють бренд (рис.7). Потрібно вибирати кольори які підходять для бренду, а не особисто його власнику та гармонійно поєднуються між собою.

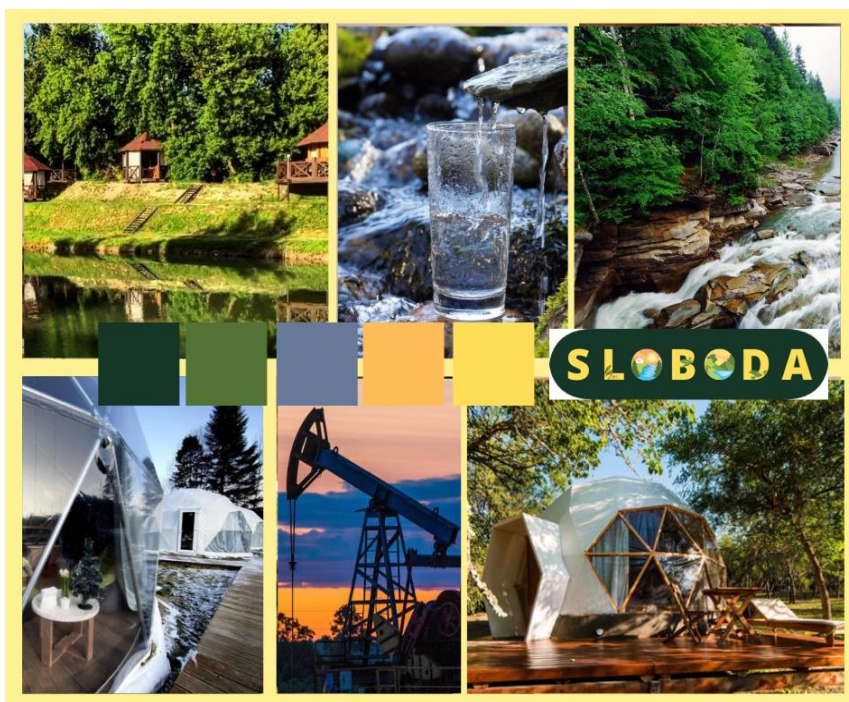


Рис. 7. Фірмові кольори екологічного бренду села Слобода

Отже в нового екологічного бренду села Слобода основні є 3 кольори зелений, жовтий та голубий, проте найбільше використовуються перші два та їхні відтінки. Кольори добре поєднуються між собою, і зелений найбільше викликає асоціацію з екологічністю бренду.

Місія екологічного бренду села Слобода – з використанням наявних природних ресурсів Слободи створити та розвинути серед місцевих жителів та туристів новий екологічний імідж без завдання шкоди навколишньому, тобто дотримуючись концепції екологічного туризму.

Перетворити село із нульовою туристичною енергетикою на екологічне село із зоною для відпочинку в альтанках з мангалами, а також проживанні в глемпінговому містечку або в санаторіях, які активно будуть розвиватися на основі запасів якісної мінеральної води та озокериту.

Наступний, не менш важливий, етап створення якісного бренду – це формування назви та логотипу бренду. Логотип — це унікальна торгова марка, яка асоціюється з брендом компанії в аудиторії. Це не просто невелике зображення чи набір графічних елементів, а символ, який у свідомості споживача має асоціюватися з вашим продуктом чи послугою [10].

Село Слобода також має свій індивідуальний логотип, який позиціонує його як екологічне село, в першу чергу за рахунок поєднання зеленого кольору із його відтінками та жовтими відтінками (рис.8). Для поширення реклами про екологічне село Слобода і наявну нову туристичну інфраструктуру, а також природні ресурси створений буклет (рис.9).

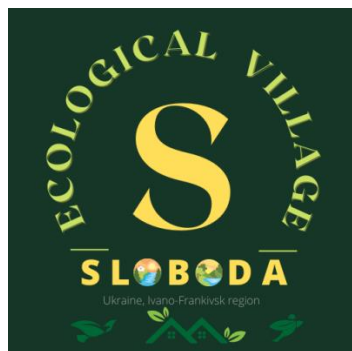


Рис. 8. Логотип екологічного села Слобода



Рис. 9. Рекламна брошура екологічного села Слобода

Для поширення рекламної атрибутики села Слобода потрібно чітко виділити портрет споживача даних послуг. Наприкінці листопада 2021 року Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу у рамках проекту «Карпатський культурний шлях» провів соціальне опитування серед відвідувачів культурно-історичних об'єктів Коломийського району. Я проаналізувала дані з опитування, яке складається з двох частин: оцінка відвідування культурно-історичного об'єкту і профілю гостя, та склала детальний портрет відвідувача Коломийського району. Результати проведеного опитування є на сайті даного проекту [11].

Середній час перебування туристів у Коломийському районі – 1,5 доби, тобто туристичні витрати на проживання, харчування, транспорт та додаткові потреби протягом всього середнього статистичного часу перебування становлять 7095 грн. Після відвідування Коломийщини враження від району та туристичних об'єктів по дев'ятьох критеріях в більшості з 20 опитованих туристів у рамках проекту «Карпатський культурний шлях», який проводився наприкінці 2021 року Івано-Франківським національним технічним університетом нафти і газу позитивні, та індекс задоволеності відвідувачів досить високий та становить 4,44 з 5 балів (рис.10).

Кошторис витрат на побудову та облаштування глемпінгового містечка «Glam Camping» в селі Слобода, Коломийського району, Івано-Франківської області на ділянці площею 1,28 га становить 1820250 грн. Розрахунки подані в табл. 1.

В перший рік функціонування глемпінгового містечка вартість добового проживання в двомісному глемпінгу становитиме 3200 грн, а в 4-місному глемпінгу – 4400 грн. Ціна визначена відповідно до цін конкурентів, та вважається нижчою на 15% від більшості конкурентів, які надають схожі послуги щодо поселення. З другого року ціна буде вищою, а саме за двомісний глемпінг вартість 3700 грн, а за 4-місний - 5000 грн. Від загального прибутку за рік орієнтовно 20% будуть становити доходи. Отже, в перший рік річна завантаженість 40%, а кожний наступний

рік +10%. На четвертий рік роботи глемпінгове містечко окупиться та наприкінці року отримуватиме чистий прибуток (табл. 2). За 5 років роботи орієнтовний прибуток становитиме 846150 грн, це 46,5% від початкових капіталовкладень.



Рис. 10. Основні показники відвідування Коломийського району

Таблиця 1

Розрахунок вартості глемпінгового містечка «Glam Camping»

№	Стаття витрат	Кількість, од.	Ціна, грн
1	Геокупол 6d двомісний	2	580 500
2	Геокупол 7d 4-місний	1	363 200
3	Облаштування території	1	876 550
Разом			1 820 250

Отже, при середньорічній завантаженості від 40% до 80% термін окупності глемпінгового містечка становить до 5 років. Інвестиційний проект є економічно вигідним, якщо строк окупності значно менший від строку служби активної частини основних виробничих фондів, а також менший від фактично досягнутого строку окупності капіталовкладень у даній галузі. Глемпінгове містечко «Glam Camping», яке розташоване в селі Слобода Івано-Франківській області, є економічним вигідним проектом, оскільки період окупності короткостроковий та прибуток прогнозується в період з третього по п'ятий рік роботи в залежності від завантаженості.

Таблиця 2

Баланс глемпінгового містечка протягом 5-ти років роботи

Роки	Середньорічна завантаженість		Річний дохід від реалізації трьох глемпінгів, грн	Чистий прибуток (20%), грн	Капітало-вкладення	Баланс на кінець року, грн
	у відсотках	у днях				
1-й	40%	146 днів	1 576 800	315 360	1 820 250	- 1 504 890
2-й	50%	182 дні	2 256 800	451 460	-	- 1 053 530
3-й	60%	219 днів	2 715 600	543 120	-	- 510 410
4-й	70%	255 днів	3 162 000	632 400	-	121 990
5-й	80%	292 дні	3 620 000	724 160	-	846 150

Висновки. З початку 2020 року туристична сфера зазнала кардинальних змін у зв'язку із пандемією COVID-19, яка розкрила нові можливості і перспективи розвитку галузі туризму. Згодом свої корективи внесло і повномасштабне вторгнення, що спричинило зміщення вектору туристичних потоків. Внутрішній туризм в Україні активно розвинув нові туристичні маршрути, також змінилися туристичні подорожі українців в межах території держави та, відповідно, туристичні доходи [12].

В Україні, зміни в сфері туризму відбулися і за наступними напрямками:

- мандрівники все частіше почали звертати увагу на автентичність, екологічність та локальний бренд [13];
- в умовах обмежень надзвичайною популярністю користується зелений або сільський туризм, що максимально забезпечує соціальну дистанцію та усамітнення та спокій;

- у 2021 році збільшилась середня тривалість подорожей, а відповідно й відбулося значне збільшення витрат.

Враховуючи зміну туристичних потоків у 2021 та 2022 роках можна зробити висновок, що найперспективнішими регіонами є Захід України, а саме: Івано-Франківська, Закарпатська, Львівська області. Беручи до уваги останні події, а саме воєнне вторгнення зі сторони Росії, та активні воєнні дії на території України, на даний момент, найбезпечнішою територією є Захід України. Відповідно Івано-Франківська область та село Слобода, яке тут розташоване, є перспективною територією для розвитку та відновлення туризму в Україні. Тому враховуючи актуальні туристичні напрямки, створення екологічного бренду села Слобода є стратегічно обґрунтованим рішенням відповідно до попиту відвідувачів на ринку туристичних послуг [14].

Нами розроблено проект глемпінгу, який безперечно створений для формування та закріплення іміджу туристичного села Слобода на ринку туристичних послуг. Як і інші заходи, спрямовані на підвищення рівня туристичної привабливості та розширення можливостей розвитку даний проект вплине на розвиток інфраструктури досліджуваного району.

Зважаючи на дослідження та аналіз показників відвідування Коломийського району нами проведено розрахунок вартості глемпінгового містечка «Glam Camping» та розроблено баланс глемпінгового містечка протягом 5-ти років роботи.

Література

- 1 Білецький В. Перші промислові центри нафтовидобутку в Східних Карпатах / В. Білецький, Г. Гайко, П. Салуга // Нафтогазова інженерія : наук.-техн. зб. / ред. В. С. Білецький ; Полтав. нац. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка. – Полтава : ПНТУ, 2016. – Число 1. – С. 18-28. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/57942/1/Orlovskiy_Pershi_tsentry_2022.pdf
- 2 «Прикарпатські зорі. Лікувально-оздоровчий комплекс. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://desnyanska-gromada.gov.ua/news/1558518276/>
- 3 Шкарупа А. К. Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара (Україна). Екологічний туризм: сутність та перспективи розвитку в Україні. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.confcontact.com/2017-ekonomika-i-menedzhment/10_shkarupa.htm
- 4 Формування сучасних концепцій управління туризмом та готельно-ресторанним бізнесом в умовах парадигми сталого розвитку: монографія / за заг. ред. Л.В. Безкоровайної. Запоріжжя: Запорізький національний університет, 2022. 445 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.researchgate.net/profile/Galina-Bogatirova/publication/366791571_Monografia_tom1_tgrs_ZNU_2022/links/63b2a85ea03100368a4769b7/Monografia-tom1-tgrs-ZNU-2022.pdf
- 5 72 ідеї для інтер'єру. Скандинавський стиль. . [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.cult-design.com.ua/uk/blog/home-ideas-uk/72-ideyi-dlya-inter-yeru-skandinavskij-stil>
- 6 Створи будинок своєї мрії за кілька хвилин, Planer 5d [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://planner5d.com/ru>
- 7 Черненко, А. О., Беркань, І. В. Теоретичне створення енергоефективного приватного будинку. Міністерство освіти і науки України Одеська національна академія харчових технологій Одеська організація союз наукових та інженерних об'єднань України консалтингова лабораторія «Терма», 65-68., 2020. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ontu.edu.ua/download/konfi/2020/conference_proceedings_EBK2020.pdf#page=65
- 8 Лабінська Г. М. "Роль інженерного благоустрою у просторовому плануванні." Trends in the scientific development 2 (2021): 76-82. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/epcsp>
- 9 Енергія води. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://merp.org.ua/images/Docs/USAID_MERP_Water_Energy.pdf
- 10 Глюза М. П. Аналіз етапів проектування логотипу / Глюза М. П., Бокарева Ю. С. // Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: матеріали Молодіжної школи-семінару V Міжнародної науково-технічної конференції, 3 листопада 2020 р. – Харків: ХНУРЕ, 2020. – Т2. – С. 104-106. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://openarchive.nure.ua/handle/document/16802>
- 11 Програма транскордонного співробітництва Угорщина-Словаччина-Румунія-Україна 2021-2027. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://huskroua-cbc.eu/news/programme->

news/public-consultations-regarding-the-interreg-a-next-programme-between-hungary-slovakia-romania-and-ukraine-for-the-period-2021-2027

12 Кількість туристів 2021 року в порівнянні з 2020 роком. ДАРТ. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.tourism.gov.ua/blog/kilkosti-turistiv-do-ukrayini-za-pershe-pivrichchya-2021-roku-zrosla-na-9-v-porivnyanni-z-drugim-pivrichchiam-2020-roku>

13 Arkhypova L., Fomenko N., Kinash I., Golovnia O.. Territorial Recreational Systems and Sustainable Development. Advances in Economics, Business and Management Research, volume 99. 7th International Conference on Modeling, Development and Strategic Management of Economic System (MDSMES 2019) Published by Atlantis Press. Web of Science P.189-194 <https://www.atlantispress.com/proceedings/mdsmes-19/125919213>

14 Відновлення мандрів. Яким видався 2021 рік для туризму в Україні та світі РБК Україна. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://travel.rbc.ua/ukr/show/vosstanovlenie-stranstviy-kotorym-vydalsya-1640687852.html>

Kh. Chekh, S. Kachala

Ivano-Frankivsk National

Technical University of Oil and Gas

3D DESIGN OF ECOTOURISM PRODUCT USING INFORMATION TECHNOLOGIES

The article investigates the creation of an ecological brand for the village of Sloboda, which is located in Kolomyia district, Ivano-Frankivsk region. The creation of a complete and unique image of the “New Sloboda Village” will take place in four successive stages: formation of a recreation area, design of the glamping town “Glam Camping”, the Polish-Ukrainian open-air museum complex of the oil industry “Galician Cradle of the Oil Industry” and the restoration of the sanatorium tourism based on reserves of the high-quality mineral water and ozokerite. The most important stage is the design of the glamping “Glam Camping” in a remote part of the village with an area of 1.28 hectares. Glamping fits perfectly into the concept of ecological tourism, as it is a modified form of camping but with the conditions of a 5-star hotel. The promotion means are social networks, namely Instagram, Facebook, Viber, Telegram. For this purpose, special advertising layouts have been created, which will be distributed through social networks and in travel agencies, at the local level and later on the foreign tourist market. The cost of glamping camping is UAH 1,820,250. In case the occupancy is 75%, it will pay off in 2 years, 9 months, and 2 days, and if the occupancy is 50%, then in 4 years, 1 month, and 28 days. The investment project of the glamping camping is economically profitable, the payback period is significantly shorter than the service life of the active part of the main production assets, and also shorter than the actually achieved payback period of capital investments in this industry. Therefore, investing funds in the village of Sloboda and in particular in “Glam Camping” is beneficial and quickly profitable.

Keywords: ecotourism, ecological brand, information technologies, brand identity, 3D design, infrastructure.

References

- 1 Bilets'kyi V. Pershi promyslovi tsentry naftovydobutku v Skhidnykh Karpatakh / V. Bilets'kyi, H. Hayko, P. Saluha // Naftohazova inzheneriya : nauk.-tekhn. zb. / red. V. S. Bilets'kyi ; Poltav. nats. tekhn. un-t im. YU. Kondratyuka. – Poltava : PNTU, 2016. – Chyslo 1. – S. 18-28. [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPIPress/57942/1/Orlovskiy_Pershi_tsentry_2022.pdf
- 2 «Prykarpat's'ki zori. Likuval'no-ozdorovchyy kompleks. [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: <https://desnyanska-gromada.gov.ua/news/1558518276/>
- 3 Shkarupa A. K. Dnipropetrovs'kyy natsional'nyy universytet imeni Olesya Honchara (Ukrayina). Ekolohichnyy turizm: sutnist' ta perspektyvy rozvytku v Ukrayini. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: http://www.confcontact.com/2017-ekonomika-i-menedzhment/10_shkarupa.htm
- 4 Formuvannya suchasnykh kontseptsiy upravlinnya turyzmom ta hotel'no-restorannym biznesom v umovakh paradyhmy staloho rozvytku: monohrafiya / za zah. red. L.V. Bezkorovaynoyi. Zaporizhzhya: Zaporiz'kyy natsional'nyy universytet, 2022. 445 s. [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: https://www.researchgate.net/profile/Galina-Bogatirova/publication/366791571_Monografia_tom1_tgrs_ZNU_2022/links/63b2a85ea03100368a4769b7/Monografia-tom1-tgrs-ZNU-2022.pdf

- 5 72 ideyi dlya inter"yeru. Skandynavs'kyi styl'. . [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: <https://www.cult-design.com.ua/uk/blog/home-ideas-uk/72-ideyi-dlya-inter-yeru-skandinavskij-stil>
- 6 Stvory budynok svoeyi mriyi za kil'ka khvylyn, Planer 5d [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <https://planner5d.com/ru>
- 7 Chernenko, A. O., Berkan', I. V. Teoretychne stvorenniya enerhoefektyvnoho pryvatnoho budynku. Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy Odes'ka natsional'na akademiya kharchovykh tekhnolohiy Odes'ka orhanizatsiya soyuz naukovykh ta inzhenernykh ob"yednan' Ukrainy konsaltnhova laboratoriya «Terma», 65-68., 2020. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: https://ontu.edu.ua/download/konfi/2020/conference_proceedings_EBK2020.pdf#page=65
- 8 Labins'ka H. M. "Rol' inzhenernoho blahoustroyu u prostorovomu planuvanni." Trends in the scientific development 2 (2021): 76-82. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <http://surl.li/epcsp>
- 9 Enerhiya vody. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: https://merp.org.ua/images/Docs/USAID_MERP_Water_Energy.pdf
- 10 Hlyuza M. P. Analiz etapiv proektuvannya lohotypu / Hlyuza M. P., Bokaryeva YU. S. // Polihrafichni, mul'tymediyi ta web-tekhnolohiyi: materialy Molodizhnoyi shkoly-seminaru V Mizhnarodnoyi nauko-tekhnichnoyi konferentsiyi, 3 lystopada 2020 r. – Kharkiv: KHNURE, 2020. – T2. – S. 104-106. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <https://openarchive.nure.ua/handle/document/16802>
- 11 Prohrama transkordonnoho spivrobitnytstva Uhorshchyna-Slovachchyna-Rumuniya-Ukrayina 2021-2027. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <https://huskroua-cbc.eu/news/programme-news/public-consultations-regarding-the-interreg-a-next-programme-between-hungary-slovakia-romania-and-ukraine-for-the-period-2021-2027>
- 12 Kil'kist' turystiv 2021 roku v porivnyanni z 2020 rokom. DART. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <https://www.tourism.gov.ua/blog/kilkosti-turistiv-do-ukrayini-za-pershe-pivrichchya-2021-roku-zrosla-na-9-v-porivnyanni-z-drugim-pivrichchiam-2020-roku>
- 13 Arkhypova L., Fomenko N., Kinash I., Golovnia O. Territorial Recreational Systems and Sustainable Development. Advances in Economics, Business and Management Research, volume 99. 7th International Conference on Modeling, Development and Strategic Management of Economic System (MDSMES 2019) Published by Atlantis Press. Web of Science P.189-194 <https://www.atlantispress.com/proceedings/mdsmes-19/125919213>
- 14 Vidnovlennya mandriv. Yakym vydavsya 2021 rik dlya turyzmu v Ukraini ta sviti RBK Ukrainy. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <https://travel.rbc.ua/ukr/show/vosstanovlenie-stranstviy-kotorym-vydalsya-1640687852.html>

ЕКОЛОГІЧНА ОСВІТА ТА ЕКОЛОГІЧНЕ ВИХОВАННЯ

УДК 504.9:130.3

DOI: 10.31471/2415-3184-2023-1(27)-132-142

*В. О. Сабадуха, О. М. Мандрик,**М. О. Стах**Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу*

ФІЛОСОФСЬКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ПОДОЛАННЯ ГЛОБАЛЬНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ КРИЗИ, АБО ОСНОВИ ЕСХАТОЛОГІЧНОЇ МЕТОДОЛОГІЇ

У статті сформульовано філософсько-методологічні засади розв'язання глобальної екологічної кризи. Доведено необхідність об'єднання зусиль екологів і філософів для її подолання. Виявлено, що філософською причиною глобальної кризи є матеріалістична світоглядна орієнтація та духовна недосконалість людини, що породжує деструктивні явища в життєдіяльності людини, суспільства та у відносинах людини й природи. Зважаючи на деструктивний характер людської діяльності, запропоновано більш точну назву для глобальної екологічної кризи – «антрополого-глобальна катастрофа». Подолання катастрофічних тенденцій потребує удосконалення моральних якостей людини та зміни детермінації її життєдіяльності. Сформульовано основні положення есхатологічної методології, яка складається із трьох складових: духовного вдосконалення людини, розбудови особистісного суспільства, гармонізації відносин людини й природи. Метафізичну теорію особистості запропоновано покласти в основу життєдіяльності людини, суспільства й відносин людини з природою. Це дозволило пояснити причини антрополого-глобальної катастрофи як на рівні людського, суспільного буття, так і відносин людини з природою. Майбутнє людської спільноти можливе лише за умов принципового зменшення людської деструктивності. Доведено, що для подолання катастрофічних тенденцій важливу роль відіграє телеологічна детермінація. Людство в умовах глобалізації має усвідомити себе трансцендентальним суб'єктом діяльності, накласти табу на зростання матеріального виробництва й розглядати його різновидом духовного та запровадити детермінацію майбутнім.

Ключові слова: екологія, глобальна екологічна криза, деструктивність, метафізична теорія особистості, есхатологічна методологія, детермінація майбутнім, телеологія.

Актуальність проблеми. Свідому людину не можуть не турбувати глобальні екологічні проблеми. Традиційна екологія переважно аналізує стан природного середовища, отожд. бореться не з причинами, а з наслідками. Екологічну кризу намагаються подолати «захмарними» технологіями, проте загроза катастрофи не зникає, а збільшується. Утім, сформувався достатньо велика кількість підходів, які намагаються системно охопити екологічну проблематику: конструктивна екологія (Н. Реймерс, О. Адаменко [1]), глибинна екологія (А. Нейс, Б. Девілл, Дж. Сешнс [2]), екосистемологія (М. Голубець) та ін. Такі підходи важливі, але недостатні для кардинального розв'язання глобальної екологічної кризи. Так, наприклад, М. Голубець у кінці свого дослідження зауважує: «Сучасний стан справ на планеті свідчить про потребу того, аби людський інтелект почав осмислювати сам себе, свій генезис <...> свої функції на Землі» [3, с. 296]. Відтак подолання екологічних проблем потребує врахування людських якостей, як вони впливають на потреби людини, сферу матеріального виробництва та відносини з природою. На необхідність включення людини в сферу аналізу глобальних проблем звертають увагу й філософи (К.-П. Апелль, К. Майєр-Абіх, А. Єрмоленко та ін.) Глобальні екологічні проблеми породили психологічний, релігійний, культурний песимізм, філософи стали говорити про антрополого-глобальну катастрофу, есхатологічний кінець історії. Треба визнати, що теоретико-методологічними засадами глобальної екологічної кризи сьогодні займаються не лише екологи, а й філософи. Подолання екологічної кризи потребує методології, яка б цілісно аналізувала людське буття з позиції кінцевої мети.

Аналіз останніх досліджень. Як правило, необхідність методології загострюється в критичні періоди людської історії. На наш погляд, методологія розв'язання глобальних проблем

ще не набула належного осмислення. Утім у дослідженнях К.-О. Апеля [4], Дж. Букінгема, Дж. Даймонда, Б. Девілла та Дж. Сешнса [2], А. Єрмоленка [5], К. Маєр-Абіха [6], звучить нагальна потреба метаметодології, яка б охоплювала людські якості та їх вплив на суспільну свідомість і природне середовище. Спеціалісти у сфері екології переважно охоплюють лише процес взаємодії людини із природою, що опосередковано технічними засобами та технологіями. Недостатність такого підходу була усвідомлена українськими філософами Н. Депенчуком і В. С. Крисаченко ще у 1987 р. Вони доводили необхідність інтеграції екології та теорії еволюції. Екологія як наука може піднятися на новий рівень, якщо поєднається з еволюційним підходом [7, с. 220], точніше, якщо техніка й технологія будуть «вмонтовані», інтегровані в процес еволюції.

Новий напрям у дослідженні глобальних проблем започаткував А. Печчеї. У 1968 р., він дійшов висновку, що людина має змінити свої якості, тобто основну причину глобальних проблем вбачав у *людській недосконалості*. Його підхід продовжили К.-О. Апель та К. Маєр-Абіх, коли стали говорити про етичну складову глобальних проблем.

Перелом у розумінні змісту та призначення екології здійснив норвезький екофілософ Арне Нейс в 1972 р. Він започаткував напрям глибинна екологія і доводив, що ставлення людини до природи зміниться лише тоді, коли людина змінить відношення до себе. Учений зазначив, що недоліком домінантного світогляду є те, що людину й людство розглядають ізольовано від природи, як істоту, яка стоїть над природою й всім сущим. Переважна більшість людей живе із відчуттям, що вона панує над природою. Учений зауважує, що це є продуктом матеріалістичного світогляду і формулює два нормативних принципи глибинної екології. *Перший*. Самореалізація. Людина має вийти за межі власного Его та ідентифікувати себе не лише із людством, а світом взагалі. Лише за цих умов зможе досягти самореалізації. Людина мусить розуміти своє «Я» не лише як єдність з іншою людиною, суспільством, а як єдність з природою взагалі. *Другий*. Біоцентрична рівність. Будь-який елемент біосфери має рівні права на життя [Пос. за 2, с. 8–17]. Отже, подолання екологічної кризи потребує зміни світоглядних засад людського буття та переосмислення поглядів на людину.

Переконані, що витоки глобальних проблем перебувають у людській деструктивності. Без переосмислення світоглядних засад буття та вдосконалення людських якостей технологічні механізми подолання глобальних проблем залишаються недієвими. Деструктивний спосіб життя й мислення людини будуть відтворювати недосконалу структуру потреб людини й виробництва. Методологія, як шлях до істини, має спиратися на розуміння людської сутності та есхатологію як вчення про кінцевий смисл людського й суспільного буття, смисл історії взагалі [8, с. 7]. Шляхи розв'язання глобальних проблем залежать від того, як розуміти сутність людини.

Мета статті – сформулювати теоретико-методологічні засади розв'язання глобальних екологічних проблем, які б враховували вплив людської деструктивності на суспільне життя, сферу матеріального виробництва та відносини людини з природою. Це передбачає вирішення таких завдань: по-перше, довести необхідність зміни світоглядних засад буття, по-друге, запропонувати методологічний інструментарій пізнання людської сутності та подолання людської деструктивності; по-третє, запропонувати методологічні засади вдосконалення суспільства; по-четверте, сформулювати методологію розв'язання суперечностей у взаємодії людини й природи.

Виклад основного матеріалу дослідження

1. Світоглядні засади подолання глобальної кризи

Світоглядною основою деструктивної діяльності є установка на пріоритет матеріального над духовним. Зберігати у відносинах людини зі світом пріоритет матеріального – це подібно до самогубства. Якщо епоха модерну сформулювала ідеал діяльності – перетворення природи, то глобальна екологічна криза вимагає, щоб людина відновила єдність з природою.

Глобальну кризу К.-О. Апель розглядає закономірним результатом людської діяльності, який зумовлений способом життя людини [4, с. 413–414]. Подолання кризи філософ вбачає у вдосконаленні етичних засад людського буття. Людина має створити концепцію співвідповідальності за майбутні наслідки своєї діяльності на основі аргументованого дискурсу. Так, К.-О. Апель писав: «*Ми маємо цілковито відмовитися від нашого модерного західного постпросвітницького погляду на світ*» [4, с. 426], тобто відмовитися від антропоцентризму.

Суттєвий крок на шляху подолання екологічної кризи здійснив К. М. Маєр-Абіх. Філософ сформулював основні постулати голлістської етики: на господарську діяльність слід накласти деякі табу [6, с. 126]. Вважаємо, що витоки цього висновку містяться в працях В. Вернадського, який ще в 30-ті роки ХХ ст. довів, що вплив антропогенного чинника на природу став дорівнювати

біогеохімічним процесам і кругообігу речовини в біосфері [9, с. 41]. Розвиток людства мають визначати можливості природи, а не споживацькі потреби людини: завтра жити краще, ніж сьогодні.

А. Єрмоленко розглядає екологічну кризу як морально-етичний виклик людству [5, с. 13–18]. Філософ шукає парадигму, яка дозволить розв'язати екологічну кризу, і, приєднуючись до К.-О. Апеля та К. М. Майєра-Абіха, вважає, що етика має відіграти вирішальну роль. У цих висновках є сенс, але вони потребують суттєвого уточнення. Зміст етики залежить від світогляду, який панує в суспільстві. Додамо, що пріоритет етики можливий лише за умов пріоритету духовного над матеріальним, наявності в суспільстві критичної маси моральних людей.

А. Єрмоленко усвідомлює труднощі, що постануть перед запровадженням нової етичної парадигми, – це неготовність суспільства сприймати нові ідеї. Незважаючи на це, він формулює екологічний імператив: *«Чини лише згідно з максимою, виходячи з якої ти міг би передбачити, що наслідки та побічні наслідки, які згодом виникатимуть з її всезагального застосування, будуть „прийнятними” для всього суцього, що немов би (als ob) бере участь у дискурсі як рівноправний партнер»* [5, с. 246]. Запропонований імператив філософ розглядає як нову формулу етичного, що відповідає сучасній ситуації. З цим можна погодитися, але постає питання: хто здатний започаткувати й діяти відповідно до запропонованого імперативу, а хто його ігноруватиме й чинитиме опір? Це питання залишилося відкритим, оскільки А. Єрмоленко мислить у межах пріоритету матеріального над духовним. У післямові до своєї праці він пише: «Людина завжди, у будь-якій темпорально-просторовій точці прагнула й прагне до задоволення своїх потреб, а це аж ніяк не можна зробити без експансії в природу, без перетворення її на людське довкілля. Тому суперечність людини і природи є онтологічною даністю...» [5, с. 398]. На це ми зауважимо, що філософ вказує на суперечності між людиною і природою, котрі є наслідком пріоритету матеріального над духовним. В умовах пріоритету духовного над матеріальним і єдності людини та світу людина зможе як мінімум пом'якшити ці суперечності.

На противагу А. Єрмоленку, ми вважаємо, якщо екологічна криза є кризою самої людини, у дійсності – це антропологічна криза, а її причини перебувають у світогляді людини та її якостях. Наблизитися до розуміння й розв'язання екологічних проблем допомагає телеологія, яка ставить питання про «кінцеві цілі», які впливають на перебіг людського життя. (У цьому контексті телеологія корелює з есхатологією). Телеологія доводить пріоритет перспективних цілей над повсякденним існуванням, орієнтує людину віддавати пріоритет майбутньому, а не сьогоденним потребам. Орієнтація на сьогоденне має егоцентричний характер. Незважаючи на конечність окремого життя, людина має орієнтуватися на майбутнє.

Примат телеології веде до того, що людина відмовляється від пріоритету причинно-наслідкової детермінації. Таку інверсію цілей посередній людині визнати важко, але вона мусить це зробити. Телеологічна детермінація ґрунтується на пріоритеті цінностей майбутнього над онтологічними закономірностями. Суспільне буття має бути підпорядковане належному. Це призведе до того, що онтологічні категорії втрачатимуть свій пріоритет, а телеологічні ставатимуть конститутивними. Телеологічна детермінація означає, що нижчі (онтологічні) категорії мають бути підґрунтям вищих. Телеологічні категорії об'єднують нижчі, підносячись над ними у якості вищої форми. Телеологічна детермінація не заперечує онтологічних закономірностей, але підпорядковує їх більш загальним принципам: цінність, належне. Причинно-наслідковий зв'язок природи зроблений залежним від цільового зв'язку, хоча є її передумовою. За умов телеологічної детермінації людина зможе відмовитися від зайвих матеріальних потреб, знизивши цим антропогенне навантаження на природу або створить інші технології, що не шкодитимуть природі.

Важливу роль у подоланні людської деструктивності відіграє екологічна освіта й виховання. Особливо наголошуємо на екологічному вихованні. Саме виховання може здійснити суттєвий вплив на світоглядну орієнтацію людини, подолати пріоритет матеріального, змінити механізми детермінації, спосіб життя людини, її потреби та якості. Підкреслимо, що особлива роль належить неформальному екологічному вихованню, а саме Церкві [10, с. 130–139].

Гармонійні відносини людини з природою можливі за таких умов: по-перше, коли зміниться світоглядна орієнтація людини із пріоритету матеріального на пріоритет духовного; по-друге, онтологічні закони й закономірності будуть підпорядковані телеологічним закономірностям; по-третє, зміняться детермінанти людської діяльності; по-четверте, будуть сформовані глобальні етичні засади людського буття. Людина навчиться сприймати своє життя не з позиції

теперішнього (чуттєвого, видимого матеріального буття), а з позиції майбутнього; по-п'яте, навчитися задовольнятися екзистенційним споживанням [11, с. 98]; по-шосте, суспільство зможе накласти обмеження на процес зростання матеріального виробництва.

2. Метафізична теорія особистості як методологічний інструментарій розуміння й подолання людської деструктивності

Розв'язання глобальних проблем можливо лише шляхом створення дієвої теорії особистості, що дозволить переорієнтувати психічну енергію людини із споживання на духовне вдосконалення. Існує велика кількість концепцій людини: *homosapiens*, *homofaber* (Г. Арендт), *homoludens* (Й. Гезінга), *homoeconomicus* (А. Сміт) тощо. Кожна із них своїм джерелом має погляди Аристотеля, утім ці концепції абсолютизують окремі властивості людини, що унеможливило дати переконливу відповідь на сутність людини. Мислення, яке є суттєвою ознакою людини за Аристотелем, підпорядковане чуттєвості, а тому є відповідальним за глобальні проблеми. Філософія виявилася розгубленою перед багатозначністю людської природи.

Інший підхід до розуміння людини започаткувало християнство. Так, християнський мислитель Й. Золотоустий (347–407) чітко визначив протилежність між філософським і християнським розумінням людини: філософи визначають сутність людини через розум, володіння знаннями, а християнське – ґрунтується на доброчесності, здатності творити добро, діяти в інтересах ближнього [12, с. 97, 335]. Отож християнське тлумачення сутності людини пов'язане з її моральними якостями. І. Кант продовжив розвивати християнський підхід до людини. У філософа людина постає істотою, яка належить двом світам: чуттєвому і ноуменальному [13, с. 297], проте підпорядковує чуттєвість розуму й моральному закону, щоб змусити людину керувати своїми природними потребами. Сучасний стан розвитку людського суспільства наочно демонструє необхідність поєднання християнського й Кантового підходу до людини. Незважаючи на зусилля християнських мислителів та І. Канта, в європейській філософії утвердилося раціоналістичне уявлення про людську сутність: «кожна людина – особистість», бо кожний має свідомість. (Формування цього уявлення в суспільній свідомості відбувалося паралельно із утвердженням пріоритету матеріального над духовним). Цей тип людини, орієнтуючись на пріоритет матеріального, проголосив антропоцентризм, а тому є «творцем» глобальної кризи. Всупереч цим уявленням, факти свідчать, що не всі люди здатні чинити морально й розумно, рефлексувати щодо власних дій, а тому не варто кожну людину вважати особистістю. Незважаючи на це, до кожної людини треба ставитися як до особистості.

Досліджуючи погляди провідних філософів на людину та ідею особистості зокрема, спостерігаємо боротьбу двох тенденцій. Перша – визнає принцип духовної ієрархії: Конфуцій, Платон, Аристотель, Плотин, стоїки, Отці християнської церкви, німецькі містики й романтики, І. Кант, Й. Фіхте, Ф. Шеллінг, Г. Гегель. Друга – на догоду посередній людині стверджує, що кожна людина є особистістю [14, с. 324–325]. Проголосивши кожну людину особистістю, філософія знищила ідеал, орієнтувала людину переважно на тілесне існування. Відтак між глобальною кризою й розумінням людської сутності є філософський зв'язок. Отже, ціннісне судження «кожна людина – особистість» не може бути теоретичним підґрунтям розуміння людини в умовах глобальної кризи. Воно має сенс, є розумним і необхідним у громадсько-політичному, правовому, комунікативному і частково в моральному контекстах, але не відповідає людській сутності.

Узагальнюючи й розвиваючи філософські концепції людини та на основі ідей О. Гречаного (1934–2002) [15], В. Сабадухою розроблена метафізична теорія особистості. Виходячи з того, що людина одночасно живе у двох світах – реальному й ідеальному, природному й духовному, цілісна теорія особистості має охоплювати обидві сторони її життя. Це можливо, якщо аналізувати людину в екзистенційно-есенційно-динамічній (егалітарно-елітарно-динамічній) системі координат. Синтезуємо напрацьовані знання щодо людської сутності з урахуванням трьох вимірів людського буття.

Перший. У контексті існування (*existentia*) мусить діяти принцип: «кожна людина – особистість», тобто до кожного треба *ставитися як до особистості – усі люди єдиносуцні в контексті людських відносин*. Твердження «кожна людина – особистість» означає, що людина є особистістю щодо Інших, але не відносно людської сутності. Щодо сутності вона залишається або залежною, або посередньою людиною. Концепт «кожна людина – особистість» соціально обумовлений, бо всі є рівноправними членами суспільного життя. Додатково цей вимір людського буття можна називати як демократичний.

Другий. У контексті сутності (essentia) має діяти закон: «Особистість – первоначало буття». В ієрархічній системі координат людину слід цінувати за її здібності, здатність бути суб'єктом моральних відносин та цілісної діяльності. Людина як істота, яка наділена розумом, у своїй самореалізації проходить такі ступені розвитку: залежна (спонукається стимулом безпосередніх потреб), посередня людина (спонукається вигодою), особистість (керується інтересом) й геній (діє відповідно ідеалу). Кожен ступінь – це необхідна форма буття, стадія реалізації власної сутності. За допомогою самосвідомості людина спроможна подолати наявний спосіб життя, усвідомити свій зв'язок з природою й перейти на вищий ступінь відносин з природою. Отож особистість знімає негативи безпосереднього існування залежної й посередньої людини й перетворює свої потенційні можливості на актуальні. Особистість робить себе рівноправним суб'єктом цілісного суспільно-природного світу, що відповідає ідеям глибинної екології. Перехід до істинного буття здійснюється як у внутрішньому житті, так і у відносинах з природою. У внутрішньому світі людина рухається від актуального до потенційного, а у відносинах з природою творить світ за принципом рівноправності. Отже, лише особистість здатна започаткувати конструктивні відносини з природою й подати приклад іншим.

Третій вимір – динамічний. Він ґрунтується на принципі доповнюваності. Демократична та ієрархічна концепції особистості є протилежними, але, виходячи з філософії Н. Кузанського, протилежності мають об'єднуватися, тому їх слід синтезувати. Демократична та ієрархічна концепції мають не заперечувати, а доповнювати одна одну, однак пріоритет має належати ієрархічному принципу. На якому б ступені духовного розвитку не перебувала людина, вона сама себе сприймає як особистість. Суспільству не залишається нічого іншого як визнати ці уявлення за об'єктивну реальність і сприймати людину як особистість. Проте, з позиції принципу духовної ієрархії людина залишатиметься залежною чи посередньою. Підкреслимо, що у кожного є особистісне начало, але воно, як правило, перебуває в нерозвинутому стані. Тому людину слід *сприймати* як «залежну особистість», «посередню особистість». Зазначені поняття дозволяють не порушувати ані гуманістичний принцип, ані принцип духовної ієрархії. Залежна та посередня особистість постають як незавершені особистості, які потребують для свого розвитку як внутрішньої активності, так і зовнішніх умов. На ступені особистості людина сягає довершеності у трьох аспектах: сама для себе здобуває здатність керувати своїми потребами, усвідомлює свою єдність із соціумом, визнає свою рівноправність із природою. Долаючи недоліки залежної й посередньої людини, особистість постає живим синтезом свободи й необхідності, самосвідомості, а в екологічному контексті стає втіленням єдності з природою.

В ідеї особистості знання про людську сутність знаходить своє логічне завершення. Особистість – це така *остання* реальність, яку людина свідомо чи несвідомо прагне досягнути в процесі подолання свого тілесного існування й пошуку істини, а тому в суспільстві вона є *першою* реальністю, оскільки утворює підстави буття. Особистість – це максимально мислима людська сутність, яка від епохи до епохи змінює свої соціально-психологічні ознаки, але за суттю залишається незмінною (Див. [14, с. 297–323]).

Метафізична теорія особистості дозволяє пояснити причини глобальної кризи. По-перше, залежна й посередня людина не здатна контролювати свої природні потреби. По-друге, посередня людина не може пов'язати глобальні проблеми з людськими якостями (розумій, своїми власними якостями), бо в неї підсвідомо спрацьовують механізми психологічного захисту. Вона не може визнати свою власну відповідальність за кризу, бо не здатна мислити з позиції майбутнього. На противагу посередній людині, особистість, як зауважує Р. Горбань, «має взяти на себе відповідальність за долю усього створеного світу» [8, с. 239] та започаткувати рівноправні відносини з природою. На основі цих роздумів зауважимо, що без активної, жертвовної діяльності особистості розв'язання антрополого-глобальної катастрофи не відбудеться. Майбутнє людської спільноти можливе лише за умов подолання людської деструктивності, яка пов'язана з діяльністю посередньої людини. Для рівноправного діалогу з природою людина має змінити свої спонукання до життя. Щодо змісту людської деструктивності один із авторів цієї статті провів спеціальне дослідження, у якому довів, що основний «закон» життя посередньої людини – перетворення буття на ніщо [16]. Варто уточнити цей висновок. Сьогодні посередня людина перетворює природу на ніщо заради комфорту й споживання. Аналіз людської сутності в контексті глобальних проблем надає додаткові аргументи на користь метафізичної теорії особистості, що має привернути увагу екологів до її змісту.

Метафізична теорія особистості дозволяє уточнити методологічний апарат щодо осмислення причин людської деструктивності й механізмів вдосконалення людини. Методологія вдосконалення людини має базуватися на такій системі принципів і понять: принцип духовної ієрархії (його втіленням є закон: «Особистість – первоначало буття»); ступені духовного розвитку людини (залежна й посередня людина, особистість й геній); спонукання до діяльності (стимул, мотив, інтерес, ідеал); рівність у контексті відносин з природою; рівні інтелектуального розвитку (мислення одновимірне, двовимірне, тривимірне, багатовимірне); установка на Іншого. Удосконалення людини створить передумови для вдосконалення суспільства й відносин людини з природою.

3. Методологічні засади подолання хаосу суспільного життя

Розбудова особистісного суспільства ґрунтується на визнанні двох форм буття людини й суспільства: знеособленої й особистісної. При розв'язанні третього завдання сконцентруємо увагу на з'ясуванні впливу якостей панівного типу людини на суспільне життя, запровадженні принципу екзистенційного володіння й споживання.

Знеособлена парадигма буття людини й суспільства набула сучасних форм під час капіталізму. Сьогодні знеособлені форми буття стали ще поширенішими. Людина переймається лише потребами власного Еґо, а тому здійснює свою діяльність, незважаючи на глобальні наслідки. Знеособлена парадигма буття людини є, з одного боку, результатом недосконалості засад модерного й постмодерного життя (установка на мати й володіти), які реалізовує посередня особистість, а з іншого, – недосконалістю самої людини. Знеособлена парадигма буття людини – це логічне завершення панування посередньої людини. Суспільне життя епохи модерну й постмодерну відтворюється шляхом збудження в людині потреб до надмірного споживання та матеріального комфорту, що призвело до розбалансування відносин людини з природою й, урешті-решт, до стану антрополого-глобальної катастрофи.

Американський футуролог Дж. Букінгем зібрала прогнози 50 найбільш відомих експертів США. Аналіз прогнозів доводить, що у них відсутнє розуміння загальної тенденції розвитку людської спільноти, бо відсутня методологія. Американський учений Дж. Даймонд, досліджуючи причини загибелі попередніх цивілізацій, висновує, що всю багатоманітність причин можна узагальнити до таких: нездатність визначити проблему та розв'язати її, застарілі цінності, ірраціональна поведінка. Вважаємо, що зазначені причини мають місце й сьогодні.

Метафізична теорія особистості висвітлює парадигмальну кризу суспільного буття. Посередня людина загальмувала духовний розвиток людства, сконцентрувавши його енергію на матеріальних потребах. Для осмислення причин зростання ентропії звернімося до закономірностей, виявлених Н. В. Тимофєєвим-Рєсовським. Найважливішою умовою виживання біологічної спільноти є мінімізація часу її адаптації до зовнішніх умов життєдіяльності. Ці висновки корелюють із сучасною ситуацією. Людська спільнота надзвичайно повільно адаптується до екологічних, енергетичних, економічних, соціально-політичних умов існування. Посередня людина демонструє свою нездатність до осмисленої діяльності в умовах глобальної кризи, що підтверджує висновки Дж. Даймонда. Відсутність осмисленої орієнтації виявилася хибною не лише для людини, але й для її відносин із природою, яка не витримує антропогенного навантаження. Філософи й футурологи відчують кризу знеособленого буття й шукають вихід, але їхні пропозиції не зачіпають світоглядних засад буття, зокрема пріоритету матеріального. Учені пропонують вихід без зміни людських якостей, тобто дивляться на людину як на істоту зі сталими духовними якостями.

Парадигма знеособленого буття виявилася вичерпаною як із внутрішнього (психологічного й духовного) боку, так й із зовнішнього (технологічного, екологічного, соціально-політичного). Вважаємо, що нова парадигма буття можлива лише за умови пріоритету особистостей у суспільстві. Особистісне начало гармонізує всі аспекти буття на основі пріоритету духовного над матеріальним, тоді як знеособлене вносить дисгармонію й хаос. Стихійно зміна знеособленої парадигми на особистісну не відбудеться, як це було в попередній історії. Зміна парадигми буття є найскладнішою революцією за всю історію людства. Добровільно погодитися на таку революцію людина не наважується, бо консервативна, проте змушена буде це зробити під тиском загрози антрополого-глобальної катастрофи.

Особистість, поєднуючи у собі моральну досконалість та інтелектуальну розвиненість, здатна сформулювати спільні телеологічні детермінанти діяльності як для окремої людини, так і для суспільства в цілому. Особистість з позиції теорії систем є конститутивним елементом

суспільства, дозволяє виявити потаємні закони буття: будь-яке суспільство існує доти, поки в ньому пріоритет належить особистостям. Людина й суспільство мають скеровувати свою діяльність до спільної мети – зменшення хаосу у відносинах з природою. Зазначена мета сприятиме формуванню органічної єдності людини й суспільства та нових форм господарювання.

Концепція взаємозумовленого розвитку людини й суспільства постає як закономірний процес оволодіння людиною своєю сутністю. Особистісна парадигма буття утворює реальні умови для вдосконалення людини, й утвердження екзистенційних норм споживання. Філософія, релігія й наука мають об'єднати зусилля для формування особистісного суспільства й допомогти людині подолати страх перед зміною способу свого життя.

Важливим компонентом особистісної парадигми буття є телеологічний закон. Утім цей закон для своєї реалізації потребує критичної маси особистостей. Закони суспільного буття мають бути підпорядковані телеологічному закону, а природні й соціально-наслідкові зв'язки мають стати їх органічною частиною. В умовах телеологічної детермінації зайві матеріальні потреби стануть непотрібними і цим буде зменшене антропогенне навантаження на природу.

Отже, подолати антрополого-глобальну катастрофу в умовах знеособленої форми буття людини неможливо. Методологія розбудови особистісного суспільства має ґрунтуватися на таких поняттях: пріоритет духовного над матеріальним, знеособлена й особистісна парадигма буття людини, особистість – первоначало буття, пріоритет моралі, суспільний інтерес як загальне підґрунтя діяльності всіх суб'єктів, належне, телеологічна детермінація, глобальна справедливість, екзистенційне володіння й споживання. Смысл людського й суспільного буття – це досягнення людиною рівності у відносинах з природою. Особистісна парадигма буття постає формою єднання людей для вдосконалення й збереження природного середовища. Зміна форм і змісту суспільного буття створить передумови для зміни відносин людини з природою.

4. Методологія розв'язання суперечностей у взаємодії людини і природи

У розумінні екологічної проблематики сформувалися такі основні підходи. *Перший* – концепція Ломборга. Її автор заперечує зміни клімату й стверджує, що це сукупність сучасних міфів. Умовою подальшого розвитку еколог-економіст вважає пристосування людини до змін на основі науки й сучасних технологій. Осмислюючи цей підхід, зауважимо, що вчений мислить у межах традиції, заданої ще Ф. Беконом: людина є господарем природи, вона є суб'єктом діяльності, а природа – об'єктом, а умовою розв'язання проблем є наука і технологія. *Другий* – концепція Вайцекера. Ключ до розв'язання глобальних проблем автор убачає в кардинальному покращенні використання ресурсів, вважаючи, що в основі подальшого розвитку має лежати ефективне використання ресурсів [Див.: 17, с. 125]. Але ж цілком очевидно, що ніяке ефективне використання ресурсів не допоможе, якщо людство не відмовиться від пріоритету матеріального над духовним і не змінить структуру своїх потреб. *Третій* – концепція Лавлока, яка розглядає Землю як своєрідний суперорганізм, який містить «контрольний механізм». Концепція сприяла формуванню принципово нової науки про Землю – геофізіології. Земля – це самоцінність, і вона не може залежати від людини, скоріше, навпаки, людина мусить зрозуміти, що вона є частиною Землі, законів еволюції, а «здоров'я» Землі – її здоров'я. Людина й суспільство – частини природи, тому людина має знайти форми єдності з природою, має стати таким суб'єктом діяльності, який несе повну відповідальність за відтворення життя на Землі. Концепція Лавлока примушує переосмислити чинну парадигму буття, у якій людина наділила себе божественною силою, дивиться на світ, як на об'єкт, і вірить у безкінечність науково-технічного прогресу. У концепції Лавлока вченим відведено принципово нову роль. Вони мають орієнтуватися на вивчення й відтворення органічних механізмів саморегуляції й самоорганізації [Див.: 17, с. 121]. На жаль, усі три концепції не враховують висновків А. Печчеї про те, що умовою розв'язання глобальних проблем є зміна людських якостей – людська революція й переосмислення напряму людського розвитку.

У Новий час людина дивиться на природу й світ з позиції вигоди. Світ втратив в очах людини самоцінність. Споживацьке ставлення людини до природи зумовлено, з одного боку, суб'єкт-об'єктною методологією Декарта, а з іншого, – людина переносить на природу своє негативне ставлення як до іншої людини, так і власної природи. Таке ставлення до Іншого та природи людина має подолати, переключити свою внутрішню активність на духовне вдосконалення, що дозволить зменшити матеріальні претензії людини.

Вважаємо, що конструктивні світоглядні засади взаємодії людини зі світом започаткував ще Ф. Шеллінг у філософії тотожності. Вважаємо, що господарство має бути актуальною єдністю

суб'єкта й об'єкта. Треба подолати застарілі уявлення про природу як мертву субстанцію й розглядати її як живий організм, що перебуває в постійному розвитку. З'ясувати філософські засади взаємодії людини й світу неможливо без усвідомлення місця й ролі матеріального виробництва в житті людини. У процесі господарювання людина об'єктивує себе в продуктах діяльності. Це так, але філософ не врахував недосконалості людини. Якщо суб'єкт господарювання недосконалий, то продуктами своєї діяльності він розбалансовуватиме взаємодію між людиною та природою. Людина створює господарство за своїм обмеженим розумінням. Досліджуючи філософські засади майбутнього господарства, поставимо питання: за яких умов може відбутися поєднання суб'єкта й об'єкта в господарюванні? Вважаємо, що це відбудеться тоді, коли людство усвідомить себе трансцендентальним суб'єктом. Сформулюємо ознаки такого суб'єкта: перша – людина визнає свою єдність зі світом; друга – стане «надприродною» людиною – особистістю – і навчиться керувати власними природними потребами. Природа як об'єкт виробничих зусиль людиною має бути межею можливостей і водночас як те, що обмежує її свободу, тобто як необхідність. Це надає підстави розглядати господарство як синтез свободи й необхідності.

Ідея єдності людини з природою знайшла відображення в концепції ноосфери В. Вернадського. Людина, спираючись на розум, має навчитися мислити в планетарному масштабі, усвідомити себе планетарним суб'єктом діяльності, який несе відповідальність перед майбутнім [9, с. 24].

Відносини матеріального й духовного в контексті екологічної кризи стали предметом дослідження сучасного німецького філософа В. Гьосле. Він припускає, що причини екологічної кризи, з одного боку, закладені в сутності людини (несвідомі імпульсивні потяги до матеріального), а з іншого, – вони є закономірним наслідком поступального занепаду західноєвропейської раціоналістичної філософії [18, с. 183–184]. У цій ситуації людина має усвідомити, що її позірна автономія та всемогутність – це страшна омана, і лише за цих умов вона отримає можливість до нового етапу розвитку [18, с. 194]. Людина руйнує природу, оскільки є природною істотою. На мові науки це пояснює другий закон термодинаміки: «Організм здатен зберігати себе як високоорганізовану систему тільки за рахунок збільшення ентропії свого довкілля» [18, с. 204]. З цього приводу філософ зауважує, що онтологія має зважати на цей невблаганний закон, проте наука має запобігати цьому процесу за рахунок пріоритету телеологічної детермінації над онтологічною.

Намагаючись вийти із глухого кута, В. Гьосле стверджує, що спочатку має відбутися духовне опанування екологічною кризою. Зміст цієї вимоги філософ формулює у твердженні: життя є основою духу, а дух є його істиною [18, с. 208]. Філософ наполягає на тому, що має відбутися примирення (синтез) природи й духу, і вважає це етичним обов'язком сучасної людини щодо прийдешніх поколінь і метафізичним завданням щодо буття взагалі [18, с. 210].

В умовах антрополого-глобальної катастрофи постала нагальна проблема переосмислити поняття «розвиток» і «діяльність». Сучасна філософська думка абсолютизує поняття діяльності. З цього приводу зауважимо, що категорія «діяльність» потребує доповнень категорією «не-діяння» (китайське «у-вей»). Підкреслимо, що «не-діяння» не дорівнює бездіяльності. «Не-діяння» – це діяльність з позиції рівноваги, з урахуванням законів еволюції. Гадаємо, що для філософського аналізу сучасних технологій поняття «не-діяння» доволі продуктивне, оскільки дозволяє вийти на новий рівень взаємодії людини зі світом, тому може стати конститутивним у філософії єдності людини зі світом.

Конструктивні підходи до розуміння причин антрополого-глобальної катастрофи знаходимо в сучасного українського філософа К. Зарубицького. Світ – це гармонія «всіх царин життя», можливість їх ненасильницького співіснування [19, с. 105]. З цієї позиції філософ зауважує: «Людина при цьому постає як істота універсальна й тому вільна, тобто як істота, яка здатна, втілюючись у кожній із сфер, залишатися частиною Єдиного Цілого...» [19, с. 109]. Акцентуємо увагу на тому, що в цьому підході людина є не частиною, а цілісним представником світу. На таку роль здатна лише особистість. Саме на такі відносини людини зі світом орієнтує пригожинська картина світу. Сучасну модель відносин людини з природою І. Пригожин назвав діалогом. Глобальна екологічна криза вимагає, щоб людина підпорядкувала своє життя можливостям природи, а основою такої переорієнтації є філософія тотожності суб'єкта й об'єкта. Філософія за своєю суттю є формою духовної єдності людини зі світом. Філософія тотожності дозволяє здійснити крок до подолання «вічних» суперечностей між людиною та світом.

Фундаментальною умовою подолання людської деструктивності у відносинах з природою є зміна детермінації наукової діяльності. Наукова діяльність має орієнтуватися не на економічний зиск, а на збереження життя й зменшення ентропії, тобто детермінація має здійснюватися з позицій майбутнього, а не потреб посередньої людини. Наука має бути засобом зменшення ентропії й збереження світу. Науковці мають з'ясувати антропокосмічні умови людського існування [14, с. 455–456].

На необхідності зміни механізму детермінації наголошує й К. Зарубицький, зауважуючи, що останні дослідження примушують уважно розглянути можливість запровадження в суспільній свідомості такого явища як детермінація майбутнім і введення відповідного поняття [20, с. 198]. Посередня людина нездатна до детермінації майбутнім через свої обмежені потреби, примітивні спонукання. Детермінація майбутнім має життєствердне начало, тоді як орієнтація на сьогоденну вигоду себе вичерпала. Запровадити детермінацію майбутнім здатна лише особистість.

Отже, подолання антрополого-глобальної катастрофи вимагає, по-перше, переосмислення світоглядних уявлень людини, світ – це гармонія всіх царин буття, що має ґрунтуватися на філософії totoжності трьох рівноправних суб'єктів діяльності: людини, суспільства й природи; по-друге, філософія панування людини над природою має бути змінена на діалог людини й природи; по-третє, людство в умовах глобалізації мусить усвідомити себе трансцендентальним суб'єктом діяльності, накласти табу на процес зростання матеріального виробництва й розглядати його різновидом духовного та запровадити детермінацію майбутнім; по-четверте, сформулювати Я-концепцію науковця, яка буде орієнтована на зменшення ентропії. Взаємодія людини з природою має здійснюватися за принципами благоговіння перед природою (А. Швейцер) та «недіяння».

Висновки та перспективи реалізації есхатологічної методології. Матеріалістична світоглядна орієнтація збільшує внутрішню й зовнішню ентропію і є світоглядною причиною глобальної екологічної кризи, які реалізовує посередня людина. Людина жила й не рефлексувала над результатами своєї діяльності, а тому антрополого-глобальна катастрофа є закономірним результатом людського життя. Внутрішній хаос породжує зовнішній і як результат маємо екологічну кризу. Психічна енергія людини має бути переорієнтована на власне духовне вдосконалення та вдосконалення суспільства, обмеження матеріальних потреб, що сприятиме зменшенню економічного навантаження на природу. Кардинальний шлях подолання екологічної кризи – це визнання пріоритету духовного. Експлуатація природи є показником нерозумності людини й наслідком матеріалістичної світоглядної орієнтації. Будь-якими «захмарними» технологіями екологічну кризу не подолати. Есхатологічна методологія виходить із кінцевої мети людського буття – рівноправних відносин людини з природою, що можливо за умов вдосконалення людини й суспільства. Показником розуму людини є рівень її відносин з природою і здатність досягати єдності.

Узагальнюючи наведені роздуми, варто поставити питання про світоглядно-етичний імператив в умовах глобальної кризи. Людина має діяти як трансцендентальна істота, яка керується, по-перше, пріоритетом духовного, по-друге, кінцевими цілями людського буття, потребою духовного вдосконалення до особистісного ступеня; по-третє, принципом рівноправності всіх живих істот; по-четверте, законом телеологічної детермінації; по-п'яте, має передбачати екологічні наслідки своєї діяльності.

Есхатологічна методологія задає систему понять для життєдіяльності людини, суспільства й взаємодії людини з природою в умовах необхідності подолання антрополого-глобальної катастрофи та поділяється на чотири складові: світоглядна складова, вдосконалення людини, розбудова особистісного суспільства, досягнення єдності людини й природи. Таке поєднання потребує координації зусиль різних спеціалістів: гуманітаріїв (філософів, психологів, соціологів), священників, учених-природознавців, інженерів, економістів, господарників і власне екологів. Гадаємо, що скоординувати такі зусилля здатний лише методолог у єдності з екологом. В умовах глобальної екологічної кризи еколог має бути метафізичним персонажем.

Література

- 1 Адаменко О. Конструктивна екологія. LARLAMBERTAcademicRublishing. 2014. 122 с.
- 2 Девилл Б., Сешнс Дж. Глубинная екология. Киев: Киевский еколого-культурный центр, 2005. 108 с.
- 3 Голубець М. А. Екосистемологія. Львів: ПОЛЛІ, 2000. 316 с.

- 4 Апелъ К.-О. Екологічна криза як виклик дискурсивній етиці / Єрмоленко А. М. *Комунікативна практична філософія*. Київ: Лібра, 1999. С. 413–454.
- 5 Єрмоленко А. М. Соціальна етика та екологія. Гідність людини – шанування природи : монографія. Київ: Лібра, 2010. 416 с.
- 6 Маєр-Абіх К. М. Повстання на захист природи. Від довкілля до спільносвіту / пер. А. Єрмоленка. Київ: Лібра, 2004. 196 с.
- 7 Депенчук Н. П., Крисаченко В. С. Экология и теория эволюции (Методологический аспект). Киев: Наукова думка, 1987. 239 с.
- 8 Горбань Р. А. Есхатологічна перспектива історії в інтерпретації Миколи Бердяєва. Івано-Франківськ: Нова Зоря, 2014. 280 с.
- 9 Вернадский В. И. Размышления натуралиста : в 2 кн. Кн. 2. Научная мысль как планетное явление. Москва: Наука. 1977. 191 с.
- 10 Мандрик О., Мальований М. С., Орфанова М. М. Екологічна освіта для сталого розвитку. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2019. №1. С. 130–139.
- 11 Фромм Е. Мати чи бути? Київ : Укр. письм., 2010. 222 с.
- 12 Золотоустий Й. Зібрання повчань. Кн. 1 Львів : Місіонер. 2007. 376 с.
- 13 Кант И. Основы метафизики нравственности. 1785. *Сочинения* : в 6 т. – Т. 4, ч. 1. Москва: Мысль, 1965. С. 219–310.
- 14 Сабадуха В. О. Метафізика суспільного та особистісного буття. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2019. 647 с.
- 15 Гречаний О. Ф., Сабадуха В. О. Філософія здібностей у контексті пріоритету духовного над матеріальним: монографія. Луганськ: Вид-во СНУ ім. Володимира Даля, 2015. 211 с.
- 16 Сабадуха В. О. Гріхи посередньої людини, або Філософський аналіз причин людської деструктивності. *Практична філософія*. 2011. № 1. С. 31–41.
- 17 Грабовський С. Кліматична катастрофа: міфологема чи неминучість? *Сучасність*. 2010. № 4. С. 114–128.
- 18 Гьосле В. Практична філософія в сучасному світі. Київ: Лібра, 2003. 248 с.
- 19 Зарубицький К. Доля цивілізації в світлі філософії Мартіна Хайдеггера. *Філософ. думка*. 2000. № 2. С. 95–109.
- 20 Потустороннее, которое реально существует. Немистичне потойбіччя / сост. К. Малеев. Киев: Стило, 253 с.

**V. Sabadukha, O. Mandryk,
M. Stakh**

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

PHILOSOPHICAL AND METHODOLOGICAL BASES OF OVERCOMING THE GLOBAL ENVIRONMENTAL CRISIS OR THE FOUNDATIONS OF ESCHATOLOGICAL METHODOLOGY

Philosophical and methodological principles of solving the global environmental crisis are considered in the article. The need to unite the efforts of ecologists and philosophers to overcome it was proved. The philosophical causes of the global crisis were found to be the materialistic world outlook orientation and the spiritual imperfection of man which creates destructive phenomena in the life of man, society and in the relationship between man and nature. Taking into account the destructive nature of human activity, a more accurate name for the global ecological crisis was proposed – the “anthropological-global catastrophe”. Overcoming the catastrophic trends requires improving the moral qualities of a person and changing the determination of their life activities. The authors have formulated the main provisions of the eschatological methodology, which consists of three components: the spiritual improvement of a person, the development of a personal society and the harmonization of relations between man and nature. The authors proposed using the metaphysical theory of a personality as the basis of human activity, society and human relations with nature. This made it possible to explain the causes of the anthropological-global catastrophe both at the level of human and social existence as well as human relations with nature. The future of the human community is possible only in case of the fundamental

reduction of human destructiveness. It has been proved that teleological determination plays an important role in overcoming catastrophic trends. In the conditions of globalization, the humanity must realize themselves as a transcendental subject of the activity, impose a taboo on the growth of material production and consider it a kind of a spiritual one and introduce determination of the future.

Key words: ecology, global ecological crisis, destructiveness, metaphysical theory of personality, eschatological methodology, determination of the future, teleology.

References

- 1 Adamenko O. Konstruktyvnaia ekolohyia. LARLAMBERTAcademicRublishing. 2014. 122 s.
- 2 Devyll B., Seshns Dzh. Hlubyinnaia ekolohyia. Kyev: Kyevskyi ekoloho-kulturnyi tsentr, 2005. 108 s.
- 3 Holubets M. A. Ekosystemolohiia. Lviv: POLLI, 2000. 316 s.
- 4 Apel K.-O. Ekolohichna kryza yak vyklyk dyskursyvnyi etytsi / Yermolenko A. M. Komunikatyvna praktychna filosofiiia. Kyiv: Libra, 1999. S. 413–454.
- 5 Iermolenko A. M. Sotsialna etyka ta ekolohiia. Hidnist liudyny – shanuvannia pryrody : monohrafiia. Kyiv: Libra, 2010. 416 s.
- 6 Maier-Abikh K. M. Povstannia na zakhyst pryrody. Vid dovkillia do spilnosvitu / per. A. Yermolenka. Kyiv: Libra, 2004. 196 s.
- 7 Depenchuk N. P., Krysachenko V. S. Ekolohyia y teoryia evoliutsyy (Metodolohycheskyi aspekt). Kyev: Naukova dumka, 1987. 239 s.
- 8 Horban R. A. Eskhatolohichna perspektyva istorii v interpretatsii Mykoly Berdiaieva. Ivano-Frankivsk: Nova Zoria, 2014. 280 s.
- 9 Vernadskyi V. Y. Razмышleniya naturalysta : v 2 kn. Kn. 2. Nauchnaia mysl kak planetnoe yavlenye. Moskva: Nauka. 1977. 191 s.
- 10 Mandryk O., Malovanyi M. S., Orfanova M. M. Ekolohichna osvita dlia staloho rozvytku. Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannia. 2019. №1. S. 130–139.
- 11 Fromm E. Maty chy buty? Kyiv : Ukr. pysm., 2010. 222 s.
- 12 Zolotoustyi Y. Zibrannia povchan. Kn. 1 Lviv : Misioner. 2007. 376 s.
- 13 Kant Y. Osnovy metafizyky нравственности. 1785. Sochyneniia : v 6 t. – T. 4, ch. 1. Moskva: Мысль, 1965. S. 219–310.
- 14 Sabadukha V. O. Metafizyka suspilnoho ta osobystisnoho buttia. Ivano-Frankivsk: IFNTUNH, 2019. 647 s.
- 15 Hrechanyi O. F., Sabadukha V. O. Filosofiiia zdibnostei u konteksti priorytetu dukhovnoho nad materialnym: monohrafiia. Luhansk: Vyd-vo SNU im. Volodymyra Dalia, 2015. 211 s.
- 16 Sabadukha V. O. Hrikhy poserednoi liudyny, abo Filosofskyi analiz prychyn liudskoi destruktyvnosti. Praktychna filosofiiia. 2011. № 1. S. 31–41.
- 17 Hrabovskyi S. Klimatychna katastrofa: mifolohema chy nemynuchist? Suchasnist. 2010. № 4. S. 114–128.
- 18 Hosle V. Praktychna filosofiiia v suchasnomu sviti. Kyiv: Libra, 2003. 248 s.
- 19 Zarubyskyi K. Dolia tsyvilizatsii v svitli filosofii Martina Khaidehhera. Filos. dumka. 2000. № 2. S. 95–109.
- 20 Potustoronnee, kotoroe realno sushchestvuet. Nemistychnye potoibichchia / sost. K. Maleev. Kyev: Stylos, 253 s.

*З глибоким сумом та скорботою в серці
повідомляємо, що 9 квітня 2023 року
відійшов у вічність наш колега та товариш,
наш вчитель та засновник екологічної
освіти на Прикарпатті
Адаменко Олег Максимович.*

У згадку про нього тут публікуємо його ессе:

СЛОВО ПРО УЧИТЕЛЯ

**нарис про творчість засновника і керівника Наукової Школи:
«Рационального використання та захисту природи»
професора Олега Адаменка**

Олег Максимович – заслужений діяч науки і техніки України, Лауреат Державної премії СРСР в галузі науки, доктор геолого-мінералогічних наук, професор, академік Академії наук технологічної кібернетики України, академік нафтогазової академії України, академік



Міжнародної академії наук, досліджень, технологій та інженерії, віце-президент Підкомісії з геоархеології палеоліту Міжнародного союзу з вивчення четвертинного періоду (INQUA), член президії Географічного товариства України, член президії Івано-Франківського відділення Наукового товариства ім. Т. Шевченка (НТШ), член президії багатьох інших товариств, нагороджений орденом «За заслуги» III ступеня, золотою медаллю ім. М.П. Пржевальського, бронзовою і срібною медалями III і II ступеня за внесок у розвиток нафтогазового комплексу України, медалями Івано-Франківської ОДА «Кращий науковець року» та Івано-Франківського міськвиконкому «За розвиток регіону», визнаний Американським біографічним інститутом людиною 2010 року серед науковців України, Кембриджським університетом занесений до Книги видатних мислителів XXI ст.

О. М. Адаменко – автор понад 800 наукових публікацій, в тому числі 36 монографій, 16 підручників, словників, атласів, брошур та ін. Під його керівництвом захищено 7 докторських та 18 кандидатських дисертацій у галузі технічних, геолого-мінералогічних і географічних наук, виконано більше 10 міжнародних науково-технічних проектів, організовано Дністровський протипаводковий полігон та Старунський геодинамічний полігон – майбутній міжнародний еколого-туристичний центр «Парк Льодовикового періоду»

НАУКОВА ШКОЛА

раціонального використання і захисту природи



АДАМЕНКА ОЛЕГА МАКСИМОВИЧА

ДОКТОРИ

ГЕОГРАФІЧНИХ 11.00.04 геоморфологія та палеогеографія  1. ТУЛОХОВ Ариєль Кирилович «Висновки дисертації «Происхождение эволюция рельефа и геоморфология в Мезозой-Сабарского пояса» в институте геологической науки в АН СССР, Новосибирск, 1985р.  3. РУДЬКО Георгій Ілліч «Инженерно-геоморфологический анализ рельефо-геоморфологических процессов (на примере Карпатского, Крымского и Кавказского регионов), Институт географии НАНУ, Київ, 1999р.  25. ПРИХОДЬКО Микола Миколайович «Екологічна безпека природних і антропогенно модифікованих екосистем», Львівський національний університет імені Івана Франка, 2013 р.	ГЕОЛОГО-МІНЕРАЛОГІЧНИХ 04.00.01 общая и региональная геология  2. РУДЬКО Георгій Ілліч «Геологическая и минералогическая оценка геологических ресурсов в Карпатском регионе», Институт геологической науки НАНУ, Київ, 1999р.  14. РУДЬКО Георгій Ілліч «Екологічна безпека геологічних і антропогенно модифікованих екосистем (на основі геологічної основи)», Національна геологічна безпека промислових об'єктів України, ІНГЕТУ ІНГ, 2013р.  20. ЧЕЛЯДИН Льобомір Іванович «Научные задачи ресурсо-обеспечения технологий в установлении планирования геологической безопасности промышленных объектов Украины», ІНГЕТУ ІНГ, 2013р.  24. МИХАЙЛИВ Микола Іванович «Підвищення екологічної безпеки електроенергетики Карпатського регіону з використанням нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії», ІНГЕТУ ІНГ, 2013р.	ТЕХНІЧНИХ НАУК 21.06.01 екологічна безпека
---	--	---

КАНДИДАТИ

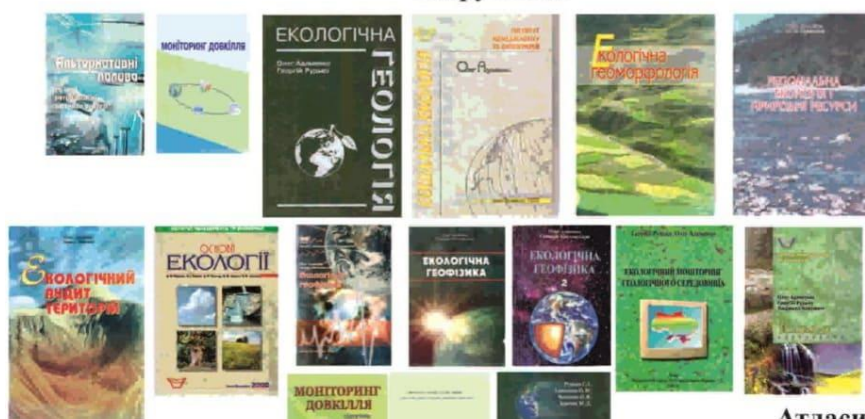
ГЕОГРАФІЧНИХ 11.00.11 конструктивная география и рациональное использование природных ресурсов  12. Мищенко Лариса Володимирівна «Топографический анализ рельефа и геоморфологических процессов на территории и территории Украины на основе географической информации», Львівський національний університет імені Івана Франка, 2009р.  13. Триснюк Василь Миколайович «Система географической информации и картографической базы данных», Топік в мезозой-Сабарского пояса, Львівський національний університет імені Івана Франка, 2009р.	ГЕОЛОГО-МІНЕРАЛОГІЧНИХ 04.00.21 геология  4. Триснюк Галина Денисівна «Внедрение системы информации и картографической базы данных», Топік в мезозой-Сабарского пояса, Львівський національний університет імені Івана Франка, 2009р.  5. Кузьмук Леонтій Мусійович «Палеонтологическое исследование геологической истории территории Украины», Львівський національний університет імені Івана Франка, 1989р.	ТЕХНІЧНИХ НАУК 21.06.01 екологічна безпека
ГЕОГРАФІЧНИХ 11.00.11 конструктивная география и рациональное использование природных ресурсов  16. ПОБИГУН Олена Володимирівна «Топографический анализ рельефа и геоморфологических процессов на территории Украины на основе географической информации», Львівський національний університет імені Івана Франка, 2009р.  17. ФОМЕНКО Наталія Володимирівна «Система географической информации и картографической базы данных», Топік в мезозой-Сабарского пояса, Львівський національний університет імені Івана Франка, 2009р.	ГЕОЛОГО-МІНЕРАЛОГІЧНИХ 04.00.17 геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений  6. Штурмак Ірина Тимофіївна «Оценки геологической информации и картографической базы данных», Топік в мезозой-Сабарского пояса, Львівський національний університет імені Івана Франка, 1987р.  7. Стельмах Орест Романович «Оценки геологической информации и картографической базы данных», Топік в мезозой-Сабарского пояса, Львівський національний університет імені Івана Франка, 1987р.	ТЕХНІЧНИХ НАУК 21.06.01 екологічна безпека
ГЕОГРАФІЧНИХ 11.00.11 конструктивная география и рациональное использование природных ресурсов  19. ПРИХОДЬКО Микола Миколайович «Оценка геологической информации и картографической базы данных», Топік в мезозой-Сабарского пояса, Львівський національний університет імені Івана Франка, 2009р.  21. ВІТКО Людмила Ярославівна «Оценки геологической информации и картографической базы данных», Топік в мезозой-Сабарского пояса, Львівський національний університет імені Івана Франка, 2009р.	ГЕОЛОГО-МІНЕРАЛОГІЧНИХ 04.00.21 геология  23. ЛАВРУК Тетяна Миколайівна «Оценки геологической информации и картографической базы данных», Топік в мезозой-Сабарского пояса, Львівський національний університет імені Івана Франка, 2009р.  10. НЕЩИП Степан Миколайович «Оценки геологической информации и картографической базы данных», Топік в мезозой-Сабарского пояса, Львівський національний університет імені Івана Франка, 2009р.	ТЕХНІЧНИХ НАУК 21.06.01 екологічна безпека
ГЕОГРАФІЧНИХ 11.00.11 конструктивная география и рациональное использование природных ресурсов  11. КОРОБЕЙНИКОВА Ярослава Степанівна «Оценка геологической информации и картографической базы данных», Топік в мезозой-Сабарского пояса, Львівський національний університет імені Івана Франка, 2009р.  20. ЗОРІН Денис Олександрович «Оценки геологической информации и картографической базы данных», Топік в мезозой-Сабарского пояса, Львівський національний університет імені Івана Франка, 2009р.	ГЕОЛОГО-МІНЕРАЛОГІЧНИХ 04.00.17 геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений	ТЕХНІЧНИХ НАУК 21.06.01 екологічна безпека

50 книг професора Олега Адаменка

Монографії



Підручники



Атласи

Ізвчальні посібники



Словники



Брошури



РОДИННІ ДЖЕРЕЛА

А почалось його життя о 3 годині ранку 17 (записали 23) листопада 1935 р. Народився Олег Максимович у мальовничому селі Воловиця на березі р. Десни. Дитинство і шкільні роки Олега пройшли у с. Ядутах Борзнянського району Чернігівської області.

Ще змалечку Олега приваблювала Гордонова гора – невисокий (усього 8 м) піщаний горб – дюна на березі р. Трубин – староріччя Десни, мабуть тому, що ця гора мала якусь таємничу космічну силу, що манила Олега до далеких мандрів.

Тісний зв'язок маленького Олега з дідусем, Петром Григоровичем Малим, який одного разу, після закінчення 4 класу, посадив онука біля жолоба і сказав: «Ти вже добре вмієш рахувати. Сідай і рахуй тюки, щоб не вкрали сіна» та дідусем Максимом Корнійовичем Адаменком, котрий читав маленькому стародавні книжки на біблійні теми і розповідав «страшні» історії – визначив майбутній шлях ще юного дослідника та науковця.

Батьки Олега – Максим Максимович (1912-2000) та Олександра Петрівна (1912-1997), які були вчителями та мали високий авторитет серед односільчан заклали майбутньому екологу любов до природи та читання книжок.

ТІЛЬКИ ГЕОЛОГІЯ!

Коли у Олега прокинулась думка про геологію? Це було у 6 класі, коли він з хлопцями пішли перший раз подивитись на поїзд, за 7 км від Ядут на станцію Бондарівка. Там Олег вперше побачив не тільки поїзд, а й камінці між шпалами залізниці. Це була щебінка мабуть з граніту і у Олега з'явилась перша колекція гірських порід!

Захотілось стати геологом, а цьому посприяла також книжка академіка Олександра Євгеновича Ферсмана «Занимательная минералогия».

У 60-ті роки ХХ ст. геологи відкрили під Ядутами, на глибинах 2-3 км, нафтове родовище. Не виключено, що ця підземна структура своїми флюїдами теж вплинула на вибір Олегом професії геолога. Уже у 7 класі Олег збирався поступати до Київського геологорозвідувального технікуму, але його відговорили розумні люди, порадивши закінчити середню школу і поступати до Києва в університет ім. Т. Шевченка, де на юриста вчився його двоюрідний брат Ігор, син Івана Малого.

Почалась підготовка до вищої школи. Олег «загорівся» геологією і ні про що інше і думати не хотів. Батьки були проти: «Будеш усе життя лазити по горах, без квартири, без сім'ї» і т.д. Інші друзі по школі збирались на «нормальні» спеціальності: у медичний, залізничний, педагогічний, військове училище. Коли Олег був у 10 класі, його запросили до райкому комсомолу у Борзну, де два полковники у «льотній» формі агітували поступати до Московського авіаційного інституту ім. М.Є. Жуковського. «Будеш літати на сучасних лайнерах на 10 км у висоту, а згодом... може ще вище» – уговорювали вони Олега – круглого відмінника і активіста школи. Але він не піддався агітації, бо ніколи не мріяв ні про військову кар'єру, а це в ті роки було дуже престижно.

ALMA MATER

Перебираючи виші, де вчилися на геологів, Олег зупинився на Ленінградському гірничому інституті, бо це була головна «кузня» гірничих інженерів, в тому числі і геологів. Мрія здійснилась і у серпні 1952 р. він уже стояв на березі Неви, а над ним височіла колонада Гірничого інституту, заснованого ще у 1773 р.

Швидко пройшли п'ять років навчання. За цей період Олег побував на практиках і в експедиціях у Хібінах, на Уралі, в Криму, Казахстані і Тянь-Шані. На відміну від нинішніх студентів-геологів, які «варяться» тільки в Карпатах по 2-3 тижні практики, тодішні студенти вчилися геологічній зйомці 8 тижнів у Кримських горах після 2 курсу, а після 3 і 4 курсів їхали на виробничі практики «якомога далі»: в Узбекистан і Киргизію, в Якутію, Верхоянські хребти, в Забайкалля і на Сахалін. Вони не тільки вчилися, а й працювали на робочих місцях у геологічних експедиціях по 3-5 місяців, заробляючи хороші гроші. Іноді повертались до інституту не 1 вересня, а у жовтні-листопаді, а потім «доганяли» своє навчання і декани не дуже їх сварили.

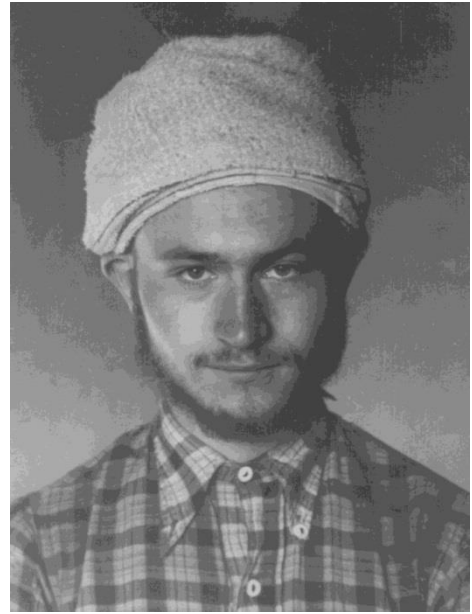
ПОЧАТОК ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ У СИБІРУ

Розподіл на роботу після закінчення був 100 відсотковий. Олега залишали у Всесоюзному геологічному інституті, де він працював на півставки старшого колектора (це не ті колектори, що зараз віднімають у людей матеріальні цінності за борги, це колектори, що колекціонують гірські породи і мінерали, тобто техніки-геологи), але залишатись в Ленінграді без квартири було мало

перспективно. Олег подався у м. Сталінськ (нині Новокузнецьк Кемеровської області). Там, у с. Єлань, де потрібні були старші колектори у Гірський Алтай на 92 рублі 50 коп. на місяць – «не густо». Але 3 роки потрібно було «відпрацювати» – ця вимога держави строго виконувалась.



**На Березівському золоторудному родовищі, Урал
(3 липня 1955 р.)**



**На виробничій практиці у
Центральному Казахстані О. М.
(13 серпня 1955 р.)**



На службі в армії. Карелія (16 червня 1956 р.)



**В день захисту диплому з Артуром
Кагармановим (12 червня 1957 р.)**



На вершині Башелакського хребта у Гірському Алтаї (18 вересня 1958 р.)

ЕТАПИ НАУКОВОЇ ТВОРЧОСТІ

Для його наукової творчості характерна зміна векторів пріоритетних досліджень, згідно з вимогами і запитам народного господарства в той чи інший період розвитку суспільства. Так, в Гірничому інституті він готувався до мінералого-петрографічного втілення своїх знань, тому що в цьому ВНЗ саме цей напрямок був найсильніший на геологорозвідувальну факультеті (професори Д. П. Григор'єв, С. П. Соловйов, В. А. Заварицький, М. П. Татаринов, І. Г. Магак'ян та ін).

Але, коли Олег Максимович побачив, що в Усть-Канській партії (1957-1959 рр.) цей напрямок добре забезпечений, а в геоморфологічній і четвертинній геології мало хто щось розуміє, то він дістав конспект лекцій професорів М. М. Тетяєва зі структурної геоморфології і В. М. Сакса з четвертинної геології і став розвивати саме цей напрямок. Тому через два роки, коли експедиція «спустилась» з Гірського Алтаю на Західно-Сибірську рівнину, і потрібні були фахівці з цих напрямків, у керівництва не було іншого вибору на начальника Бійської партії (1960-1962рр.), крім Олега Максимовича. За два-три роки він став «основним знатоком» в галузі антропогену, геоморфології і неотектоніки.

Велике значення мав і той факт, що начальник експедиції М. О. Мецнер всіляко сприяв його науковому росту у названих галузях. Так, коли у 1960 р. Олег Максимович отримав запрошення на II-у Всесоюзну конференцію з вивчення четвертинного періоду, а вона проходила на теплоході, що рухався по р. Обі від Новосибірська до гирла Іртиша, а потім по ньому до Тобольська і повертався у Новосибірськ, то начальник експедиції відпустив Олега Максимовича на 24 дні у самий «розгар» польового сезону.

На теплоході він кілька разів виступав з доповідями. Активно дискутував і познайомився з багатьма корифеями четвертинної геології і геоморфології. А там були В. І. Громов, К. В. Нікіфорова, Е. О. Вангенгейм, С. А. Архипов, Ю. П. Селіверстов, М. П. Гричук, В. М. Шовкопляс і багато-багато інших. Вони «прийняли» Олега Максимовича у свій дослідницький кіш. І він отримав багато колег на всю наступну наукову діяльність.

За роки геологічних зйомок і пошуків корисних копалин на Усть-Канському, Бійському і Рубцовському аркушах (а кожний аркуш – це квадрат у 5000 км² майже не вивченої території) та їх захисту на науково-редакційних радах Олег Максимович став авторитетом у названих галузях. З 1961 р. він почав друкуватись у різних журналах та матеріалах конференцій.

Певним результатом керівництва геологічними партіями стало призначення Олега Максимовича у 1965 р. старшим, а у 1967 р. головним геологом Західносибірської експедиції. А це – 40 геологорозвідувальних партій, які вели дослідження на території Алтайського краю і Кемеровської області. Геологи складали не тільки карти, а й вели пошуки мінерально-сировинних ресурсів.

Особисто Олег Максимович відкрив Бистрянське родовище залізних руд (джеспілітів типу Кривого Рогу), Калінінське родовище поліметалів (міді, свинцю, цинку, золота і срібла), підземних прісних вод у засушливих і засолених степах Кулунди на півдні Західносибірської рівнини.

На цьому етапі Олег Максимович зацікавився археологією, після того як його дружина – Рима Серафимівна (вона займалась радіометрією з метою пошуків уранових родовищ) разом з техніком-геологом Геною Казаковим знайшли на урвищі р. Апей біля м. Рубцовська розмитий річкою скіфський курган, а в ньому – повний скелет «цариці» з золотою діадемою, мідними браслетами, різною керамікою тощо. Усі ці артефакти сфотографували, описали і Олег Максимович відвіз їх у археологічний музей Новосибірського академмістечка. Там відбулося його чергова зустріч зі світовим генієм археології академіком Олексієм Павловичем Окладніковим. Співробітництво і дружба з ним, а потім і з іншими археологами з того часу – було одне з наукових хобі Олега Максимовича.

У 1967 р. Олег Максимович захистив кандидатську дисертацію у Новосибірському університеті на тему «Основні закономірності геологічного розвитку Кулундинської западини» і отримав від трьох академіків – відомих геологів О. Л. Яншина, В. С. Соболева і А. А. Трофімука рекомендації якнайшвидше захищати докторську. Тому, коли у 1968 р. член-кореспондент АН СРСР М. О. Флоренсов запропонував Олегу Максимовичу перейти на роботу в Інститут земної кори Сибірського відділення АН СРСР (м. Іркутськ), він довго не вагався. Сім'я його всіляко підтримувала, хоча квартиру обіцяли через кілька місяців у будинку, який ще будувався. В Іркутську (1968-1974 рр.) розпочався наступний етап – палеогеографічний наукових інтересів Олега Максимовича.

Необхідно було оперативно завершити написання чергового тому «Плоскогір'я та низовини Східного Сибіру» 15 томної серії «Історія розвитку рельєфу Сибіру та Далекого Сходу», що виконувалась під керівництвом академіка Олександра Леонідовича Яншина. Безпосереднім шефом Олега Максимовича був член-кореспондент АН СРСР Микола Олександрович Флоренсов. Він ввів його в курс справи: том «Плоскогір'я та низовини Східного Сибіру» виконували геоморфологи МГУ ім. М. В. Ломоносова, але заплутались у складному переплетенні геологічних, вулканічних, льодовикових та інших чинників формування рельєфу цієї велетенської території – від Єнісею до Лени і Верхоянських хребтів і від Льодовитого океану до Саян і Байкалу.

Щоб не втрачати рештки польового сезону 1968 р. (а Олег Максимович прибув на роботу в Лабораторію неотектоніки і геоморфології Інституту земної кори Сибірського відділення АН СРСР у серпні), керівник роботи, завідувач лабораторії М. О. Флоренсов дозволив йому для «ознайомлення з рельєфом» їздити, плавати і літати усіма видами транспорту, а для бухгалтерії зберігати квитки, відмічаючи посвідчення про відрядження у всіх можливих пунктах маршруту. Скільки тисяч кілометрів «намотав» Олег Максимович з а серпень-жовтень (поки не лягли сніги) важко підрахувати. Це були польоти з Іркутська на Таймир і дельту Лени, вздовж усіх трьох Тунгусок (з посадкою у Ванаварі, де у 1908 р. вибухнув Тунгуський метеорит) і Ангари, сплав по Єнісею і Лені, безкінечні залізничні маршрути Абакан-Тайшет, Іркутськ-Красноярськ, Норільськ-Ігарка, Іркутськ-Улан-Уде і т. д. Автобусні маршрути були менш ефективними, тому що доріг в Сибіру мало. А ночувати приходилось не в готелях, а на лавах залізничних та автобусних вокзалів, і як свято – у наметах колег геологів і геоморфологів.

Велику роль зіграли поїздки на міжнародні конференції та симпозиуми. Але найбільший вплив на Олега Максимовича дали зустрічі і праця під керівництвом академіка О. Л. Яншина. Він збирав авторів і виконавців (а їх було 120) згаданої 15- томної серії 2 рази на рік у Новосибірському Академмістечку і кожний звітував за свої розділи. У гарячих дискусіях і взаємодопомозі народжувалась ця монументальна 15-томна палеогеографічна праця, яка у 1978 р. була удостоєна Державної премії СРСР в галузі науки і техніки. Серед 12 лауреатів був і Олег Максимовича. Зіграло роль не тільки те, що він був відповідальним виконавцем 4-х томів, а й те, що О. Л. Яншин призначив його одним з заступників головного редактора.

Після переїзду до Івано-Франківська розпочався новий (1974-1984 рр.) етап наукових інтересів Олега Максимовича, якій пов'язаний з геотектонікою Карпатського регіону та пошуками родовищ нафти і газу. Це була напружена робота з аналізом геотектоніки передгірських (передових і крайових) прогинів, де народжувались поклади нафти і газу.



Олег Максимович Адаменко
Лауреат Державної премії СРСР
у галузі науки – 1978 рік

Нові колеги Олега Максимовича по кафедрі геології та розвідки родовищ нафти і газу, яку він очолював з 1978 по 1984 рр., а це Г. О. Падва, Л. С. Мончак, В. П. Василечко, О. Є. Лозинський, Ю. З. Крупський, М. І. Атаманюк, Б. Й. Маєвський, а також фахівці з сусідніх кафедр В. М. Кляровський, Н. Х. Білоус, О. В. Максимов, Л. В. Башкіров, Г. П. Волобуєва, О. М. Снарський та ін., добре сприйняли «сибіряка», він не тільки очолив кафедру, а й став першим проректором на той час Інституту нафти і газу.

Продовжувались також активні дослідження з неотектоніки і геоморфології Карпат, Закарпаття і Передкарпаття. Результатом стала Стратиграфічна схема антропогену цього регіону, яка була затверджена Українською регіональною міжвідомчою стратиграфічною комісією і стала основою для картування четвертинних відкладів, а також під його керівництвом були захищені кандидатські дисертації аспірантами Г. Д. Гродецькою (антропоген Закарпаття) та О. Р. Стельмахом (четвертинні відклади та палеогеографія Прикарпаття).



Перший проректор ІФНГ проф. О. М. Адаменко на зустрічі колективу з академіком А. О. Трофімуком (18 березня 1983 р.)

Продовжувались археологічні дослідження разом з М. П. Клапчуком (стоянка Межигірці у Галицькому районі), що повернувся із заслання з Караганди і який знав Олега Максимовича ще по Алтаю, Л. Г. Мацкевим (с. Незвисько на Дністрі та с. Кам'яниця на Закарпатті), В. М. Гладинім і Л. Г. Кулаковською (с. Королеве в долині Тиси). Останній об'єкт Олег Максимович вивчав разом з цими археологами 15 років. Це – найдавніша стоянка на території колишнього СРСР, яка свідчить, що Закарпаття почало заселятись нашими предками з Європи ще 850 тис.-1 млн років тому.

Ще один важливий об'єкт попав у поле зору Олега Максимовича у 1977 р. – с. Старуня, де після землетрусу 1977 р. з'явився єдиний у Карпатському регіоні грязьовий вулкан. Його відкрили і кілька років вивчали професора В. М. Кляровський і Н. Х. Білоус.

Крім вулкану на Старуні у 1907 і 1929 рр. знайдені забальзамовані в озокеритах (древніх нафтових озерах) повністю збереженні тіла волохатих носорогів, мамонта та інших тварин плейстоцену (42-24 тис. р.), що зберігаються в музеях Кракова та Львова.

У 1982 р. восьмирічна проректорська служба порядком набридла Олегу Максимовичу і він пішов до Івано-Франківського обкому Компартії України (бо у ті часи такі питання вирішувались вищим партійним керівництвом) проситись відпустити його з цієї високої посади. «Чому?» – запитав його секретар обкому. «Бо хочу займатися наукою» – відповів він. «Яка наука? Ви ж уже захистили і кандидатську і докторську! – сказав партійний бос, – що ще треба?». Як бачите, керівництво тоді вважало, що після захисту докторської науки більше не повинно бути.

Але Олег Максимович «вирвався» зі своєї посади і пройшов за конкурсом завідувачем лабораторії палеогеографії і природних ландшафтів Інституту геофізики і геології АН Молдавської РСР. З серпня 1984 і по вересень 1988 рр. він займався виключно палеогеографічними проблемами антропогену (а Молдавія була «раєм» для геологів-четвертинників та палеогеографів через багатство розрізів з різноманітною фауною – через це він і подався в межиріччя Дністра і Прута). Пізніше Олег Максимович та 10 співробітників створеної ним завдяки президенту АН МРСР О. О. Жученку лабораторії перейшли у Відділ географії, який пізніше набув статусу Інституту. Олегу Максимовичу доручили керувати республіканською темою з прогнозу змін природного середовища під антропогенним впливом. Так почалися у 1984 р. його екологічні дослідження, що стали головними у його науковій творчості.

Олег Максимович керував республіканською Програмою охорони навколишнього середовища на період 1985-1990 рр., яка була затверджена Верховною Радою Молдавської РСР. Одночасно він очолював також республіканську програму «Меліорація», якою керував разом з міністром сільського господарства, майбутнім першим президентом незалежної Республіки Молдови Снегуром. Разом з Олегом Максимовичем працювали відомі палеогеографи і геоморфологи А. Л. Чепалига, А. Т. Леваднюк, А. М. Капчеля, А. В. Друмя, А. В. Гольберт, Т. С. Константинова, В. М. Нягу, О. І. Іванова, С. І. Медяник, М. Ф. Мирлян, В. П. Букатчук, А. І. Покатилов та багато інших. Продовжувались також археологічні дослідження Олега Максимовича на стоянках Бричани, Косоуци, Погребя та ін. Колегами були молдавські дослідники М. А. Кетрару та І. А. Борзіак. Головним досягненням Олега Максимовича в цій галузі було відкриття нижнього палеоліту біля м. Дубоссари (стоянка Большой фонтан та ін.).



**На розрізі Пакш (на правому березі р. Дунай) в Угорщині
з директором інституту географії Мартеном Печі та професором А. В. Гольбертом
(15 вересня 1987 р.)**

У 1986 р. Олег Максимович організував і провів чергову Всесоюзну конференцію з вивчення четвертинного періоду, на яку зібрав численних своїх колег із Європейської частини СРСР, Сибіру, усіх союзних республік. Було видано 3 томи доповідей і путівник екскурсій по головних розрізах антропогену – важливих палеогеографічних пам'ятниках усіх епох зледеніння та міжльодовикових часів півдня СРСР. Як потім виявилось, це була передостання Всесоюзна конференція з антропогену.

У кінці 80-х років почались революційні рухи у колишніх радянських республіках, тому Олег Максимович вважав за необхідне повернутись у рідну Україну. Це був найголовніший етап його творчої діяльності, етап початку, становлення і широкого розвитку природоохоронних досліджень та підготовки інженерних кадрів, кандидатів та докторів наук в екологічній галузі.

Олег Максимович продовжував польові експедиційні дослідження у Карпатах, на Поділлі і Поліссі, Причорномор'ї і в Криму, в долинах рік Тиси, Прута і Дністра, а також у Румунії, Польщі, Угорщині, Словаччині, Чехії, Сербії, Хорватії, Словенії, Боснії і Герцеговині та Німеччині.

Олег Максимович створив і очолював наукову школу – «Рациональне використання і захист природи». Наукові напрямки школи – це оцінка сучасної екологічної ситуації територій, комп'ютерні ГІС екологічного моніторингу та природно-техногенної безпеки, палеоекологія геонархеологічних пам'яток палеоліту, екологічна геологія, екологічна геоморфологія, наукове обґрунтування виділення нових природоохоронних територій.

Основні розробки Наукової школи представлені на виставці-презентації у фойє корпусу № 5 ІФНТУНГ.



Зі студентами на заняттях тектонічного гуртка (7 люте 1981 р.)



Зустріч з Президентом України Леонідом Кучмою у геологічному музеї ІФНТУНГ (15 травня 1995 р.)



Між владою і наукою (зліва направо: міський голова Зіновій Шкутяк, голова ОДА Михайло Вишиванок, ректор Є. І. Крижанівський, директор інституту екобезпеки О. М. Адаменко (25 червня 2000 р.)



Ф. В. Козак і М. Котарба вітають з 70-річним ювілеєм (23 листопада 2005 р.)

ФУНДАМЕНТАЛЬНА НАУКА

1. Розроблені теоретичні основи Екологічної геології – монографія (1995) і підручник (1998), Екологічної геофізики – підручник (2000), Екологічної геоморфології – монографія (2000), Конструктивної екології – монографії (2008 і 2014), Медичної геології - монографія в 2 х томах (2010), Екологічної геоархеології - цикл публікацій (1989 -2005), Екологічної дендрохронології - брошура (2014) – отримані нові знання з розвитку природи від екологізації класичних наук.

2. Обґрунтований новий науковий напрямок в галузі природничих наук – Землеологія (2009) як основа еколого-ресурсної безпеки Землі та її майбутнього.

3. Виявлена нова закономірність – синусоїдальна циклічність планетарних кліматичних змін від Галактичного року до сучасних циклів прояву катастрофічних паводків та інших екстремальних явищ внаслідок глобального потепління (2013).

4. Створені комп'ютеризовані ГІС, ДЗЗ, ІТ системи екологічного аудиту, моніторингу довкілля та екологічної (природно-техногенної) безпеки.

ПРИКЛАДНА НАУКА ТА ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ РОЗРОБОК

5. Створення Карпатського інженерно-екологічного центру (1989) → Інституту екологічного моніторингу (1992) → Інституту екологічної безпеки і природних ресурсів (1995) та на їх основі кафедри екології ІФНТУНГ (1993) → інженерно-екологічний факультет (1995) → інженерно-екологічний інститут (2013).

6. Виконано геоекологічне районування та розроблена типологічна класифікація геоекологічних структур та КСЕБ – комп'ютеризованих систем екологічної безпеки для екологічного моніторингу, аудиту та менеджменту територій Європейського Союзу, Карпатського Єврорегіону, України, її регіонів, областей, районів та об'єднаних територіальних громад, міст, населених пунктів, промислових підприємств, 91 родовища нафти і газу та площ можливого видобутку сланцевого газу з програмними продуктами Ecophone, Ecostat, Interconcsafetylife, Safetygeosystem.

7. Організовано Дністровський протипаводковий полігон з автоматизованою інформаційно-вимірювальною протипаводковою системою; побудовані карти екологічного ризику затоплення територій; розроблено рекомендації територіальним громадам про захист від катастрофічних паводків.

8. Запропонований проект створення Старунського геодинамічного полігону та міжнародного еколого-туристичного центру «Парк Льодовикового періоду».

КСЕБ є новою ІТ/ДЗЗ/ГІС інформаційною технологією (НОУ-ХАУ) екологічного моніторингу і екологічної безпеки Європи, держави, регіону, галузі, області, району, міста, промислового підприємства, яка включена до книги «Україна – погляд в ХХІ століття» як один з пріоритетних наукових проєктів України, що рекомендується Європейському банку реконструкцій і розвитку (ЄБРР) для інвестування. Досить тісне міжнародне співробітництво вчених наукової школи Олега Максимовича підтримується з Університетом Норд (Румунія), Агентством охорони середовища США, Інститутом розвитку навколишнього середовища Центральної та Східної Європи (Австрія, Угорщина), Університетом Філіпса (Німеччина), Географічними інститутами Чеської, Угорської і Польської Академій наук та ін. Олег Максимович приймав участь у 14 міжнародних проєктів.

Олег Максимович був членом 6-ти редколегій науково-технічних фахових видань, був головою та членом спеціалізованих вчених рад з захисту докторських та кандидатських дисертацій ІФНТУНГ, Львівського національного університету ім. І Франка та Інституту географії НАНУ.

Олег Максимович був організатором 8 міжнародних конференцій. Отримав кілька грантів: грант ЮНЕСКО «Екологічна модель Дністра», грант Світового банку (Вашингтон) «Діагноз міста», грант Європейського Союзу ТАСІС «Вдосконалення транскордонної системи збереження природи Верховини».

Під науковим керівництвом Олега Максимовича захищено 7 докторських та 18 кандидатських дисертацій, опубліковано 15 підручників українською мовою з грифом Міністерства освіти і науки України, видано 30 наукових монографій. Всього опубліковано понад 700 наукових праць, в тому числі за кордоном, в 10 країнах світу – США, Німеччині, Польщі, Китаї, Кореї тощо.

Олег Максимович успішно співпрацював з Івано-Франківською обласною та міською адміністраціями: брав участь у розробці Державної цільової протипаводкової програми захисту басейнів Дністра, Прута і Серета, яка затверджена Кабінетом Міністрів України у грудні 2008 р.,

обласних програм Державної системи екологічного моніторингу Івано-Франківської області, розвитку туризму до 2015р. та виготовлені Екологічного паспорта м. Івано-Франківська.



Маріямпільська екологічна експедиція на Дністровському протиаводковому полігоні, 2009 р.

У 2012 р. Олег Максимович разом з професором О. М. Мандриком обґрунтували та створили за сприяння ректора ІФНТУНГ Є. І. Крижанівського Дністровський науково-навчально-виробничий інженерно-екологічний протиаводковий полігон з центром у с. Маріямпіль Галицького району, який успішно діє, розробляючи науково-картографічне забезпечення протиаводкових заходів. На полігоні проходять навчальні та виробничу переддипломну практики студенти – майбутні бакалаври та магістри.



Студенти понад усе!!!

У 2010 р. Олег Максимович організував видання фахового журналу «Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування».

Цікавим був програмний виступ Олег Максимович при врученні йому відзнаки про присвоєння звання Заслуженого діяча науки і техніки України 21 вересня 2015 р. у актовому залі ІФНТУНГ в присутності 700 студентів, викладачів, керівників області та нафтогазової галузі:

«Мене спонукали до цього виступу дві події: перше – 21 серпня 2015 р. Указом Президента України мені присвоєно почесне звання Заслуженого діяча науки і техніки України – це оцінка наукової праці, і друге – 17 (23) листопада 2015 р. мені виповнюється 80 років – пора звітуватись за життя. Я не буду говорити про 57 монографій і підручників, що вийшли з-під мого пера, не буду гордитись 7 докторами і 18 кандидатами наук, яких виростив – усе це показано на виставці-презентації розробок моєї наукової школи «Раціональне використання та захист природи», 90 стендів якої експонується у фойє 5 корпусу нашого університету».

Ось таким був великий вчений минулої епохи: цілеспрямованим, непохитним у свої віруваннях, безкорисливим. Він працював на благо науки та країни, виховав безліч послідовників та заклав любов до науки в їх серцях. Він точно знав, що екологія – це вміння жити у своєму домі. Вона має глибокі витоки. Іще в Біблії сказано: «А Землю погубят деяння твої, человек!» (Ісайя, 46:46).

***З повагою та вічною пам'яттю
до нашого Вчителя,***

Редколегія журналу

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Адаменко Ярослав Олегович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Архипова Людмила Миколаївна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри туризму Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Барабан Катерина Ігорівна – здобувач третього освітнього рівня за спеціальністю 101 Екологія Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Бараніченко Владислав Володимирович – здобувач другого освітнього рівня за спеціальністю 193 – Геодезія та землеустрій, ОПП Геоінформаційні системи і технології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Бездєнських Лілія Андріївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та біотехнології Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;

Бужин Олексій Андрійович – доктор економічних наук, професор, викладач ЦДН «Черкаський інститут» Міжрегіональної Академії управління персоналом;

Касіянчук Дмитро Васильович – кандидат геологічних наук, доцент, доцент кафедри геотехногенної безпеки та геоінформатики Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Качала Тарас Богданович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Качала Софія Віталіївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри туризму Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Климчук Ігор Яремович – здобувач третього освітнього рівня за спеціальністю 101 Екологія Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Мандрик Олег Миколайович – доктор технічних наук, професор, перший проректор Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Москальчук Наталія Михайлівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Олійник Андрій Петрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладного програмування та обчислення Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Орфанова Марина Михайлівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Паневник Денис Олександрович – доктор філософії (PhD), доцент кафедри нафтогазових машин та обладнання Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Приходько Микола Миколайович – доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри геодезії та землеустрою Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Пукіш Арсен Володимирович – доктор технічних наук, начальник служби охорони довкілля і моніторингових досліджень ПАТ «Укрнафта»;

Ригас Тетяна Євгенівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та біотехнології Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;

Сабадуха Володимир Олексійович – доктор філософських наук, доцент, професор кафедри суспільних наук Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Синящик Віталій Федорович – здобувач третього освітнього рівня за спеціальністю 101 Екологія Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;

Смик Ірина Євгенівна – здобувач третього освітнього рівня за спеціальністю 101 Екологія Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Стасевич Христина Андріївна – випускниця першого освітнього рівня за спеціальністю 242 Туризм і рекреація Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Стах Мар'яна Олександрівна – випускниця другого освітнього рівня за спеціальністю 183 Технології захисту навколишнього середовища Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Туць Олег Михайлович – здобувач третього освітнього рівня за спеціальністю 101 Екологія Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Шмандій Володимир Михайлович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри екології та біотехнології Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;

Штогрин Людмила Василівна – кандидат геологічних наук, доцент кафедри геотехногенної безпеки та геоінформатики Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Штогрин Микола Васильович – завідувач лабораторіями кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Федорів Андрій Степанович – начальник лабораторії дослідження та підготовки нафти НДПІ ПАТ «Укрнафта», м. Івано-Франківськ;

Харламова Олена Володимирівна – доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та біотехнології Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;

Чех Христина Василівна – здобувач другого освітнього рівня за спеціальністю 242 Туризм і рекреація Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

Чупа Володимир Михайлович – здобувач третього освітнього рівня за спеціальністю 101 Екологія Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Наукове видання

**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА
ТА ЗБАЛАНСОВАНЕ РЕСУРСОКОРИСТУВАННЯ**

Науково-технічний журнал

2023 – № 1 (27)

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 _____ Формат _____ Папір офсетний

Ум. друк. арк. _____ Тираж _____ прим. Замовл. № _____