



МАТЕРІАЛИ
XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА. СУСПІЛЬСТВО
(м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

HANDBOOK
of the XXIII International Science Conference
ECOLOGY. HUMAN. SOCIETY
(December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ігоря Сікорського
2023

УДК 574 (063)

Рецензенти: Микола ГОМЕЛЯ, д-р тех. наук, проф.
Тетяна ШАБЛІЙ, д-р тех. наук, проф.
Валерія ВЕМБЕР, канд. біол. наук, доц.
Юлія НОСАЧОВА, канд. тех. наук., доц.
Ярослав РАДОВЕНЧИК, канд. тех. наук., доц.
Милиця КАРЕВА, викладач.

Укладач та
відповідальний за
випуск: Данило БЕНАТОВ, канд. тех. наук., доц.

Дизайн і верстка: Діна КОЛТИШЕВА

Малюнки на 1 та 4 сторінках
обкладинки Володимир ІВАНОВ-АХМЕТОВ

Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.) / Укладач Д. Е. Бенатов. — К.: Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, 2023. — 265 с.

Збірка містить статті, присвячені питанням розробки та впровадження безвідходних технологій, очистки природних і стічних вод від забруднень антропогенного характеру, знешкодження газових викидів, рекуперації промислових відходів; розробки, проектування та впровадження екологічно чистих технологій та обладнання, екологічного моніторингу, екології популяції, охорони рослинного та тваринного світу, впливу стану навколишнього середовища на здоров'я населення, застосування методів математичного моделювання та прогнозування у промисловій екології, а також управлінським, соціально-економічним і правовим аспектам раціонального природокористування та екологічної безпеки. Для студентів, аспірантів, науковців і всіх, хто цікавиться проблемами захисту навколишнього середовища та раціонального використання природних ресурсів.

Усі організаційні внески учасників конференції були передані ГО «ФОРЕФРОНТ» для закупівлі обладнання для автомобіля мобільної стоматологічної допомоги.

Цю збірку підготовлено та видано за підтримки Патентного бюро "Д-р Еміл Бенатов та Партнери".

Handbook of the XXIII International Science Conference «Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)/ D. Benatov. — K.: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2023. — 265 p.

This edition includes articles devoted to development and introduction of wasteless technologies, natural waters and sewage purifying from anthropogenic pollution, gas emission neutralization, industrial waste recuperation, development, design and introduction of non-polluting technologies and equipment, ecological monitoring problems, population ecology, flora and fauna protection, environmental influence on people health, methods of mathematical modelling and forecasting application in industrial ecology, administrative, social, economic and law aspects of natural resources rational use and ecological safety. For students, post-graduates, scientists and everyone who is interested in environment protection and natural resources rational use problems.

All participation fees were directed to NGO "FOREFRONT" for the purchasing equipment for the mobile dental assistance vehicle.

This handbook was prepared and published with the support of the Patent Bureau "Dr. Emil Benatov and Partners".

Матеріали конференції подаються в авторській редакції
Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського
03056, м. Київ, пр-т Берестейський, 37, тел. (044) 454–9243
Наклад 150 пр.

ISSN (Online) 2710-3315
© Усі права авторів захищені, 2023

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Євген ПАНОВ	д-р тех. наук, проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського (Україна) <i>голова програмного комітету</i>
Микола ГОМЕЛЯ	д-р тех. наук, проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського (Україна) <i>заступник голови програмного комітету</i>
Гінтарас ДЕНАФАС	д-р наук, проф., Каунаський технологічний університет (Литва)
Ірина ДЖИГИРЕЙ	канд. тех. наук, доц. КПІ ім. Ігоря Сікорського (Україна)
Ірина ДРОНОВА	д-р філософії, проф. Університету Каліфорнії в м. Берклі (США)
Костянтин ЄФРЕМОВ	канд. тех. наук., доц. КПІ ім. Ігоря Сікорського, директор Світового центру даних з геоінформатики та сталого розвитку (Україна)
Милиця КАРЕВА	викладач Палацу дітей та юнацтва м. Кисва (Україна)
Юлія ЛУЧАКІВСЬКА	канд. біол. наук., завідувача лабораторії експериментальної біології Палацу дітей та юнацтва м. Києва (Україна)
Валерій МИХАЙЛЕНКО	канд. хім. наук, доц. КНУ ім. Т. Г. Шевченка (Україна)
Ігор СВІКІС	викладач, Латвійський університет (Латвія)
Андрій СТЕПАНЮК	канд. тех. наук, доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського (Україна)
Дмитро СТЕФАНИШИН	д-р тех. наук, проф., Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (Україна)
Олександр ТАШИРЕВ	д-р тех. наук, ст. н. с., Інститут мікробіології та вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України (Україна)

CONFERENCE PROGRAM COMMITTEE

Yevhen PANOV	D.Eng., prof., Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute (Ukraine) <i>chief of the Program Committee</i>
Mykola GOMELYA	D.Eng., prof., Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute (Ukraine) <i>deputy chief of the Program Committee</i>
Gintaras DENAFAS	ScD., prof., Kaunas University of Technology (Lithuania)
Iryna DRONOVA	PhD, prof. University of California Berkeley (USA)
Iryna DZHYHYREI	Ph.D., assoc. prof., Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute (Ukraine)
Mylytsia KAREVA	Lecturer, Kyiv Palace of Children and Youth (Ukraine)
Yuliya LUCHAKIVSKA	PhD., Head of the Laboratory of Experimental Biology, Kyiv Palace of Children and Youth (Ukraine)
Valerii MYKHAILENKO	Ph.D., assoc. prof., Taras Shevchenko National University of Kyiv (Ukraine)
Dmytro STEFANYSHYN	D.Eng., prof., Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine (Ukraine)
Andrii STEPANYUK	Ph.D., assoc. prof., Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute (Ukraine)
Igor SVIKIS	Lecturer, University of Latvia (Latvia)
Oleksandr TASHYREV	D.Eng., senior scientific researcher, D. Zabolotny Institute of Microbiology and Virology, National Academy of Science of Ukraine (Ukraine)
Kostiantyn YEFREMOV	Senior lecturer, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute director of World Data Center (Ukraine)

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Данило БЕНАТОВ	канд. тех. наук, доц. КПІ ім. Ігоря Сікорського, <i>голова організаційного комітету конференції</i>
Валерія ВЕМБЕР	канд. біол. наук, доц. КПІ ім. Ігоря Сікорського
Юлія НОСАЧОВА	канд. тех. наук, доц. КПІ ім. Ігоря Сікорського
Ярослав РАДОВЕНЧИК	канд. тех. наук, доц. КПІ ім. Ігоря Сікорського
Дмитро СІДОРОВ	канд. тех. наук, доц. КПІ ім. Ігоря Сікорського
Тетяна ШАБЛІЙ	д-р тех. наук, проф. КПІ ім. Ігоря Сікорського

CONFERENCE ORGANIZING COMMITTEE

Daniel BENATOV	Ph.D., assoc. prof., Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, <i>head of the Organizing Committee</i>
Yuliia NOSACHOVA	Ph.D., assoc. prof., Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute
Yaroslav RADOVENCHYK	Ph.D., assoc. prof., Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute
Dmytro SIDOROV	Ph.D., assoc. prof., Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute
Tetiana SHABLIY	D.Eng., prof., Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute
Valeriia VEMBER	Ph.D., assoc. prof., Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

ЗМІСТ

Секція № 1 ЗАГАЛЬНА ЕКОЛОГІЯ

Валерія ВЕМБЕР, Олена ГЛУШКО, Олена ЛАВРИНЕНКО, Софія ІСНЮК ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ В ПРОЦЕСІ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД.....	19
Микола ГРУБИЙ, Ганна ТРОХИМЕНКО ШТУЧНІ РИФИ ДЛЯ ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ ЛИМАННИХ АКВАТОРІЙ МИКОЛАЇВЩИНИ.....	25
Вероніка ЖУКОВА ІННОВАЦІЙНІ БІОТЕХНОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД.....	29
Ксенія КОЩАВКО, Юлія ЛУЧАКІВСЬКА, Інна КОВАЛЬ ОТРИМАННЯ ТРАНСГЕННИХ КОРЕНІВ <i>S. ALTISSIMA</i> L. ТА <i>S. ALBIDA</i> L. ДЛЯ НАКОПИЧЕННЯ ВИСОКОГО ВМІСТУ ФЛАВОНОЇДІВ.....	32
Марія МАДАНИ ВИКОРИСТАННЯ РИБ ЯК ІНДИКАТОРІВ СТАНУ ГІДРОЕКОСИСТЕМ (НА ПРИКЛАДІ ЧОРНОГО МОРЯ).....	35
Олександр МАНЖУРА, Олена КВАСКО КУЛЬТИВУВАННЯ <i>IN VITRO</i> РОСЛИН АСТРАГАЛУ ШЕРСТИСТОКВІТКОВОГО (<i>ASTRAGALUS DASYANTHUS</i> PALL), ЗАНЕСЕНОГО ДО ЧЕРВОНОЇ КНИГИ УКРАЇНИ	40
Наталія МІРОНОВА, Ольга ЄФРЕМОВА, Артур ФОРОСТОВСЬКИЙ, Яна ГУРОВСЬКА ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ УРБООКОСИСТЕМИ НА ЖИВІ ОРГАНІЗМИ (НА ПРИКЛАДІ МІСТА ХМЕЛЬНИЦЬКОГО).....	43
Олександр ПОРОВСЬКИЙ, Юлія ЛУЧАКІВСЬКА ОТРИМАННЯ КУЛЬТУРИ ТРАНСГЕННИХ КОРЕНІВ <i>ROBINIA PSEUDOACACIA</i> L. ШЛЯХОМ АГРОВАСТЕРІУМ-ОПОСЕРЕДКОВАНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ.....	47
Назарій СУС КОЛО ВІРУСІВ РОСЛИН ХМЕЛЮ: ВИЗНАЧНИК.....	50
Олександр ТАШИРЕВ, Віра ГОВОРУХА, Олеся ГАВРИЛЮК, Ірина БІДА, Галина ГЛАДКА, Лариса ЯСТРЕМСЬКА БІОТЕХНОЛОГІЯ ЗБРОДЖУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНО ШКІДЛИВИХ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ ТА ВИРОБНИЦТВА ЦІННОЇ ПРОДУКЦІЇ	54
Ганна ТРОХИМЕНКО, Олег КІБАРОВ РОЛЬ ФУЛЬВОВИХ ТА ГУМІНОВИХ КИСЛОТ У ПРОЦЕСАХ БІОДЕГРАДАЦІЇ ЗАЛИШКІВ ГЕРБІЦИДІВ У ҐРУНТІ ...	57
Анастасія ФОМЕНКО, Оксана БОНДАРЕНКО ВПЛИВ ДОДАВАННЯ РІЗНОЇ КІЛЬКОСТІ <i>NaCl</i> В СЕРЕДОВИЩЕ КУЛЬТИВУВАННЯ БАКТЕРІЙ НА ШВИДКІСТЬ РОЗВИТКУ КОЛОНІЙ <i>BACILLUS THURINGIENSIS</i>	60
Лариса ЧЕРНЯК, Оксана ПРОСКУРНЯ, Олександр МІХЄЄВ, Тетяна ДМИТРУХА, Томаш МАНЄЦКІ ФІТОРЕМЕДІАЦІЙНЕ ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТІВ, ЗАБРУДНЕНИХ НАФТОПРОДУКТАМИ	63

Секція № 2
ТЕХНОЕКОЛОГІЯ

Сімон АНДЕШОН, Іван КОЗЯТНИК АНАЛІЗ МІКРОБНИХ ЛЕТКИХ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК У ПОВІТРІ ПРИМІЩЕНЬ. ВАЛІДАЦІЯ МЕТОДУ ТЕРМОДЕСОРБЦІЙНОЇ ГАЗОВОЇ ХРОМАТО-МАС-СПЕКТРОМЕТРІЇ.....	67
Таміла АНАНЬЄВА, Анастасія СЕМИЛІТ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ УТИЛІЗАЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ У м. ЖОВТІ ВОДИ (УКРАЇНА).....	69
Ігор БИЧКО, Андрій ТРИПОЛЬСЬКИЙ, Вікторія КОВБАСЮК ЗАСТОСУВАННЯ ЗАЛІЗОВМІСНОГО ГІДРОЗОЛЮ ДЛЯ ВЛОВЛЮВАННЯ CO ₂	72
Олександр БОНДАРЧУК, Лариса СПАСЬОНОВА, Андрій МОКІЄНКО АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПОГЛЯДІВ НА ПОБІЧНІ ПРОДУКТИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ДІОКСИДОМ ХЛОРУ.....	78
Олена БУБНОВА, Катерина ЛЕВЧЕНКО ЩОДО ЗАМКНУТОГО ВОДОКОРИСТУВАННЯ В ГІРНИЧІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ	83
Марта ВОЗНЮК, Тетяна ШАБЛІЙ, Микола ГОМЕЛЯ, Данило БЕНАТОВ ЕФЕКТИВНІСТЬ МАГНІТОСОРБЦІЙНОГО ОЧИЩЕННЯ НАФТОВМІСНИХ ВОД	87
Віта ГАЛИШ, Інна ТРУС, Марія ТВЕРДОХЛІБ, Микола ГОМЕЛЯ ДЕГІДРАТАЦІЯ ВОЛОКНИСТИХ ВІДХОДІВ ПАПЕРОВИХ ВИРОБНИЦТВ	91
Красімір ГЕОРГІЄВ АНАЛІЗ ДАНИХ ІННОВАЦІЙНОГО ДЕМОНСТРАЦІЙНОГО ПАВІЛЬЙОНУ З ВІКНАМИ, ЗАСКЛЕНИМИ ВОДЯНИМ ПОТОКОМ.....	94
Гінтарас ДЕНАФАС, Артурас ТОРКЕЛІС, Лінас КЛУЧІНІНКАС АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЦИКЛІЧНІСТЬ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ПЛАСТИКОВОЇ УПАКОВКИ: ПРИКЛАД КРАЇН БАЛТІЇ	99
Анна ДЕНИСЕНКО, Романія ЧЕРЬОПКІНА ЧОРНИЙ ЩОЛОК – ЦІННИЙ БІОРЕСУРС ПРОЦЕСУ ДЕЛІГНІФІКАЦІЇ.....	106
Андрій ДМИТРУК, Андрій СТЕПАНЮК ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЦИКЛОНУ ДЛЯ ВЛОВЛЮВАННЯ ПОЛІДИСПЕРСНИХ ТРЕРДИХ ВКЛЮЧЕНЬ ТА ПАРІВ ВОДИ.....	110
Анна ДУДНІК ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА БІОБУТАНОЛУ З РЕШТКІВ БІОМАСИ МІКРОВОДОРОСТЕЙ ПІСЛЯ ЛІПІДНОЇ ЕКСТРАКЦІЇ	116
Олена ІВАНЕНКО, Олександр СНІГУР, Вікторія КОВБАСЮК, Валерія ГЛУЩУК ПЕРЕРОБКА ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ З МЕТОЮ ОТРИМАННЯ НАНОЧАСТИНОК ВУГЛЕЦЮ ДЛЯ СОРБЦІЇ ВОДНЮ.....	119

Олена ІВАНЕНКО, Сергій ДОВГОЛАП, Юля НОСАЧОВА, Тетяна ВЕРЕЩУК ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІОНООБМІННОГО ВИЛУЧЕННЯ ІОНІВ ЗАЛІЗА З КИСЛИХ СТОКІВ ГАЛЬВАНІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ	122
Маргарита КАРПЕНКО, Вячеслав РАДОВЕНЧИК ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ РЕГЕНЕРАЦІЇ МЕМБРАН ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ	125
Микола КОСМИНА, Ярослава КУШНАРЕНКО, Юлія НОСАЧОВА ОЦІНКА ПЕРЕБІГУ КОРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У МІНЕРАЛІЗОВАНИХ ВОДНО-НАФТОВИХ СЕРЕДОВИЩАХ	129
Євгеній КОСТЕНКО, Тетяна ОБУШЕНКО, Наталія ТОЛСТОПАЛОВА, Ольга САНГІНОВА ДОСЛІДЖЕННЯ СОРБЦІЇ ІОНІВ ФТОРУ НА ФЕРУМВМІСНИХ СОРБЕНТАХ.....	132
Геннадій КОЧЕТОВ, Дмитро САМЧЕНКО, Дмитро ДЕРЕЧА, Юрій СКІРТА ЕНЕРГООЩАДНА ПЕРЕРОБКА ВІДПРАЦЬОВАНИХ ТРАВІЛЬНИХ РОЗЧИНІВ ФЕРИТИЗАЦІЄЮ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗМІННИХ МАГНІТНИХ ПОЛІВ	135
Яна КРИЖАНОВСЬКА, Микола ГОМЕЛЯ, Яна ПЛЯЦУК ЗАСТОСУВАННЯ МАЛОВІДХОДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ КОНЦЕНТРАТИВ ЗВОРОТНЬООСМОТИЧНОГО ЗНЕСОЛЕННЯ ВОД.....	139
Олена ЛАВРИНЕНКО, Максим ЗАГОРНИЙ, Ерван ПАНАЙО, Валерія ВЕМБЕР ФОТОКАТАЛІТИЧНА АКТИВНІСТЬ ДОПОВАНОГО ЗОЛОТОМ АНАТАЗУ ПРИ ДЕСТРУКЦІЇ ОРГАНІЧНИХ БАРВНИКІВ.....	143
Олена ЛАВРИНЕНКО, Олеся ПАВЛЕНКО, Олена ОЛІФАН ВПЛИВ ВИХІДНИХ СПОЛУК НА ФОРМУВАННЯ НАНОРОЗМІРНИХ ЧАСТИНОК ОРТОФЕРИТІВ ІТРІЮ І ЛАНТАНУ	149
Ірина МАКАРЕНКО, Тамара КРИСЕНКО, Ольга ГЛУШКО ПОМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ В ПРОЦЕСАХ ВОДОПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВ КОСМЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ.....	152
Марія МАСЛЯНЧУК, Наталія ДОРОГАНЬ, Юлія МІРОШНИЧЕНКО ВИКОРИСТАННЯ ГАЛЬВАНІЧНИХ ВІДХОДІВ ДЛЯ ЗАБАРВЛЕННЯ ГІПСОВИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЛАКОВОГО ПОКРИТТЯ.....	156
Назарій МИХАЙЛЕНКО, Оксана ОРЛОВА, Віта ГАЛИШ КІНЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕСУ ДЕЛІГНІФІКАЦІЇ РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ.....	162
Ірина РОМАНЮКІНА, Людмила ЮРЛОВА, Владислав ІВАЩЕНКО ПОЄДНАННЯ КОМПЛЕКСОУТВОРЕННЯ З МЕМБРАННОЮ ОЧИСТКОЮ ВОДИ ВІД ІОНІВ КОБАЛЬТУ(II)	165

Анастасія ТКАЧЕНКО, Ольга САГДЄЄВА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИРОБНИЦТВА БІОЧАРУ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В ЯКОСТІ ДОБАВКИ ДЛЯ КОМПОСТУВАННЯ.....	169
Олексій ТОМІН ВИРОБНИЦТВО І МОДИФІКАЦІЯ АКТИВОВАНОГО БІОВУГІЛЛЯ З ЛОКАЛЬНО-ДОСТУПНОЇ БІОМАСИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ.....	174
Олександра ШАБЛІЙ, Олеся ГАВРИЛЮК, Віра ГОВОРУХА, Олександр ТАШИРЕВ ШКІДЛИВИЙ БУР'ЯН <i>AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA</i> L. ЯК СИРОВИНА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА МЕТАНУ ТА ІММОБІЛІЗАЦІЇ МЕТАЛІВ.....	178
Андрій ШИНКАРЧУК, Наталія ГОЛУБ, Мальвіна КОЗЛОВЕЦЬ, Олександр КОЗЛОВЕЦЬ ПОРІВНЯННЯ ВПЛИВУ ДІГЕСТАТУ, ЩО МІСТИТЬ ДОДАТКОВЕ ДЖЕРЕЛО МІКРОЕЛЕМЕНТІВ, НА РІСТ РОСЛИН В ПЕРШІ 2 ТИЖНІ ВЕГЕТАЦІЇ.....	183

Секція № 3
СТРАТЕГІЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ
У КОНТЕКСТІ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Лена ЙОХАНСОН ВЕСТХОЛМ СТАЛЕ ОЧИЩЕННЯ ТА ПЕРЕРОБКА СТИЧНИХ ВОД - ПРИКЛАДИ ШВЕЦІЇ.....	187
Кароліна БОРОВИК, Сергій ГАПОН ОЦІНКА ЗБИТКІВ, ЗАВДАНИХ НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩУ В РЕЗУЛЬТАТІ ПІДТОПЛЕННЯ ТЕРИТОРІЇ, МЕТОДАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ.....	192
Божена БУРКУТ ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СВІДОМОСТІ ТА КУЛЬТУРИ ЯК ЗАСОБИ ЕКОЛОГІЧНОГО ВИХОВАННЯ СТУДЕНТСЬКОЇ МОЛОДІ.....	196
Світлана ДЕЛЕГАН, Оксана МАЛИЧКОВИЧ, Олег ГЛУХ, Денис ПЕТРОВІЦІ ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ В ЗАСОБАХ МАСОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ УКРАЇНИ ПІД ЧАС ВІЙНИ.....	201
Ірина ДРОНОВА, Ігор ЛАКАН, Джо МАКБРАЙД ЗНИЩЕННЯ МІСЬКИХ ЛІСІВ В УКРАЇНІ: ПОТЕНЦІЙНІ СОЦІАЛЬНІ ВПЛИВИ, МОНІТОРИНГ НА ОСНОВІ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ТА МІРКУВАННЯ ЩОДО МАЙБУТНЬОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ.....	204
Тамара ДУДАР, Ольга ТІТАРЕНКО, Леся РАТУШНЮК КЛАСИФІКАЦІЯ ЛАНДШАФТІВ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄДНАНИМИ ТЕРИТОРІАЛЬНИМИ ГРОМАДАМИ (НА ПРИКЛАДІ ФАСТІВСЬКОГО РАЙОНУ).....	207
Арсен ЄФРЕМОВ, Віталій ОЛІФІРЕНКО РОЛЬ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ.....	210

Тетяна КИЛЮШИК, Віта ГАЛИШ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕСУРСНОЕФЕКТИВНОГО ЧИСТОГО ВИРОБНИЦТВА НА ПІДПРИЄМСТВАХ ПАПЕРОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	215
Марк ЛАНЕЦЬКИЙ, Лаурінас АГЕСЬВАС ВНЕСОК МОРСЬКОГО ЦИВІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ У ЗНИЖЕННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ ВИКИДІВ, ПРОГНОЗ НА ПЕРІОД ДО 2050 РОКУ	219
Олег МАШКОВ, Катерина МУХІНА, Володимир ПРИСЯЖНИЙ НАУКОВІ НАПРЯМИ ЗАСТОСУВАННЯ АЕРОКОСМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ	223
Ольга МЕДВЕДЄВА, Заряна ГАЛЬЧЕНКО, Олексій ДЕМЧЕНКО ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ТЕХНОГЕННО ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ	228
Андрій МОКІЄНКО, Володимир БАБІЄНКО, Ігор ГУЩУК КЛІМАТ ПІВДНЯ УКРАЇНИ: ПРОГНОСТИЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ НА ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАСЕЛЕННЯ РЕГІОНУ	232
Олена СОРОЧИНСЬКА, Віталіна ЛУК'ЯНОВА РЕЦИКЛІНГ ЯК МЕТОД РЕАЛІЗАЦІЇ ДЕРЖАВНОЇ ПОЛІТИКИ У СФЕРІ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ.....	237
Софія СТАВСЬКА ПОТЕНЦІАЛ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ВИРІШЕННІ ПРОБЛЕМ ЕКОЛОГІЇ ТА ВОДОКОРИСТУВАННЯ.....	241
Дмитро СТЕФАНІШИН, Данило БЕНАТОВ КАТАСТРОФА НА КАХОВСЬКОМУ ВОДОСХОВИЩІ: ПРИЧИНИ ТА НАСЛІДКИ, ЯКІ НЕ ОБГОВОРЮЮТЬ.....	244
Катерина ФЕДОРЕНКО, Тетяна ОЛІЙНИК ЕКОАРХІТЕКТУРА ТА ОХОРОНА ДИТЯЧОГО ЗДОРОВ'Я.....	248
Олександр ХОХОТВА, Олена КОВАЛЬОВА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРИПИНЕННЯ ДІЯЛЬНОСТІ КАР'ЄРІВ.....	253
Софія ШУТЯК ВЗАЄМОЗАЛЕЖНІСТЬ ПРИНЦИПІВ ВЕРХОВЕНСТВА ПРАВА ТА НАЛЕЖНОГО ВРЯДУВАННЯ НА ПРИКЛАДІ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ТВАРИННОГО СВІТУ.....	259

CONTENTS

Section № 1 GENERAL ECOLOGY

Valeriia VEMBER, Olena HLUSHKO, Olena LAVRYNENKO, Sofiia ISNIUK PROSPECTS FOR THE USE OF BIOCHEMICAL INDICATORS IN THE PROCESS OF ECOLOGICAL MONITORING OF SURFACE WATERS.....	19
Mykola GRUBYY, Ganna TROHIMENKO ARTIFICIAL REEFS FOR THE POST-WAR RESTORATION OF ESTUARIES OF MYKOLAIV REGION	25
Veronika ZHUKOVA INNOVATIVE BIOTECHNOLOGY APPROACHES FOR EFFICIENT WASTEWATER TREATMENT.....	29
Ksenia KOSHCHAVKO, Yuliya LUCHAKIVSKAYA, Inna KOVAL HIGH-LEVEL FLAVONOID ACCUMULATION IN <i>S. ALTISSIMA</i> L. AND <i>S. ALBIDA</i> L. TRANSGENIC ROOTS	32
Mariia MADANI USING FISH AS INDICATORS OF THE CONDITION OF HYDROECOSYSTEMS (BY THE EXAMPLE OF THE BLACK SEA)	35
Oleksandr MANZHURA, Olena KVASKO <i>IN VITRO</i> CULTIVATION OF <i>ASTRAGALUS DASYANTHUS</i> PALL PLANTS, LISTED IN THE RED BOOK OF UKRAINE.....	40
Nataliia MIRONOVA, Olha YEFREMOVA, Arthur FOROSTOVSKYI, Yana HUROVSKA THE INFLUENCE OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD OF THE URBAN ECOSYSTEM ON LIVING ORGANISMS (ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF KHMELNYTSKYI)	43
Olexander POROVSKYY, Yulia LUCHAKIVSKA OBTAINING HAIRY ROOT CULTURES OF <i>ROBINIA PSEUDOACACIA</i> L. BY AGROBACTERIUM MEDIATED GENETIC TRANSFORMATION.....	47
Nazarii SUS THE VIRUS RANGE OF HOP PLANTS: IDENTIFICATION KEY.....	50
Oleksandr TASHYREV, Vira HOVORUKHA, Olesia HAVRYLIUK, Iryna BIDA, Galyna GLADKA, Larisa YASTREMSKAYA BIOTECHNOLOGIY FOR THE DEGRADATION THE OF ENVIRONMENTALY HAZARDOUS ORGANIC WASTE AND PRODUCTION OF VALUABLE PRODUCTS	54
Ganna TROKHIMENKO, Oleh KIBAROV THE ROLE OF FULVIC AND HUMIC ACIDS IN THE PROCESSES OF BIODEGRADATION OF HERBICIDE RESIDUES IN THE SOIL.....	57

Anastasia FOMENKO, Oksana BONDARENKO THE EFFECT OF ADDING DIFFERENT AMOUNTS OF NaCl TO THE BACTERIAL CULTURE MEDIUM ON THE RATE OF DEVELOPMENT OF *BACILLUS THURINGIENSIS* COLONIES..... 60

Larysa CHERNIAK, Oksana PROSKURNIA, Oleksandr MIKHEEV, Tetiana. DMITRUKHA, Tomash MANETSKI PHYTOREMEDIATION OF THE ECOLOGICAL STATE OF SOILS CONTAMINATED WITH OIL PRODUCTS 63

Section № 2 TECHNOECOLOGY

Simon ANDERSSON, Ivan KOZYATNYK ANALYSIS OF MICROBIAL VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN INDOOR AIR. VALIDATION OF THERMAL DESORPTION GAS CHROMATOGRAPHY-MASS SPECTROMETRY METHOD.....67

Tamila ANANIEVA, Anastasia SEMYLIT ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF SOLID HOUSEHOLD WASTE DISPOSAL IN THE CITY OF ZHOVTI VODY69

Ihor BYCHKO, Andriy TRYPOLSKYI, Victoria KOVBASIUK APPLICATION OF FERRIFEROUS HYDROSOL FOR CO₂ CAPTURE.....72

Oleksandr BONDARCHUK, Larysa SPASYONOVA, Andrey MOKIENKO ANALYSIS OF MODERN VIEWS ON THE BY-PRODUCTS OF WATER PURIFICATION WITH CHLORINE DIOXIDE78

Olena BUBNOVA, Kateryna LEVCHENKO REGARDING CLOSED WATER USE IN THE MINING INDUSTRY.....83

Marta VOZNIUK, Tetiana SHABLIY, Mykola GOMELYA, Daniel BENATOV EFFICIENCY OF MAGNETOSORPTION TREATMENT OF OILY WATERS.....87

Vita HALYSH, Inna TRUS, Maria TVERDOHLIB, Mykola GOMELYA DEHYDRATION OF FIBROUS WASTE FROM PAPER PRODUCTION.....91

Krasimir GEORGIEV DATA ANALYSIS OF THE INNOVATIVE DEMONSTRATIVE PAVILION WITH WATER FLOW GLAZING WINDOWS94

Gintaras DENAFAS, Artūras TORKELIS, Linas KLIUČININKAS ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING THE CIRCULARITY OF PLASTIC PACKAGING WASTE RECYCLING: A CASE STUDY IN THE BALTIC STATES.....99

Anna DENYSENKO, Romaniiia CHEROPKINA BLACK LIQUOR IS A VALUABLE BIORESOURCE OF THE DELIGNIFICATION PROCESS 106

Andrii DMYTRUK, Andrii STEPANIUK RATIONALE FOR MODERNIZATION OF THE CYCLONE APPARATUS FOR THE CAPTURE OF POLYDISPERSE SOLID INCLUSIONS AND WATER VAPOR.....	110
Anna DUDNIK PROSPECTS OF PRODUCING BIOBUTANOL USING MICROALGAE RESIDUE AFTER LIPID EXTRACTION	116
Olena IVANENKO, Oleksandr SNIGUR, Victoria KOVBASIUK, Valeriia HLUSHCHUK PROCESSING OF DOMESTIC SOLID WASTE WITH THE PURPOSE OF OBTAINING CARBON NANOPARTICLES FOR HYDROGEN SORPTION	119
Olena IVANENKO, Serhii DOVHOLAP, Yuliia NOSACHOVA, Tetiana VERESCHUK EVALUATING EFFICIENCY OF ION-EXCHANGE EXTRACTION OF IRON IONS FROM ACIDIC WASTEWATER OF ELECTROPLATING FACILITIES.....	122
Margarita KARPENKO, Vyacheslav RADOVENCHYK RESEARCH ON THE POSSIBILITIES OF REGENERATION OF REVERSE OSMOSIS MEMBRANES.....	125
Mykola KOSMYNA, Yaroslava KUSHNARENKO, Julia NOSACHOVA ASSESSMENT OF CORROSION PROCESSES IN MINERALIZED WATER-PIL ENVIRONMENTS	129
Evgeniy KOSTENKO, Tetiana OBUSHENKO, Nataliia TOLSTOPALOVA, Olga SANGINOVA STUDY OF SORPTION OF FLUORINE IONS ON IRON-CONTAINING SORBENTS	132
Gennadii KOCHETOV, Dmitry SAMCHENKO, Dmytro DERECHA, Yurii SKIRTA ENERGY-SAVING PROCESSING OF EXHAUSTED ETCHING SOLUTIONS BY FERRITIZATION USING VARIABLE MAGNETIC FIELDS.....	135
Yana KRYZHANOVSKA, Mykola GOMELYA, Yana PLYATSUK APPLICATION OF LOW-WASTE TECHNOLOGIES IN THE PROCESSING OF REVERSE OSMOSIS WATER DESALINATION CONCENTRATES	139
Olena LAVRYNENKO, Maksim ZAHORNYI, Erwan PAINEAU, Valeriia VEMBER PHOTOCATALYTIC ACTIVITY OF ANATASE DOPED WITH GOLD IN THE DESTRUCTION OF ORGANIC DYES.....	143
Olena LAVRYNENKO, Olesja PAVLENKO, Olena OLIFAN IMPACT OF THE INITIAL COMPOUNDS ON THE FORMATION OF NANO-SIZED STRUCTURES OF YTTRIUM AND LANTHANUM ORTHOFERRITES.....	149
Iryna MAKARENKO, Tamara KRYSENKO, Olha HLUSHKO WATER SOFTENING IN THE PROCESS OF WATER TREATMENT IN COSMETICS INDUSTRY	152

Maria MASLYANCHUK, Nataliya DOROHAN, Julia MIROSHNYCHENKO USE OF GALVANIC WASTE FOR COLORING PLASTER MATERIALS AND VARNISH COATING.....	156
Nazarii MYKHAILENKO, Oksana ORLOVA, Vita HALYSH KINETIC CHARACTERISTICS OF THE DELIGNIFICATION PROCESS OF PLANT WASTE....	162
Iryna ROMANIUKINA, Liudmyla YURLOVA, Vladislav IVASHCHENKO COMBINATION OF COMPLEX FORMATION WITH MEMBRANE WATER PURIFICATION FROM COBALT (II) IONS.....	165
Anastasiia TKACHENKO, Olga SAGDEEVA BIOCHAR PRODUCTION METHODS ANALYSIS FOR COMPOSTING ADDITIVE USAGE.....	169
Oleksii TOMIN PRODUCTION AND MODIFICATION OF BIO-BASED ACTIVATED CARBON FROM LOCALLY AVAILABLE BIOMASS FOR WATER TREATMENT....	174
Oleksandra SHABLIY, Olesya HAVRYLIUK, Vira HOVORUKHA, Oleksandr TASHYREV A NOXIOUS WEED <i>AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA</i> L. AS A SUSTAINABLE FEEDSTOCK FOR METHANE PRODUCTION AND METALS IMMOBILIZATION	178
Andriy SHYNKARCHUK, Natalia GOLUB, Malvina KOZLOVETS, Oleksandr KOZLOVETS COMPARISON OF THE EFFECT OF DIGESTATE CONTAINING AN ADDITIONAL SOURCE OF TRACE ELEMENTS ON PLANT GROWTH IN THE FIRST 2 WEEKS OF VEGETATION.....	183

Section № 3

SUSTAINABLE DEVELOPMENT STRATEGY IN THE CONTEXT OF ENVIRONMENTAL SAFETY

Lena JOHANSSON WESTHOLM SUSTAINABLE STORMWATER TREATMENT AND MANAGEMENT – SWEDISH EXAMPLES.....	187
Karolina BOROVIK, Serhii HAPON ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL DAMAGE RESULTING FROM FLOODING USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS.....	192
Bozhena BURKUT DEVELOPMENT OF ECOLOGICAL AWARENESS AND CULTURE AS MEANS OF ECOLOGICAL EDUCATION FOR STUDENTS.....	196

Svitlana DELEHAN, Oksana MALYCHKOYCH, Oleg GLUKH, Denys PETROVTSY ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL COMPONENT IN THE MEDIA AND SOCIAL NETWORKS OF UKRAINE DURING THE WAR	201
Iryna DRONOVA, Igor LACAN, Joe MCBRIDE THE DESTRUCTION OF URBAN FORESTS IN UKRAINE: POTENTIAL SOCIAL IMPACTS, REMOTE SENSING-BASED MONITORING, AND CONSIDERATIONS FOR FUTURE RECONSTRUCTION	204
Tamara DUDAR, Olga TITARENKO, Lesya RATUSHNIUK LANDSCAPE COVERS CLASSIFICATION FOR THE PURPOSE OF UNITED TERRITORIAL COMMUNITY'S MANAGEMENT (FASTIV REGION CASE STUDY).....	207
Arsen YEFREMOV, Vitali OLIFIRENKO THE ROLE OF GREENING PRODUCTION IN ENSURING SUSTAINABLE DEVELOPMENT	210
Tetiana KYLIUSHYK, Vita HALYSH IMPLEMENTATION OF RESOURCE-EFFICIENT CLEAN PRODUCTION AT THE MILLS OF THE PAPER INDUSTRY	215
Mark LANECKIJ, Laurynas AGEJEVAS CONTRIBUTION OF MARINE CIVIL TRANSPORT TO THE REDUCTION OF CARBON EMISSIONS, FORECAST FOR THE PERIOD UNTIL 2050.....	219
Oleg MASHKOV, Katheryna MUKHINA, Volodymyr PRYSIAZHNYI SCIENTIFIC AREAS OF APPLICATION OF AEROSPACE TECHNOLOGIES IN THE ENVIRONMENTAL SAFETY MANAGEMENT SYSTEM.....	223
Olga MEDVEDIEVA, Zariana HALCHENKO, Oleksiy DEMCHENKO WIND ENERGY POTENTIAL OF TECHNOLOGICALLY DISTURBED LANDS.....	228
Andrii MOKIENKO, Volodimir BABIENKO, Ihor HUSHCHUK CLIMATE OF SOUTHERN UKRAINE: PROGNOSTIC ASSESSMENT OF THE IMPACT ON THE WATER SUPPLY OF THE POPULATION OF THE REGION.....	232
Olena SOROCHYNSKA, Vitalina LUKIANOVA RECYCLING AS A METHOD OF IMPLEMENTATION OF STATE POLICY IN THE SPHERE OF WASTE MANAGEMENT	237
Sofia STAVSKA THE POTENTIAL OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO ADDRESS ECOLOGICAL AND WATER MANAGEMENT	241
Dmytro STEFANYSHYN, Daniel BENATOV THE KAKHOVKA RESERVOIR DISASTER: CAUSES AND CONSEQUENCES THAT ARE NOT DISCUSSED	244
Catherine FEDORENKO, Tetyana OLIINYK ECOARCHITECTURE AND CHILD HEALTH CARE.....	248

**Oleksandr KHOKHOTVA, Olena KOVALEVA ENVIRONMENTAL ASPECTS OF
QUARRY CLOSURE253**

**Sofiya SHUTIAK THE INTERDEPENDENCE OF THE RULE OF LAW IN THE FIELD OF
ENVIRONMENTAL LAW AND GOOD GOVERNANCE ON THE EXAMPLE OF
WILDLIFE MANAGEMENT259**

ЗАГАЛЬНА ЕКОЛОГІЯ

Секція № 1



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.291190>

УДК 504.064:504.4.062.2

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ В ПРОЦЕСІ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД

Валерія ВЕМБЕР¹, Олена ГЛУШКО¹, Олена ЛАВРИНЕНКО², Софія ІСНЮК¹

¹Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського
пр. Берестейський, 37, 03056 Київ, Україна

e-mail: vvember@gmail.com

²Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України
вул. Омеляна Пріцака, 3, 03142 Київ, Україна

e-mail: alena.lavrynenko@gmail.com

Забруднення поверхневих вод є однією з найнагальніших проблем сьогодення. Забруднення води може мати наслідки різного масштабу, включаючи підвищення токсичності води, поширення хвороб, втрату біорізноманіття, погіршення якості життя та руйнування екосистем. Найпоширенішими забрудниками води є різні галузі промисловості, сільськогосподарського сектору, міські стоки, викиди транспортних засобів, тощо. Сьогодні через діяльність людини водні екосистеми зазнають суттєвого тиску.

Ефективний екологічний моніторинг є важливим інструментом боротьби з цими проблемами, оскільки він дозволяє виявити джерело забруднення води, оцінити рівень забруднення та ефективність заходів щодо його зниження. [1]

Одна з проблем моніторингу полягає в тому, що дані про вміст токсикантів у воді не несуть інформації про їх токсичність для гідробіонтів та біодоступність, саме тому з середини 70-х років у науково-практичних дослідженнях найбільш актуальними стали пошуки експрес-методів аналізу токсичності різних вод і вмісту у них хімічних сполук, що потрапляють у навколишнє середовище.

Для інтегральної оцінки ступеня токсичності навколишнього природного середовища використовуються методи біоіндикації та біотестування [2].

Застосовуючи метод біоіндикації можна виявити ранній ступінь трансформації хімічного складу водного середовища, оскільки зміна видового складу відбувається навіть у разі слабого забруднення водойм, яке неможливо виявити за допомогою хімічних методів [3, 4].

Як об'єкти для біоіндикації застосовуються різноманітні організми – бактерії, водорості, вищі рослини, безхребетні тварини, ссавці. Для гарантованого виявлення присутності в природному середовищі токсичного агента невідомого хімічного складу, як правило, використовується набір об'єктів, що охоплюють різні таксономічні групи та різні ланки трофічних ланцюгів [5].

Основними перевагами методу біомоніторингу в порівнянні з традиційними інструментальними методами є його здатність реагувати на інтегральний рівень забруднення середовища та виявляти саме біодоступну частину ксенобіотиків в навколишньому середовищі, допомогати виявляти джерела забруднення та контролювати їхній вплив на воду. Застосування біохімічних показників може значно полегшити розуміння стану довкілля, оцінки

рівня забруднення та ідентифікації джерел забруднення поверхневих вод, а також допомогти в з'ясуванні наслідків забруднення для водних організмів та здоров'я людей [6].

Отже, пошук нових підходів до моніторингу поверхневих вод залишається нагальним та актуальним завданням сьогодення. Підбір тест-об'єктів та батареї тест-систем потребує подальшого вивчення та вдосконалення. Тест-об'єкти повинні бути представниками різних систематичних та екологічних груп, які мають різні адаптивні пристосування та чутливість до забруднення. Дотримання подібного підходу дозволить отримати репрезентативну інформацію про стан водних систем в цілому.

Раніше нами була запропонована тест-система, яка задовольняє наведеним вище умовам проведення екологічного моніторингу водних об'єктів. Вона складається з рослини-макрофіта – елодеї канадської (*Elodea canadensis* Michx.), що відноситься до видів-гідратофітів, контакт яких з водним середовищем та розчиненими в ньому речовинами є більш повним, ніж у вищих рослин, які широко використовуються нині для біотестування (цибуля, крес-салат і т.д.) [7]. Крім того, елодея є видом-космополітом, область її існування охоплює величезні території, що є важливим фактором при обранні організму в якості біоіндикаторного виду.

В якості системного біомаркера на токсичний вплив гербіцидів нами було запропоновано використання ферментативної активності каталази [7]. Каталаза є одним з найпоширеніших ферментів у тканинах всіх аеробних та мікроаерофільних організмів. Вона відноситься до оксидоредуктаз і розкладає на воду та молекулярний кисень перекис водню, який є токсичним для клітини і утворюється в процесі окиснення органічних речовин [8]. Обрання даного тесту пов'язане з тим, що основною функцією каталази є запобігання нарощуванню окиснювального стресу в клітині, а отже вона може виступати в якості інтегрального показника, що чутливо реагує на токсичний вплив різноманітних хімічних речовин [8, 9]. Окрім того, система біохімічних перетворень є однією з найчутливіших ланок підтримання гомеостазу клітини.

Метою даного дослідження стало порівняння ефективності виявлення низьких концентрацій пестицидів різного типу у водному середовищі традиційними та біохімічними методами дослідження.

Об'єкти та методи дослідження.

Гербіциди, що використовувались у роботі, характеризуються різним механізмом дії.

Перший - гліфосат ($C_3H_8NO_5P$) – відноситься до фосфорорганічних контактних гербіцидів та має яскраво виражену системну дію. В роботі використовувалися розчини калієвої солі гліфосату – найпоширенішого гербіциду у світі за об'ємами використання. Препарати гліфосату, проникаючи в усі вегетативні органи, накопичуються в меристематичних тканинах, в зонах активного росту, де порушують фізіолого-біохімічні процеси, що призводить до загибелі рослин. У воді препарат стійкий. Зменшення рівня гліфосату в водній системі відбувається, в основному, за рахунок адсорбції діючої речовини донними відкладеннями, впливу водної мікрофлори та ультрафіолетового випромінювання. ГДК для води водойм – 0,02 мг/дм³.

В якості гербіциду, що має відмінний механізм дії, було обрано клетодим ($C_{17}H_{26}ClNO_3S$) – хлорорганічний гербіцид, який виступає інгібітором біосинтезу жирів. Після потрапляння на поверхню листа речовина абсорбується листовою поверхнею і переміщується по флоемі до меристемних регіонів. Препарат накопичується в тканинах, порушує біосинтез ліпідів, викликаючи загибель рослин. Нестабільно піддається розкладанню при підвищеній температурі, під дією УФ світла, при екстремальних значеннях рН. Піддається окисленню і розкладанню в аеробних умовах, період напіврозпаду 1-3 дні. Клетодим стійкий при відсутності сонячного світла у водних розчинах з рН 7-10. ГДК для води водойм – 0,002 мг/дм³.

В процесі тестування піддослідні рослини елодеї утримувалися в розчинах, виготовлених шляхом додавання до еталонної води гербіцидних препаратів. Умови утримання під час процедури біотестування контрольних і піддослідних груп тест-організмів не відрізнялися за

фізико-хімічними параметрами за винятком відсутності або наявності гербіциду. Час експозиції елодеї в розчинах гербіцидів становив від 1-єї доби (для визначення гострої токсичності) до 7-ми (хронічна токсичність) діб. Досліди проводили в 3-5-кратній повторюваності.

Для визначення каталазної активності використовували безклітинні екстракти елодеї канадської.

Ферментативну активність ендогенної каталази (КФ 1.11.1.6) визначали за зниженням екстинкції розчину, що містив H_2O_2 у якості субстрату, при додаванні до нього безклітинного екстракту за 1 хв. при температурі $25 \pm 2^\circ C$ та довжині хвилі 240 нм [10]. Виміри проводили на двопробеновому спектрофотометрі СФ-26. Каталазну активність виражали у перетворених за 1 хв. мкмольх H_2O_2 , віднесених до вмісту білку у реакційній суміші. Одержані дані обробляли статистично за допомогою програми Microsoft Excel.

Для дослідження впливу гербіцидів на ростові та біохімічні параметри рослин використовували наступні концентрації:

- для гліфосату: $0,01 \text{ мг/дм}^3 - 0,5 \text{ ГДК}$, $0,02 \text{ мг/дм}^3 - 1 \text{ ГДК}$, $0,03 \text{ мг/дм}^3 - 1,5 \text{ ГДК}$, $0,04 \text{ мг/дм}^3 - 2 \text{ ГДК}$, $0,05 \text{ мг/дм}^3 - 2,5 \text{ ГДК}$;
- для клетодиму: $0,001 \text{ мг/дм}^3 - 0,5 \text{ ГДК}$, $0,002 \text{ мг/дм}^3 - 1 \text{ ГДК}$, $0,003 \text{ мг/дм}^3 - 1,5 \text{ ГДК}$, $0,004 \text{ мг/дм}^3 - 2 \text{ ГДК}$, $0,005 \text{ мг/дм}^3 - 2,5 \text{ ГДК}$;

Експериментальна частина. На першому етапі досліджень нами було визначено вплив обраних пестицидів на ростові параметри кореневої системи цибулі ріпчастої. Даний тест є традиційним при тестуванні води на токсичність. Як можна побачити (рис. 1 а), довжина корінців цибулі знаходиться в лінійній залежності від концентрації гліфосату в діапазоні від 1,0 до 2,5 ГДК, що дозволяє виявляти даний гербіцид в поверхневих водах у мінімальних концентраціях. Єдиним недоліком даного підходу є тривалий час, необхідний для пророщування цибулі (7 діб), а також висока трудоемність реєстрації експериментальних даних, яка не може бути автоматизована.

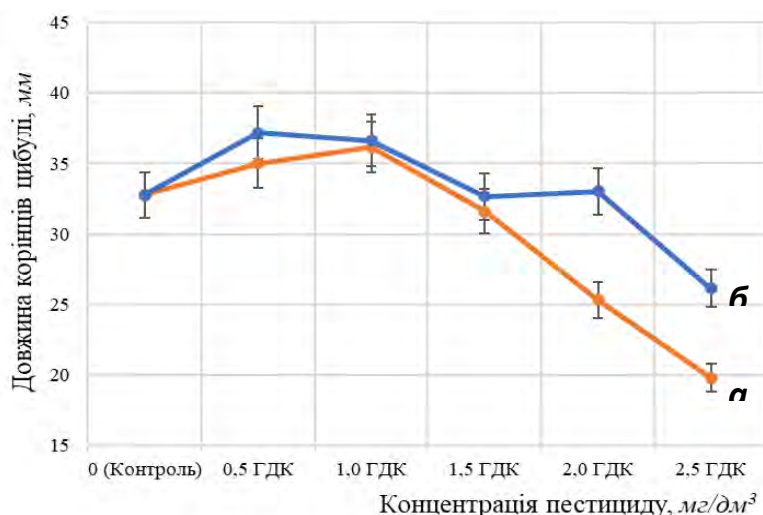


Рис. 1. Залежність довжини корінців цибулі від концентрації у воді гліфосату (а) та клетодиму (б)

Що стосується впливу клетодиму на даний показник (рис. 1 б), то мінімальна концентрація, яка призводить до статистично значимих змін в довжині корінців цибулі (порівняно з контролем) – 2,5 ГДК.

Особливо непоказовим щодо виявлення взаємозв'язку між дозою токсиканта та тест-реакцією виявився тест на біомасу корінців (рис. 2). Більше того, впродовж експерименту спостерігалось явище одночасного зменшення довжини корінців та збільшення їхньої маси. Це явище потребує подальшого дослідження та може бути пояснене збільшенням щільності меристематичних тканин коренів цибулі. Подібна реакція рослин на присутність в середовищі вирощування токсиканта може бути необхідною для потенційного захисту клітин, які знаходяться в стані активного поділу.

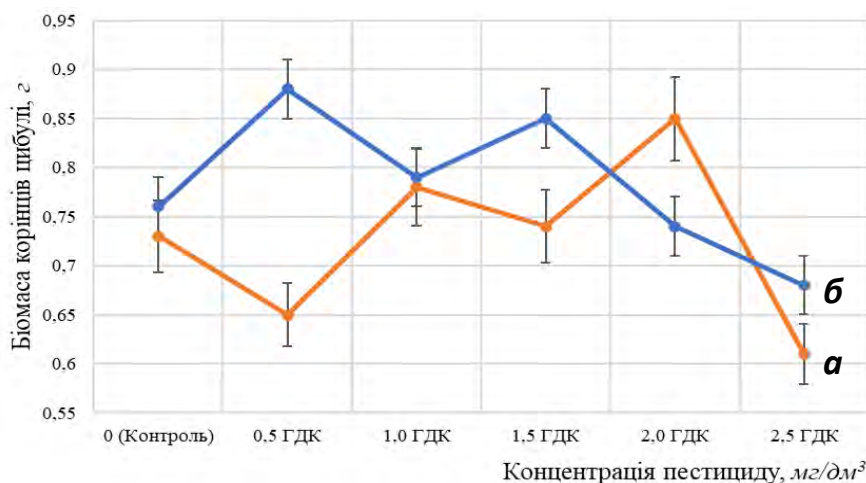


Рис. 2. Залежність біомаси корінців цибулі від концентрації у воді гліфосату (а) та клетодиму (б)

Таким чином, традиційно використовувані тест-реакції рослин не завжди можуть відображати потенційно небезпечне перевищення ГДК токсикантів у водному середовищі.

Однією з найбільш реактивних систем організму є система антиокислювальних ферментів, яка чутливо реагує на будь-які стресові впливи. Серед численних ланок, що входять до її складу, найбільш активним ферментом є каталаза, яка дозволяє розкласти перекис водню, що утворюється в клітинах в аеробних умовах. Тому подальші дослідження були проведені на повністю зануреній у водне середовище рослині - елодеї канадській. В якості тест-реакції використовували зміни каталазної активності елодеї, яка знаходилась у водному розчині пестицидів впродовж 1-4 діб (рис. 3-4).

Перевагою даного методу біотестування в порівнянні з реєстрацією морфологічних показників рослин, є наявність швидкої відповіді на присутність токсиканта в середовищі. Проте статистично значимі зміни каталазної активності елодеї канадської в присутності гліфосату (рис. 3) реєструвалась лише на рівні 2,5 ГДК. Зниження активності ферменту при даній концентрації становило майже 20 %.

Що стосується клетодиму, то статистично значиме зниження ферментативної активності в його присутності (рис. 3) реєструвались вже на рівні 1,5 ГДК та коливалось на рівні 10-14 % по відношенню до контролю.

При підвищенні тривалості контакту рослин з пестицидами в їхніх організмах відбуваються численні морфологічні та біохімічні перебудови, які сприяють адаптації клітин до токсиканту. Тому важливим є визначення токсичності як в гострому, так і в хронічному експериментах.

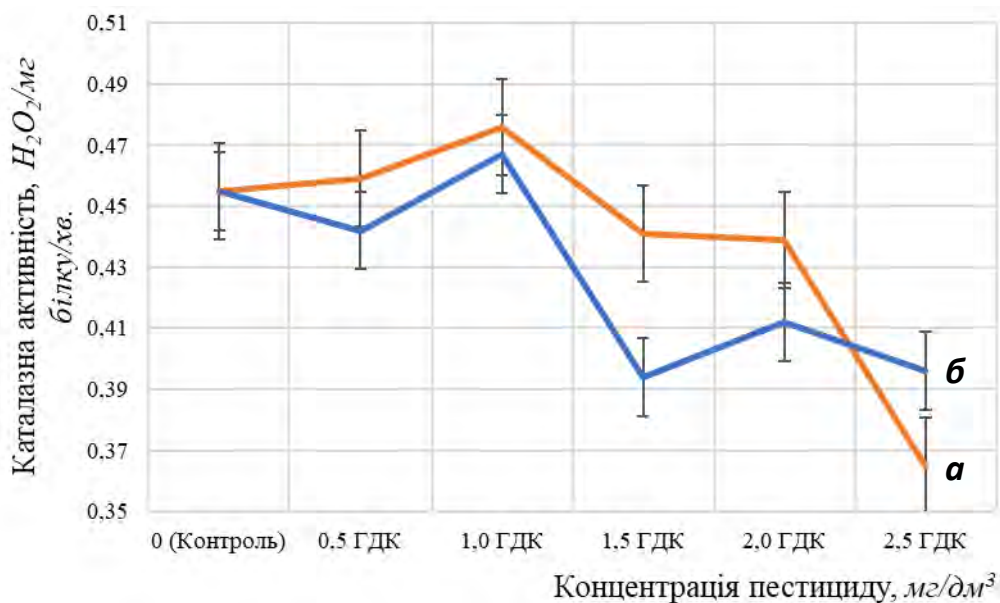


Рис. 3. Залежність каталазної активності елодеї канадської від концентрації у воді гліфосату (а) та клетодиму (б). Тривалість контакту з пестицидами – 1 доба

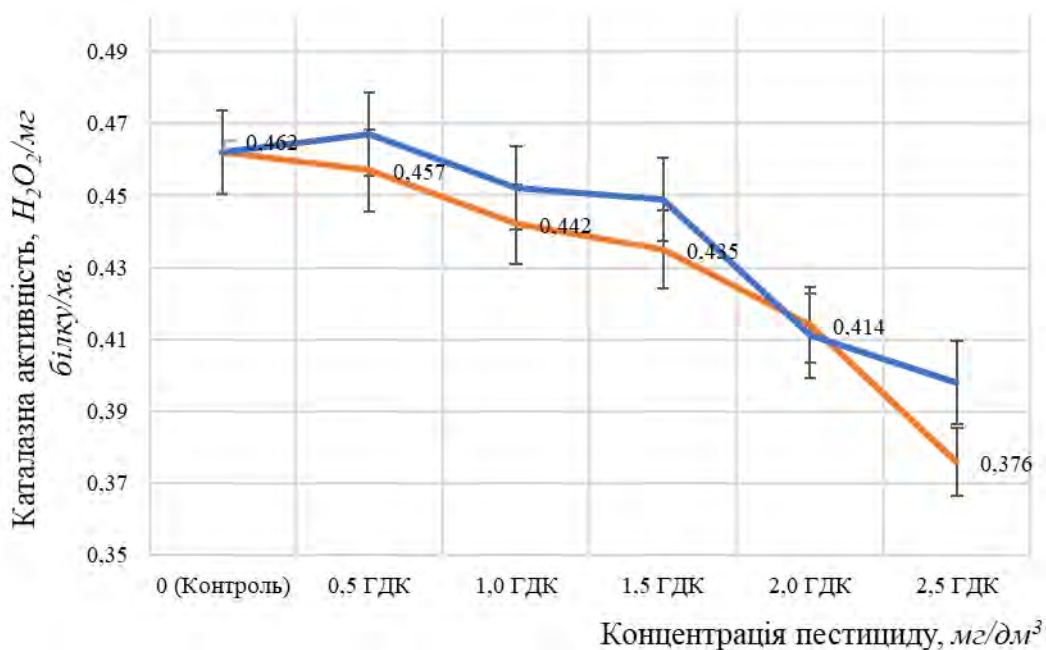


Рис. 4. Залежність каталазної активності елодеї канадської від концентрації у воді гліфосату (а) та клетодиму (б). Тривалість контакту з пестицидами – 4 доби

Можна констатувати, що у вивченому діапазоні концентрацій пестицидів, саме 4-денна експозиція призвела до отримання більш лінійного відгуку тест-системи на концентрацію пестицидів. Особливо помітно це на прикладі гліфосату: нами зареєстроване поступове зниження каталазної активності при збільшенні концентрації даного гербіциду в середовищі вирощування: до 19 % в порівнянні з контрольним значенням (рис. 4).

Зниження активності каталази в присутності клетомиду статистично достовірно відбулося на рівні 2 ГДК та склало біля 14 %.

Таким чином, біохімічні тест-реакції елодеї канадської продемонстрували набагато кращу кореляцію між концентрацією в середовищі її існування пестицидів та відповіддю рослини в порівнянні з морфологічними показниками.

Література:

1. Лотоцька О. В., Бицюра Л. О. Моніторинг поверхневих водних ресурсів в Україні та його законодавча основа. Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України. 2021. № 2(88). С. 79–84.
2. Крайнюкова А. Н. Система інтегральної токсикологічної оцінки природних і стічних вод. Східно-європейський журнал передових технологій. 2009. №1(37). С. 30–34.
3. Багдай Т. В., Панас Н. Є., Антоняк Г. Л., Бубис О. Є. Біомоніторинг екологічного стану природних водойм. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. Гжицького. 2016. Т. 18, №1 (3). С. 190-194.
4. Zhou Q., Zhang J., Fu J., Shi J., Jiang G. Biomonitoring: an appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. Anal. Chim. Acta. 2008. № 606. P. 135-150.
5. Дідух Я. П. Основи біоіндикації : монографія. Київ : Наук. думка НАН України, 2012. 344 с.
6. Вембер В. В., Шаблій О. В., Бассак А. О., Антоненко Д. І. Використання показника супероксиддисмутазної активності в системі екологічного моніторингу поверхневих вод // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». 2022. № 1 (21). С. 80-87. DOI:10.20535/2617-9741.1.2022.254162
7. Вембер В. В., Дітяшова І. Г. Вплив гербіцидних препаратів на каталазну активність *Elodea canadensis* Місх. // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». 2016. № 1 (15). С. 55-60.
8. Phaniendra, A., Jestadi, D. B., & Periyasamy, L. (2015). Free radicals: properties, sources, targets, and their implication in various diseases. *Indian journal of clinical biochemistry : IJCB*, 30(1), 11–26. <https://doi.org/10.1007/s12291-014-0446-0>
9. Vasykiv Olena Yu., Kubrak Olga I., Storey Kenneth B., Lushchak Volodymyr I. Catalase activity as a potential vital biomarker of fish intoxication by the herbicide aminotriazole / Olena Yu. Vasykiv, Olga I. Kubrak, Kenneth B. Storey, Volodymyr I. Lushchak // *Pesticide Biochemistry and Physiology*. – 101 (1). – P. 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2011.05.005>
Ali A. Farman, Mahmoud Hussein Hadwan. Simple kinetic method for assessing catalase activity in biological samples, *MethodsX*, Volume 8, 2021, 101434, ISSN 2215-0161, <https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101434>.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.290626>

УДК 504.064.3:574.5(477)(07)

ШТУЧНІ РИФИ ДЛЯ ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ ЛИМАННИХ АКВАТОРІЙ МИКОЛАЇВЩИНИ

Микола ГРУБИЙ¹, Ганна ТРОХИМЕНКО²

¹Регіональний ландшафтний парк Тилігульський

вул. Медична, 6, с.м.т. Березанка, Миколаївська обл., 57400, Україна

²Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

пр. Героїв України, 9, Миколаїв, 54007, Україна

e-mail: grubyy@ukr.net

Воєнні дії росії проти України значно вплинули на стан лиманних акваторій Миколаївщини, зокрема, підлив Каховської ГЕС, внаслідок якого значна кількість забруднених вод була скинута в Дніпро-Бузький лиман. Аномальна спека та суха погода літа 2023 року, зменшення стоку малих річок відобразилась на стані Березанського лиману, а також на стані Тилігульського лиману, який загалом характеризується як добрий. Зменшення екологічної стійкості лиманних акваторій Миколаївщини, зокрема шельфової зони вимагає негайних заходів з охорони навколишнього середовища та відновлення екологічної рівноваги.

Так, зважаючи на значний вплив військових дій на морські екосистеми внаслідок війни росії проти України, розробка та впровадження ефективних методів екологічного моніторингу є надзвичайно важливою для відновлення та збереження природного середовища.

Метою роботи є обґрунтування необхідності використання штучних рифів у лиманних акваторіях Миколаївщини.

Проведено дослідження евтрофікації водойм Березанського, Дніпро-Бузького та Тилігульського лиманів, використовуючи супутникові знімки.

На рис. 1. наведено супутникові знімки акваторій лиманів під час їх «цвітіння». Знімки було оброблено за допомогою інструменту *Ulyssys Water Quality Viewer* (осад та вміст хлорофілу у воді) *EO Browser*.

З рисунку видно ділянки «цвітіння», які спостерігались 23 червня 2023 року, в Дніпро-Бузькому лимані та Березанському лимані, а також Чорному морі. Евтрофіковані ділянки ймовірно були пов'язані з потраплянням в воду значної кількості органічних речовин після підливу ГЕС. Для порівняння наведено знімки, які ідентифікують стан Куяльницького та Хаджибейського лиману Одеської області (рис. 1e), але для цих акваторій зазвичай така картина «цвітіння» характерна. На рис. 1g, д, а також на рис. 2 (4.09.23) наведено евтрофіковані ділянки Тилігульського лиману, що ймовірно пов'язано зі спекотною та сухою погодою, але в цілому не типово для Тилігульського лиману. В цей період на даних ділянках також спостерігався мор риби.

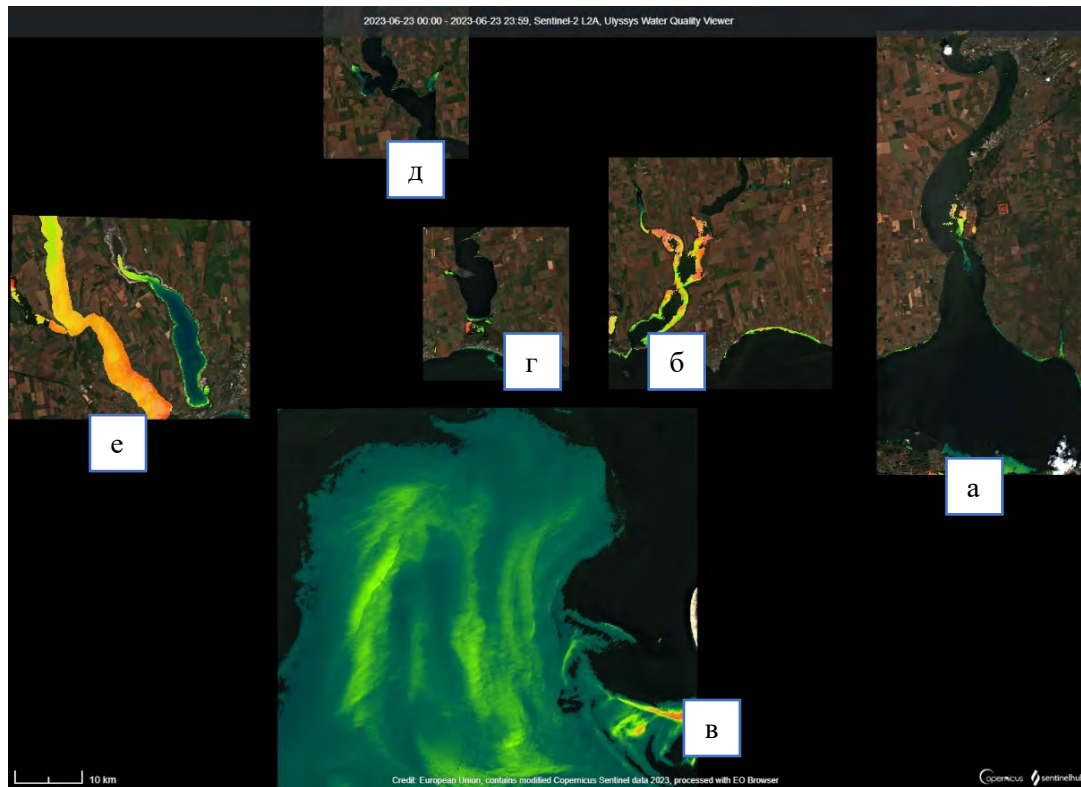


Рис. 1. Евтрофіковані ділянки акваторій, 23.06.23: а – Дніпро-Бузький лиман, б – Березанський лиман, в – Чорне море, г, д – Тилігульський лиман, е – Куяльницький та Хаджибейський лиман

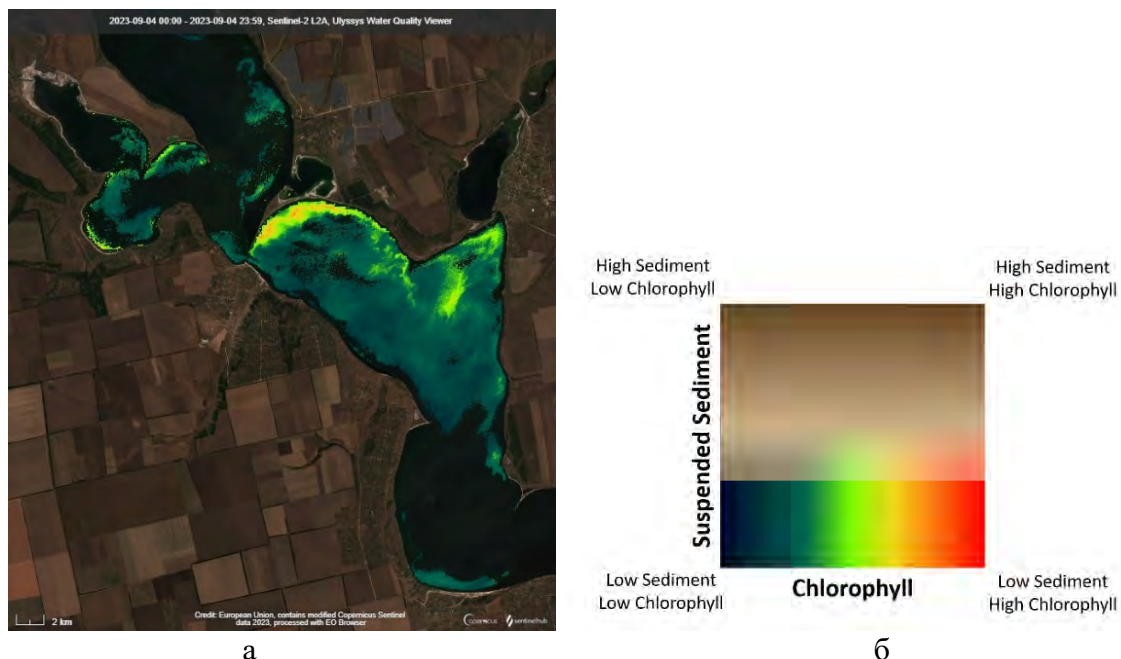


Рис. 2. Евтрофікована ділянка Тилігульського лиману, 4 вересня 2023 року, б – шкала, яка показує вміст хлорофілу та зважених речовин за кольором

Для збереження та відновлення природного стану Березанського та Дніпро-Бузького лиманів та покращення стану евтрофікованих ділянок Тилігульського лиману необхідно впроваджувати комплексні заходи з моніторингу забруднення, впровадження екологічно чистих технологій та стратегій управління водними ресурсами. Одним з таких заходів може бути встановлення штучних рифів. Рифові кулі є ефективними інструментами для заохочення природних процесів самоочищення, стимулюючи розвиток молюсків-фільтраторів та інших морських організмів.

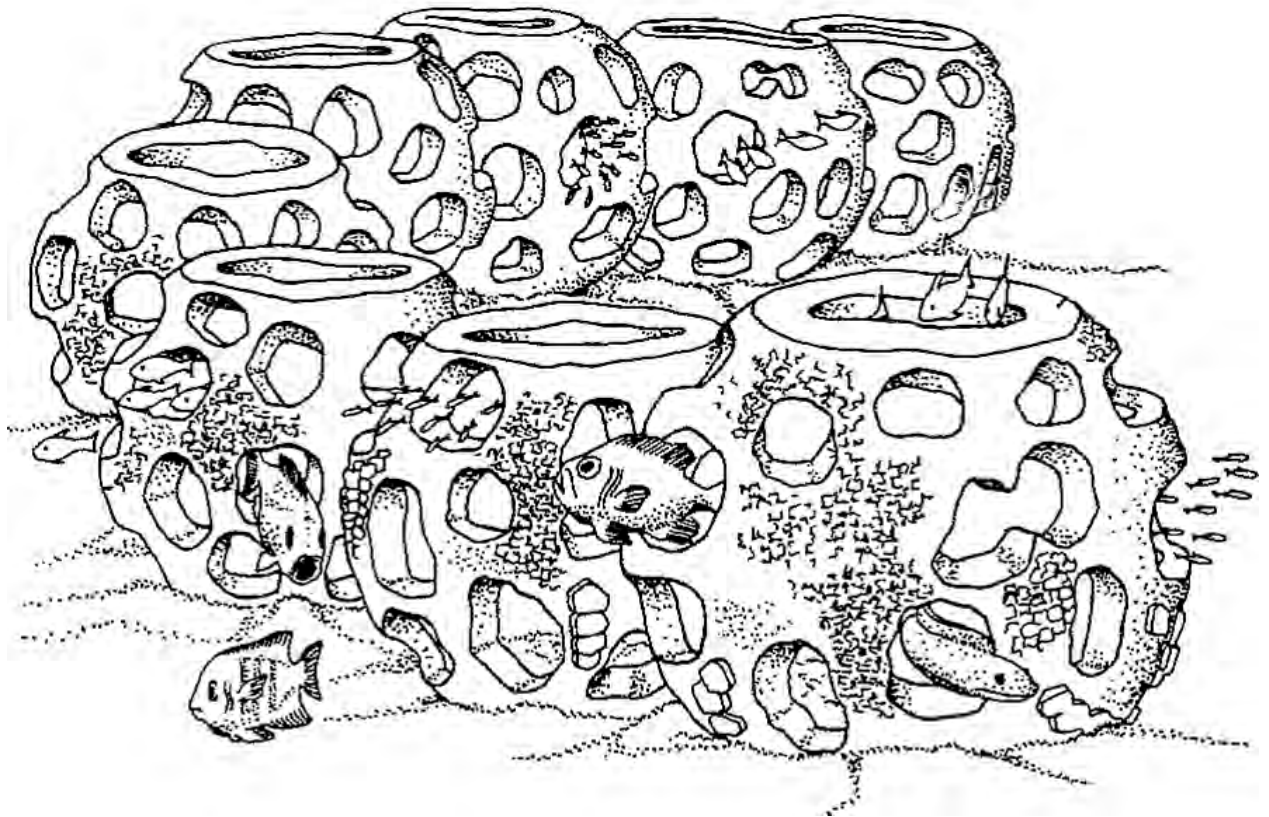


Рис. 3. Рифові кулі занурені в акваторію.

Досвід встановлення штучних рифів був протестований в акваторії Чорного моря поблизу Кінбурнської коси і виявився успішним. За перші шість місяців, після встановлення "зеленого рифу", було зафіксовано появу личинок чорноморської мідії та подальшу колонізацію об'єкта колонією цього виду. За результатами моніторингу, було виявлено, що новостворений біоценоз відзначався зростанням чисельності двох видів чорноморських крабів, п'яти видів бичків, молоді камбали та глоси, а також три види креветок та інші види риб та молюсків. Отже, дані свідчать про високий потенціал використання "зелених рифів" для забезпечення біорізноманіття та підтримки процесу самоочищення лиманних акваторій Миколаївщини.

При цьому важливо встановити моніторингову систему для постійного контролю за станом рифів та екосистеми в цілому. Це дозволить вчасно виявляти будь-які зміни та реагувати на них, щоб забезпечити успішну імплементацію та ефективність проекту збереження Тилігульського, Березанського та Дніпро-Бузького лиманів.

Проаналізовано та запропоновано конструкцію штучних рифів – рифових куль.

Рифові кулі вже успішно встановлено в 62 країнах світу, що підтверджує їхню ефективність та надійність використання. У Чорному морі ця інновація планується до впровадження вперше. Ці конструкції виготовляються з цементу, за спеціальним запатентованим рецептом з використанням мікрокремнезему (силікатного пилу). Цей склад забезпечує рівень рН, аналогічний до рН морської води, гарантуючи сумісність з морським середовищем та підвищуючи привабливість конструкцій для колонізуючих організмів.

Рекомендації від таких авторитетних організацій, як Міжнародна асоціація "Альянс природного відновлення устриць" (NORA) та Фундація рифових куль (Reef Ball Foundation), підкреслюють важливість впровадження штучних рифів для збереження та відновлення екосистем, особливо в умовах, коли природні ресурси піддаються значному антропогенному впливу [1,2].

Застосування рекомендованих конструкцій рифових куль у лиманах може відігравати ключову роль у створенні сприятливого середовища для молюсків-фільтраторів та інших морських організмів. Одночасно, ці заходи сприятимуть підвищенню біорізноманіття та покращенню якості води в лимані.

Зважаючи на позитивний досвід застосування рекомендованих технологій у різних регіонах світу, важливо впроваджувати їх відповідно до специфічних потреб і характеристик лиману. Для цього необхідно провести докладні дослідження і розробити стратегію, яка враховуватиме місцеві умови, кліматичні особливості та особливості ґрунтового покриття. Крім того, важливо забезпечити ефективний моніторинговий план для оцінки результатів та впливу впровадження штучних рифів на екосистему лиману.

Для ефективної імплементації цих рішень у лиманних акваторіях потрібно забезпечити необхідні ресурси, технічну експертизу та відповідну інфраструктуру для виробництва та встановлення рифових куль. Крім того, моніторингова система повинна бути належно налаштована для відстеження результатів впливу цих конструкцій на екосистему лиманів північного Причорномор'я протягом тривалого періоду.

Література:

1. Pogoda B, Brown J, Hancock B, Preston J, Pouvreau S, Kamermans P, Sanderson W, and Nordheim Hv, The Native Oyster Restoration Alliance (NORA) and the Berlin Oyster Recommendation: bringing back a key ecosystem engineer by developing and supporting best practice in Europe, *Aquat. Living Resour*, Volume 32, pp 13-22, 2019, doi.org/10.1051/alr/201901.

2. M.Buccino, I. Del Vita, and M. Calabrese Engineering Modeling of Wave Transmission of Reef Balls, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Volume 140, Issue 4, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WW.1943-5460.0000237](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000237).



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.291636>

UDC 628.35

INNOVATIVE BIOTECHNOLOGY APPROACHES FOR EFFICIENT WASTEWATER TREATMENT

Veronika ZHUKOVA

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute
37 Beresteysky Ave, Kyiv 33056, Ukraine
e-mail: zhukova.veronika@iit.kpi.ua

The increasing intensity of water pollution in Ukraine each year requires immediate measures to reduce the impact of anthropogenic pollution on aquatic ecosystems. The implementation of innovative biotechnological strategies will lead to increased efficiency in wastewater treatment processes and a reduction in negative environmental impact. Furthermore, ensuring access to clean water for consumers becomes an increasingly critical task. The development of biotechnologies for wastewater treatment involves not only reducing wastewater pollution but also ensuring access to safe drinking water for the population. The growing attention to water quality standards and environmental norms necessitates the continual improvement and implementation of innovations in the field of wastewater treatment. The development and implementation of innovative biotechnological strategies in wastewater treatment are a key element of sustainable development and the conservation of natural resources.

One of the strategies focuses on addressing the increasing pollution of natural waterbodies by compounds of nutrients that come from insufficiently treated wastewater as a communal, as well as industrial origin, leads to an increase of eutrophication processes in water sources. The results are: the rapid development of aquatic plants and algae, water pollution, reduction of oxygen concentration in water, deterioration of the waterbodies state, strengthening of saprogenic processes, reduction of the hydrobionts species diversity, etc.

Municipal and industrial wastewater treatment requires different approaches due to the qualitative and quantitative composition of wastewater. However, the use of biological methods prevails in both cases [1-3]. Also, the issue of wastewater treatment quality is not only relevant in Ukraine, but also globally [4,5]. Technologies such as membrane bioreactors (MBR) and moving bed biofilm reactors (MBBR) are used worldwide due to their compactness and high efficiency, but their high cost hinders the widespread use of these methods. The main features and applications of these processes are the simultaneous removal of organic matter, nitrogen and phosphorus. Given the importance of removing nitrogen compounds from wastewater, the latest advances in this area, including new nitrogen removal processes (e.g. Anammox), are also considered [6].

A biological wastewater treatment technology that will allow to achieve the discharge standards to water bodies and at the same time will not be expensive, both in construction and operation, is the goal of this study. The recommended and implemented wastewater treatment technology for example of the meat plant [7] provides high treatment efficiency: up to 98% for COD, up to 99% for ammonium nitrogen, up to 96% for nitrates, and up to 98% for phosphates. Concentrations of

pollutants in treated water after the introduction of technologies at treatment plants do not exceed the maximum allowable discharge into a natural reservoir.

Therefore, the use of immobilized microorganisms for biological treatment of industrial wastewater can significantly increase the efficiency of treatment of organic compounds, nutrients - nitrogen and phosphorus compounds. This is due to the growth on the surface of carriers - nylon fibers, biomass of destructive microorganisms in both anaerobic and aerobic conditions for the gradual breakdown of complex organic compounds to form minerals and gases. The method of biological treatment with immobilized microorganisms is characterized by simplicity, reliability, low energy costs, which determine its viability and cost-effectiveness.

Another strategy could be to ensure the continuity of operation and effective restoration of biological wastewater treatment plants. In situations of military aggression and crisis, new approaches to the operation of wastewater treatment plants in both cities and industrial enterprises may be required. Shutdowns of treatment plants may also be caused by seasonality of operation, due to the availability of raw materials only during certain periods of the year (e.g., skins in the spring-summer-autumn period at tanneries, or vegetables in the summer-autumn period at canneries, or periodic operation of resorts, etc.) The problem is exacerbated by military operations (destruction of energy facilities, interruption of electricity supply, and thus suspension of biological treatment facilities, death of activated sludge microorganisms, loss of part of the activated sludge due to wastewater discharge, etc.) If the inflow of contaminated wastewater has stopped, but the treatment plant continues to operate, this leads to the death of microorganisms in the aerotanks (biofilters), and the re-launch and recovery of the facilities will require a significant amount of time and cost to reproduce activated sludge (biofilm). In addition, the minimal amount of biomass is usually not able to oxidise pollution after restarting, which leads to a decrease in the quality of treated wastewater discharged into water bodies. Therefore, to restore biomass performance, activated sludge from other efficiently operating treatment plants is often used, which leads to significant technical and economic costs (to ensure a dose of activated sludge of 3 g/dm³ for a 1000 m³ aeration tank, at least 3 tonnes of activated sludge is required).

The aim of the study is to establish the possibility of recovering the performance of biological wastewater treatment plants after a long shutdown without additional activated sludge input.

The goal of a control strategy is to maintain optimal operating conditions to ensure that the desired microbial communities are maintained and have the necessary metabolic characteristics to ensure optimal biological oxidation. Even during transient periods of operation, such as system shutdowns and start-ups, strategies that maintain biomass are considered crucial to restore effective biological wastewater treatment during system start-up. To solve the problem of maintaining the adapted composition of activated sludge during plant shutdown, the use of artificial media for biomass immobilisation was investigated. During the two years of operation of the semi-production plant for biological wastewater treatment using immobilised microorganisms at the malt plant, two shutdowns were carried out in October-November and start-ups were carried out after the winter period. The air temperature drop during the winter period reached -10 to -32°C. During the shutdown period, the plant was freed from wastewater and circulation pumps, but the immobilised biomass carriers were left open in the bioreactors (for air drying). The plant was restarted for 35 and 48 days, respectively, until the treated wastewater was produced in accordance with the requirements for discharge into the river.

The hydrobiological analysis of microorganisms confirmed their ability to periodically work with the restoration of vital activity under conditions of being in a dry state during the shutdown of the treatment plant and even after testing at low temperatures (-30 - -32°C). Among the hydrobionts, there were sarcoderma, variously shaped and abdominal ciliates, circular ciliates, and rotifers, which

indicates the presence of organisms of different trophic levels. The treatment plants with immobilised microorganisms are capable of intermittent operation, and the formed and preserved biocenosis is resistant to recovery and quick start-up even at rather low winter temperatures. The objectives of further research will be to establish the technological modes of operation of facilities with immobilised microorganisms during the period of shutdown, shutdown and restart and to optimise processes during this period to minimise its duration and save material and financial costs.

The presented strategies are not a complete list of new approaches to biotechnology for wastewater treatment, but they provide a clear understanding of the benefits of such technologies that will contribute to the conservation of water resources and ensure sustainable development of society. In the future, it is planned to further study the carriers of immobilised microorganisms and, accordingly, the processes and biological agents that ensure wastewater treatment at batch facilities in accordance with the Ukrainian regulations for discharge into water bodies or the municipal sewerage network.

References:

1. Melchior, Emeline & Freire, Flavio. (2023). Winery Wastewater Treatment: a Systematic Review of Traditional and Emerging Technologies and Their Efficiencies. *Environmental Processes*. 10. 10.1007/s40710-023-00657-4.
2. Joshiba, Janet & Kumar, P. & Carolin, Femina & Jayashree, Eunice & Ramamurthy, Racchana & Sivanesan, Subra. (2019). Critical review on biological treatment strategies of dairy wastewater. *DESALINATION AND WATER TREATMENT*. 160. 94-109. 10.5004/dwt.2019.24194.
3. Sabliy, Larisa & Zhukova, Veronika & Kika, Lyubov. (2022). Effective Biological Treatment of Tannery Wastewater from Nitrogen Compounds. 213-218. 10.24264/icams-2022.II.22.
4. Wijaya, I Made Wahyu & Soedjono, Eddy. (2018). Domestic wastewater in Indonesia: Challenge in the future related to nitrogen content. *International Journal of GEOMATE*. 15. 32-41. 10.21660/2018.47.06582.
5. Brenner, Asher. (2010). Removal of Nitrogen and Phosphorus Compounds in Biological Treatment of Municipal Wastewater in Israel. *Israel Journal of Chemistry*. 46. 45 - 51. 10.1560/1KRL-CYGN-3LY7-7R6X.
6. Dezotti, Marcia & Lippel, Geraldo & Bassin, Joao. (2017). Advanced Biological Processes for Wastewater Treatment: Emerging, Consolidated Technologies and Introduction to Molecular Techniques. 10.1007/978-3-319-58835-3.
7. Sabliy Larisa, Zhukova Veronika (2022). Efficient treatment of industrial wastewater using immobilized microorganisms. *Water Supply and Wastewater Disposal. Designing, Construction, Operation and Monitoring. – Monografie*. Edited by Beata Kowalska, Dariusz Kowalski. – Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej. – Lublin. – pp. 248-262.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.290922>

УДК 58.085

ОТРИМАННЯ ТРАНСГЕННИХ КОРЕНІВ *S. ALTISSIMA* L. ТА *S. ALBIDA* L. ДЛЯ НАКОПИЧЕННЯ ВИСОКОГО ВМІСТУ ФЛАВОНОЇДІВ

Ксенія КОЩАВКО¹, Юлія ЛУЧАКІВСЬКА¹, Інна КОВАЛЬ²

¹ Київський Палац дітей та юнацтва

вул. Івана Мазепи, 13, Київ 01010, Україна

² Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка НАН України

вул. Тимірязєвська, 1, Київ 01014, Україна

e-mail: kсениako05@gmail.com

Останнім часом активно здійснюється пошук препаратів рослинного походження, які мають лікувальні властивості та мінімальну побічну дію на організм людини - на противагу синтетичним препаратам. У пошуках нових джерел сировини з фармакологічними властивостями активно досліджуються рослини роду *Scutellaria* L. [1, 2]. Останні широко застосовуються в народній медицині завдяки високому вмісту флавоноїдів, дубильних речовин та характеризуються протипухлинними, протівірусними, протизапальними, антиоксидантними, антибактеріальними властивостями.

Зважаючи на літературні дані щодо високого вмісту флавоноїдів у коренях рослин роду *Scutellaria* L. [3], нас зацікавила можливість отримання та біохімічний аналіз екстрактів культури трансгенних коренів шоломниці, адже це б дозволило збільшити об'єми біомаси, яка може бути використана в якості лікарської сировини.

Метою нашої роботи було отримати культуру трансгенних коренів видів *S. albida* та *S. altissima* та проаналізувати вміст флавоноїдів у екстрактах отриманих культур.

Рослини шоломниці вводили в культуру *in vitro* шляхом поверхневої стерилізації насіння двох видів роду *Scutellaria* L. (*S. albida* L., *S. altissima* L.). Рослини культивували при кімнатній температурі, 16-годинному фотоперіоді на живильному середовищі Мурасіге – Скуга [4]. Для подальшої генетичної трансформації використовували рослини віком від 6 до 12 тижнів.

Для отримання культури трансгенних коренів використовували агропіновий штам A4 *Agrobacterium rhizogenes*. Нічну бактеріальну суспензійну культуру отриману у рідкому живильному середовищі LB [5] на термошейкері (200об./хв), центрифугували протягом 10 хв (4000об./хв), надалі осад ресуспендували у рідкому живильному середовищі MS з додаванням 100 мкМ ацетосирингона. Рослинні експланти *S. albida* та *S. altissima* культивували з бактеріальною суспензією на орбітальному шейкері (150об./хв), протягом 48 годин при 28 °С. В подальшому експланти переносили на агаризоване живильне середовище MS з додаванням 400 мг/л антибіотика цефотаксима для елімінації бактерій. Через три тижні після трансформації спостерігали утворення коренів на рослинних експлантах *S. altissima*, що характеризувалися Ri-фенотипом (швидким ростом, відсутністю геотропізму та характерною опушеністю) (рис. 1). На експлантах рослин *S. albida* коренеутворення не спостерігалось.



Рис. 1. Ініціація коренеутворення на гіпокотильних експлантах *S. altissima*

Для підтвердження трансгенної природи отриманих корневих культур проводили молекулярно-генетичний аналіз за допомогою методу ПЛР (розмір фрагмента 780 п.н., нуклеотидна послідовність праймерів: 5'-atggatcccaaatgctattcctccacga-3', 5'-ttaggcttcttcttcaggtttactgcagc-3') (рис. 2).

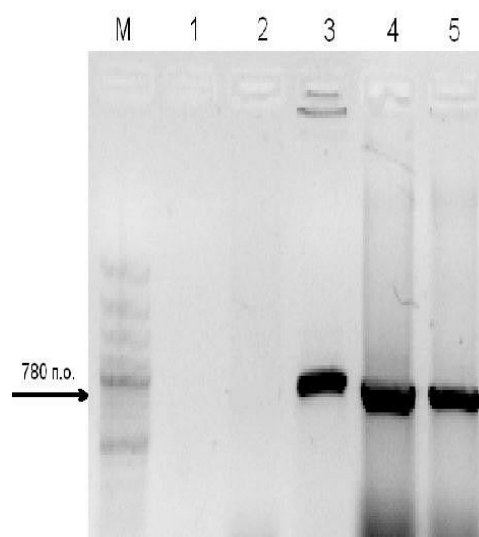


Рис. 2. Електрофореграма ПЛР-аналізу на присутність *rolB* гену: М – Маркер (1 kbPlusDNALadder, Fermentas), 1 – негативний контроль (проба без ДНК), 2 – негативний контроль (ДНК нетрансформованої рослини), 3 – позитивний контроль (плазмідна ДНК (A4)), 4-5 – ДНК аналізованих зразків культури „бородатих” коренів

ПЛР-аналіз дозволив виявити присутність агробактеріального *rolB* гену, що підтверджує трансгенну природу отриманої кореневої культури.

Для визначення вмісту флавоноїдів у культурі трансгенних коренів та коренів інтактних рослин використовували спектрофотометричний метод з перерахунком на рутин, основою якого є властивість флавоноїдів утворювати забарвлений комплекс із спиртовим розчином хлориду алюмінію [6] (рис. 3).

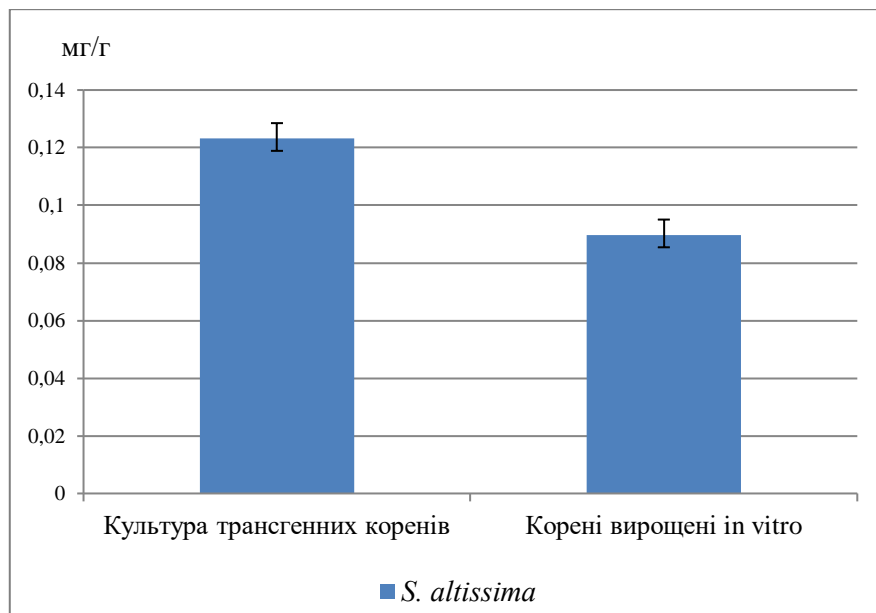


Рис. 3. Вміст флавоноїдів в екстрактах трансгенних коренів та коренів рослин вирощених в умовах *in vitro*

Виявлено достовірно більш високий вміст флавоноїдів для культури R_i-коренів, ніж для коренів рослин вирощених в умовах *in vitro* виду *S. altissima*.

Таким чином, отримані дані дозволяють зробити висновок, що фармакологічно перспективною можна вважати культуру трансгенних коренів виду *Scutellaria altissima* L., що характеризувалася високим вмістом флавоноїдів.

Література:

1. Cole I. B *et al.* Comparisons of *Scutellaria baicalensis*, *Scutellaria lateriflora* and *Scutellaria racemosa*: genomesize, antioxidant potential and phytochemistry. *Planta Med.* 2008. Mar. Vol.74. No.4. P.474-481.
2. Гусєва О. О. Морфогенез видів роду *Scutellaria* L. та структура їх ценопопуляцій у Сибірі. Новосибірськ. 2019. 234 с.
3. Nurul Islam M., Downey F. & Ng C.K.Y. Comparative analysis of bioactive phytochemicals from *Scutellaria baicalensis*, *Scutellaria lateriflora*, *Scutellaria racemosa*, *Scutellaria tomentosa* and *Scutellaria wrightii* by LC-DAD-MS. *Metabolomics* 7. 2011.P.446-453.
4. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.* 1962. Vol.15. No.3. P.473-97.
5. Bertani G. Studies on lysogenesis. I. The mode of phage liberation by lysogenic *Escherichia coli*. *J. Bacteriol.* 1951. Sep. Vol.62. No.3. P.293-300. doi: 10.1128/jb.62.3.293-300.1951
6. Pękal A., Pyrzynska K. Evaluation of aluminium complexation reaction for flavonoid content assay. *Food Analytical Methods.* 2014. Vol.7. P.1776-1782.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.289776>

УДК 597.2.5

ВИКОРИСТАННЯ РИБ ЯК ІНДИКАТОРІВ СТАНУ ГІДРОЕКОСИСТЕМ (НА ПРИКЛАДІ ЧОРНОГО МОРЯ)

Марія МАДАНИ

Одеський національний технологічний університет

вул. Канатна, 122, Одеса 65039, Україна

e-mail: madanikader50@gmail.com

Трансформація водних екосистем, викликана антропогенними змінами на басейновому рівні, призвела до значного погіршення стану популяцій риб у більшості водойм України. Мета будь-якої реконструкції водойми - збільшення продуктивності або розширення спектру його використання, але структурна складність екосистем не дозволяє передбачити всі негативні зміни та процеси, які будуть розвиватися в результаті діяльності людини. У цьому контексті гострою є проблема визначення екологічних ризиків та тих індикаторних показників на біоценотичному та популяційному рівнях, які дозволять передбачити негативні зміни в екосистемах.

На даний момент рівень іхтіологічних досліджень не завжди дозволяє чітко визначити з якими процесами у водоймищах пов'язані зміни видового складу або структури популяцій риб. Саме тому є необхідність розробити теоретичні підходи використання риб як індикаторів стану гідроекосистем. Використання структурних особливостей популяцій і угруповань риб як біоіндикаторних показників має як переваги, так і недоліки порівняно з водними безхребетними, водоростями та вищими водними рослинами. До переваг цієї методики слід віднести відносно великі розміри об'єктів, відносну простоту визначення видової приналежності риб, можливість проведення досліджень з мінімальним застосуванням лабораторного обладнання, яке теж досить просте для визначення структурних характеристик популяцій риб. Найбільш суттєвими недоліками є складності визначення достовірних показників чисельності популяцій різних видів риб, рухливість представників іхтіофауни, що дозволяє їм уникати несприятливих умов існування, фактор вилучення риб у рибогосподарських цілях, що порушує структуру популяцій та угруповань.

Метою роботи є розробка теоретичних і практичних аспектів використання риб на популяційному та ценотичному рівнях як індикаторів екологічного стану водойми. Модельною акваторією для розкриття цих питань може бути Чорне море, оскільки у його басейні простежуються різні зміни як природного так і антропогенного походження. Крім того, іхтіофауна цієї водойми досить докладно вивчена як на рівні структури іхтіоценозів, так і на рівні окремих популяцій.

Матеріали та методи дослідження. Основою даної роботи послужили розроблені теоретичні підходи інших систематичних груп тварин [1]. Фактичні іхтіологічні матеріали у басейні Чорного моря збирали протягом 2019-2023 років. Аналіз уловів та особин риб здійснювався відповідно до стандартних іхтіологічних методів [2]. Під час робіт було сформовано базу даних з різних напрямів досліджень (структура улову, біологічний аналіз,

промислові улови, гідрологія, гідрохімія та ін.). Для статистичної обробки даних використовували програмний продукт Statistics 6.0.

Результати досліджень та їх обговорення. Більшість країн Західної Європи для біоіндикації використовують біотичні індекси для стандартного контролю якості води. В останнє десятиліття ХХ ст. в Європі та США спостерігалася тенденція розвитку біологічних методів оцінки в рамках екосистемного інтегрованого підходу. В Україні зараз відзначається інтерес дослідників у вивченні різних підходів до використання риб як індикаторів стану гідроекосистем [3]. Разом з тим слід зазначити певну складність використання риб як індикаторів, пов'язаних насамперед із такими недоліками:

- 1) емпіричні дані мають певну неоднозначність;
- 2) відсутність надійних критеріїв для вибору абсолютно адекватних біологічних показників з метою оцінки впливу на екосистеми;
- 3) проблема вибору «еталона» порівняння результатів оцінки;
- 4) близько 2/3 біотичних індексів базуються на донних макробезхребетних;
- 5) риби як біоіндикатори розглядаються дуже рідко;
- 6) можливості біоіндикації на основі структурних особливостей популяцій риб у водоймах України досліджено недостатньо;
- 7) переважна більшість досліджень з проблеми біоіндикації в Україні здійснюється на великих річках і водосховищах, натомість малі річки та солонуваті водоймища в цьому аспекті досліджені мало;
- 8) проблеми оцінки якості середовища з антропоцентричних та екосистемних позицій та проблеми визначення оптимального рівня антропогенного перетворення гідроекосистем;
- 9) постійно виникають нові загрози стійкості екосистем - це вимагає розширення можливостей біоіндикації;
- 10) у сфері біоіндикації Україна суттєво відстає від розвинених країн.

Водночас необхідність розвитку таких робіт очевидна. Виявлення іхтіологічних індикаторів на біоценотичному та популяційному рівнях, що характеризують стан гідроекосистем, надалі можуть бути основою для досліджень з метою передбачення змін та попередження екологічних ризиків у водоймах України. Деталізація залежностей між кількісними показниками, що характеризують структуру та динаміку іхтіоценозів і популяцій риб, з одного боку, і дію основних факторів впливу на іхтіофауну, з іншого, дозволяють виявити особливості структури іхтіоценозів і кількісні характеристики розмірно-масової, статеві структури популяцій риб, що відповідають певному рівню негативних змін у гідроекосистемах.

Аналізуючи існуючі підходи та методи, для Чорного моря найбільш прийнятними є 5 показників популяційного та ценотичного рівнів, які дозволять судити про різні зміни у водоймі:

1. Розмірна різноманітність особин популяції. Як відомо, кожна вікова група представлена особинами різного розміру, який залежить від якості середовища, тому їх розподіл за розмірними рядами буде відрізнятися. Для оцінки сучасного стану якості середовища найбільш інформативним буде аналіз, здійснений на молодняку і на рибі з коротким життєвим циклом, оскільки різноманітність розмірів старших вікових груп риб з довгим життєвим циклом може бути результатом дій, що мали місце в минулі періоди. Індикаторним показником у разі може бути коефіцієнт варіації [2]. Так, якщо екологічні умови середовища сприятливі для розвитку риб, то виживають і співіснують особини одного виду з широким діапазоном біологічних характеристик, наприклад, риби з різною довжиною та масою тіла. Якщо ж екологічні умови середовища несприятливі та впливають негативні фактори, то

спостерігається дія стабілізуючого відбору, який відсікає крайові варіанти та підтримує певний фенотип із вузьким діапазоном варіацій показників. Відповідно і коефіцієнт варіації кожного показника буде низьким за своїм значенням [3].

2. *Розмірно-масова структура популяції.* Показники структури популяції виду можуть бути непрямим відображенням впливу негативних чинників. Так, значна динаміка показників у розмірно-масовій структурі особин дає можливість говорити про наявність фактів надмірного вилову і підриву чисельності популяції. Використання даного показника можливе для видів, зі статевим диморфізмом за розмірами, які інтенсивно використовуються рибним промислом.

У Чорноморському басейні для характеристики цього показника можна використовувати бичка-кругляка *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814). Так, дослідивши динаміку значень середньорічних показників довжини тіла протягом останніх 60 років, встановлено, що вони знаходяться у прямій негативній залежності від інтенсивності промислу.

3. *Статева структура* особливо є важливим показником для риб, що мають статевий диморфізм. У певних умовах можуть існувати різкі відхилення від «нормального» співвідношенні статей у результаті дії різних природних та/або антропогенних факторів. Статева структура окремих видів риб значно змінюється, але переважно співвідношення близько 1:1 [1]. У період інтенсивного промислу бичків у Чорному морі виловлюються переважно самці, які більше за розміром, ніж самки. Це призводить до перерозподілу статей та накладає свій відбиток на формування врожайності поколінь у наступні роки. Так на початку 60-х років співвідношення статей у бичка-кругляка було лише на рівні 1:1,6 з переважанням самок. У результаті інтенсивного промислу вже наприкінці вказаного часу цей показник становив 1:1,9, що негативно позначилося на ефективності нересту та чисельності виду у наступні роки. Враховуючи таку залежність, можна констатувати, що перевага самок над самцями може бути показником рівня промислового вилучення та стану популяції бичка-кругляка у Чорному морі.

4. *Індивідуальна морфологічна мінливість* особин та наявність фенодевіацій. Для визначення рівня мінливості щодо природної популяції як цілісної генетико-еволюційної системи, перспективним є врахування стабільності індивідуального розвитку за такими ознаками, як рівень флуктуючої асиметрії та кількість фенодевіацій [4]. Остання, як своєрідна група змін, яка займає проміжне положення між якісними і кількісними ознаками, і вказує на спадкові відхилення від норми, дуже мінливі і трапляються з різною частотою. Як правило, у природних популяціях зустрічаються різні рівні відхилень, частота яких невелика, але в окремих випадках виявляється значною. Крім того, існує інший підхід до оцінки стабільності індивідуального розвитку риб в умовах антропогенного преса на екосистемі - аналіз морфологічних білатеральних ознак [4], при якому з'ясовується мінливість цих ознак на лівому та правому боці тіла.

У Чорному морі такі роботи було проведено для камбали-калкан чорноморської *Scophthalmus maeoticus* (Pallas, 1814). Серед характерних і чітко виражених, тобто таких, що не вимагають дуже пильного огляду риб, зустрічаються різні порушення у будові та топографії органів бічної лінії та правостороння форма тіла. Слід звернути увагу на те, що характер розташування на тілі бічної лінії, і розташування очей на лівій стороні тіла розглядаються як діагностичні ознаки на рівні сім'ї *Scophthalmidae* [1].

Аналізуючи подібні роботи у Малому Аджалицькому лимані та прилеглий частині Чорного моря у 2013-2023 рр., були встановлені подібні фенодівіанти для кефалі *Liza haematocheilus* (Temminck et Schlegel, 1845). Основними типами аномалій для виду в досліджуваному регіоні служили: викривлення хребта, недорозвиненість однієї зябрової кришки, викривлені плавці.

Частка їх становила 1 % і основною причиною таких змін вважаються близькоспоріднене схрещування.

Підсумовуючи, слід зазначити, що частота появи будь-якого фенотипу значно залежить від умов життя риб. Найважливішими факторами середовища, що впливають на частоту, ступінь прояву цих аномалій, є температура, надмірна або дефіцитна забезпеченість риби кормом, газовий режим водойми, рН води, рівень забруднення.

Наявність фенотипів у популяції можна розглядати як свого роду показник зниження генетичного гомеостазу та гомеостазу розвитку. Гени або поєднання генів, що не виявляються при добре збалансованому генотипі та оптимальних умовах існування, визначаються при порушенні генетичного балансу та в несприятливому середовищі [2].

Велика кількість асиметричних проявів у риб вказує на зниження життєздатності їх природних популяцій (груп) під впливом потужного антропогенного пресу, зокрема забруднення, і можуть бути використані як індикаторні показники стану навколишнього природного середовища.

5. *Видова та таксономічна різноманітність.* Інформація про таксономічну різноманітність функціональних груп гідробіонтів - індикатор умов середовища. Так, видове та таксономічне розмаїття матимуть максимальні значення для деяких середніх показників якості води та зменшуватимуться у напрямку до дуже чистих, оліготрофних, олігосапробних та дуже брудних гіпертрофних та полісапробних вод [5]. Також необхідно зазначити, що різноманітність видів риб залежить від багатьох гідрологічних, гідробіологічних, гідрохімічних та інших факторів. До найважливіших слід віднести такі як сила течії, глибина, прозорість, солоність, газовий режим, кормова база тощо. Всі перераховані вище фактори викликають вплив як безпосередньо, так і опосередковано як на конкретні види, так і в цілому на структуру іхтіоценозу.

Відомо, що зв'язок показників різноманітності та стійкості (стабільності) екосистем має не завжди відповідний, а іноді і суперечливий характер [4]. Постійність біосистем збільшується зі збільшенням різноманітності, але разом з тим зазначається, що не завжди різноманітність формується за рахунок стабільності екосистем [5]. Спираючись на вищевикладене, для іхтіофауни Малого Аджалицького лиману були виявлені наступні закономірності формування видового складу риб. Лиман слід віднести до нестабільних (динамічних) екосистем у зв'язку з тим, що одним з негативних факторів, що впливають на його біоту, можна назвати значну флуктуацію абіотичних компонентів екосистеми, які в свою чергу викликають такі ж зміни і в біологічних. Деяка недовготривала стабільність абіотичних показників відзначалася в 50 - 60-ті рр. XX ст. Починаючи з 1972 р. водоймище характеризувалося вже значною динамікою гідроекологічних умов, причиною яких стали зміни гідрологічних і гідрохімічних режимів. Кількість видів риб у Малому Аджалицькому лимані протягом усіх періодів залежить від солоності води, підтвердженням цього є кореляційний зв'язок цих показників (-0,94). Оптимальними значеннями мінералізації, при яких реєструється найбільший видовий склад, є 13,3 - 17,0 г/дм³. За таких умов спостерігається максимальна кількість промислових видів та висока рибопродуктивність лиману. Зате, при погіршенні пропускної спроможності протоки і підвищенні солоності, цінні промислові види замінюються дрібними непромисловими представниками іхтіофауни (кореляційна залежність солоності та кількості промислових видів становить 0,84). Наочним прикладом цього факту є поступове падіння частки промислових видів: у 50-ті роки XX ст. їхня частка становила 27 %, у 60-ті рр. XX ст. – 20 %, 1995 р. – 17 %, 2020 р. – 14 %. Також досить логічним є взаємозв'язок солоності з кількістю прісноводних риб, що зустрічаються в лимані, де показник кореляції цих факторів становить 0,86.

Висновки

1. У результаті аналізу різних підходів у галузі біоіндикації якості води та стану гідроекосистем, слід відзначити перспективність використання іхтіологічних показників. Їх доцільно використовувати як біоіндикатори на популяційному та ценотичному рівнях.

2. На популяційному рівні перспективними для біоіндикації є такі показники: розмірна різноманітність особин популяції з використанням показника варіації; розмірно-масова структура популяції з показниками середніх багаторічних даних довжини або маси тіла; статева структура з показниками збільшення чи зменшення частки особин однієї статі; індивідуальна морфологічна мінливість особин та кількість фенотипів.

3. На ценотичному рівні як індикатори доцільно використовувати показники: кількість видів риб, індекси різноманітності та різноманітність риб з різним ступенем стено- та еврибіонтичності.

Література:

1. Гончаренко Н. І. Біоіндикація водного середовища на іхтіологічному матеріалі. Коефіцієнт варіації показників. Канів, 2008. 45 с.

2. Клименко М.О., Гріховина Ю.Р. Оцінка екологічного стану водних систем річок басейну Прип'ять за вищими водними рослинами. Рівне: НУВГП, 2005.

3. Никифоров В. В., Дігтяр С. В., Мазницька О. В., Козловська Т. Ф. Біоіндикація та біотестування : навч. посіб. Кременчук: Вид-во ПП Щенбатих О. В., 2016. 76 с.

4. Гончаренко Н. І. Біоіндикація водного середовища на іхтіологічному матеріалі. Коефіцієнт варіації показників. *Сучасні проблеми теоретичної та практичної іхтіології*. Канів, 2008. С. 43-45.

5. Шевченко П. Г. Встановлення видів риб-біоіндикаторів та оцінка загального стану водного середовища озер Шацького національного природного парку за іхтіологічними показниками. *Таврійський науковий вісник. Збірник наукових праць ХДАУ*, 2010. Вип. 68. С. 116–122.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.291001>

УДК 604.7:57.085.2:633.88

КУЛЬТИВУВАННЯ *IN VITRO* РОСЛИН АСТРАГАЛУ ШЕРСТИСТОКВІТКОВОГО (*ASTRAGALUS DASYANTHUS PALL*), ЗАНЕСЕНОГО ДО ЧЕРВОНОЇ КНИГИ УКРАЇНИ

Олександр МАНЖУРА, Олена КВАСКО

Національний університет біоресурсів і природокористування України

вул. Героїв Оборони, 15, Київ 03041, Україна

e-mail: kvasko.olena@gmail.com

Збереження та відновлення біорізноманіття є глобальною проблемою в Україні та світі загалом, вирішення якої потребує залучення новітніх технологій. Останнім часом особливої актуальності набуває використання методів культури тканин рослин *in vitro* для запобігання зниження чисельності видів, зокрема тих, які занесені до Червоної книги України, та забезпечує збереження генетичних ресурсів [1].

Рід *Astragalus* належить до родини Бобових (Fabaceae) і налічує понад 3000 видів [2]. Деякі види роду *Astragalus* мають досить широкий спектр застосування в медицині та фармакології як рослини, що мають гіпотензивну, седативну, імуностимулюючу, гепатопротекторну активності [3]. До Червоної книги України (2009) занесено 18 видів роду *Astragalus* з природоохоронним статусом «вразливий», зокрема *Astragalus dasyanthus* - трав'яниста багаторічна лікарська рослина із широким спектром фармакологічних властивостей [4]. Так, рослини астрагалу шерстистоквіткового містять тритерпенові глікозиди (дазіантозиди), флавоноїди (кемпферол, кверцетин, ізорамнетин та астрагалозид), дубильні речовини, кумарини та оксикумарини, амінокислоти, вітаміни, токоферола. Астрагал відноситься до рослин, що накопичують селен та різноманітні макро- та мікроелементи (кальцій, кремній, алюміній, залізо, магній, кобальт, цинк, мідь, марганець, молібден, хром). [5]. На даний момент Україна є недостатньо забезпечена лікарською рослинною сировиною. Однією з причин є низька насіннева продуктивність культури.

Для більшості видів роду *Astragalus*, які потребують заходів по збереженню їх чисельності, кількість розроблених ефективних протоколів культивування *in vitro* є недостатньою. Підбір та оптимізація методів введення в асептичну культуру з подальшим мікроклональним розмноженням видів роду *Astragalus*, що занесені до Червоної книги України, є актуальним завданням, направленим на збереження біорізноманіття цих рослин.

Отже, метою роботи було оптимізувати склад живильного середовища для мікроклонального розмноження рослин *Astragalus dasyanthus* Pall. з метою збереження та відновлення біорізноманіття.

Вихідним матеріалом слугувало насіння рослин *A. dasyanthus*. Асептичні рослини астрагалу шерстистоквіткового отримували шляхом поверхневої стерилізації насіння. Для цього насіння послідовно витримували у 70% етанолі (30 сек), 25%-му розчині гіпохлориту натрію (комерційний препарат «Білизна») та промивали стерильною дистильованою водою

(тричі по 10 хв). Насіння не піддавали попередній скарифікації та пророщували на живильному середовищі Мурасиге та Скуга (МС) [6] з додаванням 1,0 мг/л бензиламінопурину (БАП). Отриманні асептичні пагони культивували на живильних середовищах з різним вмістом макроелементів та регуляторів росту. Так, для мікроклонального розмноження використовували середовища МС з повним вмістом макроелементів та ½ МС зі зменшеним вдвічі їх вмістом. До кожного з цих додавали регулятори росту бензиламінопурин (БАП) та кінетин у концентраціях 0,1; 0,25; 0,5 мг/л, а також індолілмасляну кислоту (ІМК) у концентраціях 0,01; 0,025; 0,05; 0,1 мг/л.

Результати досліджень показали, що за обраних умов стерилізації відсоток життєздатних стерильних насінин складав 70%, що є достатньо високим показником для досліджуваного виду рослин (табл. 1.1). Варто зазначити, що отримана кількість стерильних рослин *A. dasyanthus* є досить великою, враховуючи те, що ні хімічна, ні механічна скарифікація насіння не проводилася.

Таблиця 1.1. Ефективність введення в культуру *in vitro* рослин астрагалу шерстисто-квіткового

Схема стерилізації	Відсоток життєздатних стерильних, %	Відсоток заражених насінин, %	Відсоток насінин, що не проросло, %
70% етанол (1хв), «Білизна» (10 хв), тричі по 10 хв стерильна дистильована вода	70	8	22

Дослідження впливу компонентів живильного середовища на ефективність мікроклонального розмноження рослин *Astragalus dasyanthus* показало, що концентрація макроелементів суттєво не впливає на кількість утворених пагонів на одну вихідну рослину. Так, при культивуванні на середовищі ½ МС даний показник складав $8,83 \pm 0,28$ пагонів на одну вихідну рослину, тоді як за умов культивуванні на середовищі МС — $8,50 \pm 0,25$ пагонів на одну вихідну рослину.



Рис. 1.1. Вплив поживного середовища на кількість утворених пагонів на рослину

Додавання в живильне середовище регуляторів росту, зокрема БАП та кінетину значно впливає на кількість утворених пагонів на одну вихідну рослину. Так, на живильному середовищі МС з додаванням БАП у концентрації 0,5 мг/л ми отримали 20,0±1,0 пагонів на рослину (рис. 1.2. А), тоді як на живильному середовищі МС з додаванням кінетину у концентрації 0,5 мг/л отримано 14,50±0,30 пагонів на рослину (рис. 1.2. Б). Отже, додавання БАП є більш ефективним для мікроклонального розмноження в порівнянні з кінетином (рис. 1.1.).

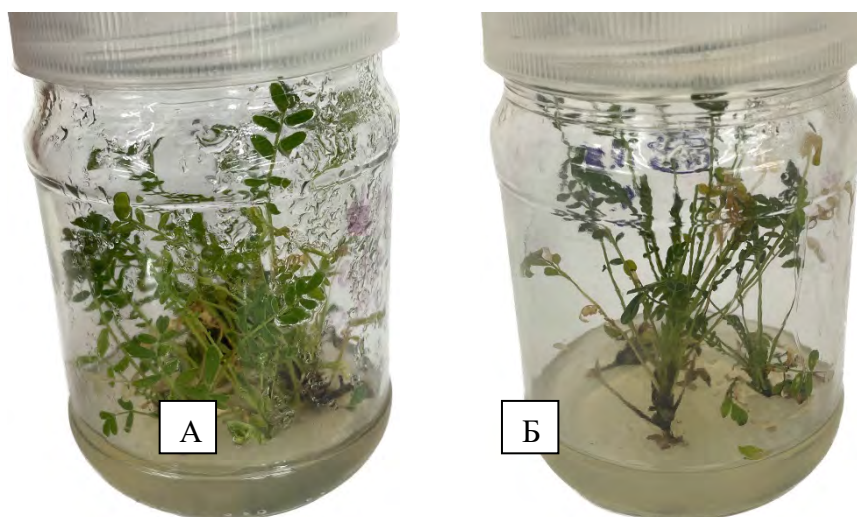


Рис. 1.2. Рослини астрагалу шерстистоквіткового за умов культивування на середовищах різного складу: А - *Astragalus dasyanthus* на живильному середовищі МС 0,5мг/л БАП 0,05мг/л ІМК; Б - *Astragalus dasyanthus* на живильному середовищі МС 0,5мг/л кінетину 0,05мг/л ІМК.

Таким чином, для отримання асептичних рослин скарифікація насіння не є обов'язковою, для пророщення є оптимальним використання живильного середовища Мурасіге і Скуга з додаванням 1,0 мг/л БАП. Оптимальним середовищем для мікроклонального розмноження є живильне середовище МС з додаванням 0,5мг/л БАП.

Література:

1. Белокурова В. Б. Методи біотехнології в системі заходів зі збереження біорізноманіття рослин / В. Б. Белокурова // Цитология и генетика. 2010. Т. 44. № 3. С. 58-72.
2. Plants of the World Online — Kew Science. <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:330028-2>
3. Волошин О. І., Бачук-Понич Н. В., Кардаш Г. Я. Рослини роду астрагал та їх застосування у клінічній і народній медицині. Фітотерапія. Часопис. 2016. №2. С. 7-10.
4. Кір'ян В. М., Глущенко Л. А., Богуславський Р. Л. Генофонд рослин лісостепу України. ISSN 2309-7345. Генетичні ресурси рослин. 2018. № 23. DOI: 10.36814/pgr.2018.23.01
5. Ionkova I. Astragalus Species (Milk Vetch): *In Vitro* Culture and the Production of Saponins, Astragaline, and Other Biologically Active Compounds. Biotechnology in Agriculture and Forestry, 1995. P. 97–138.
6. Murashige T. and Skoog F. A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. Plant Physiology. 1962. Vol. 15. P. 473-497.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.291055>

УДК 504.055

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ УРБООКОСИСТЕМИ НА ЖИВІ ОРГАНІЗМИ (НА ПРИКЛАДІ МІСТА ХМЕЛЬНИЦЬКОГО)

Наталія МІРОНОВА, Ольга ЄФРЕМОВА,
Артур ФОРОСТОВСЬКИЙ, Яна ГУРОВСЬКА

Хмельницький національний університет
вул. Інститутська, 11, м Хмельницький 29016, Україна
e-mail: miroнова72n@ukr.net

Технологічний прогрес є потужним фактором негативного впливу на живі організми. Найбільш інтенсивно це проявляється в урбоекосистемах, що характеризуються значною концентрацією джерел параметричного та енергетичного забруднення. Електромагнітні поля (ЕМП) всіх частот являють собою один із найпоширеніших і швидко зростаючих впливів навколишнього середовища, щодо якого поширюються тривоги та припущення.

Сучасні технології стали причиною повсюдного електромагнітного забруднення (електросмогу) через генеровані ЕМП та електромагнітне випромінювання. Антропогенні джерела ЕМП включають медичне обладнання (наприклад, МРТ), електричні прилади, що працюють на частотах 50/60 Гц, а також різноманітне бездротове, телекомунікаційне та радіомовне обладнання з робочими частотами 100 кГц-300 ГГц. У багатьох випадках ці забруднення є сильнішими, ніж будь-які природні джерела ЕМП [1]. При цьому цей вплив однозначно зростатиме, оскільки до мільйонів радіочастотних передавачів, що вже функціонують, додаються нові технології.

Зараз усі групи населення піддаються впливу ЕМП різної потужності. Всесвітня організація охорони здоров'я у 2007 році представила підсумковий звіт міжнародної дослідницької програми «Електромагнітні поля» [2], у якому була зазначена необхідність обережної оцінки впливу електромагнітних полів, що пов'язано із браком наукової інформації з питань їх впливу на населення, у тому числі з боку таких джерел, як системи безпеки та розмагнічування, індукційне приготування їжі, водонагрівальні прилади, мобільний зв'язок тощо. Проведена у 2018 році оцінка більш ніж двох тисяч досліджень (включно з дослідженнями *in vitro* та *in vivo*) показала, що в більшості досліджень (68,2 %) були продемонстровані біологічні ефекти або ефекти для здоров'я людини, що пов'язані з впливом антропогенних ЕМП [3].

На теперішній час вкрай бракує досліджень щодо впливу на тваринні та рослинні організми. Дослідження впливу антропогенних ЕМП найбільше проводилось для комах, зокрема їх негативний вплив визначений для бджіл, які належать до видів, що використовують для навігації чутливу до антропогенних ЕМП магніторецепцію [4]. Враховуючи важливість живих організмів і їх біорізноманіття для урбоекосистем актуальним залишається вивчення впливу ЕМП, що формуються у межах міста, на стан рослин.

Метою роботи є визначення параметрів ЕМП урбоекосистеми міста Хмельницького, а також дослідження їх впливу на рослинні організми.

Урбоєкосистема міста Хмельницького відноситься до середніх і поширюється на площі близько 9,3 тис. га з населенням 272 тис. осіб (станом на 01.01.2021 р.). Урбоєкосистема сформована на чотирьох вододілах вздовж долини р. Південний Буг. Штучними факторами поділу території урбоєкосистеми є магістральні залізниці та автошляхи. Житлова забудова представлена одно-три- та багатоповерховими будинками, на сьогодні продовжує формуватись. Промисловий комплекс представлений підприємствами, які виготовляють широкий спектр продукції, серед якої найбільше припадає на виробництво гумових і пластмасових виробів, виробництво харчових продуктів, одягу тощо. Внаслідок вдалого геопросторового розташування місто є потужним центром торгівлі, має розвинуту інфраструктуру з надання широкого спектра послуг.

Основні штучні джерела електромагнітного випромінювання міста включають: високовольтні лінії електропередач, трансформаторні підстанції; телевізійні та радіотрансляційні станції; пристрої, що забезпечують мобільний зв'язок; промислові установки високочастотного нагрівання; фізіотерапевтичні прилади; побутова та промислова техніка. Більша частина джерел рівномірно поширена в урбоєкосистемному просторі за виключенням високовольтних ліній електропередач, що локалізовані на околицях міста.

Вимірювання параметрів ЕМП у хмельницькій урбоєкосистемі проводили в 34 точках, рівномірно розподілених по площі міста у різних функціональних зонах, приладом ТМ-190 Multi-Field EMF Meter.

Найменші значення магнітного поля склали 0,01-0,02 μT ; показник, що характеризує електричну складову поля (напруженість електричного поля) коливався у межах 3-6 V/m; найбільші показники магнітної та електричної складової ЕМП дорівнювали відповідно 1,00-1,16 μT та 1200-1400 V/m. Максимальні значення показників ЕМП характерні для околиць міста (4 точки), де розташовані високопотужні лінії електропередач. З наближенням до центру міста сила ЕМП послаблюється. У жилих мікрорайонах та на рекреаційних ділянках із зеленими насадженнями інтенсивність ЕМП найменша. Згідно з Державними санітарними нормами і правилами захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань, затверджених Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 01.08.1996 № 239 за гранично допустимі рівні (ГДР) прийняті такі значення напруженості електричного поля: всередині житлових будинків – 500 V/m, на території зони житлової забудови – 1000 V/m, у населеній місцевості, поза зоною житлової забудови – 5000 V/m.

Таким чином виміряні параметри напруженості електричного поля в умовах хмельницької урбоєкосистеми у різних функціональних зонах не перевищують ГДР, проте подальша розбудова міста потребуватиме виважених містобудівних рішень, особливо якщо розширення селітебної забудови міста плануватиметься за рахунок територій його околиць.

Гігієнічна регламентація та дослідження впливу магнітного поля на людину, що проводяться за ініціативи Всесвітньої організації охорони здоров'я, досі тривають. У діючих документах використовується показник напруженості магнітного поля (А/м), який унормований лише для робочої зони. Відповідно до Європейських рекомендацій, наведених в ДБН В.2.5-24:2012 (Додаток Е), магнітне поле у приміщеннях житлового та громадського призначення не повинно перевищувати 0,1 μT . Близько 60 % проведених нами вимірювань мають значення менші, ніж 0,1 μT , при цьому із зменшенням напруженості електричного поля зменшується і магнітне (коефіцієнт кореляції складає 0,95). В цілому можна зазначити, що для більшої частини міста характерний комфортний низький рівень магнітного поля.

Вплив ЕМП на рослинні організми визначали методом біотестування з використанням як тест-об'єктів *Lepidium sativum* L. та *Allium cepa* L. у 5-кратній повторності, пророщених за найбільших середніх значень магнітного поля, визначених для хмельницької урбоєкосистеми, а

саме 1,1 μT . Для контролю проростки вирощували за найменшого показника магнітного поля (0,01 μT).

Проростки *Lepidium sativum* L. з'явилися в дослідних та контрольних зразках на третій день. Різниця схожості складала відповідно 14 %. Результати тестування наведені на рис. 1.

Дослідні зразки крес-салату в цілому показали кращі результати за діагностичними параметрами біотестування, зокрема середня довжина та маса коренів у дослідних зразках відповідно в 1,4 та 1,8 раза вища, ніж в контролі, середня довжина та маса пагонів – відповідно в 1,4 та 1,22 раза вища в дослідних зразках, ніж у контрольних. Хоча зразки контролю мали менші розміри, проте при візуальному огляді, особливо пагонів, вони були більш цупкими та пружнішими, ніж дослідні зразки.

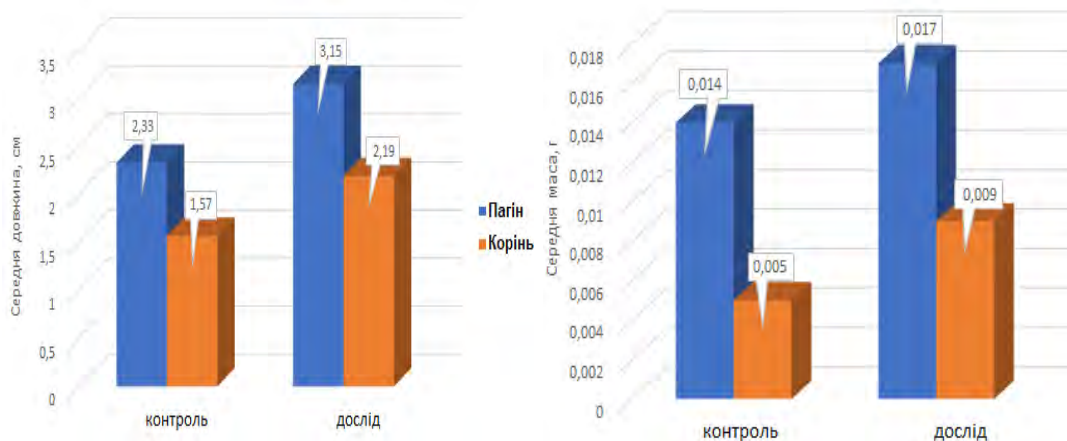


Рис. 1. Результати біотестування з використанням *Lepidium sativum* L.

На восьмий день дослідні зразки почали в'янути. Отже, на перших етапах проростання та росту тест-об'єктів *Lepidium sativum* L. потужніший електромагнітний вплив обумовлював більші значення середньої довжини та маси, проте морфологічні характеристики були гірші, також менш насиченим був зелений колір паростків, а наприкінці досліду починали з'являтися ознаки в'янення.

Після чотириденного пророщування *Allium cepa* L. відділяли корінці та проводили їх морфометричну оцінку, результати якої представлені на рис. 2.

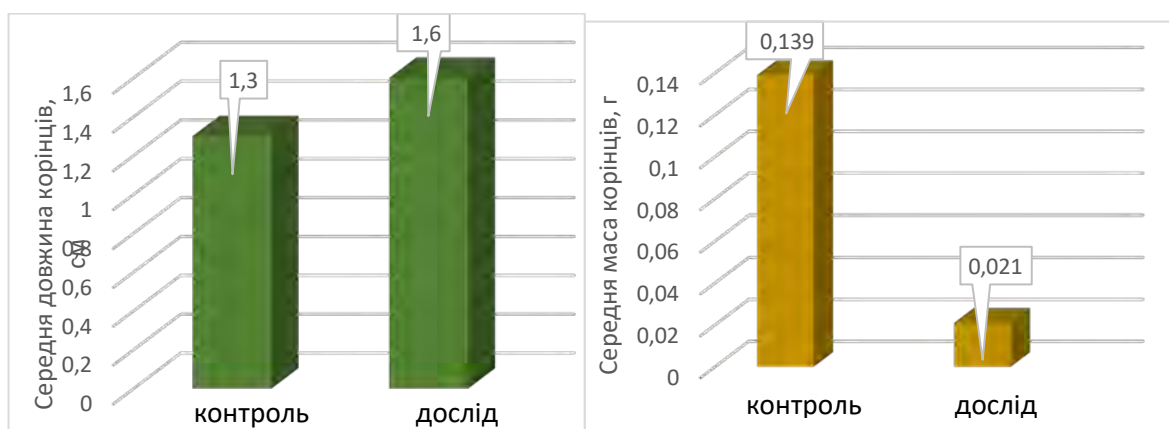


Рис. 2. Результати біотестування з використанням *Allium cepa* L.

Середня довжина корінців у досліді майже на 20 % вища, ніж у контролі, проте їх маса майже у 6 разів менша, отже ріст корінців дослідних зразків стимулюється високими значеннями ЕМП і водночас випереджає накопичення маси. Як і в досліді з крес-салатом, це призводить до погіршення структури та зовнішнього вигляду. В цілому це свідчить про стимулюючий вплив ЕМП у межах 1,1 μT магнітного поля на рослини на початковому етапі, але в подальшому це призводить до деформації співвідношення морфологічних показників і погіршення стану дослідних зразків порівняно із контролем.

Таким чином, визначені рівні електромагнітного випромінювання на території урбоекосистеми міста Хмельницького за показниками магнітного поля та напруженості електричного поля переважно відповідають нормам чи рекомендаціям та варіюють залежно від функціонального призначення території та джерел ЕМП. Найбільші значення характерні для околиць міста, де у разі розширення урбанізованого простору можуть бути перевищення, оскільки для забудованих територій висуваються більш жорсткі вимоги, ніж до територій поза зоною житлової забудови. За максимальних значень, зафіксованих на території хмельницької урбоекосистеми, вплив ЕМП на рослинні організми проявляється у випередженні росту тест-об'єктів порівняно із накопиченням біомаси, що обумовлює погіршення структури рослинних організмів.

Література:

1. Grzegorz Redlarski, Bogdan Lewczuk, Arkadiusz Żak, Andrzej Koncicki, Marek Krawczuk, Janusz Piechocki, Kazimierz Jakubiuk, Piotr Tojza, Jacek Jaworski, Dominik Ambroziak, Łukasz Skarbek, Dawid Gradolewski. The Influence of Electromagnetic Pollution on Living Organisms: Historical Trends and Forecasting Changes, *Biomed Res. Int.* 2015, doi: 10.1155/2015/234098.
2. World Health Organization. Extremely Low Frequency Fields. Geneva, Switzerland: WHO; 2007. (Environmental Health Criteria Monograph). – Режим доступу : <https://www.who.int/publications/i/item/9789241572385>.
3. Priyanka Bandara, David Carpenter. Planetary electromagnetic pollution: it is time to assess its impact, *Planetary-health*. Vol 2, pp. 512-514, 2018. – Режим доступу: <https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S2542-5196%2818%2930221-3>.
4. Ritu Ranjan Taye, Mukul Kumar Dea, Shimantini Borkataki, Siddharth Panda, Jaya Gogoi Taye R., Dea M. Rahman A, Bathari M. Effect of Electromagnetic Radiation of Cell Phone Tower on Development of Asiatic Honey Bee, *Apis cerana* F. (Hymenoptera: Apidae). *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, Vol. 7, No. 8, pp. 4334-4339, 2017, doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.708.454>.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.291014>

УДК 58.085

ОТРИМАННЯ КУЛЬТУРИ ТРАНСГЕННИХ КОРЕНІВ *ROBINIA PSEUDOACACIA* L. ШЛЯХОМ AGROBACTERIUM-ОПОСЕРЕДКОВАНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

Олександр ПОРОВСЬКИЙ, Юлія ЛУЧАКІВСЬКА

Київський Палац дітей та юнацтва

вул. Івана Мазепи, 13, Київ 01010, Україна

e-mail: sashaporovsky@gmail.com

Культура «волохатих» коренів — це поширена трансгенна культура, отримана за допомогою *Agrobacterium rhizogenes*. Культури трансгенних коренів використовують у фармакології (для накопичення цінних вторинних метаболітів [1], для біосинтезу рекомбінантних фармацевтичних сполук [2] тощо), для фіторемедіації (наприклад, важких металів [3]) тощо. До переваг використання трансгенних кореневих культур для фармакологічних або фіторемедіаційних цілей відносять відносно низьку собівартість їх отримання та культивування через невибагливість до складу середовища, температурного та світлового режиму, швидкий приріст біомаси, відсутність геотропізму тощо.

Для нашого дослідження була обрана *Robinia pseudoacacia* L. через її здатність до ремедіації ґрунтів від важких металів [4]. Але в той же час акацію з 2023 року в Україні вважають інвазивним видом [5], тому інтродукція акації на території нашої країни для ремедіації стічних вод чи ґрунтів є неможливою. Отже, ми пропонуємо використання культури трансгенних коренів для очищення ґрунтів та стічних вод від забруднення важкими металами, в тому числі зумовленого воєнними діями.

Відповідно, метою даного дослідження було отримати культуру волохатих коренів *R. pseudoacacia* шляхом *Agrobacterium rhizogenes*-опосередкованої трансформації для подальшого дослідження їх здатності до фіторемедіації.

Насіння *R. pseudoacacia* L. промивали у мильному розчині (приблизно 15 хв), потім стерилізували у 70% розчині етанолу протягом 1 хв, надалі — в 50% розчині H_2O_2 протягом 10 хв та культивували на середовищі Мурасіге-Скруга (MS) [6], за температури +22-24 °С.

Для *Agrobacterium*-опосередкованої генетичної трансформації використовували штам А4 *Agrobacterium rhizogenes*, люб'язно наданий Інститутом клітинної біології та генетичної інженерії НАН України. Нічну бактеріальну культуру отримували у м'ясо-пептонному бульйоні на шейкер-інкубаторі при температурі +28 °С та 200 об./хв. Надалі бактеріальні клітини осаджували центрифугуванням (4000 об./хв), та ресуспендували у рідкому середовищі MS з додаванням 200 мкМ ацетосирингону. Агробактеріальну трансформацію стеблових експлантів проводили шляхом співкультивування з бактеріальною культурою. За добу інокульовані експланти перенесли на тверде середовище MS із додаванням 400 мг/л антибіотика цефотаксиму для елімінації бактерії, де отриману культуру пасажували кожні 2 тижні.



Рис.1. Рослини акації в умовах *in vitro*

Ініціацію *Ri*-різогенезу на середовищі MS з додаванням 400 мг/л антибіотика цефотаксиму спостерігали приблизно на другий тиждень. Частоту генетичної трансформації визначали як співвідношення кількості точок ініціації *ri*-різогенезу до загальної кількості експлантів. Вона складала 29,6% у наших дослідженнях. Попри наші сподівання, збільшення тривалості культивування під час трансформації рослинних експлантів з суспензійною бактеріальною культурою призводило до зниження частоти трансформації внаслідок підвищення відсотка некротизації рослинних тканин.



Рис. 2. Ініціація *Ri*-коренетворення на стеблових експлантах

Утворені корені на стеблових експлантах характеризувалися *Ri*-фенотипом (відсутністю геотропізму та характерною опушеністю), але спершу активна ініціація коренетворення надалі сповільнювалася, приріст біомаси був відносно невисоким, через що ініційовану культуру коренів переносили на середовище Гамборга (B5) [6] із додаванням 400 мг/л цефотаксиму та вдавалися до зміни температурного режиму та умов освітлення. Проте жодні зміни умов культивування не призвели до активізації темпів накопичення біомаси, можливо, внаслідок

видових особливостей розвитку культури коренів *Robinia pseudoacacia* L.

Тотальну рослинну ДНК екстрагували згідно Doyle J.L. та Doyle J.J. [8]. Присутність *rolB* гену підтверджували за допомогою аналізу методом ПЛР (розмір фрагмента 780 п.н., нуклеотидна послідовність праймерів: 5'-atggatcccaaatgctattcctccacga-3', 5'-ttaggcttcttcttcaggtttactgcagc-3'). Продукти реакції фракціонували в 1% агарозному гелі у присутності бромистого етидію в трис-боратній буферній системі. ПЛР-аналіз дозволив виявити присутність агробактеріального *rolB* гену у досліджуваних зразках, що підтверджує трансгенну природу отриманої кореневої культури.

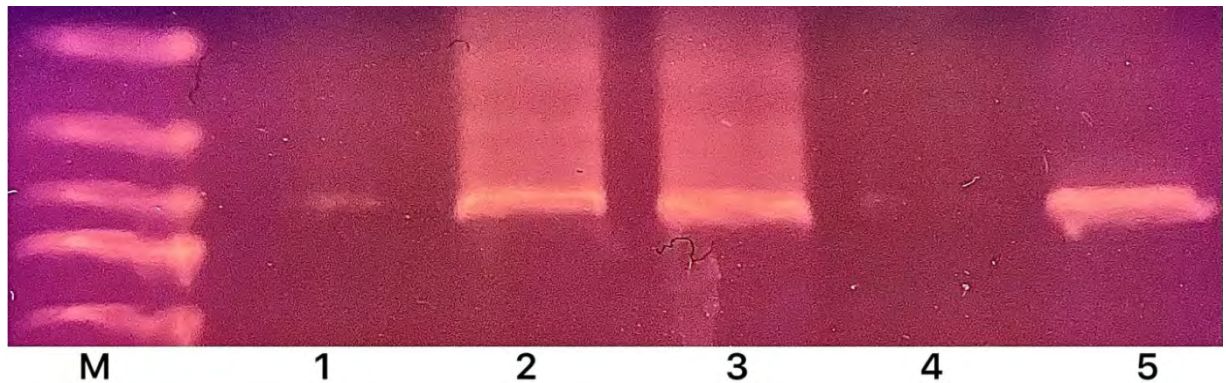


Рис.3. Електрофореграма ПЛР-аналізу на присутність *rolB* гену:

M – Маркер (2 kb Plus DNA Ladder, Fermentas); *1* – негативний контроль (проба без ДНК); *2,5* — позитивний контроль (плазмідна ДНК *Agrobacterium rhizogenes* A4); *3,4* – ДНК аналізованих зразків культури «волохатих» коренів.

Таким чином, було отримано культуру «волохатих» коренів рослин *R. pseudoacacia* L. та підтверджено їх трансгенне походження. В подальшому нами планується проведення досліджень фіторемедіаційної здатності отриманих культур.

Література

1. M. Skarjinskaia *et al.* Hairy Roots as a Vaccine Production and Delivery System. *Adv Biochem Eng Biotechnol.* Vol. 134, pp 115-134, 2013, DOI: 10.1007/10_2013_184
2. M. I. Georgiev, A. I. Pavlov, T. Bley Hairy root type plant in vitro systems as sources of bioactive substances. *Appl Microbiol Biotechnol.* Vol. 74, pp. 1175–1185, 2007, DOI 10.1007/s00253-007-0856-5
3. E. Agostini, M.A. Talano, P.S. González, *et al.* Application of hairy roots for phytoremediation: what makes them an interesting tool for this purpose? *Appl Microbiol Biotechnol* Vol. 97, pp.1017–1030, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4658-z>
4. M. Fan, Enhanced phytoremediation of *Robinia pseudoacacia* in heavy metal-contaminated soils with rhizobia and the associated bacterial community structure and function, *Chemosphere.* Vol.197, pp.729-740, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.102>
5. Наказ №695/39751 від 05/05/2023 Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України
6. T. Murashige, F. Skoog A revised medium for rapid growth than bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol Plant,* Vol.15, №3, pp. 473– 97, 1962.
7. O. Gamborg, R. Miller, and K. Ojimi, Nutrient Requirements of Suspension Cultures of Soybean Root Cells. *Experimental Cell Research,* Vol.50, pp.151-158, 1968, doi: 10.1016/0014-4827(68)90403-5
8. J.J. Doyle, J.L. Doyle Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus,* №12, pp.13-15, 1990.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.291377>

UDC: 578.3:582.635.38

THE VIRUS RANGE OF HOP PLANTS: IDENTIFICATION KEY

Nazarii SUS

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS
12, Metrolohichna Str, Kyiv 03143, Ukraine

e-mail: email@nazariy-sus.com

The term "virus range" was coined by Christie and Crawford in 1978, by analogy with the term "host range", to denote all viruses that can infect a particular host species [1]. Studying the virus range of a particular host species, similar to investigating the host range of a particular virus, plays an essential role in improving the understanding of virus-host-environment interactions [2]. However, investigating the virus range of a particular host necessitates employing approaches that do not rely on *a priori* information about which viruses might be present in the sample to detect all viruses it contains. One of these approaches involves the preliminary inspection of samples under the transmission electron microscope (TEM), followed by identifying the observed viruses using serological and nucleic acid-based techniques [3]. However, identifying the virus species observed in a sample under the TEM also requires the development of identification keys, based on the shape and size of virions.

The viral diseases of the common hop (*Humulus lupulus* L.) have been studied for centuries. Numerous authors in different periods have reported various numbers of viral diseases of hop and virus species infecting this plant. For example, Schmidt and Klinkowski listed 11 viroses of hop in Europe in 1965 [4]. However, before the implementation of serological techniques, the causative agents of hop viroses were characterized by diagnostic species and a combination of symptoms of the disease they cause in those species and the hop themselves. Hence, determining the taxonomic position of the pathogens that caused diseases described during that period, such as those documented by Schmidt and Klinkowski, is impossible. For example, Adams and others revealed that arabis mosaic virus (ArMV) causes hop chlorotic disease in England, whereas Eppler indicates hop mosaic virus (HMV) as the causative agent of this disease in Germany [5, 6]. Nevertheless, many authors identified numerous virus species that infect the common hop and can be re-identified by other researchers by using serological and nucleic acid-based techniques. Thus, Pethybridge and colleagues performed a meta-analysis of studies on viruses infecting hop plants and listed 15 identifiable virus species [7].

Therefore, the study aimed to gather information about the virion size and shape of viruses belonging to the virus range of the common hop and to develop the identification key. To this end, the author was searching for information about the virion size and shape of viruses listed by Pethybridge and others [7]. The compiled information is presented in the table.

Table 1. The virion size and shape of viruses infecting hop

Species	Shape	Size, nm	Reference
Alfalfa mosaic virus, AIMV	bacilliform	30 - 56 × 19*	7
	bacilliform	61 × 17.8**	8
American hop latent virus, AHLV	filamentous	676 × 14.4	9
Apple mosaic virus, ApMV	quasi-isometric	24 × 26 - 28	10
	isometric	24	10
	isometric	22	10
	isometric	25	11
	isometric	32	11
	quasi-isometric	30 × 30 - 36	11
Arabidopsis mosaic virus, ArMV	isometric	25 - 30*	7
	polyhedral	30***	12
Cherry leaf roll virus, CLRV	isometric	25 - 30*	7
Cucumber mosaic virus, CMV	isometric	25-30*	7
	isometric	30***	12
Hop latent virus, HLV	filamentous	678 × 15.2	9
	filamentous	650 × 13	10
Hop mosaic virus, HMOV	filamentous	651 × 13.8	13
	filamentous	625 × 13	14
	filamentous	655 × 13.5	8
	filamentous	630 - 680 × 2 8	15
Humulus japonicus latent virus, HJLV	quasi-isometric	24 - 33	16, 17
Petunia asteroid mosaic virus, PeAMV	isometric	32 - 35*	7, 18, 19
Prunus necrotic ringspot virus, PNRSV	isometric, bacilliform	23, 25, 27*	7
	isometric	40	20
	isometric	28 - 30	21
	quasi-isometric	25**	22
	quasi-isometric	31**	22
Raspberry bushy dwarf virus, RBDV	isometric	33*	7
Strawberry latent ringspot virus, SLRSV	isometric	30*	7
Tobacco mosaic virus, TMV	rod-shaped	300 × 18*	7
Tobacco necrosis virus, TNV	isometric	28*	7
	isometric	26	23
	isometric	27 - 28	21
Tobacco ringspot virus, TRSV	isometric	25 - 30*	7

Notes: *The size and shape are listed for the virus species in general, not for the strain infecting hop [7]; **The sizes of virions were measured by the author using the website <https://eleif.net/photomeasure> and the micrograph published in the paper by Yu and Liu, as the authors did not specify the virion sizes [8]. The size is indicated as the average value for 5 virions and was calculated in relation to the size of the bar; ***The author consistently confuses μm with nm in its publication.

According to the table, the viruses infecting hop plants can be distinguished by reference to the following identification key.

Identification key to the virus range of hop plants

1(2). Virions are isometric and / or quasi-isometric and / or bacilliform, with the biggest dimension being less than 100 nm. – Group of isometric, quasi-isometric, and bacilliform viruses (AIMV, ApMV, ArMV, CLRV, CMV, HJLV, PeAMV, PNRSV, RBDV, SLRSV, TNV and TRSV).

2(3). Virions are rod-shaped, ca. 300 nm in length. – TMV.

3. Virions are filamentous, longer than 500 nm. – *Carlavirus complex* (AHLV, HLV, and HMV).

The identification results obtained from the key should be confirmed or specified by serological or nucleic acid-based techniques. In future work, the identification key can be supplemented with new virus species infecting hop plants if they are discovered.

Reference:

1. Christie S. R., Crawford W. E. Plant virus range of *Nicotiana benthamiana*. *Plant Disease Reporter*. 1978. Vol. 62. № 1. P. 20-22. <https://books.google.com/books?id=6gcN7xqcNwUC&pg=PA20>
2. Roossinck M. J. Plants, viruses and the environment: Ecology and mutualism. *Virology*. 2015. Vol. 479-480. P. 271-277. <http://dx.doi.org/10.1016/j.virol.2015.03.041>
3. Whattam M., Dinsdale A., Elliott C. E. Evolution of Plant Virus Diagnostics Used in Australian Post Entry Quarantine. *Plants*. 2021. Vol. 10. №7. P. 1430. <http://dx.doi.org/10.3390/plants10071430>
4. Schmidt H. E., Klinkowski M. Virosen des Hopfens (*Humulus lupulus* L.) in Europa. *Journal of Phytopathology*. 1965. Vol. 54. №2. P. 122-146. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0434.1965.tb04087.x>
5. ADAMS A. N., BARBARA D. J., VIES D. L. D. The etiology of hop chlorotic disease. *Annals of Applied Biology*. 1987. Vol. 111. №2. P. 365-371. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7348.1987.tb01464.x>
6. Eppler A. ARABIS MOSAIC VIRUS IN GERMAN HOPS. *Acta Horticulturae*. 1992. №308. P. 81-86. <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.1992.308.9>
7. Pethybridge S. J., Hay F. S., Barbara D. J., Eastwell K. C., Wilson C. R. Viruses and Viroids Infecting Hop: Significance, Epidemiology, and Management. *Plant Disease*. 2008. Vol. 92. №3. P. 324-338. <http://dx.doi.org/10.1094/pdis-92-3-0324>
8. Sastry K. S., Mandal B., Hammond J., Scott S. W., Briddon R. W. *Encyclopedia of Plant Viruses and Viroids*. New Delhi: Springer India, 2019. 2936 p. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-3912-3>
9. YU J., LIU Y. The occurrence of three viruses in hop (*Humulus lupulus*) in China. *Plant Pathology*. 1987. Vol. 36. №1. P. 38-44. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3059.1987.tb02175.x>
10. ADAMS A. N., BARBARA D. J. Host range, purification and some properties of two carlaviruses from hop (*Humulus lupulus*): hop latent and American hop latent. *Annals of Applied Biology*. 1982. Vol. 101. №3. P. 483-494. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7348.1982.tb00849.x>
11. KANNO Y., YOSHIKAWA N., TAKAHASHI T. Some Properties of Hop Latent and Apple Mosaic Viruses Isolated from Hop Plants and Their Distributions in Japan. *Japanese Journal of Phytopathology*. 1993. Vol. 59. №6. P. 651-658. <http://dx.doi.org/10.3186/jjphytopath.59.651>
12. SANO T., SASAKI M., SHIKATA E. Apple mosaic virus isolated from hop plants in Japan. *Annals of Applied Biology*. 1985. Vol. 106. №2. P. 305-312. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7348.1985.tb03120.x>

13. BOCK K. R. Arabis mosaic and Prunus necrotic ringspot viruses in hop (*Humulus lupulus* L.). *Annals of Applied Biology*. 1966. Vol. 57. №1. P. 131-140. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7348.1966.tb06873.x>

14. ADAMS A. N., BARBARA D. J. Host range, purification and some properties of hop mosaic virus. *Annals of Applied Biology*. 1980. Vol. 96. №2. P. 201-208. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7348.1980.tb02980.x>

15. KANNO Y., IIDA H., YOSHIKAWA N., TAKAHASHI T. Some Properties of Hop Mosaic Virus Isolated in Japan. *Japanese Journal of Phytopathology*. 1994. Vol. 60. №6. P. 675-680. <http://dx.doi.org/10.3186/jjphytopath.60.675>

16. Macovei A. Vorkommen mechanisch übertragbarer Viren an Hopfen (*Humulus lupulus*L.) in der Sozialistischen Republik Rumänien. *Archives Of Phytopathology And Plant Protection*. 1976. Vol. 12. №2. P. 75-86. <http://dx.doi.org/10.1080/03235407609431735>

17. ADAMS A. N., CLARK M. F., BARBARA D. J. Host range, purification and some properties of a new ilarvirus from *Humulus japonicus*. *Annals of Applied Biology*. 1989. Vol. 114. №3. P. 497-508. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7348.1989.tb03365.x>

18. Scott S. W., Zimmerman M. T. The complete sequence of the genome of *Humulus japonicus* latent virus. *Archives of Virology*. 2006. Vol. 151. №8. P. 1683-1687. <http://dx.doi.org/10.1007/s00705-006-0771-6>

19. Novák J. B., Lanzová J. Identification of alfalfa mosaic virus and tomato bushy stunt virus in hop (*Humulus lupulus* L.) and grapevine (*Vitis vinifera* subsp.sativa (DC./HEGI) plants in czechoslovakia. *Biologia Plantarum*. 1976. Vol. 18. №2. P. 152-154. <http://dx.doi.org/10.1007/bf02923156>

20. Lovisololo O., Bode O., Völk J. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für landwirtschaftliche Virusforschung, Braunschweig. *Journal of Phytopathology*. 1965. Vol. 53. №4. P. 323-342. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0434.1965.tb04081.x>

21. Jochimsen K. N. Evaluation of hop (*Humulus lupulus* L.) protoplast inoculation with *Prunus necrotic ringspot virus* : Masters Thesis. Corvallis, 1987. 130 p. <http://hdl.handle.net/1957/40201>

22. Macovei A. A survey of the Romanian hop viruses and their characterisation by electron microscopy. *Proceedings of the International Workshop on Hop Virus Diseases, Rauischholzhausen Castle, 27.06.-02.07.1988* / ed. by A. Eppler, Deutsche Phytomedizinische Gesellschaft. Hohenheim, 1989. P. 19-22. <https://books.google.com/books?id=JBNIAAAAYAAJ>

23. BOCK K. R. Strains of *Prunus necrotic ringspot virus* in hop (*Humulus lupulus* L.). *Annals of Applied Biology*. 1967. Vol. 59. №3. P. 437-446. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7348.1967.tb04460.x>

24. Chod J., Jokeš M., Novák M. The electron-microscopic proof of tobacco necrosis virus in hop plant. *Biologia Plantarum*. 1979. Vol. 21. №2. P. 152-153. <http://dx.doi.org/10.1007/bf02909468>



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.292074>

UDC 579.266

BIOTECHNOLOGIY FOR THE DEGRADATION THE OF ENVIRONMENTALY HAZARDOUS ORGANIC WASTE AND PRODUCTION OF VALUABLE PRODUCTS

Oleksandr TASHYREV^{1,2}, Vira HOVORUKHA^{1,2}, Olesia HAVRYLIUK², Iryna BIDA²,
Galyna GLADKA², Larisa YASTREMSKAYA³

¹*Institute of Environmental Engineering and Biotechnology*

University of Opole, Opole 45-040, Poland

²*Institute of Microbiology and Virology of the National Academy of Sciences of Ukraine,*

Zabolotnoho 154 str., Kyiv 03143, Ukraine

³*National Aviation University*

Kosmonavta Komarov Ave., 1, Kiev, 02000, Ukraine

e-mail: oleksandr.tashyrev@uni.opole.pl

Currently, the environment is continuously polluted by organic waste. Solid organic waste is produced in the greatest volumes, namely multi-component food waste and agricultural waste. In landfills, this waste rots, releasing huge amounts of toxic volatile and liquid organic waste. Modern technologies cannot ensure effective processing and detoxification of such waste, which leads to catastrophic environmental pollution. Hence, the need to create new effective waste treatment technologies is obvious.

The comprehensive microbial biotechnology for the accelerated treatment of environmentally hazardous organic waste to obtain valuable products from them was developed by us. Biotechnology is based on thermodynamic calculation of optimal conditions for the fermentation of organic waste with the formation of hydrogen. It has been shown that effective fermentation of solid natural polymers (organic waste) need pH = 7.0 and Eh = - 414 mV (picture 1).

A wide range of organic wastes have been examined: solid organic waste – multicomponent food and agricultural waste and liquid waste – industrial organics containing wastewater, dumps leachate, etc. Fermentation was significantly accelerated by the use of Granular Microbial Preparation (GMP), consisting of concentrated biomass of H₂- or CH₄-synthesizing bacteria (picture 2).

We have developed a biofermenter with an optimized design for fast and effective waste fermentation (picture 3). The following optimized engineering and technological parameters were obtained during fermentation. The duration of fermentation T_d (detention time, days) was from 3 to 7 days. The degradation coefficient K_d (the ratio of the initial and final content of waste) is close to 80 – 110. The yield of gaseous energy carriers was 100-110 L H₂/kg and 50-60 L CH₄/kg of solid waste. At hydrogen fermentation the gas content was 40...50% H₂ and 50...60% CO₂, and at the methane fermentation - 60% CH₄ and 40% CO₂ [1].

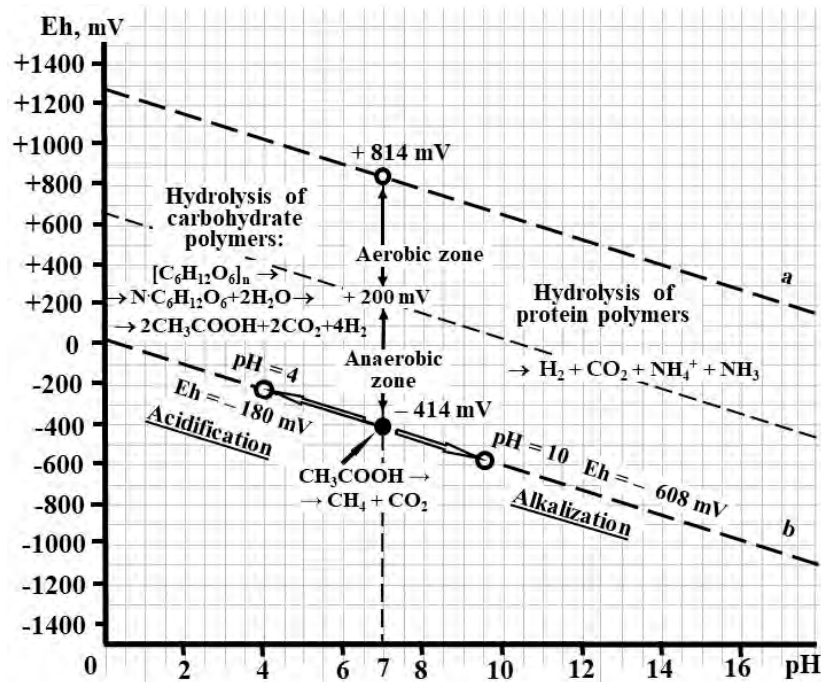
Dry unfermented lignin cellulose waste residues are dry solid fuel (30 g/kg of solid waste). After additional aerobic fermentation, biofertilizer can be produced from unfermented residues (20 g/kg of solid waste). Biofertilizer obtained from solid organic waste is suitable to optimize the cultivation of vegetables and other agricultural crops. Due to additional methane fermentation, the content of

soluble organic compounds in the leachate is reduced from 200 - 220 mg/l C, and the methane yield is 1 liter/liter of leachate [2]. Purified water after the treatment of liquid organic waste (dump leachate etc.) is suitable for the irrigation of agricultural fields [3].

Thus, on base of thermodynamic calculations, we have created a universal biotechnology that provides fast and effective fermentation of environmentally hazardous waste while simultaneously producing a number of commercially valuable products (picture 4)

Scope of application and implementation of Biotechnology is the next :

1. Adaptation of biotechnology to customer requirements and its further industrial implementation.
2. Creation of industrial biotechnologies for the production of valuable products from waste, replication and sale of technologies on international markets.



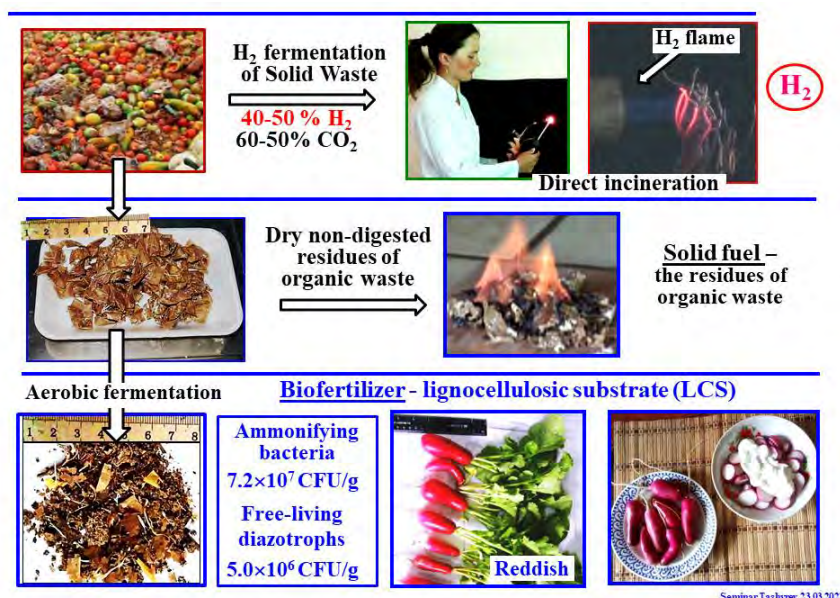
Picture 1. Thermodynamic calculations: optimal conditions for hydrogen and methane fermentation - pSh = 7.0 and Esh = - 414 mV. Acidification or alkalization leads to a significant shift in the redox potential away from the optimal value of the redox potential and inhibition of fermentation.



Picture 2. Granular Microbial Preparation (GMP), consisting of concentrated biomass of H₂- or CH₄-synthesizing bacteria.



Picture 3. Biofermenter for fast and effective waste fermentation with an optimized design.



Picture 4. Producing the number of commercially valuable products from ecologically dangerous solid organic waste.

Literature

1. Hovorukha, V.; Havryliuk, O.; Gladka, G.; Tashyrev, O.; Kalinichenko, A.; Sporek, M.; Dołhańczuk-Śródka, A. Hydrogen Dark Fermentation for Degradation of Solid and Liquid Food Waste. *Energies* **2021**, *14*, 1831. <https://doi.org/10.3390/en14071831>
2. Tashyrev, O.; Hovorukha, V.; Havryliuk, O.; Sioma, I.; Gladka, G.; Kalinichenko, O.; Włodarczyk, P.; Suszanowicz, D.; Zhuk, H.; Ivanov, Y. Spatial Succession for Degradation of Solid Multicomponent Food Waste and Purification of Toxic Leachate with the Obtaining of Biohydrogen and Biomethane. *Energies* **2022**, *15*, 911. <https://doi.org/10.3390/en15030911>
3. Hovorukha, V.; Havryliuk, O.; Gladka, G.; Kalinichenko, A.; Sporek, M.; Stebila, J.; Mavrodi, D.; Mariychuk, R.; Tashyrev, O. Detoxification of Copper and Chromium via Dark Hydrogen Fermentation of Potato Waste by *Clostridium butyricum* Strain 92. *Processes* **2022**, *10*, 170. <https://doi.org/10.3390/pr10010170>



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.290912>

УДК 632.95

РОЛЬ ФУЛЬВОВИХ ТА ГУМІНОВИХ КИСЛОТ У ПРОЦЕСАХ БІОДЕГРАДАЦІЇ ЗАЛИШКІВ ГЕРБІЦИДІВ У ҐРУНТІ

Ганна ТРОХИМЕНКО, Олег КІБАРОВ

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова
пр. Центральний, 3, м. Миколаїв 54029, Україна

e- mail: pk_nuk@www.nuos.edu.ua

Недостатня увага виробників сільгосппродукції до вибору гербіцидів призводить до того, що після кількох років широкого застосування проявляється їх побічна дія.

Деякі з них можуть тривалий час зберігатися у ґрунті, впливаючи на наступні культури сівозміни. Зі зростанням обсягів застосування та асортименту гербіцидів ризик післядії збільшується, що слід враховувати у виробництві.

Фітотоксичність гербіцидів, залишки яких містяться у ґрунті, є одним із прикладів негативних наслідків впливу пестицидів на культурну рослину, довкілля та як наслідок, здоров'я людини.

Той факт, що після застосування деяких гербіцидів можлива дія залишкових кількостей або їх метаболітів на культуру, відомий давно [3]. Однак для польових сівозмін це не мало практичного значення, оскільки частка таких гербіцидів у виробництві була незначною.

Післядії доводилося враховувати, наприклад, в овочівництві, де інтенсивно застосовувалися гербіциди з тривалим збереженням у ґрунті залишкових кількостей. Такі гербіциди можуть застосовувати один раз на 5–7 років.

Гумусові речовини мають пряму дію на процеси росту рослин, тобто здійснюють їхню регуляцію. Вплив гумінових добрив на рослини має складний багатоступеневий характер та охоплює весь період вегетації рослин. Кожна функціональна група фрагмента молекули гумінової кислоти виконує свою безпосередню роль, а таких груп дуже багато, тому дія гуматів на воду, ґрунт та всі стадії росту рослин багатогранна.

З гуміновими речовинами в рослину потрапляє певна кількість мікроелементів, а також амінокислот, вітамінів та ростових речовин. Там гумінові речовини активують ферментативну активність всіх клітин рослини та утворення нею стимулюючих сполук. Як результат – зростання клітини, зміна фізико-хімічних властивостей протоплазми, інтенсифікація обміну речовин. Збільшується проникність мембрани клітин кореня, покращується проникнення елементів мінерального живлення з ґрунтового розчину до рослин у вигляді гумінових-мінеральних сполук. Це призводить до посилення поглинання рослиною поживних речовин.

Антистресова дія гуматів проявляється також у роботі з пестицидами. Застосування їх разом із протруювачами зменшує інгібуючий вплив на проростання зародка насіння, підвищує темпи зростання та розвитку рослин.

Застосування гуматів разом із гербіцидами зменшує їх фітотоксичний вплив та скорочує період пригнічення культурних рослин. Посіви не втрачають 3-7 днів вегетації на вихід зі стресового стану.

Метою роботи є дослідження впливу препарату на основі фульвових та гумінових кислот на зменшення фітотоксичної дії гербіцидів.

Для дослідження було використано 5 гербіцидів селективної та суцільної дії, а також експериментальний біостимулятор з високим вмістом фульвових кислот, якими було оброблено горщики з землею об'ємом 150 мл.

Таблиця 1. Вплив біостимулятора «БіоФульво» на ріст і розвиток фітоіндикатору (суданська трава)

Висота фітоіндикатору (у см)					
Рослини, які поливалися лише водою		Рослини, які поливалися водою та 5 % розчином БіоФульво		Рослини, які поливалися водою та 10 % розчином БіоФульво	
Горщик №1	190 см	Горщик №1	150 см	Горщик №1	137 см
Горщик №2	153 см	Горщик №2	147 см	Горщик №2	117 см
Горщик №2	138 см	Горщик №3	139 см	Горщик №3	106 см

Якщо аналізувати винятково вплив біостимулятора на ріст рослини (таблиця 1), то можна побачити, що 5 % розчин препарату пригнічував розвиток рослини приблизно на 16 %, а 10 % розчин – у півтора раза. Кількість і якість паростків варіювалася приблизно однаково в усіх горщиках. Це пояснюється тим, що діючі компоненти препарату (фульвові, гумінові кислоти, а також бактерії роду *bacillus*) помітно підвищили кислотність ґрунту, а для нормального розвитку сільськогосподарських культур необхідна кислотність ґрунту у межах 5,5 – 7 рН,

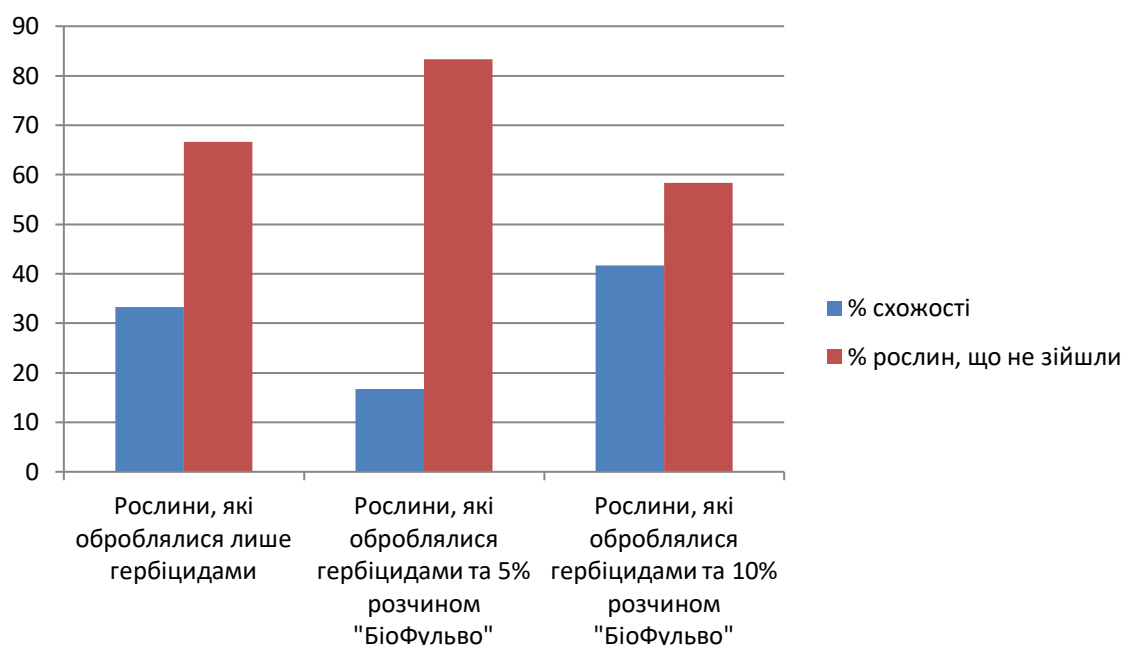


Рис.1. Відсоток схожості рослин, які були оброблені пестицидами та препаратом «БіоФульво»

В дослідженні застосовувались гербіциди селективної дії «Оберіг» (Хізалофоп-П-етил 90 г/л), «Дабл – Трай» (Метолахлор 960 г/л), «Гезагард» (Прометрин 500 г/л), а також

неселективний «Ураган Форте» (500 г/л калійної солі гліфосату). У результаті найкраще проросла трава у горщиках, які поливалися лише водою та горщики, які поливалися водою та 5% розчином «БіоФульво». Рослини, які були оброблені пестицидами, не проросли, за винятком декількох випадків, у яких рослини загинули на 12 – 19 день. 10 % розчин «БіоФульво» загальмував розвиток рослин приблизно у 1,5 раза. 5% розчин препарату дозволив прорости рослині значно вище, ніж інші оброблені рослини, однак більша частина рослин, що зійшли, була оброблена саме 10% розчином препарату.

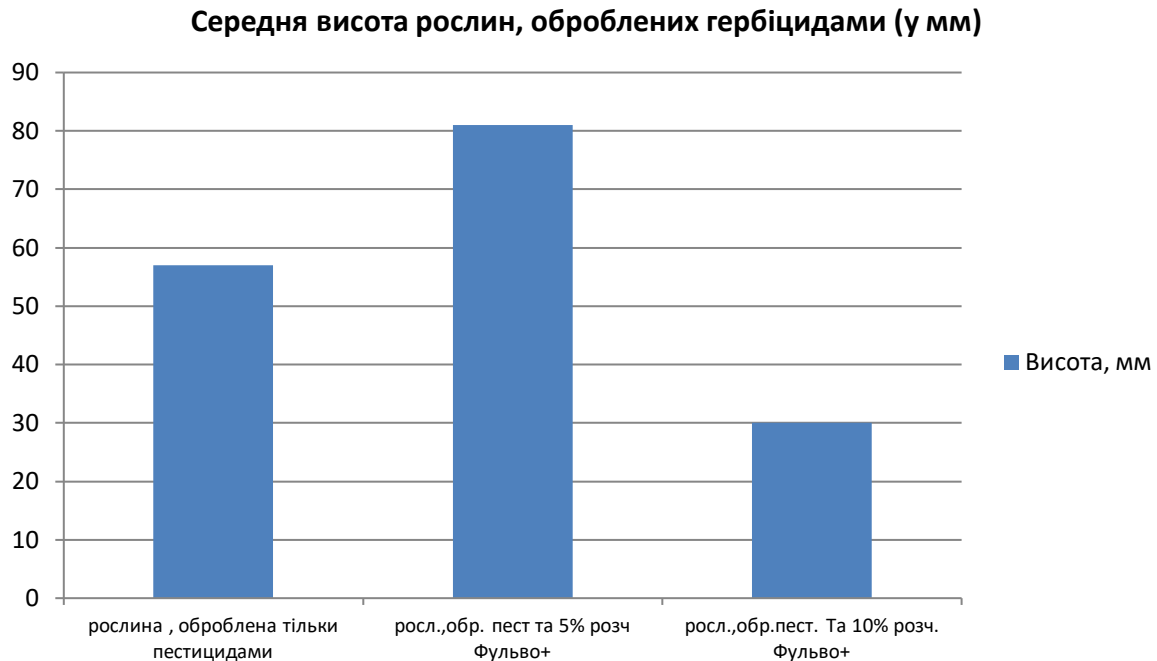


Рис.2 Результати впливу препарату «БіоФульво» на ріст рослин оброблених пестицидами

Отже, зменшити ризик розвитку негативних наслідків багаторічного використання гербіцидів дозволяє суворе дотримання правил застосування отрутохімікатів та обов'язкове доповнення заходів хімічного знищення бур'янів механічними, біологічними та агротехнічними прийомами регулювання їх кількості. Але, враховуючи, можливі зміни кислотно-основних характеристик ґрунту, необхідно дуже ретельно підходити до вибору найбільш ефективної концентрації препарату, яка буде, з одного боку, стимулювати процеси біорозкладання пестицидів, а з іншого – не пригнічувати ріст та розвиток рослин.

Література :

1. Алістер К. та ін. «Гумінові речовини та їх зв'язок із сорбцією пестицидів у восьми вулканічних ґрунтах». *Planta Daninha, Sociedade Brasileira Da Ciência Das Plantas Daninhas*, 17 квітня 2020 р.;
2. Świelaґ-Piasecka, Irmina та ін. «Гумінова кислота та біовугілля як специфічні сорбенти пестицидів». *Journal of Soils and Sediments, Springer Berlin Heidelberg*, 26 березня 2018 р.;
3. Véronique Chaplain, Laure Mamy, Laure Vieublé Gonod, Christian Mougin, «Fate of Pesticides in Soils: Toward an Integrated Approach of Influential Factors», жовтень 2011 р.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.291002>

УДК 579.2

ВПЛИВ ДОДАВАННЯ РІЗНОЇ КІЛЬКОСТІ NaCl В СЕРЕДОВИЩЕ КУЛЬТИВУВАННЯ БАКТЕРІЙ НА ШВИДКІСТЬ РОЗВИТКУ КОЛОНІЙ *BACILLUS THURINGIENSIS*

Анастасія ФОМЕНКО¹, Оксана БОНДАРЕНКО^{1,2}

¹Київський Палац дітей та юнацтва

вул. Івана Мазепи, 13, м. Київ 01010, Україна

²Інститут фізіології рослин і генетики НАН України

вул. Васильківська, 31/17, м. Київ 03122, Україна

e-mail: af270707@gmail.com

Сучасний технологічний процес мікробіологічного синтезу включає кілька етапів: підбір продуцента (культури мікроорганізмів, з потрібними характеристиками), підбір та підготовку поживного середовища з врахуванням біологічних потреб даного виду мікроорганізмів, домішок, здатних пришвидшувати синтез потрібних речовин, при цьому не пригнічуючи, а, навпаки, збільшуючи продуктивність колоній, культивування культури в певних умовах, можливість відокремлювати біомасу, виділення та очистка готового продукту. Нашу дослідницьку роботу присвячено підбору середовища за умови зменшення використання додаткового енергоресурсу (температура, освітлення), що покращували здібність мікроорганізмів до посилення швидкості отримання біомаси промисловоцінних мікроорганізмів.

В процесі роботи було проведено дослідження впливу внесення домішки у щільне середовище (МПА) для культивування *Bacillus thuringiensis* - це один з видів ґрунтових бактерій, що має широкий попит у сільськогосподарській галузі, оскільки використовується для виробництва препаратів пестицидної дії. Для найкращого результату розвитку культури потрібні такі умови, як певна температура та освітлення, підтримання котрих є досить енерговитратним процесом. У нашій роботі ми намагалися знайти можливість забезпечити пошвидшення розвитку колоній культури при мінімальних витратах. Виявлену властивість реагування бактерії на додавання солі можна використовувати при виробництві вищезгаданих пестицидів. Також *Bacillus thuringiensis*, як і більшість ґрунтових бактерій, здатна до синтезу пігментів, у своєму випадку – каротиноїдів. Мікробіологічний спосіб отримання пігменту є більш продуктивним, ніж, найбільш розвинутий на сьогоднішній день, видобуток його з вищих рослин, оскільки має значно менший ряд недоліків, таких як сезонність, потреба у масштабній території вирощування та довготривалість зростання. Проте, синтезований мікроорганізмами каротин, на відміну від рослинного, не може виконувати роль харчової добавки у раціоні людини, оскільки його безпечність для організму ще досліджується.

З метою дослідження впливу різного рівня засолення середовища на розвиток колоній мікроорганізмів використовували домішки в основне середовище культивування – NaCl концентрацій 0,5 % та 1,5 %.

Першим етапом досліджень було отримання чистої культури мікроорганізмів виду *Bacillus thuringiensis*. Для цього, з використанням стерилізаційних заходів, було отримано суспензію бактерій з препарату «Бітоксисабацилін-БТУ» ТМ «Жива Земля». Посів на перевірку чистоти культури проводили за стандартним методом посіву на середовище МПА методом штриха.

За добу культивування було отримано мікропрепарат культури *Bacillus thuringiensis*. Фото зображення отриманого мікропрепарату представлено на рисунку 1.

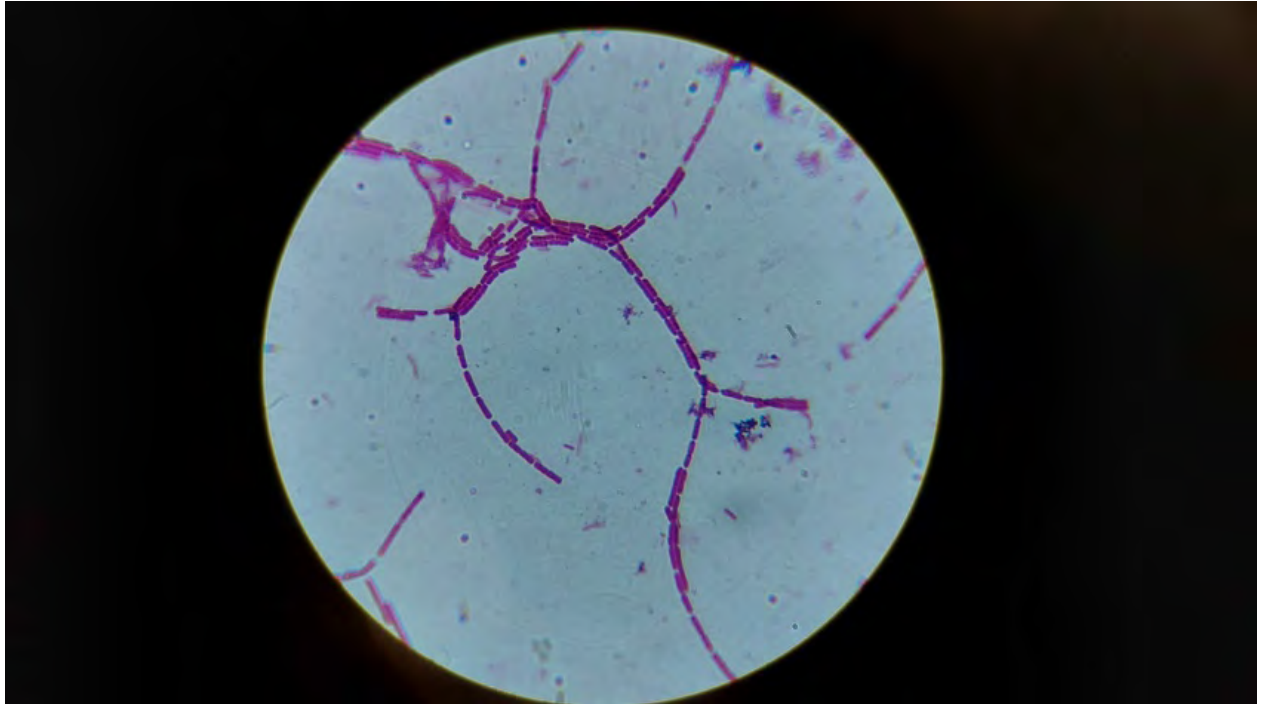


Рис.1. Мікропрепарат культури мікроорганізмів *Bacillus thuringiensis*

Другим етапом роботи було безпосередній посів культури *Bacillus thuringiensis* на середовище МПА з домішкою NaCl різної концентрації. Для цього було виготовлено 3 варіанти середовища: 1– контрольний варіант стандартне середовище для культивування мікроорганізмів МПА; 2 – варіант середовища МПА з додаванням 0,5 % NaCl; 3 – варіант середовища МПА з додаванням 1,5 % NaCl. В кожен чашку для культивування було поміщено 0,2 мл суспензії. Культивування проводили в темряві при середній температурі 17 °С. Третім етапом роботи було визначення швидкості розвитку колоній мікроорганізмів *Bacillus thuringiensis* усіх варіантів середовища культивування за 7 діб після посіву. Для цього з кожної чашки було видалено всю біомасу мікроорганізмів, що наросла за цей проміжок часу. Біомасу визначали методом зважування за допомогою торсійних вагів. Результати зважування наведено в таблиці.

Таблиця 1. Результати зважування біомаси культури *Bacillus thuringiensis*, отриманої при культивуванні на середовищі МПА контрольного варіанту та варіантів з домішками NaCl різних концентрацій

Зразок	Вага біомаси, г
контроль	0,042 ±0,005
0,5% NaCl	0,051±0,002
1,5% NaCl	0,038±0,002

З представлених результатів видно, що колонії, культивовані на середовищі з додаванням 0,5 % NaCl мають більшу біомасу на 21 %, ніж ті, що росли у чистому МПА, тобто контрольний варіант. З цього можна зробити висновок, що додавання у середовище культивування 0,5% NaCl позитивно впливає на швидкість розвитку культури бактерії виду *Bacillus thuringiensis*, але збільшення відсоткового вмісту солі (до 1,5 %) в середовище культивування дає зворотній ефект. Швидкість розростання колоній (нарощування біомаси в нашому випадку) зменшується на 10 %. Як показано, спосіб прискорення розвитку бактеріальних колоній *Bacillus thuringiensis* методом додавання малих додаткових доз домішки NaCl є мінімально витратним, проте, безперечно, діючим. Дані досліджень властивості реагування клітини бактерій виду *Bacillus thuringiensis* на додавання незначних кількостей солі можна використовувати для збільшення виробництва біомаси при мінімальних витратах.

Література:

1. Л. В. Авдєєва, К. Є. Борецька, М. А. Хархота, О. О. Нечипуренко. Синтез пігментів бактеріями роду *Bacillus* при культивуванні на різних поживних середовищах, Мікробіологічний журнал, Т. 77, No 1, с. 14-19, 2015.
2. Іутинська Г.О. Грунтова мікробіологія: навчальний посібник. Київ: Арістей. 2006.
3. М.Д.Мельничук, О.Л.Кляченко, В.В.Бородай, Ю.В.Коломієць Загальна (промислова) біотехнологія: навчальний посібник Київ: ФОП Корзун Д.Ю., 2014. - 252 с.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.291018>

УДК 665

ФІТОРЕМЕДАЦІЙНЕ ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ГРУНТІВ, ЗАБРУДНЕНИХ НАФТОПРОДУКТАМИ

Лариса ЧЕРНЯК¹, Оксана ПРОСКУРНЯ¹, Олександр МІХЄЄВ¹,
Тетяна ДМИТРУХА, Томаш МАНЄЦКІ²

¹Національний авіаційний університет

Любомира Гузара, 1, м. Київ 0305, Україна

²Технічний університет м. Лодзь

Stefana Żeromskiego 116, 90-924 Łódź, Польща

e-mail: specially@ukr.net

Сучасний стан техногенного навантаження на довкілля призводить до інтенсивного хімічного забруднення ґрунтів нафтопродуктами. Тому, важливим науково-практичним завданням є удосконалення технологій відновлення якості порушених ґрунтів, з використанням доступних та ефективних методів, що враховують особливості забруднення техногенно навантажених територій відповідно до характеру діяльності. Зокрема, важливим завданням є відновлення екологічного стану ґрунтів, на територіях транспортних підприємств. Серед відомих методів відновлення якості ґрунту, використання фітореMediaції, визнане перспективним методом відновлення властивостей та екологічної функціональності ґрунту [1-2]. Цей напрям постійно розвивається та поєднує у собі різноманітні методи. Один з таких методів – фітостабілізація, що передбачає іммобілізацію забруднювачів за допомогою коренів рослин, часточок ґрунту чи осадження в прикореневій зоні. Це сприяє перетворенню поллютантів у нерозчинні, малорухомі форми та їх утриманню в цьому стані завдяки сполукам, виділеним кореневою системою рослин. Цей процес запобігає переміщенню забруднювачів в ґрунт, ґрунтові води чи повітря, сприяє зменшенню ерозії, виносу та вилуговування, а також сприяє відновленню екосистем та біорозмаїття [3]. Інший метод, фітоекстракція, включає поглинання забруднювачів кореневою системою рослин та їх транспортування у надземні органи. Надземні частини рослин після завершення вегетації піддаються переробці. Цей метод застосовується для очищення ґрунтів і водойм, забруднених важкими металами та радіонуклідами [7]. До інших методів фітореMediaції входять фітостимуляція, фітодеградація, фітотрансформація, фітовипаровування, ризофільтрація та ризодеградація. Вони всі спрямовані на розкладання та ефективне вилучення забруднювачів з ґрунту [4, 11]. З самого початку, концепція фітореMediaції, як засобу для очищення, виникла з метою ліквідації забруднення важкими металами. Дослідження показали, що різні види рослин мають не лише здатність витримувати наявність важких металів, таких як свинець, цинк, ртуть, але й можуть поглинати та нагромаджувати значну кількість їхніх іонів [1]. Ще однією перспективною дослідницькою діяльністю, яка вже показала свою ефективність та має великий потенціал розвитку, є використання рослин для очищення вуглеводневих забруднень, таких як нафта та нафтопродукти [8]. На даний момент технології фітореMediaції можуть базуватися на різних методологічних підходах. Ефективність процесу очищення зазвичай досягається, коли

рослина поєднує здатність до фітовипару та фітодеградації [1]. Це дозволяє виводити у повітря лише безпечні продукти розкладу нафтопродуктів. Особливу вагомість має здатність рослин до ризодеградації, коли вони сприяють розкладанню забруднюючих вуглеводнів не самостійно, а за участю мікроорганізмів, що живуть навколо кореневої системи, або в ризосфері [5]. Коріння служить мікроорганізмам як площа для прикріплення та підвищує концентрацію органічних речовин у ризосфері. Це призводить до потрапляння у ґрунт складної суміші органічних кислот, цукрів, вітамінів, пуринів, амінокислот, нуклеозидів, ферментів та інших речовин завдяки корневим виділенням рослин [3]. На сьогодні проблеми фіторемедіації забруднених нафтою територій активно обговорюються вченими. Деякі дослідники рекомендують використовувати трав'янисті рослини, зокрема з роду злаків [1, 6]. Вони вказують на значну волокнисту кореневу систему трав, яка порівняно з іншими видами має велику площу поверхні кореня та може проникати у ґрунт на глибину до 3-х метрів [5].

Позитивний вплив багаторічних трав пояснюється їхньою добре розвинутою кореневою системою, яка сприяє поліпшенню газоповітряного режиму забрудненого ґрунту та насиченню його біологічно активними сполуками, що виділяються кореневою системою під час життєдіяльності рослин. Це стимулює ріст мікроорганізмів та сприяє розкладанню нафти та нафтопродуктів. Численні дослідження [5, 3] підтверджують стійкість бобових до нафтового забруднення завдяки їхній здатності фіксувати азот з атмосфери та забезпечувати себе джерелом мінерального живлення в умовах нафтозабрудненого ґрунту [10]. Особливою рисою стійкості є властивості симбіотичних мікроорганізмів, які співпрацюють з бобовими, маючи здатність фіксувати азот та розкладати вуглеводні нафтопродуктів. Позитивні результати використання бобових та злакових рослин підтвержені численними зарубіжними дослідженнями [10]. Дослідження свідчить, що в корневих виділеннях злаків переважають органічні кислоти, тоді як кореневі виділення бобових багаті амінокислотами та іншими органічними сполуками [1]. Часто деякі дослідники пропонують застосовувати додаткові заходи для підсилення та прискорення ефекту фіторемедіації, такі як внесення мінеральних добрив [9] або інокуляція рослин бактеріями [10], або навіть висадження дорослих рослин, які виявляють більшу стійкість до нафти порівняно з проростками [10]. Важливо враховувати, що рослини, які використовуються для фіторемедіації, повинні бути пристосованими до конкретних кліматичних та ґрунтових умов забруднених ділянок і взагалі витримувати стресові умови. Загалом, для фіторемедіації важливо використовувати місцеві рослини, зокрема ті, які ростуть на забруднених територіях, уникати використання іноземних чи генетично модифікованих видів. У результаті експериментальних досліджень нами було визначено ефективність використання вівса звичайного (*Avena sativa* L), представника злакових, у технологіях фіторемедіації ґрунту, штучно забрудненого авіаційним керосином. Уміст нафтопродукту у досліджуваних пробах ґрунту було визначено з використанням гравіметричним методом за МВВ №081/12-0116-03 «Ґрунти. Методика виконання вимірювань масової частки нафтопродуктів гравіметричним методом». У результаті порівняння вмісту нафтопродуктів у досліджуваних пробах ґрунту до пророщування вівса та після пророщування протягом 10 діб, було встановлено рівень очищення ґрунту від авіаційного палива. Рівень очищення забрудненої авіаційним керосином проби ґрунту становив 86%. Отже, можемо зробити висновок про перспективність використання вівса звичайного (*Avena sativa* L) для очищення ґрунтів, забруднених авіаційним керосином на територіях підприємств авіаційної галузі.

Література:

1. Брошак І.С., Венглінський М.О., Гаврилюк В.Б. Періодична доповідь про стан ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення України. Львів, 2015. 94 с.
2. Грабак Н.Х., Будикіна Ю.І. Техногенно забруднені землі та шляхи їх безпечного використання в агропромисловому виробництві. Наукові праці : наук.-метод. журнал. Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2014. Т. 232. Вип. 220. Екологія. С. 83–87.
3. Джура Н.М., Подан І.Ю. Екологічні наслідки довготривалого нафтовидобутку на Старосамбірському родовищі. Вісник Львівського університету. Сер. біол. 2017. Вип. 76. С. 120–127.
4. Кулик М.І., Падалка В.В. Розвиток біоенергетики на основі рослинного енергетичного ресурсу (на прикладі Полтавської області). Управління стратегіями випереджаючого інноваційного розвитку : монографія / за ред. к.е.н., доц. Н. С. Ілляшенко. Суми : Триторія, 2020. С. 109–118.
5. Ласло О.О. Відновлення порушених земель сільськогосподарського призначення за допомогою біоремедіації. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування : зб. наук. пр. Рівне, 2014. С. 94–100.
6. Мандровська С.М., Петриченко С.М., Герасименко Г.С., Гончарук Г.С., Литвенюк В.В. Перспективи вирощування світчґрасу як альтернативного джерела енергії в Україні. Цукрові буряки. 2011. С. 13–14.
7. Параняк Р.П., Васильцева Л.П., Макух Х.І. Шляхи надходження важких металів у довкілля та їх вплив на живі організми. Біологія тварин. 2007. С. 1–6.
8. Пацула О.І., Фецюх А.Б., Буньо Л.В. Використання *Salix viminalis* L. для фіторемедіації ґрунтів, забруднених важкими металами. Екологічні науки. 2018. Т. 2, № 20. С. 101–106.
9. Подан І.І., Джура Н.М. Вплив нафтового забруднення і гуматів на ріст рослин міскантусу. Екологічні науки. 2019. № 2 (25). С. 182–186.
10. Подан І.І., Джура Н.М. Діагностика і фіторемедіація нафтозабруднених природних і штучних наземних екосистем Старосамбірського нафтового родовища / Scientific developments of Ukraine and EU in the area of natural sciences : Collective monograph. Riga : Izdevnieciba «Baltija Publishing», 2020. Р. 2. С. 541–556 .

ТЕХНОЕКОЛОГІЯ

Секція № 2



ANALYSIS OF MICROBIAL VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN INDOOR AIR. VALIDATION OF THERMAL DESORPTION GAS CHROMATOGRAPHY-MASS SPECTROMETRY METHOD

Simon ANDERSSON¹, Ivan KOZYATNYK²

¹ Faculty of Medicine and Health Sciences, Linköping University,
581 83 Linköping, Sweden

² Department of Health, Medicine and Caring Sciences, Unit of Clinical Medicine, Occupational
and Environmental Medicine, Linköping University,
581 83 Linköping, Sweden

e-mail: ivan.kozyatnyk@liu.se

The air quality in indoor air, in both homes and workplaces, can affect people's health in different ways. A source of deteriorating air quality, and thus adverse health effects, is mould that can form in buildings with insufficient ventilation or exposed to moisture damage. The health effects of living in mould-damaged houses have been documented in several studies, including effects on the central nervous system [1] and allergy, asthma and rhinitis [2]. The term Sick Building Syndrome (SBS) is sometimes used to describe the symptoms mainly of the respiratory tract, mucous membranes and eyes that can occur during a stay in certain buildings [3].

Since mould has negative health effects on those who stay indoors, it is essential to demonstrate the presence of mould so that the mould can be removed. There is a method for measuring the mould's volatile metabolites, so-called microbial volatile organic compounds (mVOC - microbial volatile organic compounds). These substances are formed during the metabolism of microorganisms. The microorganisms can be bacteria or fungi. These substances' characteristics are their volatility, which means that they evaporate quickly even at low temperatures and their strong odour and effect on mucous membranes upon exposure. There are some 100's identified substances within the group of mVOCs, and among these are, above all, various hydrocarbons such as ketones, alcohols, and aldehydes, but also some sulphur and nitrogen compounds. No mVOCs are specific to microorganisms, but the substances can also be formed in other ways [4]. Since these substances are volatile and pass through porous materials, such as many building materials, it is possible to measure mVOC through air samples and indirectly demonstrate the presence of mould. Then, there is no need for direct access to the mould, which can be hidden behind walls inside ventilation ducts [4].

Several studies have previously investigated the relationship between the presence of various irritation symptoms and exposure to mVOCs. Sahlberg et al. [5] examines the relationship between SBS and the presence of 16 different mVOCs in indoor air. The study was able to demonstrate a significantly increased occurrence of SBS in residents of buildings with elevated levels of some, but not all 16 investigated, mVOCs: 2-pentanol, 2-hexanone, 1-octen-3-ol, 2-pentylfuran and 3-methylfuran.

The relationship between the content of 8 different mVOCs in indoor air and the occurrence of SBS has also been investigated by Araki et al. [6]. In the study, residents in single-family houses with proven moisture problems were asked about SBS symptoms at the same time as mVOC samples in indoor air were taken. A relationship between the presence of 2 different mVOCs (2-pentanol, 1-octen-3-ol) and SBS could be demonstrated in the study. In a later follow-up study, Araki et al. also examined the relationship between mVOC and the occurrence of allergy. There was a relationship between allergic rhinitis and conjunctivitis and the presence of 1-octen-3-ol [7].

In order to find mould in buildings, several different methods can be applied. The method of measuring the volatile metabolites of mould in the form of mVOC does, however, have several advantages over other methods. To measure mVOC, thermal desorption-gas chromatography-mass spectrometry (TD-GC/MS) is usually used. This work aimed to validate a method used to measure microbial volatile organic compounds with a TD-GC/MS. The method is used by the Occupational and Environmental Medicine Laboratory at Linköping University Hospital. The validation includes determining the analytical properties of the method, such as precision, accuracy, linearity, measurement range, detection limit, quantification limit, selectivity, robustness and stability. The validation includes an analysis package that includes 12 different mVOCs and three other non-microbial VOCs. To perform the validation, standard solutions were prepared in different concentrations which are impregnated onto sorption tubes filled with Tenax TA, which then are analyzed on a TD-GC/MS unit. In order to compare different sorbents, a smaller number of tubes filled with Carbograph and Tenax+Carbograph+Carbosieve are also used.

The results show differing values where linearity varies from low ($R^2=0,550$) to high ($R^2=0,998$), which also the precision ($4\leq CV\%\leq 57$) and accuracy ($34\leq \text{recovery}\%\leq 400$) does. Limits of detection and quantification are also, in several cases, above the levels of concentration of mVOC encountered in indoor air. It is recommended that new sample containers with a different adsorbent of the type Tenax TA+Carbograph 1 start to be used, which is better adapted to the wide range of boiling points of the substances included in the analysis package for mVOC. This would give higher precision, better accuracy, and possibly lower the calculated LOD and LOQ. As for the substance dimethyl sulphide, it should either be removed from the analysis package or the method should be revised so that the substance can be reliably measured, which is not possible with the method in its current form. The method appears sensitive to changing desorption temperature; this must be high enough for complete desorption. When changing the sorbent, the appropriate temperature program should be determined again. The samples are completely storage-stable within three weeks.

References

1. Hyvönen, S., J. Lohi, and T. Tuuminen, *Moist and Mold Exposure is Associated With High Prevalence of Neurological Symptoms and MCS in a Finnish Hospital Workers Cohort*. Safety and Health at Work, 2020. **11**(2): p. 173-177.
2. Hurraß, J., et al., *Medical diagnostics for indoor mold exposure*. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 2017. **220**(2): p. 305-328.
3. Borchers, A.T., C. Chang, and M. Eric Gershwin, *Mold and Human Health: a Reality Check*. Clinical Reviews in Allergy & Immunology, 2017. **52**(3): p. 305-322.
4. Korpi, A., J. Järnberg, and A.-L. Pasanen, *Microbial Volatile Organic Compounds*. Critical Reviews in Toxicology, 2009. **39**(2): p. 139-193.
5. Sahlberg, B., et al., *Airborne molds and bacteria, microbial volatile organic compounds (MVOC), plasticizers and formaldehyde in dwellings in three North European cities in relation to sick building syndrome (SBS)*. Science of The Total Environment, 2013. **444**: p. 433-440.
6. Araki, A., et al., *Relationship between selected indoor volatile organic compounds, so-called microbial VOC, and the prevalence of mucous membrane symptoms in single family homes*. Science of The Total Environment, 2010. **408**(10): p. 2208-2215.
7. Araki, A., et al., *The relationship between exposure to microbial volatile organic compound and allergy prevalence in single-family homes*. Science of The Total Environment, 2012. **423**: p. 18-26.



ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ УТИЛІЗАЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ У м. ЖОВТІ ВОДИ (УКРАЇНА)

Таміла АНАНЬЄВА, Анастасія СЕМИЛІТ

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро 49006, Україна

e-mail: ananieva.tamila@gmail.com

Тверді побутові відходи (ТПВ) є одним із видів господарсько-побутових відходів життєдіяльності людини. За морфологічним складом вони поділяються на компоненти: папір, картон, харчові відходи, дерево, метал, текстиль, скло, шкіру, гуму, камені полімерні матеріали та інші. Основними напрямками у вирішенні питань поводження з відходами є впровадження технологій, що ведуть до скорочення відходів, повторне використання відходів, застосування високоякісної сировини та матеріалів, забезпечення повного збирання, належного зберігання та недопущення знищення і псування відходів, здійснення контролю за станом місць чи об'єктів розміщення відходів [1–3]. Мета нашої роботи – дослідження технологічного процесу утилізації ТПВ у місті Жовті Води Дніпропетровської області та пошук шляхів його удосконалення.

Вивіз твердих побутових відходів від житлових будинків, організацій і підприємств у м. Жовті Води забезпечує комунальне підприємство (КП) «Чисте місто». Виробнича діяльність підприємства пов'язана з вивезенням ТПВ на полігон і його експлуатацією. Полігон ТПВ розташований у північно-східній частині міста Жовті Води, в його промисловій зоні. Із західного боку від полігону розташовується будівельний майданчик домобудівного комбінату, на півночі полігон примикає до балки і далі розташовані орні землі колективних сільськогосподарських і фермерських підприємств. Зі східного боку розташовуються городи, селитебна зона приватного сектору с. Весела Іванівка, з півдня – автомобільна дорога сполучення Кривий Ріг – П'ятихатки. У північній та північно-східній частинах міста знаходиться промислова зона. Тут розташовані гірничо-металургійний завод (ГМЗ), хвостосховище, сірчаноокислотний завод (СКЗ), міська ТЕЦ, ремонтно-механічний завод, автотранспортне господарство. Промислова зона має розгалужену мережу автомобільних шляхів. Основна частина населення міста зайнята на підприємствах, пов'язаних із переробкою уранових руд (ГМЗ), виробництвом сірчаної кислоти (СКЗ). Найближча селищна зона п. Весела Іванівка, представлена одноповерховими будинками приватної забудови. У зоні впливу полігону також розвинене сільськогосподарське виробництво, переважно вирощування зернових культур, буряківництво.

Територія полігону містить господарську зону і виробничу. Основні будівлі і споруди господарської зони забезпечують нормальне функціонування виробничих процесів:

- електропостачання полігону;
- господарсько-питне водопостачання (подача води з мережі міського водопроводу).

Основною спорудою при організації полігону ТПВ є технологічний котлован. Величина ухилу по дну котловану становить 14 %. Ущільнення підстилаючих дно котловану ґрунтів складає 1,65–1,76 г/см³.

Проектом полігону передбачено складування побутових відходів на картах, розрівнювання і ущільнення відходів від низу до верху методом «насування». Технологія ущільнення бульдозером з багаторазовою проходкою по шару покладених ТПВ висотою не більше 2 м дозволяє зменшити обсяг відходів в 4 рази. Після досягнення необхідної висоти ущільнених ТПВ здійснюється ізолювання відходів мінеральним ґрунтом або інертними будівельними відходами.

По периметру полігону ТПВ влаштована нагірна канава для відведення поверхневих вод глибиною 1,5 м, яка одночасно виконує роль огорожі.

В результаті ущільнення побутових відходів і проникнення поверхневих вод виділяється рідина (фільтрат), яка містить продукти гнильного розпаду органічних речовин сміття. Фільтрат накопичується в нижній зоні складування і відводиться по дренажним трубам в ємність (резервуар-збірник) місткістю 100 м³, а потім використовується для зрошення робочого відділення.

Розвантаження сміттевозів на робочій карті здійснюється на шарі твердих побутових відходів, які було попередньо укладено та ізолювано. Для під'їзду сміттевоза до робочих карт передбачена тимчасова дорога з залізобетонних плит. Ґрунт для ізолюючих шарів використовується з відвалів надлишкового мінерального ґрунту після утворення котловану.

При експлуатації полігону здійснюється обов'язковий контроль стану навколишнього середовища в зоні впливу:

- дозиметричний контроль привезених на ТПВ відходів;
- контроль рівня і щільності відсипання ТПВ;
- контроль надходження води у свердловини (з періодичністю 1 раз на місяць);
- контроль забруднення повітря (оксиди азоту, оксиди сірки, пил, сірководень, оксид вуглецю, акролеїн, сажа, сліди нафтопродуктів);
- контроль забруднення води у свердловинах вище полігону і нижче полігону;
- контроль забруднення ґрунтів важкими металами і нафтопродуктами.

Площа земельного відводу під полігон – 8,3 га. Площа складування твердих побутових відходів – 4,8 га. Продуктивність полігону ТПВ в обсязі річного складування – 70,0 тис. м³. Термін експлуатації полігону – 15 років.

Вивіз твердих побутових відходів на полігон забезпечують 7 сміттевозів вмістом від 40 до 60 м³ ТПВ (спеціалізований автотранспорт).

На полігоні ТПВ дозволяється поховання промислових відходів IV класу небезпеки. На промислові відходи повинні бути оформлені екологічні паспорти. Перелік промислових відходів, що спрямовуються на полігон ТПВ, повинен бути погоджений з місцевими органами санітарно-епідеміологічної, екологічної та пожежної службами. На території полігону забороняється відкрите спалювання відходів та збирання вторинної сировини (брухту).

Після закриття полігону його територію передбачається використовувати в лісотехнічних цілях шляхом посадки дерев і чагарників з кореневою системою, що неглибоко проникає.

Полігони для складування відходів є загальноприйнятим методом управління твердими відходами в багатьох містах. Полігони – це місця, спеціально призначені для безпечної та екологічно відповідальної утилізації та зберігання відходів. Важливо відзначити, що полігони мають бути правильно організовані та керовані, щоб мінімізувати негативний вплив на

довкілля. При цьому зазвичай застосовуються різні методи, такі як герметизація полігону, використання геомембран та системи збирання та обробки стічних вод.

Проте слід зазначити, що складування відходів на полігонах є тимчасовим рішенням, а не оптимальним способом управління відходами у довгостроковій перспективі. Все більше країн та міст активно розвивають методи переробки та утилізації відходів, такі як сортування та переробка для повторного використання, компостування органічних відходів та виробництво енергії з відходів. Ці підходи допомагають скоротити обсяг відходів, знизити негативний вплив на навколишнє середовище та внести елементи сталого розвитку в управління відходами.

В даний час в Україні відсутня база даних про технології переробки небезпечних відходів та методика оцінки екологічної та економічної ефективності різних технологічних і організаційних схем утилізації, ізоляції та ліквідації небезпечних відходів. У такій ситуації немає можливості дати обґрунтовані рекомендації по утилізації, ізоляції та ліквідації для кожного конкретного виду відходів.

Деякі відходи в КП «Чисте місто» є потенційними вторинними ресурсами, використання яких може бути економічно ефективним. Інші відходи є токсичними промисловими відходами, які, з метою зменшення їх шкідливого впливу на навколишнє середовище, повинні передаватися на утилізацію в спеціалізовані підприємства, що мають спеціальні дозволи на таку діяльність.

За результатами проведеної інвентаризації відходів у КП «Чисте місто» рекомендується виконати наступні заходи:

1. Доопрацювати і впровадити систему повного обліку утворення, складування, накопичення, розміщення та руху відходів на дільницях підприємства в цілому, що забезпечить достовірність заповнення форм статистичної звітності.
2. Розробити технічні карти (інструкції) для забезпечення повного обліку відходів, які утворюються, зберігаються і розміщуються на підприємстві, а також утилізуються.
3. Забезпечити повний бухгалтерський облік сировини і матеріалів, що надходять на підприємство і в результаті використання яких утворюються відходи (залишок на попередній рік, надходження та витрачання в поточному році, залишок на кінець поточного року).
4. Забезпечити постійний контроль стану місць тимчасового зберігання відходів.
5. Не допускати змішування відходів різного класу небезпеки, для чого забезпечити всі підрозділи підприємства достатньою кількістю контейнерів.

Література:

1. Закон України «Про управління відходами» від 20 червня 2022 року № 2320-IX <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text>
2. Поводження з відходами: Курс лекцій / Укладач: О. В. Рибалова. Харків: НУЦЗУ, 2016. 530 с. http://univer.nuczu.edu.ua/tmp_metod/2681/6.Kurs_lekcij.PDF
3. Волощук О. Р., Масюк О. М. Проблеми пов'язані з побутовими відходами та шляхи вирішення. *Тези XVIII Всеукр. наук. on-line конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених з міжнар. участю «Сучасні проблеми екології» 06 жовтня 2022 року*. Житомир: Житомирська політехніка, 2022. С. 61. <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/11/61.pdf>.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.290851>

УДК 661.097.3; 542.978, 697.94; 544.478.023.57; 544.478.41

APPLICATION OF FERRIFEROUS HYDROSOL FOR CO₂ CAPTURE

Ihor BYCHKO¹, Andriy TRYPOLSKYI¹, Victoria KOVBASIUK²

¹*L.V. Pisarzhevskii Institute of Physical Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Nauky Ave., 31, Kyiv, Ukraine*

²*Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute
Beresteyskiy ave., 37, Kyiv, Ukraine*

e-mail: igorbychko@ukr.net

Introduction. The demand for strategies to reduce global atmospheric concentrations of greenhouse gases is considered one of the main tasks for 21 century. The capture and sequestration of carbon dioxide, the predominant greenhouse gas, is a central strategy of these initiatives. Carbon capture and storage (CCS) schemes embody a group of technologies for the capture of CO₂ from power plants, followed by compression, transport, and permanent storage [1]. The main technologies of CO₂ capture are based on the processes of absorption-desorption in absorbing solutions, membrane separation, adsorption, and mineralization [2, 3, 4]. Technology for the use of absorbent solutions, in particular amines, is common in the industry, while other technologies are in the concept or pilot stages [5]. Carbon capture and utilization (CCU) is an alternative approach to reducing CO₂ emissions [6]. CCU can be realized by chemical fixation through the conversion of CO₂ into fuels, commodity chemicals, construction materials, or mineral carbonates represents another promising alternative for CO₂ capture. Particularly, CO₂ may be considered as feed to produce fuels such as methanol, formic acid, dimethyl carbonate, methyl formate, and higher hydrocarbons, as well as polymeric materials and pharmaceutical chemicals [7].

The carbonate cycle is a novel concept for CCU technology that is based on the adsorption of CO₂ by metal oxides with further transportation and degassing with the regeneration of initial oxide [8]. In metal carbonate decarboxylation, the reaction conditions, especially the nature of the gas atmosphere, play a crucial role in the course of the reaction. If carried out in a reducing atmosphere of hydrogen, the decomposing of carbonate combines with chemical transformations of CO₂ into valuable products. The main advantage of the carbonate method is the possibility of the transformation of carbon dioxide into hydrocarbons using hydrogen [9]. The use of "green" hydrogen in the hydrogenation of carbonates predicts a closed carbon cycle. Iron oxides are a leading candidate for this technology due to the high dissemination and low cost of iron. Iron is an industrial catalyst of Fisher-Tropsch synthesis, a process of obtaining synthetic fuels from synthesis gas [10]. It could be expected, that selection of experimental conditions allows obtaining not only methane and carbon monoxide, as a reaction product, but also higher hydrocarbons. Iron carbonate also can be utilized as inorganic pigment that provides a brown and red-brownish coloring.

As reported in the literature, only Fe²⁺, mainly in the form of FeO, applies to CO₂ capture, while Fe³⁺ is unsuitable for this approach due to its inability to form carbonates. However, FeO is a quasi-stable oxide that disproportionates producing Fe and Fe₃O₄ [11]. Therefore, iron in the form of Fe₃O₄, or a mixture of iron oxides/hydroxides is suitable for large-scale adsorption of CO₂ [12]. Adsorption capacity and kinetics can be increased by the use of a water suspension. The commercial products of

suspension of iron oxides/hydroxides named ferryferrohydrosol (FFH) which is used for purification of waste water, is also predicted to be a perspective adsorbent for CO₂. FFH is a colloidal suspension of two- and three-valence iron hydrated compounds, used as a reagent for wastewater pollutants binding. The method of manufacturing FFH is apparently simple and based on the electrolysis of iron and steel stamping waste. Predicted, that electrolysis of steel leads to a formation of iron-containing oxide-hydroxide nanoparticles that shows a tendency of coagulation into coarse bunches, and the formation of agglomerates with a size of several micrometers. Formed FFH characterizes by enhanced sorption capacity, particularly due to the developed specific surface of iron-containing particles, that can achieve 400 m².

The presented work is dedicated to the assessment of the possibility of capturing CO₂ using the FFH suspension as a perspective product for cleaning concentrated exhaust gases produced by fossil fuel-based enterprises.

Methods. Samples of FFH were provided by the manufacturer, the INECO company (Innovation Ecology), Vilnius, Republic of Lithuania. It was provided 3 samples that contains 40g/l of FFH with 4g/l of NaCl (FFH-NaCl), 30g/l of FFH with 4g/l of Na₂SO₄ (FFH-Na₂SO₄), and 40g/l of FFH with 4g/l of Na₂SO₄ and 2 g/l of a compound (FFH-Na₂SO₄+). Also, commercial magnetite Fe₃O₄ 325 mesh ($\approx 45 \mu\text{m}$) from “Thermo scientific” was used as a sample for comparison. The structure of the samples were characterized by Raman spectroscopy. Raman spectra were performed a HORIBA Jobin-Yvon T64000 spectrometer using exciting Ar-Kr laser radiation at a wavelength of 488 nm and a power of 100 mW. Fourier transform infrared (FTIR) spectra were obtained using a Spectrum-One spectrometer (PerkinElmer). The dynamic light scattering (DLS) measurements were made with a Malvern Zetasizer Nano S, using a 633 nm HeNe laser at 4 mW. Aqueous suspensions of initial FFH, and FFH after CO₂ adsorption were tested in quartz cuvettes having a 10 mm path length. The analysis was operated in backscatter mode at an angle of 173°. Samples were equilibrated at 25 °C for 30 min before measurement. The concentration of FFH in water was 1 mg/ml. The capacity of FFH for CO₂ adsorption was determined using a volumetric method. The flask with a sample was connected to a cuvette filled with dibutylphthalate. The duration of each adsorption experiment was at least 30 minutes.

Results and Discussion. Figure 1 presents FTIR and Raman-spectra of initial FFH samples, commercial Fe₃O₄, and corresponding samples after CO₂ adsorption. A comparison of spectra of initial FFH shows that spectra of FFH-Na₂SO₄+ and FFH-Na₂SO₄ are very similar, while the spectrum of FFH-NaCl shows a noticeable difference. Bands at 340 cm⁻¹, 495 cm⁻¹, and a broad band at 685cm⁻¹ in combination with a band at 1395 cm⁻¹ show, that the main phase of FFH-Na₂SO₄+ and FFH-Na₂SO₄ is maghemite - $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ [13]. The spectra of FFH-NaCl present the same bands combined with two intense bands at 220 cm⁻¹ and 280 cm⁻¹ which are corresponds to hematite - $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ [14]. Raman spectra of magnetite contains a weak band at 540 cm⁻¹ and strong band at 662 cm⁻¹, which are typical bands of magnetite [15].

A comparison of Raman-spectra of initial FFH samples and FFH after CO₂ adsorption shows only a slight decrease of band intensity. The main Raman bands of siderite appear at 190 cm⁻¹, 290 cm⁻¹, and the most intense band at 1100 cm⁻¹ [16]. Therefore, CO₂ adsorption does not lead to the appearance of detectable bands of siderite, which can be caused by a low concentration of formed siderite. Raman spectra of magnetite after CO₂ adsorption are almost identical to the initial Fe₃O₄.

Bands at 570-580 cm⁻¹ in the FTIR spectra correspond to a Fe–O stretching mode of the tetrahedral and octahedral sites of Fe₃O₄ in Fe₃O₄, and FFH samples. Weak band 800 cm⁻¹ can be attributed to a –OH stretching vibration of $\alpha\text{-FeOOH}$ [17, 18]. Bands with low intensity near 1000 cm⁻¹ are the bending vibration of –OH modes in $\gamma\text{-FeOOH}$ and a broad peak at 1100 cm⁻¹ is the bending vibration of OH modes in $\delta\text{-FeOOH}$. Peaks at 1300–1500 cm⁻¹ could be related to the stretching vibration band

of the CO₃ group that mainly arises from the contamination of solutions by atmospheric carbon dioxide [19]. A pronounced band at ~ 1620–1630 cm⁻¹ is related to the H–O–H bending of water.

Adsorption of CO₂ leads to the appearance of the band at 470 cm⁻¹ in FFH-NaCl(CO₂) and FFH-Na₂SO₄(CO₂) as well as a new band at 440 cm⁻¹ in Fe₃O₄-CO₂, which corresponds to metal-oxygen vibration modes of maghemite [20]. The spectra of Fe₃O₄-CO₂ contain a doubled band at 520–750 cm⁻¹ which is a result of the combination of Fe–O stretching mode of Fe₃O₄ and γ-Fe₂O₃. The spectra of Fe₃O₄(CO₂) contain two intense bands at 900–1100 cm⁻¹ that are attributed to surface OH groups in magnetite (960 cm⁻¹) and maghemite (1080 cm⁻¹). There is a significant increase in the intensity of

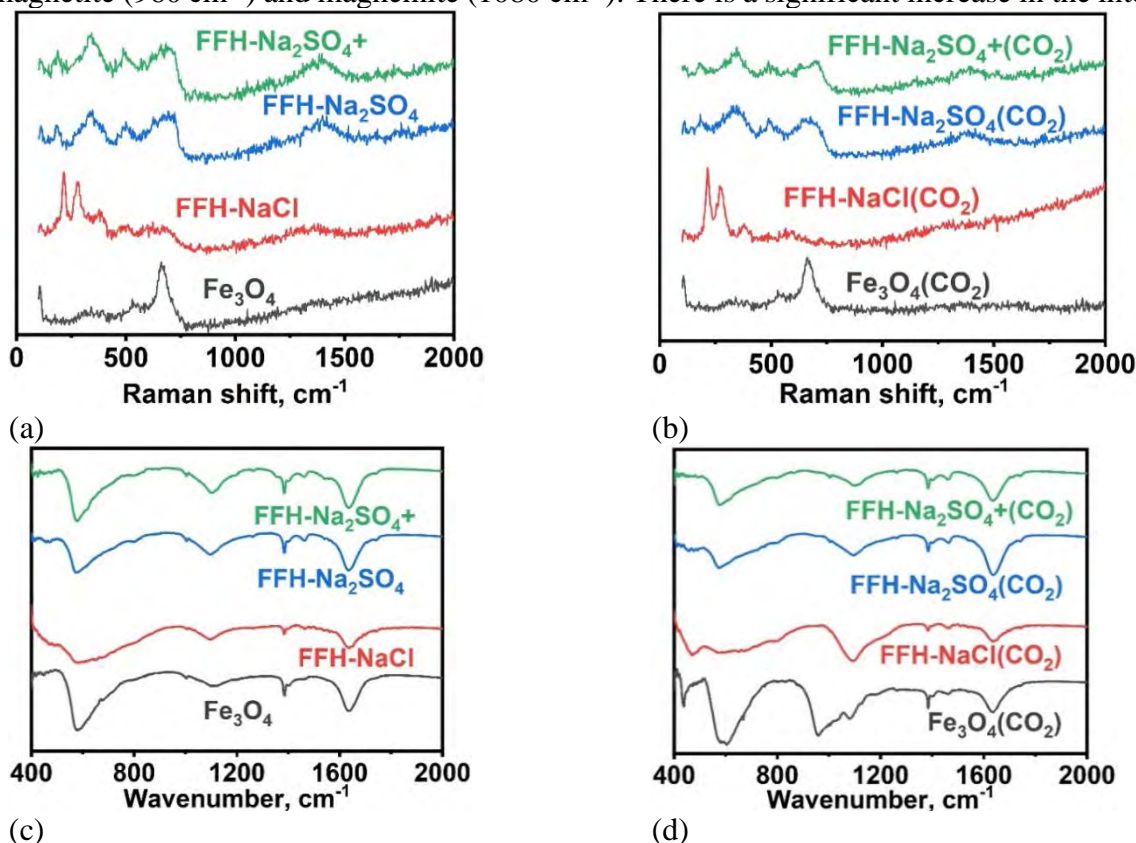


Figure 1. Raman (a) and FTIR (b) spectra of initial FFH samples, commercial Fe₃O₄, and Raman (c) and FTIR (d) spectra of corresponding samples after CO₂ adsorption.

the band at 1100 cm⁻¹ for the FFH-NaCl(CO₂) sample in comparison with the initial FFH-NaCl. This result indicates an increase in the content of the phase of γ-FeOOH due to CO₂ adsorption. Adsorption of CO₂ does not lead to significant changes in the FTIR spectra of FFH-Na₂SO₄(CO₂) and of FFH-Na₂SO₄+(CO₂) compared with initial samples.

Table 1. Average particles size of initial FFH samples and FFH after adsorption of CO₂.

№	Sample	Average particles size, μm
1	FFH-Na ₂ SO ₄ +	6.5±0.2
2	FFH-Na ₂ SO ₄	3.4±0.1
3	FFH-NaCl	4.7±0.1
4	FFH-Na ₂ SO ₄ +(CO ₂)	2.8±0.1
5	FFH-Na ₂ SO ₄ (CO ₂)	2.7±0.1
6	FFH-NaCl(CO ₂)	2.6±0.1

Table 1 presents the average particles size of initial FFH samples and FFH samples after CO₂ adsorption determined by DLS. Obtained results show that FFH contains particles of a size of several micrometers. The smaller particles of 2.5 micrometers contain FFH-NaCl, while FFH-Na₂SO₄+ contains the larger particles of 6.5 micrometers. Adsorption of CO₂ decreases the average particle size for all samples to a size close to 2.7 micrometers. This result indicates that the adsorption of CO₂ leads to breaking the bonds in iron-containing particles, probably hydrogen bonds that result in the grinding of the particles agglomerates to smaller initial particles. Therefore, analysis shows, that FFH contains a suspension of iron-containing particles with a size of several micrometers which are a mix of oxides and hydroxides of Fe²⁺ and Fe³⁺. The main crystalline phases of these particles are maghemite, hematite, and magnetite with a significant content of their hydrated forms. It can be speculated, that the main amount of CO₂ adsorbs by Fe in amorphous forms, which are the major phase of Fe in FFH. Adsorption of CO₂ has a limited effect on the transformation of crystalline phases, which consists in the transition of the magnetite phase to maghemite. While the amorphous phase of particles adsorbs CO₂ by surface OH-groups and oxides forming nanostructures containing carbonates and hydroxycarbonates that aggregate into particles with sizes near 2.5-3 micrometers.

Table 2 presents experimental results of the adsorption of CO₂ by FFH samples. At 20 °C FFH adsorbs 3-4.5 liters or 6-8.5 g of CO₂. The ultimate amount of adsorbed CO₂ by iron oxide/hydroxide systems can be calculated according to the ratio, where 1 mole of Fe adsorbs 1 mole of CO₂. This proportion follows from the equation FeO+CO₂=FeCO₃. Therefore, 1 liter of FFH, which contains 40 g of Fe, can adsorb 31.4 g or 16 liters of CO₂. Adsorption of CO₂ by water is negligible due to the influence of electrolyte and solid particles, which dramatically reduce the adsorption capacity of the water. Therefore, according to this approach, the adsorption capacity of FFH samples is 8.5-14.5% of the theoretic value. This indicates that only a limited amount of iron compounds adsorbs CO₂. The adsorption capacity determined experimentally is lower than the theoretic value, which can be caused by the inaccessibility of the inner part of particles to the CO₂ at 20 °C. The high content of Fe³⁺ is another reason of the depressed capability of FFH towards the adsorption of CO₂. Adsorption of CO₂ by magnetite is negligible, that is a consequence of a very low specific surface due to large particles size.

Table 2. The density of FFH samples, the amount of adsorbed CO₂ by FFH samples at 20° C, and the amount of adsorbed CO₂ relative to the theoretic value obtained from the proportion of (1 mole CO₂)/(1 mole FeO).

Sample	Density, g/cm ³	liter(CO ₂)/liter(FFH)	g(CO ₂)/kg(FFH)	g(CO ₂)/g(Fe)	% from theory
FFH-Na ₂ SO ₄ +	1.06	3.1	5.8	0.15	8.5
FFH-Na ₂ SO ₄	1.04	3.9	7.4	0.26	14.5
FFH-NaCl	1.05	4.3	8	0.21	12
*Fe ₃ O ₄	-	<0.01	<0.1	<0.001	<0.001

* Experiment of CO₂ adsorption by Fe₃O₄ was provided using a suspension of 40g Fe₃O₄ and 4g NaCl in 1 liter of water

Comparison of data presented in Table 1 and Table 2 shows, that amount of adsorbed CO₂ increases with a decrease of particles size of FFH. This result indicates that the influence of particles

size on the adsorption capacity is very significant. Therefore, a strategy for the creation of a highly effective FFH is not only to obtain a FFH with a high content of Fe²⁺ but also with a small size of iron-containing particles. Also, it can be concluded that the main role of electrolytes is the determination of particles size of FFH, and the influence of various electrolytes on differences in phase composition, the ratio of Fe²⁺/Fe³⁺, and, as a consequence, the adsorption capacity is negligible.

The alternative approach, which is based on the study of model systems of iron oxides, shows that at room temperature is mainly observed physical adsorption of CO₂ on all types of iron oxides. It was shown, that the degree of surface hydroxylation plays a decisive role in the adsorption of CO₂ on the surface of iron oxides, which leads to the formation of adsorbate forms identified as surface bicarbonates. Adsorbed CO₂ over a long period of time can transform into a chemisorbed form with the formation of carbonates and bicarbonates. However, such a process occurs only in the presence of Fe²⁺ [21, 22, 23]. According to this, a developed surface of iron oxides is required for an increase in the absorption capacity. The maximum amount of 3.01*10⁻³ gCO₂/g of absorbed CO₂ was observed for Fe₂O₃. The adsorption of CO₂ by a biochar/Fe oxyhydroxide sorbent of 0.16 gCO₂/g at 25 °C was achieved [21].

Following this approach obtained values of adsorbed CO₂ by FFH allow the determination of the specific surface area (SSA) of iron particles which can be calculated using:

$$S = q \cdot \sigma_0 \cdot N_A$$

where, q is the adsorption capacity of CO₂ (mol/g), σ_0 is the area claimed by an adsorbed molecule of CO₂ (0.109*10⁻¹⁸ m²), and N_A is Avogadro's number (6.022*10²³ mol⁻¹). The obtained result of the SSA of iron in FFH gives 220-390 m²/g. Comparing the values of SSA and particles size obtained by DLS confirms that the iron-containing oxide particles in the samples are porous agglomerates of smaller, mostly amorphous nanoparticles with a highly developed surface.

Conclusions. The possibility of applying FFH for the absorption of CO₂ from concentrated exhaust gases was demonstrated. It was shown, that the structure of FFH is a suspension of iron-containing nanoparticles which are a mix of oxides and hydroxides of Fe²⁺ and Fe³⁺. These nanoparticles are agglomerated in larger particles with a size of several micrometers. The main crystalline phases of these particles are maghemite, hematite, and magnetite with significant content in their hydrated forms. FFH samples have a developed surface in the range of 200-400 m²/g. The absorption capacity for CO₂ of 0.26 g(CO₂)/g(Fe) at room temperature was shown. A high absorption capacity of FFH can be associated with a highly developed surface area of the samples and a high degree of surface hydroxylation. Therefore, the use of FFH to absorption of CO₂ from concentrated exhaust gases has significant advantages over solid sorbents.

Acknowledgments. This work was provided with the support of The EUREKA Network, project E! 13401 FFH-CO₂.

References:

1. Arshad Raza, Raouf Gholami, Reza Rezaee, Vamegh Rasouli, Minou Rabiei. (2019). Significant aspects of carbon capture and storage – A review. *Petroleum*. 5(4). pp. 335-340.
2. Brunetti A., Scura F., Barbieri G., Drioli E. (2010). Membrane technologies for CO₂ separation. *Journal of Membrane Science*. 359(1–2), pp. 115-125.
3. Masoud Mofarahi, Fatemeh Gholipour. (2014). Gas adsorption separation of CO₂/CH₄ system using zeolite 5A. *Microporous and Mesoporous Materials*. 200. pp. 1-10.
4. Zhang S., DePaolo D.J. (2017). Rates of CO₂ Mineralization in Geological Carbon Storage. *Accounts of chemical research*. 50(9). pp. 2075-2084.

5. Lalit A. Darunte, Krista S. Walton, David S. Sholl, Christopher W. Jones. (2016). CO₂ capture via adsorption in amine-functionalized sorbents. *Current Opinion in Chemical Engineering*. 12. pp. 82-90.
6. Ikhlas Ghiat, Tareq Al-Ansari. (2021). A review of carbon capture and utilisation as a CO₂ abatement opportunity within the EWF nexus. *Journal of CO₂ Utilization*. 45. 101432.
7. Anwar M.N., Fayyaz A., Sohail N.F., Khokhar M.F., Baqar M., Yasar A., Rasool K., Nazir A., Raja M.U.F., Rehan M., Aghbashlo M., Tabatabaei M., Nizami A.S. (2020). CO₂ utilization: Turning greenhouse gas into fuels and valuable products. *Journal of Environmental Management*. 260. 110059.
8. Lux S., Baldauf-Sommerbauer G., Siebenhofer M. (2018). Hydrogenation of Inorganic Metal Carbonates: A Review on Its Potential for Carbon Dioxide Utilization and Emission Reduction. *ChemSusChem*. 11(19). pp. 1864-5631.
9. Bychko I.B., Kovbasiuk V.I., Trypolskyi A.I., Ivanchuk V.Y., Strizhak P. E. (2021). Low-Temperature Hydrogenation of Iron Carbonate Followed By Production of C4-C6 Hydrocarbons. *Theoretical and Experimental Chemistry*. 57. pp. 351-357.
10. Frączak J., de Paz Carmona H., Tišler Z., Hidalgo Herrador J.M., Gholami Z. (2021). Hydrocracking of Heavy Fischer-Tropsch Wax Distillation Residues and Its Blends with Vacuum Gas Oil Using Phonolite-Based Catalysts. *Molecules*. 26(23):7172.
11. Eduin Yesid Mora Mendoza, Armando Sarmiento Santos, Enrique Vera López, Vadym Drozd, Andriy Durygin, Jihua Chen, Surendra K. Saxena. (2019). Iron oxides as efficient sorbents for CO₂ capture. *Journal of Materials Research and Technology*. 8(3). pp. 2944-2956.
12. Mora Mendoza E., Sarmiento Santos A., Vera E., Drozd V., Durygin A., Chen J., Saxena S. (2019). Siderite Formation by Mechanochemical and High Pressure-High Temperature Processes for CO₂ Capture Using Iron Ore as the Initial Sorbent. *Processes*. 7. 735.
13. de Faria D. L. A., Venâncio Silva S., de Oliveira M. T. (1997). Raman microspectroscopy of some iron oxides and oxyhydroxides. *Journal of Raman Spectroscopy*. 28(11). pp. 873-878.
14. Shim Sang-Heon, Duffy Thomas S. (2002). Raman spectroscopy of Fe₂O₃ to 62 GPa. *American Mineralogist*. 87(2-3). pp. 318-326.
15. Chicot Didier, Francine Roudet, Lepingle V., Louis Ghysels. (2009). Strain gradient plasticity to study hardness behavior of magnetite (Fe₃O₄) under multicyclic indentation. *Journal of Materials Research*. 24. pp. 749-759.
16. Tuller H.L., Nowick, A.S. (1977). Small Polaron Electron Transport in Reduced CeO₂ Single Crystals. *J. Phys. Chem. Solids*. 38, pp. 859-867.
17. Stoia Marcela, Istrate Roxana, Păcurariu C. (2016). Investigation of magnetite nanoparticles stability in air by thermal analysis and FTIR spectroscopy. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 125.
18. Xing B., Graham N., Yu W. (2020). Transformation of siderite to goethite by humic acid in the natural environment. *Commun Chem*. 3. 38.
19. Kumar Rohit, Sakthivel R., Behura Reshma, Mishra B.K., Das D. (2015). Synthesis of magnetite nanoparticles from mineral waste. *Journal of Alloys and Compounds*. 645. pp. 398-404.
20. Siyaram Sankadiya, Nidhi Oswal, Pranat Jain, Nitish Gupta. (2016). Synthesis and characterization of Fe₂O₃ nanoparticles by simple precipitation method. *AIP Conf. Proc*. 1724(1). 020064.
21. Xiaoyun Xu, Zibo Xu, Bin Gao, Ling Zhao, Yulin Zheng, Jinsheng Huang, Daniel C.W. Tsang, Yong Sik Ok, Xinde Cao. (2020). New insights into CO₂ sorption on biochar/Fe oxyhydroxide composites: Kinetics, mechanisms, and in situ characterization. *Chemical Engineering Journal*. 384. 123289.
22. Xiaoke Li, Joachim A. Paier. (2020). Vibrational properties of CO₂ adsorbed on the Fe₃O₄ (111) surface: Insights gained from DFT. *The Journal of chemical physics*. 152(10). 104702.
23. Sergio Tosoni, Davide Spinnato, Gianfranco Pacchioni. (2015). DFT Study of CO₂ Activation on Doped and Ultrathin MgO Films. *The Journal of Physical Chemistry C*. 119(49). pp. 27594-27602.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.290976>

УДК 543.3:546.134

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПОГЛЯДІВ НА ПОБІЧНІ ПРОДУКТИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ДІОКСИДОМ ХЛОРУ

Олександр БОНДАРЧУК¹, Лариса СПАСЬОНОВА¹, Андрій МОКІЄНКО²

¹Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського
Берестейський проспект, 37, Україна, м. Київ 03056, Україна

e-mail: bondarchukau@gmail.com

²Національний університет «Острозька академія»
вул. Семінарська, 2, м. Острог, Рівненська обл. 35800, Україна

e-mail: osa@oa.edu.ua

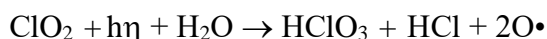
Окиснення є універсальним інструментом обробки води, який можна використовувати для дезінфекції, деградації забруднюючих речовин і для покращення інших варіантів обробки. Дезінфікуючим засобом, який найбільш часто використовується, для очищення питної води є хлор. Основним недоліком хлорування є утворення небажаних побічних продуктів дезінфекції. Іншою альтернативою застосуванню вільного хлору є діоксид хлору (ClO₂). На початку, ClO₂ використовувався для мінімізації утворення хлорфенолу під час хлорування. Перевага мінімізації утворення хлорованих побічних продуктів дезінфекції збільшила інтерес до ClO₂ після встановлення жорстких вимог до вмісту у питній воді тригалометанів (ТГМ).

Метою даного дослідження є аналіз сучасних поглядів на побічні продукти очищення води діоксидом хлору.

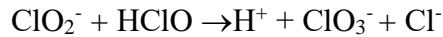
Діоксид хлору (ClO₂) в основному застосовується для передокиснення води для деструкції органічних і неорганічних сполук, зменшення мікробіологічних забруднень і покращення седиментації. Крім того, застосування ClO₂ для очищення води запобігає повторному мікробному росту в системі розподілу. Незважаючи на те, що дезінфікуючий ефект ClO₂ відомий певний час, потенційне використання для ослаблення мікрозабруднювачів під час окиснення при обробці стічних вод або попереднього окиснення питної води привернуло увагу лише в останні два десятиліття [1].

Хоча ClO₂ пригнічує утворення деяких шкідливих DBP, основним продуктом реакцій ClO₂ у воді є хлорит (ClO₂⁻). Хлорит регламентується у питній воді з максимальним рівнем забруднення 0,7 мг/дм³ (10 мкМ) ВООЗ; 1,0 (15 мкМ) мг/дм³ у Сполучених Штатах і 0,2 мг/дм³ (3 мкМ) у Німеччині. Виходячи з припущення, що 30-70% ClO₂ перетворюється на хлорит [2], максимальна доза ClO₂ обмежена від 1,2 (18 мкМ) до 1,4 мг/л (21 мкМ). Крім того, утворюється хлорат як інший неорганічний побічний продукт (стандарт хлорату для питної води становить 0,7 мг/дм³), але в нижчих концентраціях, ніж хлорит.

Утворення хлоритів та хлоратів у воді може мати місце внаслідок розпаду ClO₂ у лужному середовищі або під дією світла:



Хлорати можуть утворюватися при окисненні хлоритів хлорнуватистою кислотою відповідно реакції:



Як відомо, усі дезінфекційні засоби мають реакційні молекули, здатні змінити хімічну природу органічних речовин у воді. Тому проблема альтернативних дезінфектантів пов'язана також з іншими аспектами обробки води, зокрема з проблемою видалення органічних забруднювачів з води до дезінфекції.

Утворення хлоритів протікає приблизно з виходом 60-70 % у розрахунку на використаний діоксид хлору, тобто – 1 мг ClO_2 відновлюється до 0,6-0,7 мг ClO_2^- . За іншими даними вихід хлоритів становить 50-70 % залежно від якості води.

Утворення хлоритів при знезараженні води ClO_2 та галогенопохідних органічних сполук під впливом Cl_2 може бути зведено до мінімуму при знезараженні води з великим вмістом бромідів. Результати експериментів показали, що швидкість утворення хлоритів відображає швидкість споживання ClO_2 , при цьому кількість хлоритів, що утворюються, становить 60 % від поглиненого ClO_2 . При знезаражуванні води хлоруванням в результаті окиснення бромідів ClO_2 утворюється Br_2 , який реагує з органічними сполуками більш інтенсивно, ніж хлор, з утворенням тригалометанів (ТГМ) і галогенорганічних сполук (ГОС). Зменшення кількості небажаних продуктів спостерігалось при обробці води ClO_2 та його реакції з органічними домішками до введення Cl_2 . Попередня обробка води ClO_2 у концентрації 1 мг/дм³ за 2 години до застосування Cl_2 у концентрації 2 мг/дм³ сприяло зменшенню утворення ТГМ на 60 % порівняно з їх кількістю, що утворюється при дії тільки Cl_2 . При цьому утворення хлоритів зменшується на 90 % порівняно з їх кількістю, що утворюється при дії тільки ClO_2 .

Зменшення неорганічних побічних продуктів діоксиду хлору у питній воді – іонів хлориту та хлорату – актуальна проблема, якщо розглядати ClO_2 як адекватну альтернативу при обробці води. Використання іонів сульфату або діоксиду сірки дозволяє видалити хлорит-іон до рівня нижче 0,1 мг/дм³ протягом хвилини з подальшою обробкою вільним хлором для видалення сульфат-іону та діоксиду сірки. Стехіометрія та кінетика реакцій описані для рН 5,5-8,5 таким чином, щоб результати могли бути застосовані безпосередньо до існуючих схем обробки питної води.

Результати лабораторних дослідів, які мали на меті вивчення впливу органічних домішок на утворення хлоритів при обробці води ClO_2 , показали наступне. При високих концентраціях органічних домішок у воді використання ClO_2 для хлорування води призводить до утворення хлоритів, при цьому необхідна залишкова доза ClO_2 в обробленій воді не досягається. Тому для вод із високою концентрацією органічних домішок використання ClO_2 доцільно у разі, якщо здійснюється видалення з води хлоритів. Показано, що для видалення хлоритів може бути використане активоване вугілля, проте з часом його ємність значно падає.

Встановлено, що можливий надлишок хлоритів легко усувається фільтруванням через активоване вугілля або відновленням до хлоридів при дозуванні у воду сульфатів та інших відновників. Проведені дослідження щодо видалення хлоритів за допомогою іонів двовалентного заліза, які додаються як коагулянти до природної води, “передокисненої” діоксидом хлору, показали, що хлорити відновлюються до безпечних хлоридів. Цей метод дає можливість діоксиду хлору залишитися оптимальною альтернативою хлору без обмеження концентрацій та гарантувати безпеку для споживача та навколишнього середовища. Особливо він ефективний для передокислення природної води, яка забруднена органічними речовинами, оскільки не ініціює утворення тригалогенметанів та інших хлорорганічних речовин.

У дослідженні проб води різного походження (альпійське озеро, штучне озеро та річка) піддавали комплексному очищенню, що включає передокиснення, коагуляцію/флокуляцію, адсорбцію на гранульованому активованому вугіллі та дезінфекцію. Оцінювали вплив обробки на ClO_2 -поглинання та формування побічних продуктів дезінфекції (ТГМ, адсорбований органічний галоген (АОГ), хлорит та хлорат). Результати показали, що коагуляція/флокуляція та адсорбція на активованому вугіллі мають найбільший вплив на скорочення споживання дезінфектанту. Передокиснення води штучного озера KMnO_4 і NaClO показувало найвище ClO_2 -поглинання. Незалежно від водного джерела кількість хлориту за схемою $\text{ClO}_2 - \text{NaClO}$ була на 40-60 % нижчою, ніж за схемами $\text{ClO}_2 - \text{KMnO}_4$ або $\text{ClO}_2 - \text{ClO}_2$. Гіпохлорит натрію (NaClO) призводив до формування АОГ і ТГМ у воді штучного озера (до 60 і 20 мкг/дм^3 відповідно), у той час як при окисненні ClO_2 формування ТГМ було меншим на 98 % порівняно з NaClO . Подальша обробка залізовмісним коагулянт/флокулянт під час попереднього окиснення видаляла хлорит на 90 %, головним чином, через його відновлення до хлориду. Подальша адсорбція на активованому вугіллі видаляла АОГ і ТГМ відповідно на 50-60 % та 30-98 % і закінчувала видалення хлорату та хлориту.

Отримані дані щодо утворення хлоритів при обробці води (природної, очищеної, хлорованої) дозволяють констатувати, що вихід хлоритів залежить від наступних факторів:

- концентрації розчинених у воді органічних та неорганічних речовин та їх хімічної природи;

- рН води;
- рівнів мікробного забруднення води;
- введеної дози діоксиду хлору;
- тривалості контакту діоксиду хлору з водою;
- температури;
- концентрації залишкового вільного хлору.

Вихід хлоритів як побічних продуктів знезараження діоксидом хлору характерний для кожного конкретного зразка води і може становити від 0 до 70 % від введеного або поглиненого діоксиду хлору. Концентрація хлоритів змінюється у часі, оскільки хлорити вступають із компонентами води (мікробіологічними і хімічними) в окислювально-відновні реакції, швидкості яких значно нижчі ніж з діоксидом хлору.

Варто зазначити, що високі варіації виходу хлориту та хлорату та відсутня частка в балансі хлору ще навряд чи зрозумілі. Утворення цих неорганічних, а також органічних побічних продуктів може змінюватися залежно від реакційноздатних фрагментів реакційних партнерів ClO_2 . Також повідомляється, що попереднє окиснення ClO_2 може змінити утворення DBP у наступних процесах, таких як хлорування. Крім того, в останніх роботах з ClO_2 показано, що механізми реакції набагато складніші, ніж очікувалося.

Діоксид хлору реагує з багатими на електрони фрагментами, включаючи феноли, аніліни, відновлену сірку, активовані аміни, та з такими, що мають подвійні зв'язки, а також деякими неорганічними сполуками, такими як Fe(II) та йод. З іншого боку, ClO_2 майже не реагує з первинними амінами та всіма позитивно зарядженими амінами. Швидкість реакції ClO_2 з різними фрагментами може змінюватися більш ніж на 10 порядків, що вказує на високу селективність ClO_2 для практики очищення води,

Це можна продемонструвати на прикладі фенолу, який є слабкою кислотою і дисоціює у воді на фенолят і фенол. Фенол майже не реагує з ClO_2 , а фенолят реагує дуже швидко. Отже, за типових умов обробки води ($\text{pH} \geq 6$) фенолят є основним реакційноздатним компонентом і швидкість реакції, що спостерігається, значно зростає зі зростанням рН через збільшення частки феноляту.

Виходи хлориту можуть коливатися від 30 % до 70 % на спожитий ClO_2 . Повідомлені виходи хлорату набагато менші (< 20 %). Цей малий вихід також може включати хлорат, який утворюється під час генерування ClO_2 , у побічних реакціях з іншими хімічними речовинами, диспропорціонування ClO_2 або фотореакцій залишкового ClO_2 у воді під впливом сонячного світла [1].

За іншими даними [3], у разі обробки води ClO_2 зазвичай до 60 % застосованої дози ClO_2 перетворюється на хлорит-іон, а 8–10 % перетворюється на хлорат-іон, на утворення якого впливає наявність різноманітних органічних і неорганічних компонентів у довікллі.

У роботі [4] було досліджено наявність у питній воді хлориту та хлорату. Двісті дев'яносто чотири зразки питної води було зібрано з семи опріснювальних установок (DP), чотирьох резервуарів (R) і восьми мечетей (M), розташованих у різних місцях південного та північного Катару. Рівні концентрації ClO_2 коливалися від 0,38 до <0,02 мг/дм³ із середніми значеннями 0,17; 0,12 і 0,04 мг/дм³ для DP, R і M відповідно. Рівні хлориту коливалися від 13 мкг/дм³ до 440 мкг/дм³, із середніми значеннями від 13 до 230 мкг/дм³, 77-320 мкг/дм³ і 85-440 мкг/дм³ для DP, R і M відповідно. Рівні хлорату коливалися від 11 мкг/ дм³ до 280 мкг/ дм³, середні значення коливалися від 36 до 280 мкг/ дм³, 11-200 мкг/ дм³ і 11-150 мкг/ дм³ для DP, R і M відповідно. Всі концентрації DBP потрапили в діапазон нормативних обмежень, встановлених Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ) [5].

Утворення DBP в контексті окиснення ClO_2 можна мінімізувати двома різними способами. Перший спосіб полягає у використанні варіантів попередньої обробки для мінімізації побічних продуктів, пов'язаних із ClO_2 , наприклад попереднє озонування. Другий — це використання ClO_2 як попереднього окиснювача для мінімізації утворення побічних продуктів інших дезінфікуючих засобів (наприклад, хлору, хлораміну). Саме цей метод обґрунтовано результатами досліджень в Україні [6].

Експериментально обґрунтовано та впроваджено оптимальну схему послідовного комбінованого застосування діоксиду хлору та хлору (хлор-газу чи гіпохлориту натрію) для знезараження питної води: діоксид хлору вводиться на стадії передокиснення, а хлор – на стадії постзнезараження. В залежності від якості вихідної води ефективна доза діоксиду хлору на стадії передокиснення становить 1,0 – 1,5 мг/дм³, що в 3-4 рази менше за дозу хлору, достатню для досягнення подібного ефекту.

За такою схемою вже на стадії передокиснення поліпшуються органолептичні властивості води, попереджується утворення тригалогенметанів, забезпечується первинне знезараження води, у т.ч. щодо вірусів, відбувається часткове окиснення органічних сполук, що видаляють згодом у процесі коагуляційного очищення.

Хлорування природної води, що пройшла передокиснення діоксидом хлору, призводить до повного окиснення хлоритів, які утворилися, до діоксиду хлору, що підвищує ефективність знезараження та забезпечує бактеріостатичний ефект (продовжувану дію) у водорозподільчих мережах.

Ретроспективний аналіз ефективності впровадження технології комбінованого знезараження питної води діоксидом хлору та гіпохлоритом натрію на комунальному підприємстві «Виробниче управління водопровідно-каналізаційного господарства» Горішньоплавнівської міської ради (м. Горішні Плавні, Кременчуцький район, Полтавська область) показав наступне: комплексна послідовна дія діоксиду хлору та хлору має гігієнічний (знижується кількість побічних продуктів) та економічний (витрати окиснювачів зменшуються) ефекти; результати моніторингу вмісту діоксиду хлору та хлоритів свідчать про відповідність якості питної води чинним вимогам щодо вмісту хлоритів у питній воді [7].

Технологічну схему комбінування діоксиду хлору і хлору слід вважати найбільш оптимальною у тому числі з точки зору мінімізації вмісту побічних продуктів дезінфекції у питній воді.

Література:

1. Mechanisms and byproduct formation in the application of chlorine dioxide. M. S. Abdighahroudi et al. *Comprehensive Analytical Chemistry*. 2021. V. 92. P. 51-83.
2. Мокиєнко А. В. Диоксид хлора: применение в технологиях водоподготовки. 2-е изд. перераб и доп. Одесса : «Фенікс», 2021. 336 с.
3. Padhi R.K., Subramanian S., Satpathy K.K. Formation, distribution, and speciation of DBPs (THMs, HAAs, ClO₂ – and ClO₃ –) during treatment of different source water with chlorine and chlorine dioxide. *Chemosphere*. 2019. V. 218. P. 540-550.
4. Disinfection by-products of chlorine dioxide (chlorite, chlorate, and trihalomethanes): Occurrence in drinking water in Qatar. F. Al-Otoum et al. *Chemosphere*. 2016. V. 164. P. 649-656.
5. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva: World Health Organization; 2017. 631 p. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Режим доступу: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf>
6. Петренко Н. Ф. Наукове обґрунтування комбінованих методів знезараження питної води. Дис. ... д. б. н: 14.02.01 ДУ „Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва Академії медичних наук України”. К., 2012. 396 с.
7. Спасьонова Л.М., Бондарчук О.Ю., Мокієнко А.В. Ретроспективний аналіз ефективності впровадження технології комбінованого знезараження питної води діоксидом хлору та гіпохлоритом натрію. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2023. Том 34 (73), № 4. С. 207-212.



ЩОДО ЗАМКНУТОГО ВОДОКОРИСТУВАННЯ В ГІРНИЧІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Олена БУБНОВА, Катерина ЛЕВЧЕНКО

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

вул. Сімферопольська, 2а, м. Дніпро 49005, Україна

e-mail: levchenko_scientist@ukr.net

Підприємства різних галузей щороку зіштовхуються з проблемою раціонального споживання води в своїй діяльності. Наявна система використання та залучення вод все ж не дає необхідного результату, бо спостерігається зменшення обсягів доступних до використання якісних прісних водних ресурсів, обміління поверхневих та вичерпання підземних вод тощо.

За інформацією [1-3] в таблиці 1 зібрані загальні показники забору та використання вод в Україні за 2019 – 2021 роки, які зображені на рисунку 1. Показники вказані без урахування даних водокористувачів тимчасово окупованих територій у Донецькій, Луганській областях, Автономній Республіці Крим.

Таблиця 1. Основні загальні показники забору та використання вод в Україні з 2019 по 2021 роки

Показник використання води	Обсяг, млн. куб. м			
	2019 рік	2020 рік	2021 рік	2022 рік
Забрано всього з природних джерел	11111	9952	8871,141	4883,0
- з підземних водних джерел	1157	972,2	1002,24	787,0
у тому числі шахтно-кар'єрних вод	318,3	241,6	267,1	н/д
Використано прісної води на різні потреби	6821	6761	5649	3397,0
- із них питної	1675	1608,5	1482	753,0
- технічної	5146	5152,6	4167	2397,0
Використано зворотних вод	40306	35432	34122	18988
Загальне водовідведення, в тому числі	5581	5292	4837	3091
- колекторно-дренажних вод	339	266	235	149
- шахтно-кар'єрних вод	327	191	219	149

Як видно з таблиці 1, щороку показники забору та використання вод достатньо високі, хоч і спостерігається їх незначне зменшення. Проте використання зворотних вод нестабільне та зменшується.

В усьому світі пропагується раціональне використання ресурсів та замкнений цикл виробництва. Вода є життєво необхідним ресурсом, тому актуальним є її збереження, раціональне використання, а отже – впровадження замкнутого циклу на підприємствах.

В Україні згідно з інформацією Укрстату [3] підприємствами видобувної промисловості щорічно забирається 194 млн. м³ та скидається в поверхневі водні об'єкти не менше 149 млн. м³ вод (дані за 2022 р., в попередні роки значно більше). Частка скидання шахтно-кар'єрних вод в загальному обсязі скидання складає всього 5%. Проте ці води є підземними і по суті відбувається їх забір, але замість використання шахтно-кар'єрні води просто скидаються. Більше половини (майже 60 %) цих вод є забрудненими, 23 % нормативно очищених та 17 % нормативно чистих. Це призводить до значних витрат на екологічні платежі, погіршення стану поверхневих вод та не відповідає екологічній концепції держави. Тож порівнюючи об'єми водозабору із поверхневих та підземних джерел та скидання шахтно-кар'єрних вод очевидним є те, що видобувна галузь майже повністю може бути забезпечена водними ресурсами для власних потреб без забору води.

Впровадження замкнутих систем водокористування - раціональне рішення ефективного використання води в промисловості.

Технологічний комплекс з виробництва чистої води всередині підприємства - невід'ємна частина безвідходного виробництва. Організація таких систем потребує одночасного опрацювання всіх елементів водного господарства у їх взаємозв'язку (чистих і брудних оборотних циклів, локальних споруд з очищення стоків тощо).

На рисунку 1 зображена загальна замкнута система водокористування з залученням додаткових водокористувачів, а на рисунку 2 більш деталізована схема замкнутого водокористування за рахунок шахтно-кар'єрних вод на гірничому підприємстві.

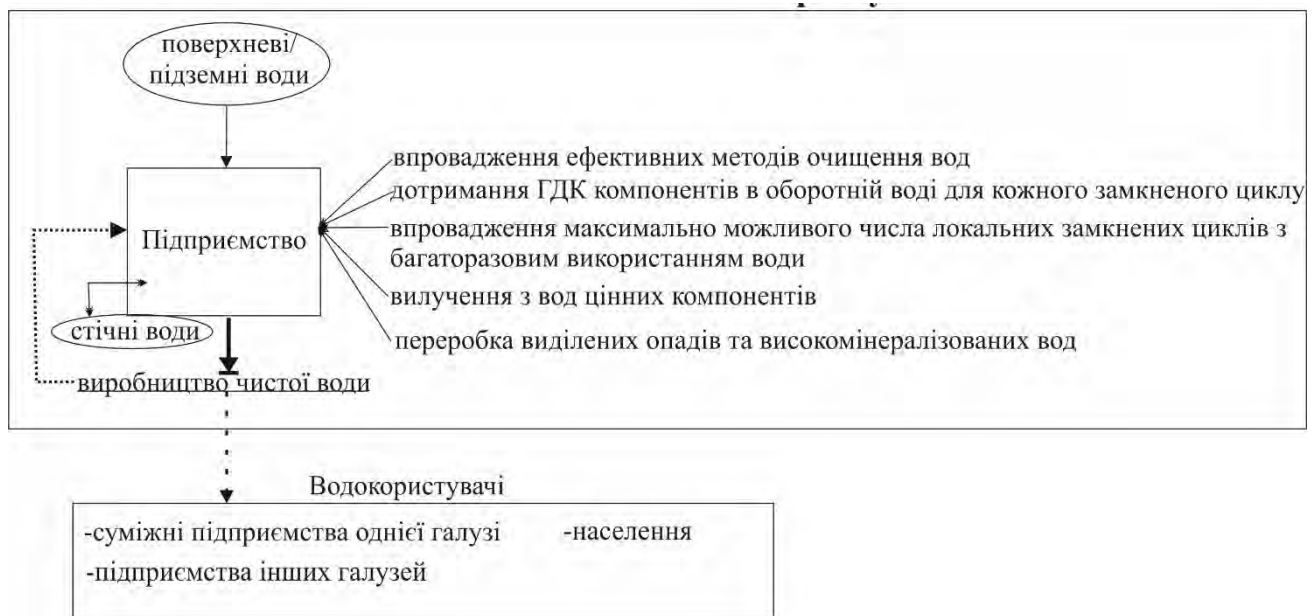


Рис. 1. Замкнута система водокористування з залученням додаткових водокористувачів

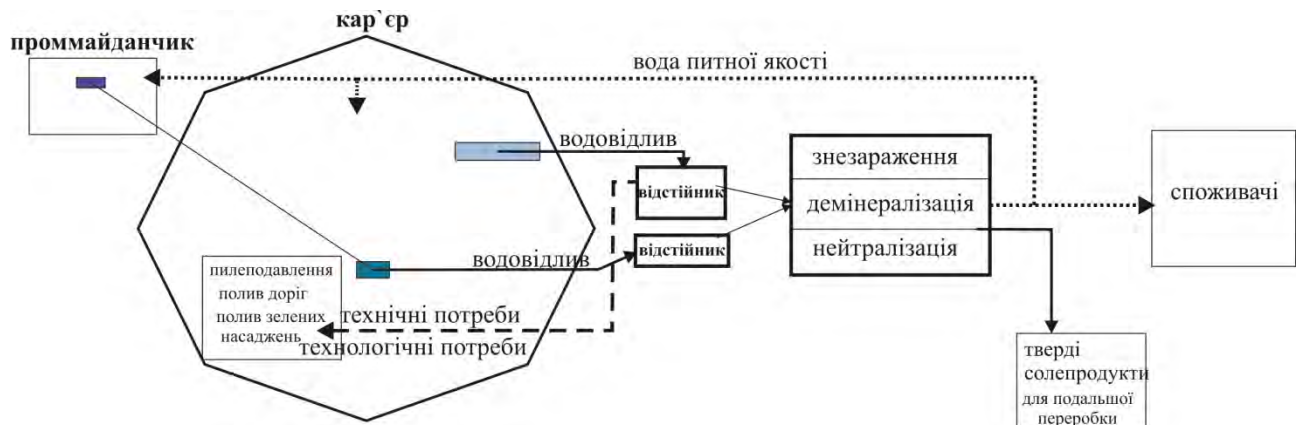


Рис. 2. Замкнутий цикл водокористування на гірничому підприємстві

Замкнуті системи забезпечують економію свіжої води завдяки багаторазовому використанню промислових вод. При наявності у підприємства надлишків чистої води можливо направляти її до потенційних водокористувачів задля використання в подальшому для різних потреб (для господарсько-питних, сільськогосподарських (тваринництво, птахівництво, зрошення), для іншого промислового виробництва - потреб інших підприємств, які знаходяться поряд та потребують використання вод для виробничих, господарсько-питних, протипожежних цілей) тощо. Цей процес не універсальний, потребує індивідуального підходу (певної водопідготовки, досягаючи вимог чинного законодавства, які висувають до вод для певного призначення).

Проблема впровадження повністю замкнутої системи полягає в забезпеченні стабільності води у зворотному циклі. При цьому необхідно застосовувати складні технологічні схеми очищення води на локальних очисних спорудах (що позначається і на фінансовій складовій, бо потребує певних витрат), ускладнюється експлуатація всієї системи водного господарства підприємства, збільшуються безповоротні втрати води. Утворення щільних сольових відкладень по тракту руху води, корозійні процеси – перешкоджають повному використанню забруднених вод. Боротьба з цими процесами можлива завдяки залученню фахівців, закордонного досвіду, інвестицій в системи водопостачання на підприємстві.

Екологічна безпека гірничого виробництва насамперед ототожнюється із зменшенням відходів виробництва, викидів та скидів. При використанні підземних вод, що поступають в кар'єр, в якості корисної копалини (комплекс освоєння надр), а також повторне використання води в технологічних процесах (циклічність матеріальних потоків) також забезпечується екологічна безпека через відсутність скидів.

Повністю безвідходну технологію в технологічному плані розробити неможливо, але можливо впровадити найбільш маловідходні технології, які не порушують нормальне функціонування гідросфери. Максимально вилучаючи та використовуючи продукти, які при цьому утворюються (після очистки вод вилучення корисних компонентів із твердих солепродуктів, мікроорганізми для добрив тощо) [4].

Об'єм вод, дисперсність та склад домішок у водах впливають на обраний метод. Виходячи з наявної кількості домішок і особливостей їх складу, виникає необхідність комбінування методів очистки [5].

Зменшення скидів значних об'ємів підземних вод за рахунок їх використання під час розробки родовищ дозволить:

- підвищити якість життя населення (розв'язання проблеми забруднення водою через скид);
- знизити негативний вплив на середовище та перейти до раціонального використання вод.

Література:

1. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України (2023). *Національні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні*. Вилучено з <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoring/natsionalni-dopovidi-pro-stand-navkolyshnogo-prirodnogo-seredovyshha-v-ukrayini/>.
2. Державне агентство водних ресурсів України (2022). *Загальні показники використання води*. Вилучено з <https://e-services.davr.gov.ua/parlor/p-report-genn-advanced/preview>.
3. Державна служба статистики України (2022). *Статистичний збірник «Довкілля України»*. Вилучено з <https://ukrstat.gov.ua/>.
4. М.С.Четверик, Е.А.Бубнова, Е.С.Левченко, Особенности водопритоков в глубоких карьерах, пути снижения минерализации вод в водосборниках и использование их в качестве полезного ископаемого. *Металлургическая и горнорудная промышленность*, №2, с. 60-65, 2018.
5. Е.С. Левченко Опреснение карьерных и рудничных вод в условиях Кривбасса. *Геотехнічна механіка*, Вып. 132, с.220-228, 2017.



ЕФЕКТИВНІСТЬ МАГНІТОСОРБЦІЙНОГО ОЧИЩЕННЯ НАФТОВІСНИХ ВОД

Марта ВОЗНЮК, Тетяна ШАБЛІЙ, Микола ГОМЕЛЯ, Данило БЕНАТОВ

Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського

пр. Берестейський, 37, м. Київ 03056, Україна

e-mail: vozniukeco@gmail.com

В умовах сьогодення функціонування водного транспорту є важливою та перспективною складовою транспортної галузі. Близько 62% світового вантажообігу та обслуговування 4/5 усієї світової торгівлі припадає на водний транспорт [1]. Разом з тим, саме судноплавство спричиняє значне забруднення природних водойм. Зокрема забруднення відбувається вуглеводнями, і в першу чергу, нафтопродуктами, що надходять до водойм в результаті експлуатаційних та аварійних скидів з суден [2, 3].

Для очищення нафтовмісних вод пропонується широкий спектр методів та технологій. До основних методів очищення воднонафтових емульсій відносять фізичні, хімічні, фізико-хімічні, електрохімічні, біологічні методи [4].

Одним з перспективних методів очищення нафтовмісних вод є сорбційний метод. В області сорбційних методів очищення вод виділяють методи обробки води дисперсійними сорбентами з магнітними властивостями [5, 6].

Існує багато наукових робіт, присвячених вилученню важких металів з водних розчинів за допомогою магнетиту. Проте, наукових робіт щодо підвищення ефективності очищення нафтовмісних вод із використанням магнетиту відносно небагато. Що можливо пояснити плинністю складу даних стічних вод, через що виникає необхідність проведення великої кількості експериментів для встановлення оптимальних форм модифікації магнетиту, їх робочих доз та умов обробки води.

Метою даної роботи є оцінка ефективності застосування магнетиту та його модифікованих форм для очищення нафтовмісних вод різної мінералізації, в залежності від способу модифікації магнетиту, його дози, рН середовища та часу обробки води.

В роботі використовували модельні воднонафтові розчини двох типів: емульсія на основі водопровідної води та емульсія на основі солоної води (30 г/дм³ хлориду натрію) з концентрацією нафти у воді 100 мг/дм³. В якості сорбентів використовували звичайний (синтезований за класичною методикою) та модифіковані гідрофобізуючими агентами (сульфонолом або алкілімідазоліном з масовими частками гідрофобізуючого агента 0,5% та 1%) магнетити в дозах 50, 100, 150 та 200 мг/дм³. В ряді дослідів попередньо проводили корегування рН в межах 3–11.

Після додавання реагентів у нафтовмісні розчини утворені суспензії перемішували протягом 4 годин з варіюванням часу в частині дослідів. По закінченню часу обробки води проби відфільтровували та визначали залишкову концентрацію нафти екстракційно-спектрофотометричним методом.

На першому етапі роботи визначалась ефективність очищення воднонафтових прісних та солоних розчинів з допомогою синтезованого магнетиту. Результати показали, що обробка прісної води магнетитом в діапазоні доз 50–200 мг/дм³ знижує концентрацію нафти у воді до 2,38–1,39 мг/дм³, що відповідає ступеню вилучення нафти з води в межах 97,62–98,01 %. В разі обробки солоних вод за тих же самих умов досягаються кращі показники: вміст нафти у воді зменшується до 1,67–0,21 мг/дм³ (з максимальним ефектом за найвищої (200 мг/дм³) дози магнетиту, і ступінь вилучення нафти з води, відповідно, також зростає до 98,33–99,79 %.

Для досягнення максимального ефекту видалення нафти з воднонафтових розчинів часточки магнетиту повинні добре змочуватися нафтопродуктами, що може досягатися шляхом модифікації феромагнетиків під час їх синтезу. В роботі в якості модифікаційних агентів використовували сульфонол (поверхнево-активна речовина аніонного типу) та алкілімідазолін (поверхнево-активна речовина катіонного типу).

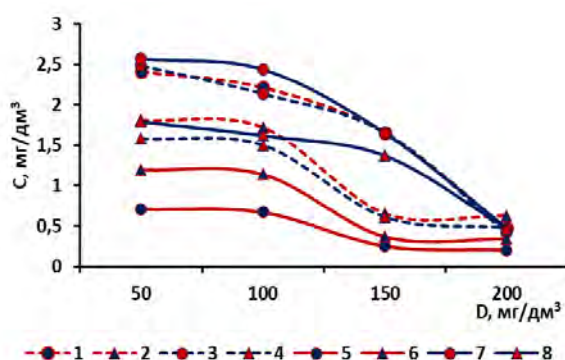


Рис. 1 Залежність залишкової концентрації нафти у водах різної мінералізації ([нафта]=100 мг/дм³) від складу води (солоня [NaCl]=30 г/дм³ (3, 4, 7, 8); водопровідна (1, 2, 5, 6)), способу модифікації магнетитів (сульфонол (1, 2, 3, 4); алкілімідазолін (5, 6, 7, 8)), масової частки гідрофобізуючого агента в магнетитах (0,5 % (1, 3, 5, 7); 1 % (2, 4, 6, 8)) та їх дози ($\tau=4$ год)

Як видно з рисунку 1, результат модифікації магнетиту більше проявився при обробці прісної води. Для сульфонол-модифікованого магнетиту з масовими частками 0,5 % та 1 % ефект відзначається за більших концентрацій (на рівні 200 мг/дм³), та досягається зменшення концентрації нафти у воді до 0,47 та 0,62 мг/дм³, що відповідає ступеню очистки 99,53 % та 99,38 % відповідно, порівняно з немодифікованим магнетитом, який зменшує вміст нафти лише до 1,39 мг/дм³. Модифікований алкілімідазоліном магнетит проявив ефективність в маломінералізованих водах і при малих дозах при значення 50 мг/дм³ сорбенту з масовими вмістами 0,5 % та 1 % залишкова концентрація нафти зменшується до 0,71 мг/дм³ та 1,2 мг/дм³ ($Z=9,29$ % та $Z=98,8$ %), в порівнянні з звичайним магнетитом тієї ж дози зменшує вміст нафти до лише до 2,38 мг/дм³. Збільшення дози реагенту до 200 мг/дм³ зменшує вміст нафти до 0,2 мг/дм³ ($Z=99,8$ %) та 0,34 мг/дм³ ($Z=99,65$ %). У високомінералізованій воді жоден з модифікованих магнетитів за будь-яких використаних концентрацій не перевищує ефективність необробленого магнетиту.

На другому етапі роботи визначали оптимальний час контакту нафтовмісної води з сорбційним матеріалом. Подальші дослідження проводили з модифікованим алкілімідазоліном магнетитом, оскільки було з'ясовано, що він є більш ефективним в порівнянні з звичайним магнетитом та магнетитом, модифікованим сульфонолом (рис. 2).

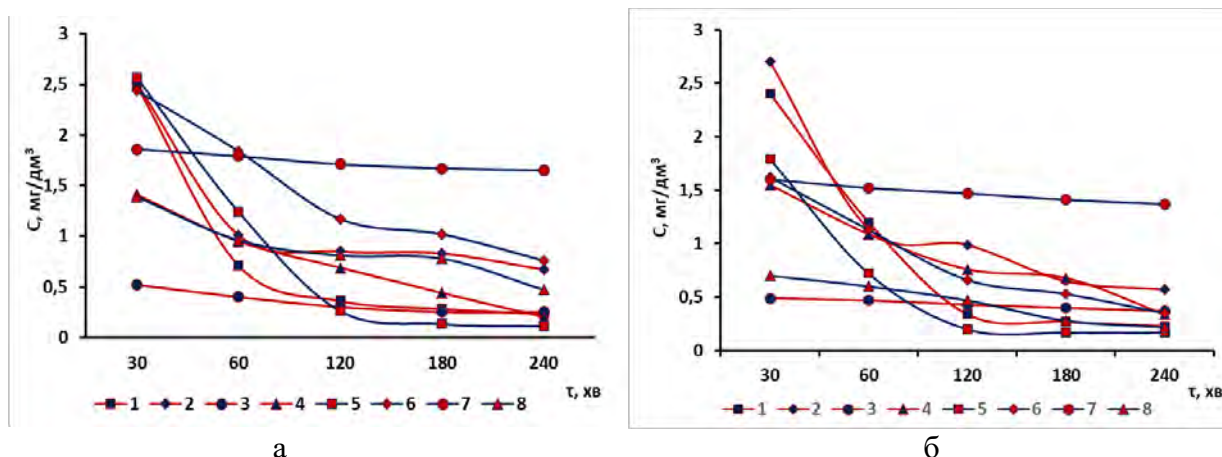


Рис. 2 Залежності залишкової концентрації нафти у водах різної мінералізації ($[\text{нафта}] = 100 \text{ mg}/\text{dm}^3$) від складу води (солоня $[\text{NaCl}] = 30 \text{ g}/\text{dm}^3$ (5, 6, 7, 8); водопровідна (1, 2, 3, 4)), часу її обробки модифікованим алкілімідазоліном магнетитом з масовими частками 0,5 % (рис. 4 а) та 1 % (рис. 4 б)) та його робочих доз ($50 \text{ mg}/\text{dm}^3$ (1, 5); $100 \text{ mg}/\text{dm}^3$ (2, 6); $150 \text{ mg}/\text{dm}^3$ (3, 7); $200 \text{ mg}/\text{dm}^3$ (4, 8))

Як видно з рисунку 2, оптимальний час контакту води з модифікованим алкілімідазоліном магнетитом однаковий як для слабкосолоних, так і для сильносолоних вод і становить 3 години за умов перемішування суспензії.

Так, за три години обробки прісної води модифікованим магнетитом з масовою часткою гідрофобізуючого агента 0,5 % в дозах від $50 \text{ mg}/\text{dm}^3$ до $200 \text{ mg}/\text{dm}^3$ концентрація нафти зменшується з $100 \text{ mg}/\text{dm}^3$ до $0,28\text{--}0,44 \text{ mg}/\text{dm}^3$ ($Z = 99,72\text{--}99,56 \%$). Збільшення масової частки гідрофобізуючого агента до 1 % не призводить до суттєвого зменшення залишкового вмісту нафти і є в межах $0,27\text{--}0,68 \text{ mg}/\text{dm}^3$ ($Z = 99,73\text{--}99,32 \%$). Також, помітно, що концентрація сорбенту $150 \text{ mg}/\text{dm}^3$ забезпечує найкращі показники в будь-якому з досліджуваних періодів обробки води (від 30 хвилин до 200 хвилин).

Ефективність очищення мінералізованої води даним сорбентом загалом подібна ефективності очищення прісної води. І три години контакту рідини з сорбентом також достатньо для даної води. За цей час контакту нафтовмісної солонної води з даним магнетитом в робочих концентраціях $5\text{--}200 \text{ mg}/\text{dm}^3$ вміст нафти зменшується до $0,13\text{--}0,78 \text{ mg}/\text{dm}^3$ (при масовій частці 0,5 %), і до $0,17\text{--}0,28 \text{ mg}/\text{dm}^3$ (при масовій частці 1 %). При цьому ступінь очищення води становить $99,89\text{--}99,22 \%$ і $99,83\text{--}99,72 \%$ відповідно.

На третьому етапі досліджень встановлювали вплив рН середовища на ефективність вилучення нафти з прісних та солоних нафтовмісних вод за умов проведення досліджень, що базувались на попередньо отриманих кращих результатах, а саме: модифіковані алкілімідазоліном магнетити з масовими частками гідрофобізуючого агента 0,5 % та 1 %, робоча доза сорбенту $150 \text{ mg}/\text{dm}^3$, час контакту розчинів з сорбентом 3 години. рН середовища змінювали в широкому діапазоні: від 3 до 11.

Результати показали, що в разі застосування модифікованого магнетиту з меншим (0,5 %) вмістом гідрофобізуючого агента, при переході від рН 3 до рН 11 в разі обробки прісної нафтовмісної води даним магнетитом протягом 3 годин концентрація забруднювача зменшується з $1,84 \text{ mg}/\text{dm}^3$ (рН 3) до $0,15 \text{ mg}/\text{dm}^3$ (рН 11), а в разі обробки солонної води вміст

нафти зменшується в з $2,56 \text{ мг/дм}^3$ (рН 3) до $0,5 \text{ мг/дм}^3$ (рН 11). Збільшення масової частки у модифікованому магнетиті до 1 % забезпечує відносно стабільний ступінь очищення води від нафти при різних значення рН в разі обробки прісної води і залишкові концентрації нафти складають при рН 3 – $0,48 \text{ мг/дм}^3$ ($Z=99,52 \%$) та при рН 11 – $0,26 \text{ мг/дм}^3$ ($Z=99,74 \%$). Для мінералізованої води при використанні даного модифікованого магнетиту за однакових інших умов суттєве зменшення вмісту нафти спостерігається при рН більше 7. За менших рН залишкові концентрації забруднювача практично не змінюються.

Тож, у результаті проведених досліджень щодо визначення ефективності застосування магнетитів звичайного та модифікованих гідрофобізуючими агентами в процесах очищення нафтовмісних вод, показано, що модифікований алкілімідазоліном (поверхнево-активною речовиною катіонного типу) магнетит з масовими частками гідрофобізуючого агента 0,5 % та 1 % в дозах $50\text{--}200 \text{ мг/дм}^3$ забезпечує високий ступінь видалення нафти зі слабо- та сильномінералізованих вод. Ступінь очищення води при цьому досягає $97,5\text{--}99,8 \%$. Ефективність модифікованого сульфонолом (поверхнево-активною речовиною аніонного типу) магнетиту більша за ефективність звичайного магнетиту лише за високих концентрацій (200 мг/дм^3) і тільки в прісній воді.

Достатній час контакту для забезпечення максимального ступеню очищення воднонафтових розчинів з модифікованим магнетитом становить 3 години для вод різної мінералізації. Також, визначено, що ступінь вилучення нафти із води суттєво залежить від рН середовища. Проте зміна кількості гідрофобізуючого агента при модифікації магнетиту може зменшити цей вплив як для прісних, так і для мінералізованих вод.

Таким чином, підтверджується, що застосування модифікованих з метою гідрофобізації магнетитів в процесах очищення води різної мінералізації від нафти є доцільним та ефективним.

Література

1. Владимиров С. А. Мировая транспортная система и логистика: основные направления развития // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. 2016. — №2 (46). [Електронний ресурс]. –Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovaya-transportnaya-sistema-i-logistika-osnovnyye-napravleniya-razvitiya/viewer>
2. Nugroho T. F., Baheramsyah A., Trikurnia N. A. 2019. Analysis of port-based discharge water treatment of ships, case Study: PT. TPS. International Journal of Marine Engineering Innovation and Research, 3(4), 141– 47.
3. Вознюк М. Б., Шаблій Т. О. Забезпечення екологічної безпеки експлуатації водного транспорту. Матеріали XXII Міжнародної наукової конференції «Екологія. Людина . Суспільство». – Київ, 2021. – С. 106–110.
4. Mysore D., Viraraghavan T., Jin, Y.C. 2006. Oil/water separation technology-A review. Journal of Residuals Science and Technology, 3, 5–14.
5. Радовенчик В. М., Романенко М. І., Гринчук С. В., Глущенко А. С. 2015. Видалення нафтопродуктів з води сорбентами на основі магнетиту. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 1, 5(73), 20–24.
6. Кочетов, Г. М., Самченко, Д. М., Ластівка, О. В., Дереча, Д. О. 2022. Встановлення раціональних параметрів переробки відпрацьованих травильних розчинів феритизацією з використанням змінних магнітних полів. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 3, 10 (117), 21–28.



DEHYDRATION OF FIBROUS WASTE FROM PAPER PRODUCTION

Vita HALYSH^{1,2}, Inna TRUS¹, Maria TVERDOHLIB¹, Mykola GOMELYA¹,

¹ Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

Beresteisky Avenu 37, Kyiv, 03056, Ukraine

² Chuiko Institute of Surface Chemistry, National Academy of Sciences of Ukraine

General Naumov St.17, Kyiv, 03164, Ukraine

e-mail: v.galysh@gmail.com

As a result of the treatment of wastewater at enterprises of the paper industry, a large amount of fibrous-inorganic waste of treatment facilities, the so-called sludge, is formed [1]. Depending on the type of products produced, sludge can consist of 50-80% of the mineral component. On average, about 50 kg of sludge is produced per ton of paper. Utilization of fibrous waste (sludge) from paper production, which is generated in water treatment processes, is an important task, for the solution of which enterprises spend significant funds. One of the main disposal problems is the high-water content (93-98%), which requires dehydration before burial or incineration. The most popular way of dealing with sludge is to bury it. However, in the scientific literature, you can find a lot of information about ways to dispose of sludge, including its use as fertilizer, use of sludge in the production of building materials, biofuel [2-4]. In any case, an important stage of its processing is dehydration. The speed and efficiency of the process of dehydration of sludge depends on its properties and composition and is significantly improved with the use of additional chemicals.

The paper presented the result of the investigation of the influence of flocculants and coagulants consumption on the efficiency of sludge dehydration. As a starting material, sludge with a dry matter content of 16.2 g/dm³ was used. The results of the research of the investigation of coagulants and flocculants application on the turbidity of filtrate and sediment moisture during sludge dewatering are presented on Fig.1-4.

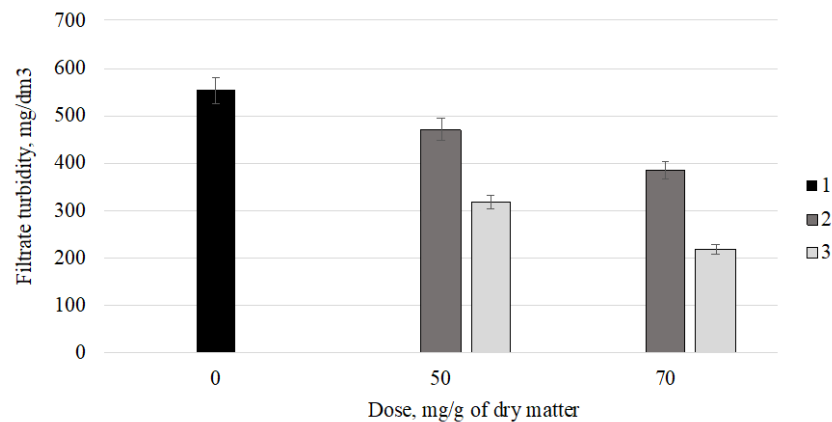


Fig. 1. The effect of the dose of coagulants on the filtrate turbidity during dewatering of sludge: 1 – without coagulant; 2 – with $Al_2(SO_4)_3$; 3 – with $Al_2(OH)_5Cl$.

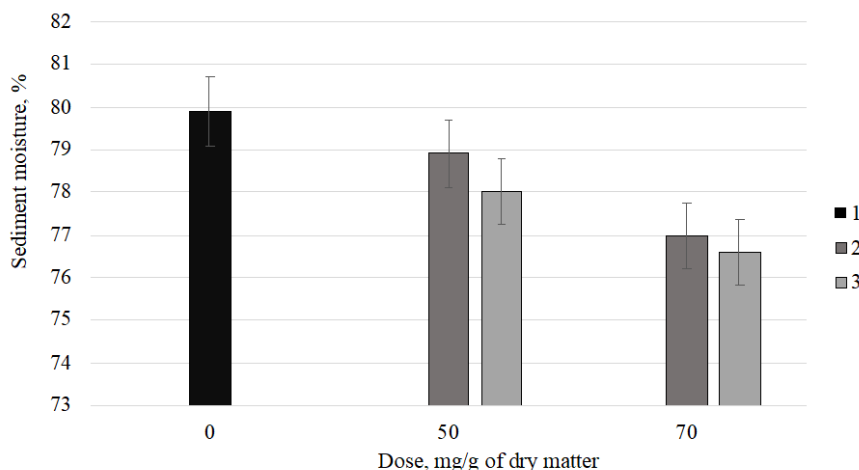


Fig. 2. The effect of the dose of coagulants on the sediment moisture during dewatering of sludge: 1 – without coagulant; 2 – with $Al_2(SO_4)_3$; 3 – with $Al_2(OH)_5Cl$.

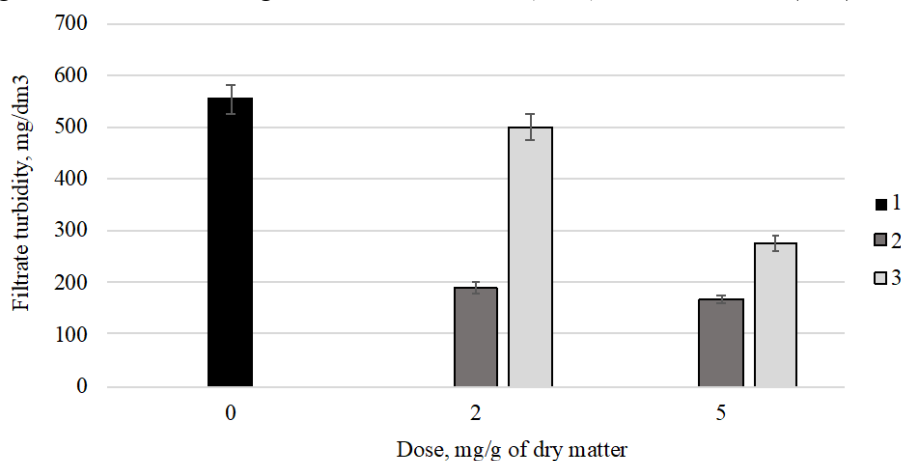


Fig. 3. The effect of the dose of flocculants on the filtrate turbidity during dewatering of sludge: 1 – without flocculant; 2 – with Polimin CK; 3 – with Praestol 650BC.

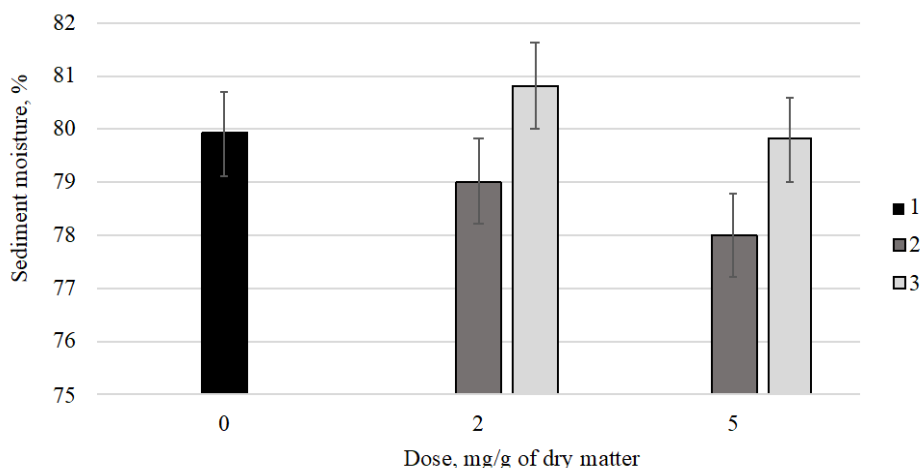


Fig. 4. The effect of the dose of flocculants on the sediment moisture during dewatering of sludge: 1 – without flocculant; 2 – with Polimin CK; 3 – with Praestol 650BC.

As can be seen from the data shown in Fig. 1, coagulants contribute to the improvement of the process of dehydration of the sludge. The efficiency of dehydration increases with an increase in the dose of coagulant per gram of dry matter and with the transition from sulfate to aluminum hydroxochloride. In general, in the case of using flocculants, their higher efficiency should be noted compared to coagulants. The most effective were cationic flocculants, which provide a significant reduction in the filtrate turbidity.

Depending on the composition of paper and cardboard, the quality of wastewater entering local treatment facilities also changes. Under these conditions, the volume of sludge formation as well as its composition can vary widely from 8 to 30% of wastewater. During the dehydration of the sludge, a filtrate with a significant content of suspended substances is formed. It is apparent that the leachate contains residual concentrations of additional chemicals used for water clarification and during sludge treatment. Taking into account the high turbidity value of the filtrate, it is obvious that it cannot be reused in the technological process.

To study the process of clarifying the filtrate from the dehydration of the sludge by settling with the use of coagulants and flocculants, filtrates with a concentration of suspended solids of 4140 mg/dm³ and 1900 mg/dm³ were used in the work. During settling of filtrate with an initial content of suspended solids of 4140 mg/dm³ and 1900 mg/dm³ without the use of reagents, the process is quite efficient and the residual content of suspended solids is 360 mg/dm³ and 255 mg/dm³, the volume of the sediment formed is 540 cm³/dm³ and 50 cm³/dm³. Thus, in the first case, the degree of illumination is 91.3%, and in the second - 86.6%.

In the case of using reagents for clarification of filtrates, the degree of clarification can be increased only up to 96%. Under these conditions, coagulants are the most effective. Flocculants, unlike coagulants, provide an increase in the degree of purification only up to 94%. Obviously, such a small influence of reagents is due to the fact that during the treatment of scum with flocculants, the main mass of negatively charged suspended and colloidal substances contained in water and sediment has already been removed. And the surface charges of the remaining particles are mostly neutral. Therefore, in this case, cationic and anionic flocculants, as well as coagulants, are close in their effectiveness.

In the real industrial conditions of operation of local sewage treatment plants, the construction of separate devices for cleaning filtrates is impractical. From the point of view of resource efficiency, the best way to dispose of filtrate is to pass it to local treatment plants. There will be some recirculation of water at the treatment facilities, but this will reduce the load on the biological treatment of the plant-wide treatment facilities.

Literature:

1. V. P. Zambare, and L.P. Christopher, Integrated biorefinery approach to utilization of pulp and paper mill sludge for value-added products, *Journal of Cleaner Production*, No. 274, pp. 122791, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122791.
2. G. Hovey, D.G. Allen, and H. Tran, Drying characteristics of biosludge from pulp and paper mills, *TAPPI Journal*, Vol. 16, No. 08, pp. 465-473, 2017, doi: 10.32964/TJ16.8.465
3. H. Chen, Q. Han, K. Daniel, R. Venditti, and H. Jameel, Conversion of industrial paper sludge to ethanol: fractionation of sludge and its impact, *Applied biochemistry and biotechnology*, No. 174, pp 2096-2113, 2014, doi: 10.1007/s12010-014-1083-z
4. M. Matúš, P. Križan, L. Šooš, and J. Beniak, The effect of papermaking sludge as an additive to biomass pellets on the final quality of the fuel, *Fuel*, No. 219, pp. 196-204, 2018, doi: 10.1016/j.fuel.2018.01.089.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.291262>

DATA ANALYSIS OF THE INNOVATIVE DEMONSTRATIVE PAVILION WITH WATER FLOW GLAZING WINDOWS

Krasimir GEORGIEV

Institute of Mechanics

Acad. G. Bontchev St., bl. 4, 1113 Sofia, Bulgaria

e-mail: krasimir.georgiev@imbm.bas.bg

1. Introduction

Energy efficiency in buildings is a key role in achieving the ambitious goal of carbon-neutrality by 2050, set out in the European Green Deal [1]. These intentions require large-scale action in all economic sectors: investment in new environmentally friendly technologies; innovations in industry; cleaner and cheaper transport; decarbonisation of the energy sector; renovation of the building stock. Improving existing buildings and striving for smart solutions and energy efficient materials can reduce energy losses. In 2020, roughly 75% of the EU building stock is energy inefficient. All buildings in the EU are responsible for 40% of our energy consumption and 36% of greenhouse gas emissions, which mainly stem from construction, usage, renovation and demolition [2].

In modern buildings, especially offices, the glazing surface makes up most of the façade, which increases the impact of windows on the overall energy efficiency. The optimization of the glazing facades by transforming them into renewable energy sources can significantly improve the building energy profile and its cost. There have been developments in the use of solar energy in buildings and later ideas for integrating glazed facades with water flow (WFG). The first step of using sunlight and an absorbent building facade is a development called the Thrombus Wall. It has functions for cooling, heating or as an architectural element. Another type of thrombus wall is the water wall, which performs the same functions [3]. Building envelopes are crucial to reduce energy used for heating and cooling. The Heating, Ventilation and Air-conditioning (HVAC) system that provides heating, cooling and ventilation is the largest single end-user in both commercial buildings and residential buildings and is responsible for 33% and 48% of electricity consumption, respectively [4].

The building envelope has energy saving potential in case of good construction design. The subject of consideration is the application of innovative facade technology in the construction of a demonstrational pavilion and the use of a renewable energy source through a PV system. Application of WFG (Water Flow Glazing) façade is an innovative solution, which combines heating and cooling systems and renewable technology in one technical solution to achieve nZEB. WFG can fully substitute regular facades with their mechanical and thermal characteristics. WFG façade elements are working as transparent low temperature solar collectors. Façade characteristics (g-factor, U-value) may be actively manipulated to achieve the best energy performance of the façade. WFG elements can be used as vertical walls, partition walls / ceiling elements or exterior elements. WFG is important part in building and HVAC system with a radiant heating/cooling element. Because of the high absorption of IR spectra of the façade elements, the peak loads of the conventional cooling system may be significantly reduced. The amount of energy absorbed (renewable solar summer excess) may be used directly for Domestic Hot Water (DHW) and for improved performance of the heat pump.

In this paper we present the energy performance for August, 2023 of an innovative demonstrational pavilion that implements Water Flow Glazing technology. The WFG elements in the pavilion are connected to a heat pump, which regulates the temperature inside and ensures that the inner space is properly conditioned. Electricity covering the needs of the equipment inside the pavilion is supplied by a PV system mounted on the rooftop.

The Water flow glazing elements of the pavilion bear monitoring equipment, recording their performance and energy utilization. Weather station is mounted on the rooftop and constantly monitors the outdoor climate conditions. The data from the weather station provides information about the outdoor environment in which the WFG elements and the PV system operate.

2. Demonstrational pavilion with the innovative design built in the Scientific Campus II of the Bulgarian Academy of Science

2.1. Integration of Water Flow Glazing (WFG) façade

The demonstrational pavilion with an innovative facade system was built in Sofia, Bulgaria, according to the European project Horizon 2020 - 'Secure, clean and efficient energy' is split into three focus areas: Energy-efficiency; Low carbon technologies; and Smart Cities & Communities., project ref. 680441 InDeWaG: Industrialized Development of Water Flow Glazing Systems. (fig. 1.). The building is oriented in clear geographic directions east-west, north-south. The east, west and south facades are transparent and built with the WFG modules. In addition, there is an internal partition wall. North façade is opaque and there are the entrance door and technical equipment and installation block.

The interior of the pavilion is single volume space with a partition wall, built with WFG technology. This allows maximum utilization of daylight, high transparency and optimal indoor comfort. It consists of triple glazing with two chambers (fluid chamber and argon chamber) and a modular aluminium frame. The main advantage is that the fluid in the transparent glazing transforms the passive facades into active solar collectors. The heat from the fluid in the glazing is used for heating and cooling. WFG increases natural interior lighting. It is a vertical-shaped module with dimensions of 1.3m x 3m, suitable for the facade element of office buildings. Each module includes its own circulation pump and heat exchanger, which make the individual elements of the module independent. The circulation pump provides flow rates in the glazing up to 8.0 l/min. These modules are composed of standardized building elements, they are fully replaceable and easy to connect to each other.

The demonstrational pavilion uses WFG as heating and cooling devices. The water circulating in the glazing provides energy for the air conditioning of the building. The installed air-to-water heat pump ensures that the water temperature is maintained within pre-set limits to achieve comfort in the pavilion. In summer, excess heat is captured by the water and the heat pump provides cooling through the internal partition walls. The facade system during the summer months works as a radiant cooling device.

One major objective of the pavilion is to show the integration of the WFG technology into heating, ventilation and air conditioning (HVAC) systems in winter and summer modes.



Fig. 1. Innovative demonstrative pavilion in the Bulgarian Academy of Science, Sofia, Bulgaria

2.3. Monitoring of innovative demonstrational pavilion in Sofia

The monitoring of the pavilion is real time and records the measured value every 5 minutes and ensures the accurate operation of the installations. The control functions of the monitoring system enhance the management of the WFG installation, lightning and other consumers of electricity. The goals are to ensure high energy efficiency and maintain living comfort. On each facade - internal and external are mounted the pyranometers to measure the total incoming irradiance of the façade. A pyranometer installed on the southwest façade measures the global solar irradiance. The temperature sensors over a distance of 0.7 m in height (Pt 1000; class A) are installed on a single WFG module on every facade. All temperature and irradiance data are collected by data acquisition system Keysight Technologies 34980A. Meteo Station is mounted on the roof for monitoring Relative Pressure, Outdoor Humidity, Temperature, Wind, Dewpoint Gust, Rain[10].

3.Data analysis

Monitoring, and researching of the pavilion during its operation helps to improve the work of the systems and assess the indoor comfort of the building. WFG systems can control temperatures and provide comfortable indoor environment. The proposed solutions with the use of various technologies implemented in the pavilion are optimal for the design of an office building with nearly zero energy consumption. Ongoing monitoring will show different problems and solutions which will provide more information about the operation of the pavilion and its systems.

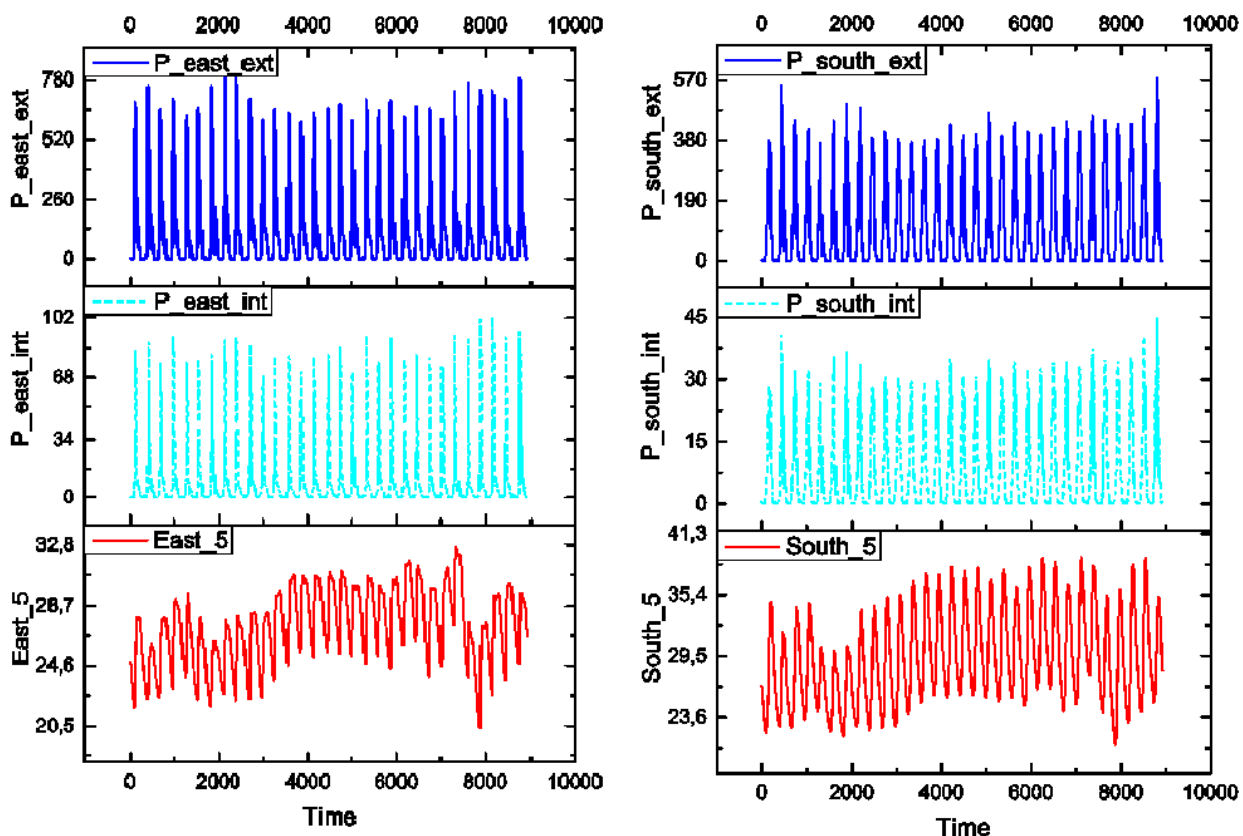


Fig. 1 – External and internal solar radiation on the East and South Water flow glazing and the temperature achieved in the WFG module for August, 2023.

Fig. 1 is connected with the solar radiation on the South WFG. We can state here that during the monitored month we have solar radiation on the outside over 650 W/m^2 almost every day. This is connected with higher internal temperature in the demonstrational Pavilion. Concerning all of this we can state that the consumption for heating will be high. This can be seen from the fig. 3 where is shown the electricity consumption of the Pavilion. We have consumed total energy of almost 700 kWh for cooling the building. We have produced from the PV system over 750 kWh.

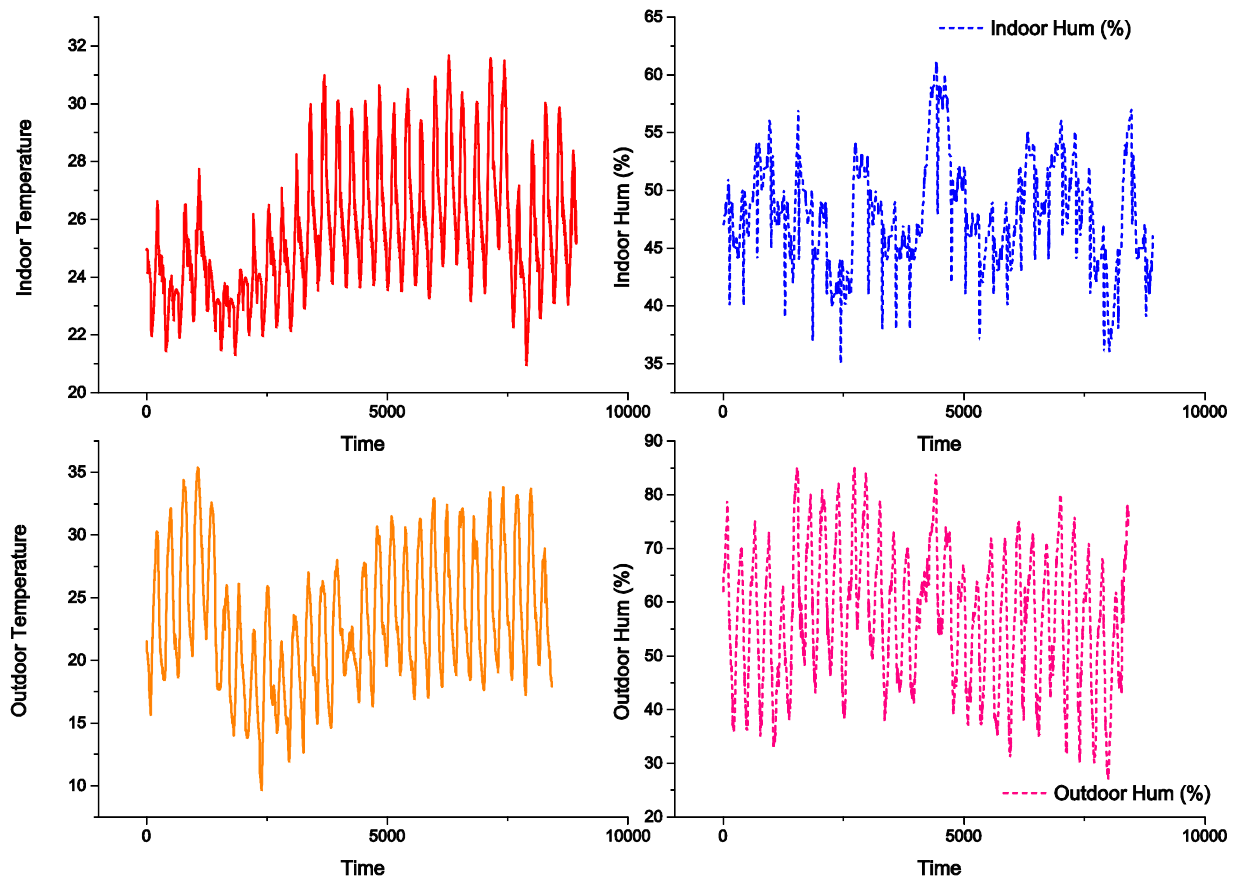


Fig. 2 – Internal and external temperature and humidity for August, 2023

This figure shows the behaviour of the WFG system. This is the most important characteristics of the Pavilion – the internal temperature connected with the outside temperature [2]. The temperature outside the Pavilion is over 30 degrees almost every day. The internal temperature is little lower than the maximum outside temperature. This shows that the system is capable of conserving the solar energy for further usage.

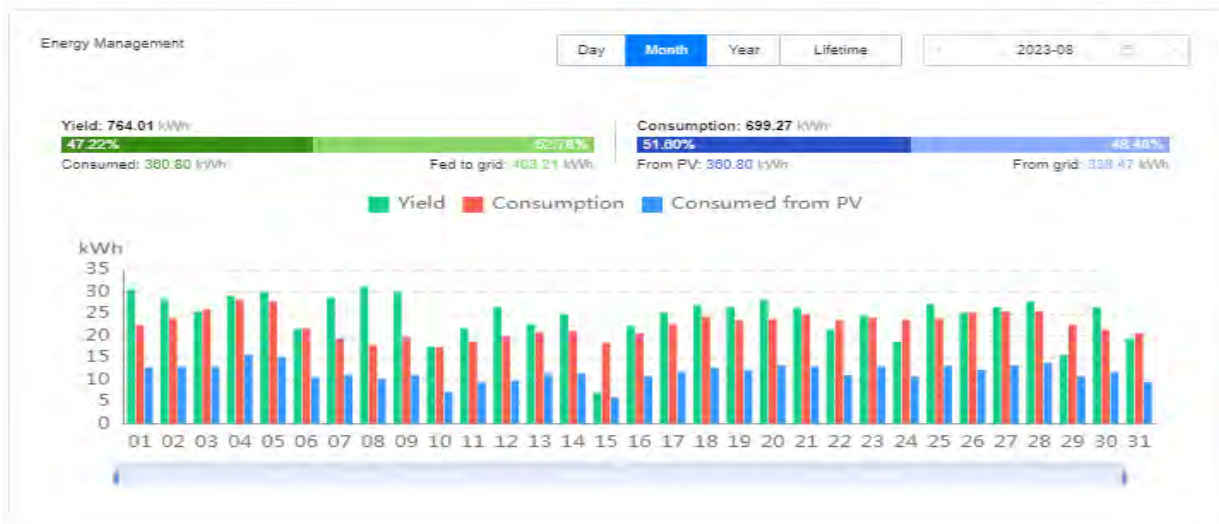


Fig. 3 – Produced, consumed and imported from the grid electricity.

References:

1. European Commission, News, In focus: Energy efficiency in buildings, 17 February 2020 Brussels, https://ec.europa.eu/info/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-feb-17_en.
2. Georgiev, K., Vitanov, N.K., Stoyanova, M. (2023). Study of Time Series Connected to an Innovative Window Heat Transfer System. *Studies in Computational Intelligence*, vol 1076. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20951-2_3.
3. O. Saadatiann, K. Sopian, C.H. Lim, N. Asim, M.Y. Sulaiman Trombe walls: A review of opportunities and challenges in research and development Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volum 16 (2012), pp. 6340–6351
4. Y. Chen, L. Norford, H. Samuelson, A. Malkawi Optimal control of HVAC and window systems for natural ventilation through reinforcement learning Energy Build., 168 (2018), pp. 195-205.
5. European Union. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32010L0031&qid=1624966769426>.
6. Project Documentation Project ref. 680441 InDeWaG: Industrialized Development of Water Flow Glazing Systems.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.291506>

ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING THE CIRCULARITY OF PLASTIC PACKAGING WASTE RECYCLING: A CASE STUDY IN THE BALTIC STATES

Gintaras DENAFAS¹, Artūras TOR KELIS², Linas KLIUČININKAS¹

¹*Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology
Radvilėnų pl. 19, Kaunas, LT-50254, Lithuania*

²*Institute of Environmental Engineering, Kaunas University of Technology
K. Donelaičio g. 20, Kaunas, LT-44239, Lithuania*

e-mail: arturas.torkelis@ktu.edu

Since the discovery of polyethylene and polypropylene during the 1950s, polymers materials have been become popular and they are widely used for many applications of our daily life [1]. On average, global plastics production grows by around 9% each year. Just for the period 2018-2021, global annual plastic production increased from 365.5 million tonnes to 390.7 million tonnes, or around 7% [2]. Plastic production, as well as demand, is growing rapidly due to the outstanding properties of plastics and the cheapness of their production. According to the Eurostat data, up to 30 million tonnes of plastic waste is generated in Europe every year. Looking at the use of plastics by industry, it can be seen, that the packaging (around 40%) and the building sector (around 20%) are the biggest end-use markets for plastics. In 2020, the EU generated around 15.5 million tonnes of plastic packaging waste.

Most common used polymers for package are thermoplastics, which covers almost 85 % of overall plastic market demand (such as polyethylene terephthalate (PET), high density polyethylene (HDPE), low density polyethylene (LDPE), polyvinyl chloride (PVC), polypropylene (PP), and polystyrene (PS)), while the thermosets account for 15% overall plastic market (duroplast, polyurethane (PU), polyester resin) [3]. Recycling of plastic products made from different polymers is also different, due to the different physicochemical properties of plastics.

According to the Plastics Europe, in 2020 approximately 17% of the post-consumer plastic packaging waste went to landfill and 37% were incinerated for energy recovery. Around 46% of the plastic waste were recycled. However, it found, that the amount of waste exported out or within the EU is included in the recycled rate. Then, a recycling rate possibly up to three time lower is estimated for the EU when the extra-EU exports are excluded [4]. Insufficient recyclability of plastic packaging waste leads to increased generation of plastic waste and further use of fossil fuels for the production of new plastic products, which causes significant negative environmental impacts. In addition, the EU has set ambitious targets for recycling packaging waste, aiming to recycle 65% of all packaging waste by 2025 and 70% by 2030. Meanwhile, the recyclability of plastic packaging is expected to reach at least 50% by 2025 and at least 55% by 2030 [5]. The only solution to achieve these objectives – is to develop a circular economy to replace the current, linear, economy. In a circular economy, products and materials are being re-used, refurbished, or recycled according to the waste hierarchy, instead of being incinerated or disposed.

According to the Eurostat data, the amount of plastic packaging waste generated in the three Baltic countries (Lithuania, Latvia, and Estonia) in 2020 was around 86, 46.7 and 53.6 thousand tonnes or

30.8, 24.6 and 40.3 kilograms per capita respectively, while the recycling rates for it were as follows around 56%, 36% and 41% respectively. Despite the fact that Lithuania has already reached the 2025 recycling rate for plastic packaging waste (according to the Eurostat data), there remains a lot of room for improvement in the recycling system for plastic packaging waste, in Lithuania as well as in the other Baltic countries.

To evaluate the possibilities of increase of the package waste recyclability and recovery rates in the Baltic States and analyze the factors influencing the circularity of plastic packaging waste recycling, in 2023 was performed a quantitative and qualitative analysis of plastic packaging waste flow in the municipal waste management systems of Kaunas (Lithuania), Tallinn (Estonia) and Daugavpils (Latvia) municipalities. The aim of investigation is to analyse the morphological composition of packaging waste collected separately, also collected from mixed municipal solid waste (MMSW) flow. The analysis of the mixture of paper, plastic, and metal packaging waste also of the MMSW was performed in the summer-early autumn of 2023 in the waste management companies: mechanical biological waste treatment (MBT) facility – VšĮ “Kauno regiono atliekų tvarkymo centras” (Lithuania, Kaunas), waste sorting facility – AS “Tallinna Jäätmete Taaskasutuskeskus” (Estonia, Tallinn) and waste sorting facility – SIA “AADSO” (Latvia, Daugavpils).

A group of students manually sorted a randomly picked pile of packaging waste. First, the waste was sorted by different morphological fractions – plastics, paper, glass, fine residues etc. After this the plastic waste fraction was separated into different sub-fractions by the type of polymers according to the identification marks of international standards on the packaging (1 PET, 5 PP, 6 PS, etc.) (European Parliament and Council Directive 94/62/EC). Further, each of the waste fractions, as well as the plastic sub-fractions, were weighed to quantify the amount of waste fractions and sub-fractions.

The results of the morphological analysis in waste management companies in Kaunas, Daugavpils and Tallinn municipalities are presented in Figure 1.

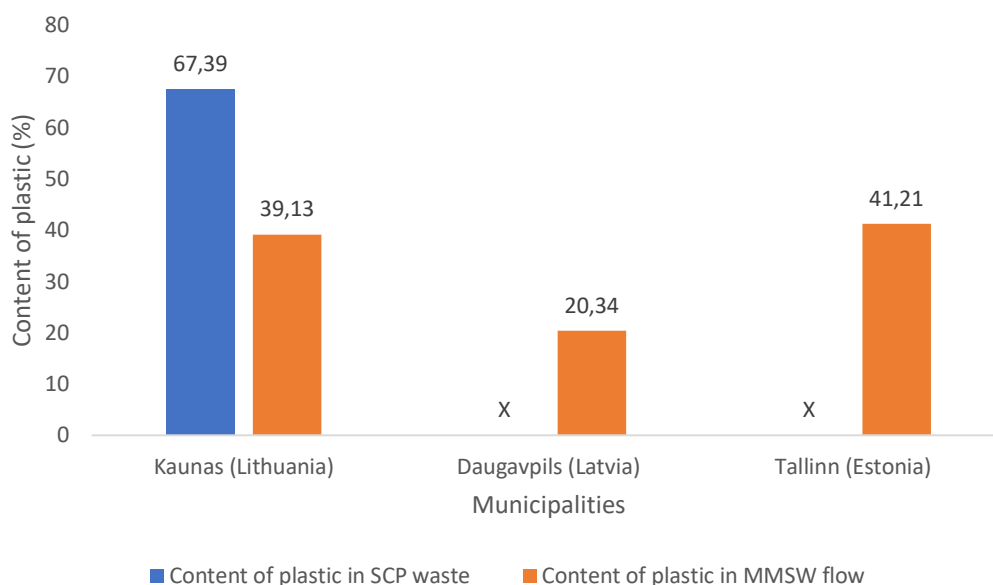


Fig 1. The content of plastic (%) in the SCP waste and from the MMSW flow

It is important to note that morphological investigations of separately collected plastic (SCP) packaging waste (from separate plastic waste collection containers) were performed only in Kaunas municipality. The reason is that Daugavpils and Tallinn municipal waste management companies did

not have the possibility to analyse SCP packaging waste, as they did not have a “door-to-door” plastic packaging waste collection system (packaging waste is not included in organised waste transport) [6]. The results showed that up to 68% of the SCP waste stream contains plastic. Meanwhile, the plastic content of the MMSW flow was around 39% (for Kaunas), 20% (for Daugavpils) and 41% (for Tallinn). Figure 2 shows the distribution by sub-fractions in the SCP flow (only for Kaunas). The results of the morphological analyses show that LDPE polymer packaging accounts for the largest share of the SCP - around 29%. About one-sixth of SCP waste is metal waste. In the Lithuanian waste collection system, household plastic packaging and metal waste are collected in one container, so it is the reason why part of metal was found in the SCP waste. Nevertheless, it is worth mentioning that ferrous waste is efficiently separated in waste sorting plants (in the case of Kaunas – MBT facility) by using magnets [7]. Up to 20% of SCP waste is PP packaging.

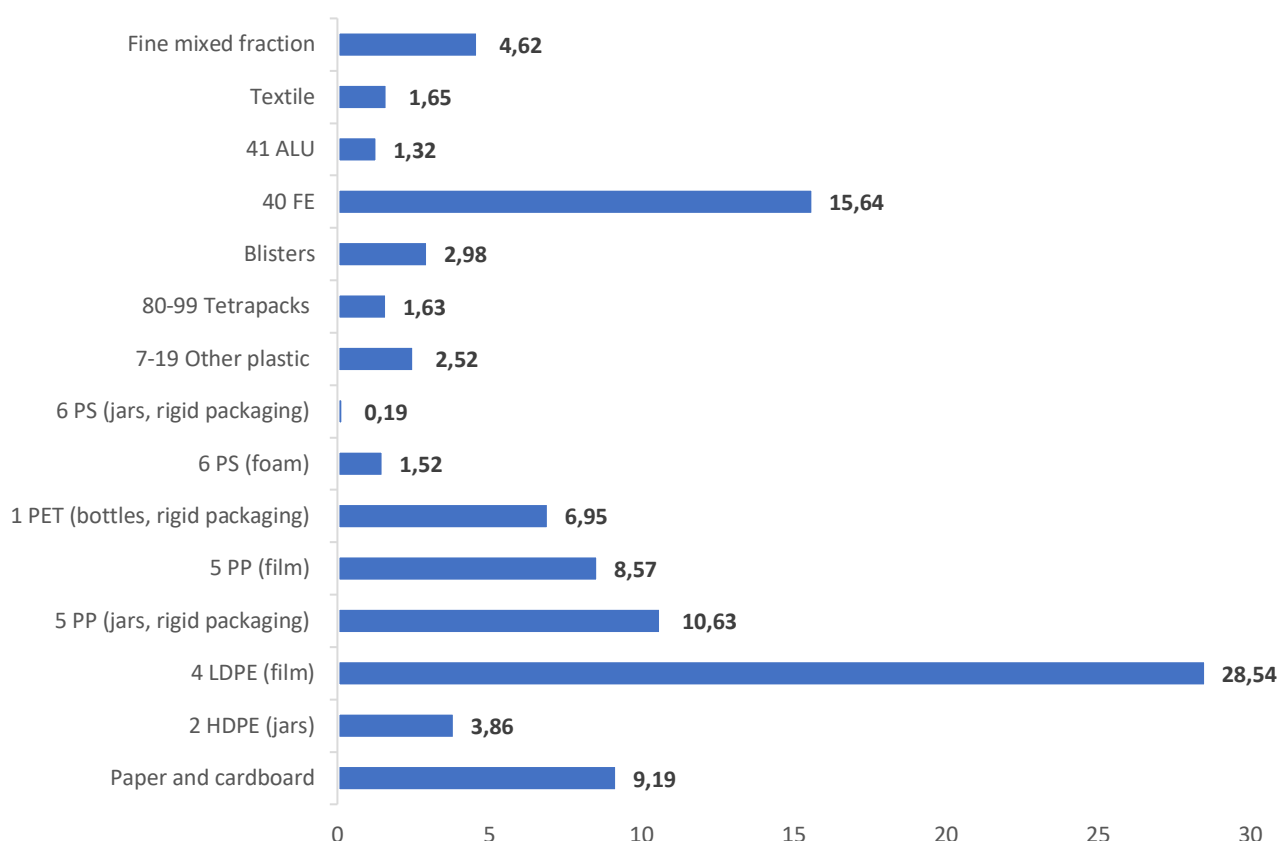


Fig 2. The sub-fractional distribution of the SCP fraction (%)

Figure 3 shows the results of the sub-fractional distribution of the MMSW flow (for Kaunas, Daugavpils, and Tallinn).

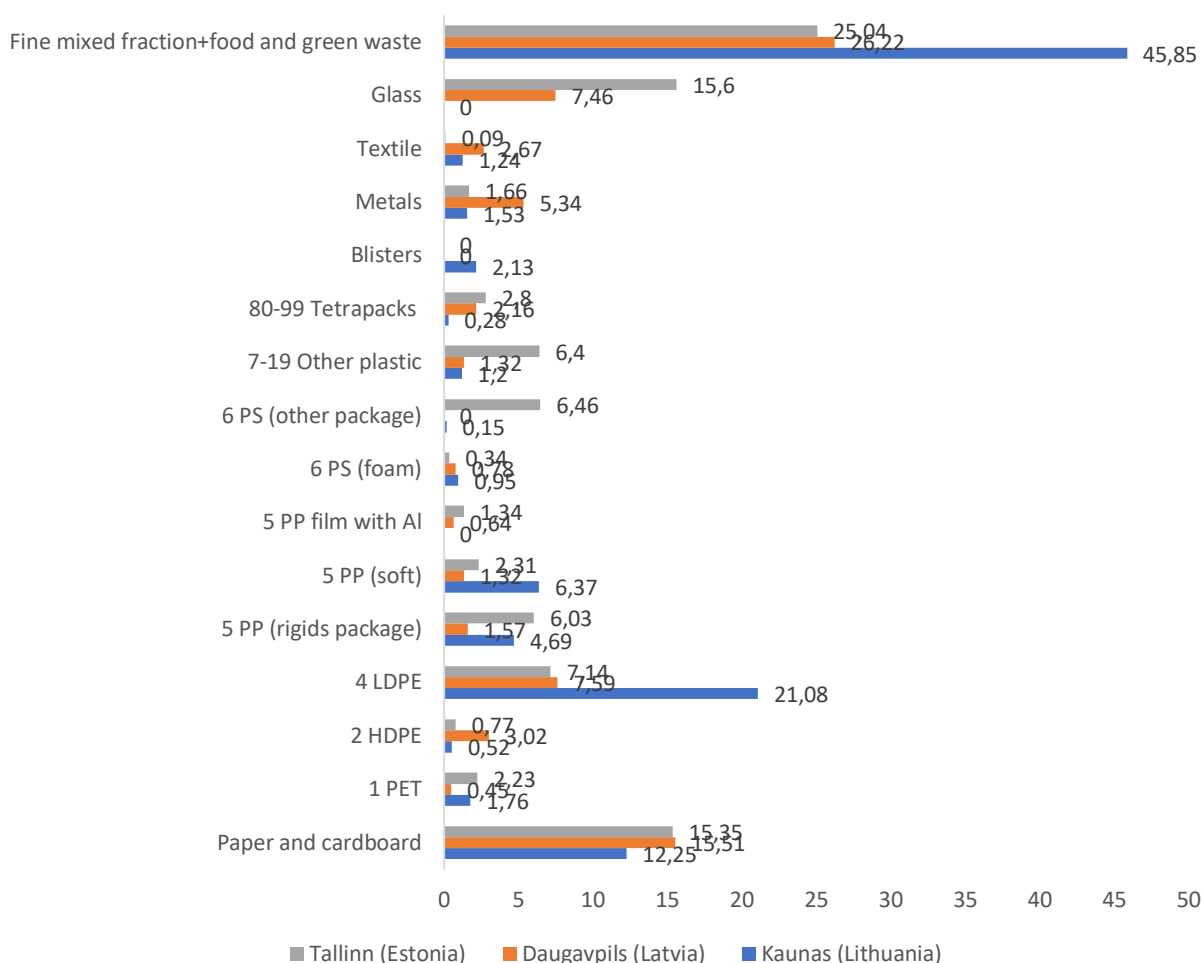


Fig 3. The sub-fractional distribution of MMSW (%)

The data presented in the figure make it possible to compare the morphological composition of MMSW flow in Tallinn, Daugavpils, and Kaunas municipalities. The largest part of the MMSW (up to 26% in Latvia and Estonia cases, and up to 46% in Lithuania case) flow consist of the fine fraction (0-80 mm), as well as green and kitchen waste. It is important to note that the fine fraction contaminates the entire MMSW flow, including plastic packaging waste. In the case of Lithuania, the largest part of the MSW stream (excluding the fine fraction) consists to LDPE plastic packaging waste (approximately 21%). In Estonia and Latvia, the largest part of MMSW is allocated to paper and cardboard waste, as well as packaging made from these materials (around 15%). It is worth paying attention to glass waste in the MMSW flow (it can be up to 16%), as it can contaminate plastic packaging waste, making it difficult (or even impossible) to recycle these components [7].

To clarify the situation, the distribution of sub-fractions (by polymer type) has been recalculated only for the plastic fraction (from the MMSW flow). In general, the results of the distribution of plastic packaging by polymer type in the MMSW plastic fraction are shown in Figure 4.

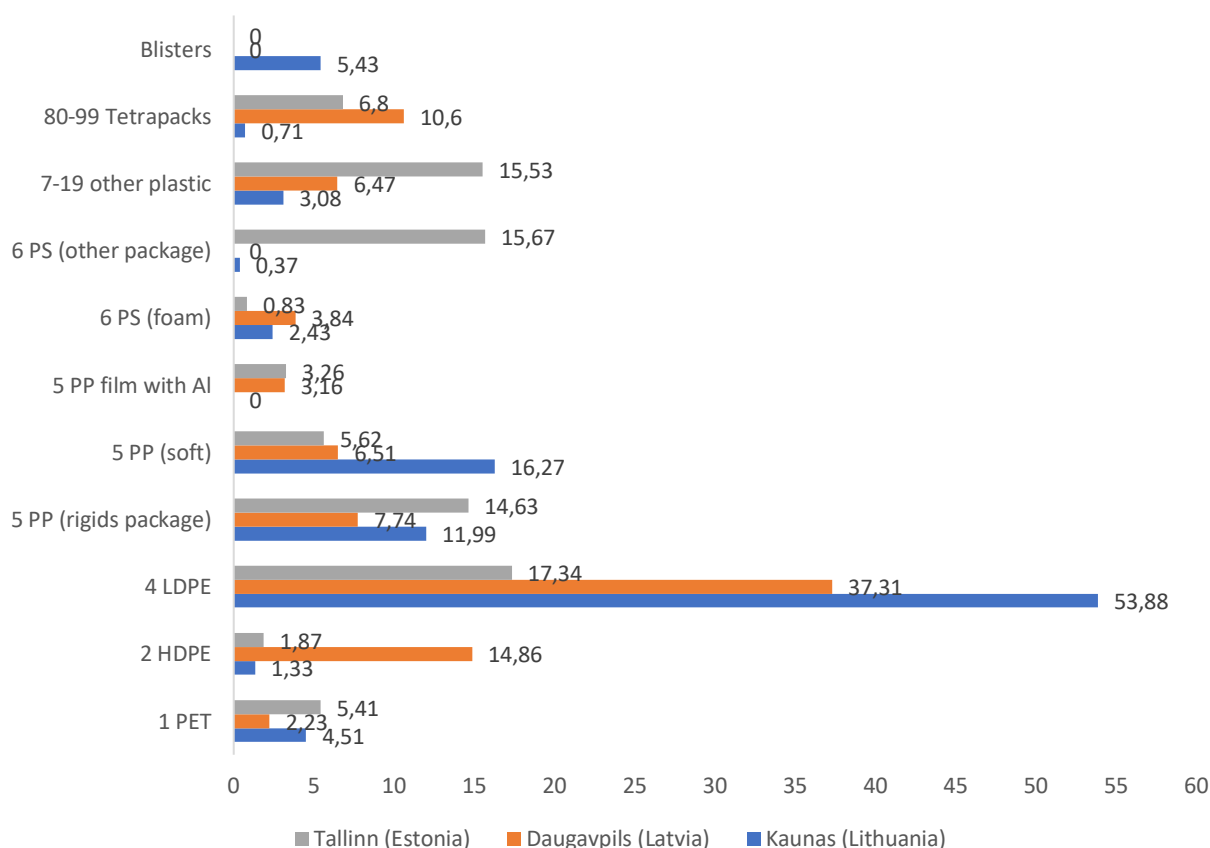


Fig 4. The sub-fractional distribution of plastic fraction in MMSW (%)

When considering only the share of plastic packaging in the MMSW flow, the results show the following trends: LDPE and PP polymers make up the largest share of plastic packaging waste. Up to 54% of LDPE polymer packaging is found in the MMSW flow for Lithuania, up to 38% for Latvia and up to 18% for Estonia. PP polymer packaging accounts for between 16% and 28% of all cases. In the case of Latvia, the amount of HDPE polymer packaging waste is abnormally high compared to the other Baltic states (more than 7 times higher than in Lithuania and Estonia). A certain percentage (from 3% for Kaunas municipality to almost 16% for Tallinn municipality) is accounted by other plastics packaging, such as PU, PLA, and other polymers packaging. Combined packaging (i.e., tetra-packs, blister packs, multilayer films) accounts for a relatively large share of plastic packaging in Tallinn and Daugavpils municipalities - between 10% and 14%, meanwhile, in the case of Kaunas municipality, up to 6% of combined packaging was detected. Recycling technologies for composite packaging are still in a developmental stage, which means that recycling is still very complicated or impossible [8].

Based on the results obtained from the morphological waste composition investigations, a targeted literature review was carried out to identify the main factors influencing the recycling circularity of plastic packaging waste in Lithuania, Latvia, and Estonia. The highlights of study are set out below:

1. Research has shown that personal norms and plastic sorting knowledge significantly influence citizens' intention to separate plastic, with intention and perceived behavioral control positively influencing final separation behaviors. Local authorities should actively campaign for the sorting of waste (especially plastic packaging waste) [9].

2. It was found that the different contamination of the waste stream with impurities (plastic packaging from the SCP flow and from the MMSW flow) leads to the fact, that plastics packaging waste recycling rates are higher when collected separately compared to mixed waste collection schemes (may varied around 13-80 times) [2].

3. Due to the different physicochemical properties of plastic polymers, waste from different plastics (e.g., thermoplastics and thermosets) should be collected separately to increase the potential recycling rate.

4. The collection of plastic waste in the mixed waste stream leads to contamination of plastic waste. Recycling of contaminated plastics is problematic, lower quality products are resulting. In both Latvia and Estonia, there is a high level of plastics detected in the MMSW flow (approximately 40%), which makes it crucial to improve the efficiency of SCP system. Flexible packaging containing aluminum (composites packages) (up to 6% in Lithuania, up to 14% in Latvia an up to 10% in Tallinn) are still not under recycling in the Baltic States. The possibilities of their recycling are currently being investigated by the Department of Environmental Technology of Kaunas University of Technology. Generally, implementation of new recycling methods for plastic waste to improve the recycling of pure and contaminated plastic waste is necessary.

5. Most sorting plants are operated with constant process parameters (e.g., screen cuts, wind sifter speeds, or settings of sensor-based sorting units), which are often optimized during plant commissioning but then rarely adjusted during plant operation. This combination of fluctuating input material flows and constant process parameters can lead to significant performance losses. Therefore, the continuous improvement of the waste sorting line in waste treatment facilities towards higher separation efficiency for plastics of different polymers is mandatory [10].

6. The variation in the quantity and composition of plastic packaging waste is dependent on the seasonality of the year. The seasonality of the year changes not only the amount of plastic packaging generated, but also the composition of the plastic packaging waste flow. Therefore, in order to accurately quantify and qualitatively assess the evolution of plastic packaging waste over the year, morphological investigations of the waste must be carried out at least four times a year ("seasonally") [11].

Further research is needed to improve the plastic waste management scheme and implement technical solutions.

Acknowledgment: We would like to thank our partners – VšĮ “Kauno regiono atliekų tvarkymo centras” (Lithuania), Tallinn University of Technology, Municipality of Tallinn and AS “Tallinna Jäätmete Taaskasutuskeskus” (Estonia), SIA "AADSO", Daugavpils University and Municipality of Daugavpils (Latvia) – for the opportunity to carry out the morphological analyses of waste. Thanks also to the “Interreg Baltic Sea Region” fund for support in the framework of the BALTIPLAST project, as well for the “Baltisch-Deutsches hochschulkontor” fund for support in the framework of the TechPlastControl project.

References:

1. Cabrera. (n.d.). A Journey from Processing to Recycling of Multilayer Waste Films: A Review of Main Challenges and Prospects. *Polymers* (20734360), 14(12), 2319–2352. <https://doi.org/10.3390/polym14122319>
2. Plastics Europe. Report. Plastics – the facts 2022. Access via the internet: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022/>
3. Mickevičiūtė, Šleiniūtė, A., Pitak, I., Mumladze, T., Sholokhova, A., & Denafas, G. (2021). Morphological content and recyclability of separate collected packages: a case study for Kaunas, Lithuania. *Visnik Nacional'nogo Tehničnogo Universitetu Ukraini «Kiivs'kij Politehničnij institut*

imeni Īgorâ Sikors'kogo» Seriâ «Himična inženeriâ, Ekologiâ Ta Resursozberežennâ», 4, 57–62.
<https://doi.org/10.20535/2617-9741.4.2021.248944>

4. Hestin, M.; Mitsios, A.; Said, S.A.; Fouret, F.; Berwald, A.; Senlis, V. Deloitte Sustainability Blueprint for Plastics Packaging Waste: Quality Sorting & Recycling; Deloitte: London, UK, 2017. Access via the internet: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/my/Documents/risk/my-risk-blueprint-plastics-packaging-waste-2017.pdf>

5. European Commission. Packaging waste. Access via the internet: https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/packaging-waste_en

6. Seyring, Dollhofer, M., Weißenbacher, J., Bakas, I., & McKinnon, D. (2016). Assessment of collection schemes for packaging and other recyclable waste in European Union-28 Member States and capital cities. *Waste Management & Research*, 34(9), 947–956. <https://doi.org/10.1177/0734242X16650516>

7. Ragaert, Delva, L., & Van Geem, K. (2017). Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management (Elmsford)*, 69, 24–58. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.044>

8. Šleiniūtė, Denafas, G., & Mumladze, T. (2023). Analysis of the Delamination Process with Nitric Acid in Multilayer Composite Food Packaging. *Applied Sciences*, 13(9), 5669. <https://doi.org/10.3390/app13095669>

9. Hu, Miao, L., Han, J., Zhou, W., & Qian, X. (2024). Waste separation behavior with a new plastic category for the plastic resource circulation: Survey in Kansai, Japan. *Journal of Environmental Management*, 349, 119370–119370. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119370>

10. Kroell, Maghmoumi, A., Dietl, T., Chen, X., Küppers, B., Scherling, T., Feil, A., & Greiff, K. (2024). Towards digital twins of waste sorting plants: Developing data-driven process models of industrial-scale sensor-based sorting units by combining machine learning with near-infrared-based process monitoring. *Resources, Conservation and Recycling*, 200, 107257. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107257>

11. Denafas, Ruzgas, T., Turkadze, T., Bocheidze, I., Ludwig, C., Martuzevicius, D., Shmarin, S., Hoffmann, M., Mykhaylenko, V., Ogorodnik, S., Romanov, M., Neguliaeva, E., & Chusov, A. (2014). Seasonal variation of municipal solid waste generation and composition in four East European cities. *Resources, conservation and recycling*, 89, 22–30.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.289631>

УДК 676.022.08

ЧОРНИЙ ЩОЛОК – ЦІННИЙ БІОРЕСУРС ПРОЦЕСУ ДЕЛІГНІФІКАЦІЇ

Анна ДЕНИСЕНКО, Романія ЧЕРЬОПКІНА

Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського

пр. Берестейський, 37, м. Київ 03056, Україна

e-mail: anna.denysenko.7796@gmail.com

Щороку у світі виробляється приблизно 400 мільйонів тонн паперу та картону. Для виробництва якого використовується первинна целюлоза та макулатура [1]. Зокрема, виробництво первинної целюлози складає приблизно 180 мільйонів тонн на рік, з яких три чверті виробляється за допомогою хімічного перероблення деревини [2]. Домінуючим способом отримання целюлози в усьому світі є сульфатний, до переваг якого відносять делігніфікацію будь-яких видів рослинної сировини, замкнений цикл регенерації хімікатів (до 96 – 98 %) та отримання целюлози з високими паперотворними властивостями [1]. Крафт-целюлоза нині займає 75 % світового ринку виробництва первинного волокна завдяки своїй міцності порівняно з целюлозою, отриманою іншими способами [2].

Процес виробництва целюлози будь-яким способом варіння зводиться до звільнення целюлози від інших супутніх частин рослинної тканини: лігніну, геміцелюлоз, смол, жирів, восків, мінеральних речовин. У ході лужної хімічної обробки рослинної сировини до варильного розчину спочатку переходять геміцелюлози, які легко гідролізуються. Це призводить до послаблення клітинної оболонки, в результаті чого вона стає більш доступною для варильних реагентів. На даній стадії з молекулами геміцелюлоз під дією лужного гідролізу відбувається розрив зв'язків всередині та із лігніном. Короткі обривки ланцюгів переходять у розчин і далі, за рахунок реакцій відщеплення та гідролізу, розкладаються до мономолекулярних оксикислот [4].

Лігнін, під дією хімічних реагентів піддається лужному гідролізу. Трьохмірні молекули лігніну, за рахунок попередніх реакцій з вуглеводами, характеризуються послабленням і розривом зв'язків. Як наслідок, утворюються фрагменти різної молекулярної маси, які сольватуються, пептизуються лугом, набухають, утворюючи гель і переходять у розчин за рахунок колоїдного розчинення [4]. У результаті варильний розчин перетворюється у відпрацьований, який називають «чорним щолоком», з вмістом сухих речовин до 15 % [1]. Щорічна кількість чорного щолоку після отримання целюлози у всьому світі може досягати 1,3 мільярда тонн [3].

Чорні щолоки, отримані після сульфатного або натронного варіння деревини мають практично однакові фізичні властивості. Однак порода деревини, ступінь провару, умови варіння (витрати активного луку) помітно впливають на властивості чорного щолоку. Усі чорні щолоки являють собою в'язкі лужні водні розчини, темно-чорного кольору з високим вмістом органіки. За хімічним складом це складна суміш органічних і неорганічних речовин [5]. До складу органічної частини сульфатного щолоку, яка досягає 60 – 70 % входить мило у кількості 40 – 45 %, лужний лігнін – 30 – 35 %, продукти руйнування вуглеводів

(геміцелюлоз, целюлози) – 30 – 35 % та органічні кислоти (ацетатна, форміантна), які утворюються відщепленням ацетильних груп від глюкоманану хвойних порід або ксилану листяних порід під час варіння. Чорний щолок містить приблизно від 30 до 40 % неорганічних речовин, які на 18 – 25 % хімічно зв'язані з органічними компонентами у вигляді натрієвих солей смоляних і жирних кислот. Основними складовими мінеральної частини є вільний луг у кількості 1 – 2 %, сульфід натрію (Na_2S) – 1 – 4 %, сульфат натрію (Na_2SO_4) – 3 – 5 %, карбонат натрію (Na_2CO_3) – 4 – 10 % та діоксид кремнію (SiO_2) [4, 6 – 8].

Лігнін розщеплюється на короткі частини з вмістом сірки 1 – 2 % і вмістом натрію близько 6 % на сухі тверді речовини [8].

Целюлоза та геміцелюлози розкладаються на мила аліфатичної карбонової кислоти та фрагменти геміцелюлоз. Мило містить близько 20 % натрію [8].

Стоки целюлозно-паперової промисловості містять низку токсичних ароматичних сполук та їх фрагментів, такі як лужний лігнін та продукти розпаду полісахаридів. Скид цих стоків у природу без будь-якого попереднього очищення завдає серйозної шкоди навколишньому середовищу та становить загрозу для здоров'я людей [2, 9]. Доведено, що дані стоки можуть містити сполуки, здатні негативно впливати на ендокринну систему живих організмів, наприклад: смоляні кислоти, флавоноїди чи фітоестрогени. Також деякі з цих сполук накопичуються у вигляді осаду на дні водоймищ, стаючи доступними для риб [10].

Як один із прикладів людської халатності, варто згадати трагічні події серпня 2011 року, коли відбувся масовий незаконний скид чорного щолоку із заводу виробництва паперу в Богалусі у річку на півдні Луїзіани (Сполучені Штати Америки). У результаті чого в Перловій річці загинуло понад 500 тисяч риб, у тому числі понад тисяча, яка належала Національному заповіднику «Бог-Читто». Також дана катастрофа несла загрозу здоров'ю та засобам існування людей уздовж річки. Як наслідок *Temple-Inland, Inc.*, дочірню компанію *International Paper*, було визнано винною у забрудненні річки та оштрафовано [11].

Варто зауважити, що такі міжнародні організації як Міжурядова група експертів зі зміни клімату (IPCC), і країни, які виробляють крафт-целюлозу, класифікують чорний щолок як енергію з біомаси або біопаливо та підтримують їх різними стимулами на основі портфоліо проєктів відновлюваної енергетики (RPS). У результаті США, Канада, Японія, Швеція та Бразилія класифікують його як біопаливо, надаючи кілька економічних переваг, заснованих на використанні цього екологічного палива [1]. Насамперед його потенціал успішно використовується для виробництва тепла та електроенергії для внутрішнього споживання на целюлозних заводах та на продаж іншим галузям промисловості або електроенергетичній мережі країн [12].

Слід зауважити, що для невеликих целюлозних заводів, а також таких, що переробляють недеревну сировину, часто не можливо запровадити належний процес відновлення з достатньою потужністю для перероблення всього чорного щолоку, що утворюється під час варіння целюлози. У результаті чого це призводить до неекологічної утилізації чорного щолоку, яка спричиняє явну небезпеку для природи та втрати багатьох цінних хімічних компонентів, які можна було б відновити з його складу більш економічно, ніж за рахунок їх повторного вилучення з деревини (до прикладу, лігніну та геміцелюлоз) [3, 13].

Мета здійснення огляду літератури полягає у висвітленні проблематики нераціонального поводження з чорним щолоком, як побічним продуктом целюлозного виробництва, та пошуку альтернативних способів його перероблення.

Відомо, що під час отримання тонни целюлози утворюється приблизно 7 тонн чорного щолоку [2] – промислових відходів виробництва [1]. У даному контексті чорний щолок необхідно розглядати як корисний побічний продукт, з подальшим його переробленням та

використанням як цінного біоресурсу. До прикладу, розвинені країни світу вважають чорний щолок найпростішою в отриманні та найбільш концентрованою біомасою, доступною на планеті [1].

Показано, що більшість всього отриманого чорного щолоку використовується для виробництва енергії шляхом його спалювання. Таким чином традиційний процес валоризації (від фр. *valorisation* – оцінка) дозволяє вирішувати багато екологічних проблем і одночасно бути джерелом відновлюваної енергії. Даний підхід спрямований на отримання важливих та цінних промислових продуктів з чорного щолоку, економічно та екологічно безпечним шляхом [1, 2]. Але більш важливим є те, що під час спалювання сполуки з високою доданою вартістю руйнуються замість того, щоб відновлюватися, що суперечить поточній ієрархії управління відходами та концепції циркулярної економіки сталого розвитку [3]. Саме тому, базуючись на суровому екологічному законодавстві, на сьогоднішній день ведеться робота над розробкою альтернативних стратегій управління чорним щолоком. Зважаючи на те, що він є легкою відновлювальною сировиною для виробництва хімічних речовин, та містить значну кількість органічних кислот та ароматичних сполук, раціональніше його піддавати регенерації з метою отримання таких цінних продуктів як лігнін, синтетичний газ, деревне вугілля та інш. Саме тому процеси ревалоризації (фр. *revalorisation* – переоцінка) мають базуватися на дотриманні стандартів прибутковості, поваги до навколишнього середовища, ефективності та відновленні ресурсів шляхом перетворення цінних сполук чорного щолоку на такі продукти, що представляють промисловий інтерес [1, 3].

Відповідно, з метою надання огляду літератури чіткої та доступної структури, процеси ревалоризації пропонується класифікувати відповідно до методу обробки чорного щолоку на: необроблений (пряме його використання) та фізичне, хімічне, біохімічне, термохімічне або електрохімічне оброблення (табл. 1) [3].

Таблиця 1. Альтернативні методи ревалоризації чорного щолоку [3]

Метод обробки	Допоміжні процеси	Кінцеві продукти
необроблений	–	засоби захисту рослин добрива з покриттям
фізичний	декантація мембранні процеси кислотне осадження дистиляція рідинно-рідинна екстракція	талове масло, лігнін, геміцелюлози, органічні кислоти, неорганічні солі, біонафта, ароматичні сполуки
хімічний	емульгування спінювання прогресивні процеси окиснення	пористі вуглецеві матеріали біовуглець з низьким вмістом золи
біохімічний	–	органічні кислоти, мономерні ароматичні сполуки, лакази, пероксидази, біобутанол
термохімічний	газифікація надкритична газифікація води піроліз гідротермальне зрідження гідротермальна карбонізація термічний піроліз мокре окиснення	синтетичний газ неорганічні елементи біопаливо водна фаза деревне вугілля
електрохімічний	електроліз електродіаліз	лігнін, водень, NaOH, органічні кислоти, H ₂ SO ₄

Отже, перспектива подальших прикладних досліджень за даною проблематикою полягає у вирішенні способів утилізації відпрацьованих варильних розчинів за рахунок визначення характеристик їх хімічного складу з метою подальшого використання чорних щолоків для регенерації хімікатів.

Література:

1. Chul-Hwan Kim, Ji-Young Lee, See-Han Park, Sun-Ok Moon. Global Trends and Prospects of Black Liquor as Bioenergy. *Journal of Korea TAPPI*. 2019. Vol. 51, No 5. P. 3–15. DOI: 10.7584/JKTAPPI.2019.10.51.5.3.
2. Raj Morya, Madan Kumar, Isha Tyagi, Ashutosh Kumar Pandey, Jungsu Park, Tirath Raj, Ranjna Sirohi, Vivek Kumar, Sang-Hyoun Kim. Recent advances in black liquor valorization. *Bioresource Technology*. 2022. Vol. 350, No 3. P. 126916. DOI:10.1016/j.biortech.2022.126916.
3. Lucía Pola, Sergio Collado, Paula Oulego, Mario Díaz. Kraft black liquor as a renewable source of value-added chemicals. *Chemical Engineering Journal*. 2022. Vol. 448, No 37. P. 137728. DOI: 10.1016/j.cej.2022.137728.
4. Черьопкіна Р.І., Трембус І.В., Дейкун І.М., Барбаш В.А. Технологія недеревних волокнистих напівфабрикатів: підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», освітньо-професійної програми «Промислова екологія та ресурсоефективні чисті технології». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 231 с.
5. Черьопкіна Р.І., Трембус І.В., Дейкун І.М. Технологія виробництва сульфатної целюлози: підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», освітньо-професійної програми «Промислова екологія та ресурсоефективні чисті технології». Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2022. 272 с.
6. Reza Fakhrai. Black Liquor Combustion in Kraft Recovery Boilers-Numerical Modelling. Dissertation ... of doctor of Philosophy in Energy and Furnace Technology (TeknD) 2000; Royal Institute of Technology. Stockholm, 2002. 86 p.
7. Introduction to Liquor of Paper Pulping. URL: <https://www.paperpulpingmachine.com/introduction-to-liquor-of-paper-pulping/> (дата звернення: 26.08.2023).
8. Black Liquor. Encyclopedia, Science News & Research Reviews. URL: <https://academic-accelerator.com/encyclopedia/black-liquor> (дата звернення: 26.08.2023).
9. Tiantian Chen, Youming Li, Lirong Lei, Mingzhu Hong, Qihui Sun, Yi Hou. Influence of residual black liquor in pulp on wastewater pollution after bleaching process. *BioResources*. 2017. Vol. 12, No 1. P. 2031–2039. DOI: 10.15376/biores.12.1.2031-2039.
10. Soledad Chamorro, Laura Hernández, Katia Saéz, Gloria Gómez, and Gladys Vidal. Effects of Black Liquor Shocks on the Stability of Activated Sludge Treatment of Kraft Pulp Mill Effluent: Morphological Alteration in *Daphnia magna* and Mutagenicity and Genotoxicity Response in *Salmonella typhimurium*. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, No 7. P. 3869. DOI: 10.3390/su14073869.
11. The Complicated Case of Black Liquor for Our Rivers, Our Air and Climate Change. URL: <https://environmentalpaper.org/2013/02/complicated-case-of-black-liquor-climate-change/> (дата звернення: 14.10.2023).
12. Celso Foelkel. To where and how the Brazilian kraft pulp industry will be running? Heat & power generation versus gasification & extracted biofuel/biomaterials? // 8th International Black Liquor and Biomass to Bioenergy and Biofuels Colloquium (Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil, May 19–23, 2013). Belo Horizonte, 2013. 29 slides.
13. Hassan Raja Muddassar, Kristian Melin, Sarada Kuppa, Jukka Koskinen, Markku Hurme, Daniela De Kokkonen and Juha Kallas. Novel treatment method for black liquor and biomass hydrolysate with partial wet oxidation. *Cellulose Chemistry and Technology*. 2015. Vol. 49, No 3–4. P. 347–360.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.291621>

УДК 631.8

ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЦИКЛОНУ ДЛЯ ВЛОВЛЮВАННЯ ПОЛІДИСПЕРСНИХ ТВЕРДИХ ВКЛЮЧЕНЬ ТА ПАРІВ ВОДИ

Андрій ДМИТРУК, Андрій СТЕПАНЮК

Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського
просп. Берестейський, 37, м. Київ, 03056, Україна

e-mail: arstepaniuk@gmail.com

Сьогоднішній розвиток промисловості потребує значних енергетичних та людських зусиль і великих грошових затрат на очищення викидів, що генеруються при виробництві необхідних суспільству продуктів. Найбільше це стосується промислових виробництв, які в технологічному циклі використовують процеси сушіння. Використання таких процесів генерує значну кількість твердих дрібнодисперсних викидів та водяної пари. Тому існує необхідність очищення повітря від викидів з одночасним рециклінгом вловлених компонентів у технологічний процес.

Метою роботи є пошук апаратного оформлення та методів вловлювання високодисперсних твердих частинок і водяної пари і аналіз основних методів модернізації застосованих апаратів та методів їх розрахунків.

Найпростішими апаратами, які називаються циклонні апарати, є апарати, що використовують розділення неоднорідних газових та полідисперсних твердих включень є процеси розділення в полі відцентрових сил. Конструкції апаратів для сухої та мокрої очистки визначаються конкретними умовами.

Запропоновані модернізації конструкції циклонів можна розділити на декілька напрямів:

- Модернізація пристроїв підведення газової суміші.
- Модернізація пристроїв вловлювання газової суміші.
- Модернізація пристроїв відведення очищених галів.
- Модернізація пристроїв вловлених відходів.

Модернізація пристроїв підведення газової суміші.

Дослідниками [1-5] запропоновано для відцентрової сили збільшення швидкості на вході в циклон або встановлення різноманітних турбулізаторів потоку, наприклад труби Вентурі [4] (Рисунок 1), які покращують продуктивність апаратів. Вплив технологічних та геометричних параметрів, швидкість на вході, довжину та діаметр апарату на розподіл швидкостей і ефективність класифікації дрібнодисперсних порошків у циклонних апаратах усі автори досліджували за допомогою чисельного моделювання.

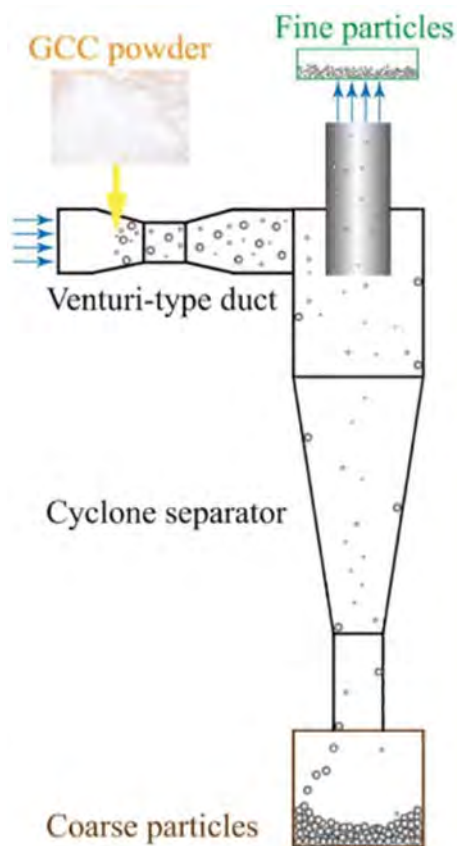


Рис. 1 – Встановлення труби Вентурі, як турбулізатора потоку.

В роботі [23] були запропоновано та досліджено циклон з чотирма входами наведений на рисунку 2.

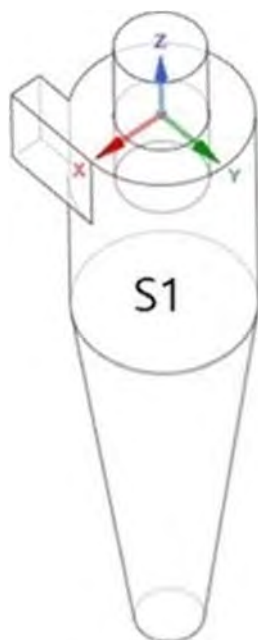


Рис. 2 – Циклон з чотирма входами

Модернізація пристроїв вловлювання газової суміші.

Автори досліджень [6-16] пропонують різноманітні конструкції корпусів апаратів, наприклад вдосконалення циклонних апаратів шляхом оптимізації їхніх геометричних параметрів.

Наприклад у роботі [13] досліджується ефективність запропонованих нових циклонів з випуклими конічними ділянками. Розглядається п'ять різних конфігурацій циклонів з радіусом вигину, що дорівнює 1,5, 1,25, 1,0, 0,75 та 0,5 м (Рисунок 3). Проведено симуляційний експеримент.



Рис. 3 – Залежність ефективності збору від розміру вигину

Автори [12] пропонують секцію, яка складається з двох циклонів 2D2D та 1D3D, які розташовані в послідовно. Результатами експериментів підтверджено числовим моделюванням (Рисунок 4).

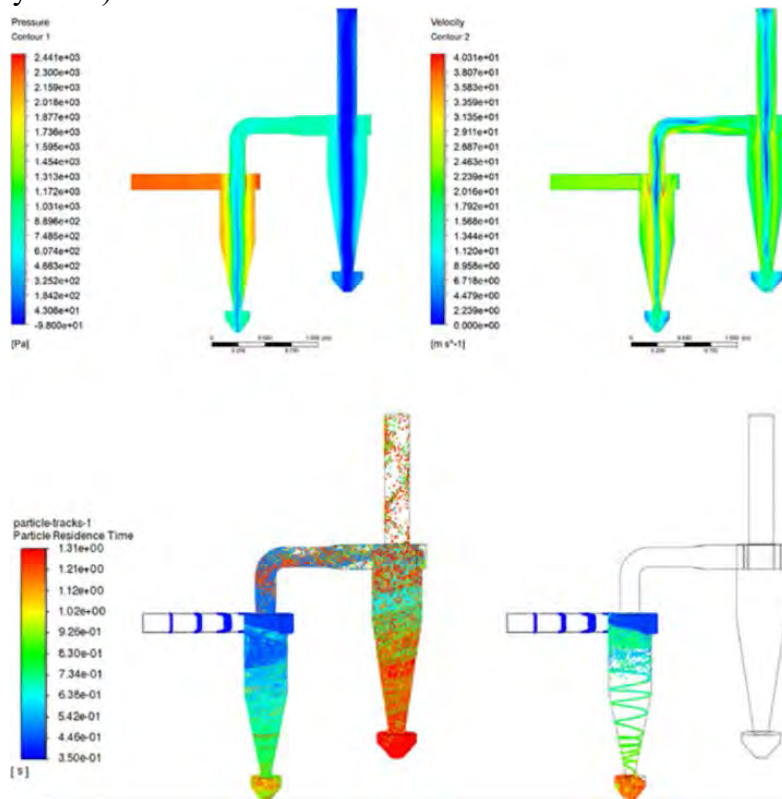


Рис. 4 – Результати дослідження

Автори досліджень пропонують різноманітні конструкції пристроїв для виведення очищених газів [17–20], наприклад вдосконалення циклонних сепараторів шляхом оптимізації їхніх геометричних параметрів та використання чисельного моделювання для досягнення кращої продуктивності і ефективності сепарації.

Наприклад автори [17] пропонують жалюзійний відвід, що на їх думку дає покращення ефективності вловлювання (рисунок 5).

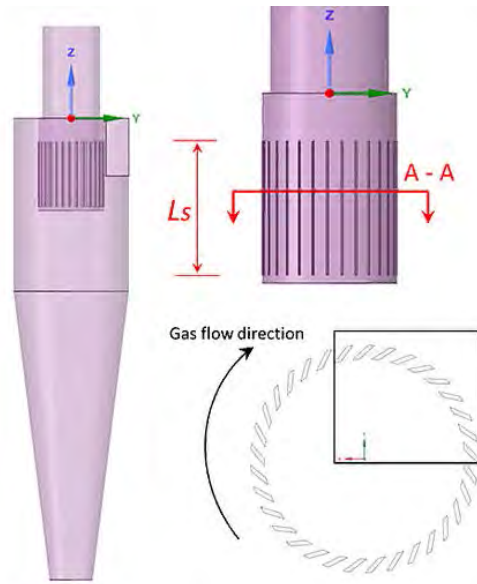


Рис. 5 – Циклон із жалюзійним відводом

Автори досліджень пропонують різноманітні конструкції пристроїв для виведення продуктів вловлювання [21, 22], наприклад у статті [21] пропонує вдосконалення встановленням внутрішнього конуса та використання чисельного моделювання для досягнення кращої продуктивності і ефективності сепарації (Рисунок 6).

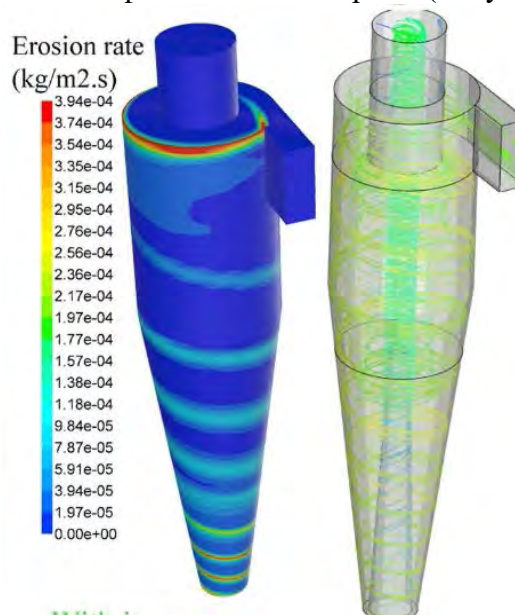


Рис. 6 –Циклон з внутрішнім конусом

Автори досліджень пропонують різноманітні конструкції пристроїв для розділення твердих або рідких, краплеподібну фракцій та газових потоків [26–25], **наприклад дослідниками** [25] пропонується місцеве зношування стінок циклону.

Дослідники розглядали вплив місцевого зношування стінок циклонного сепаратора на його продуктивність, використовуючи математичні обчислення для аналізу та передбачення ерозії в циклоні

Висновки.

Спільною рисою всіх цих статей є розгляд аспектів оптимізації та вдосконалення роботи циклонів, які широко використовуються в промислових процесах для відокремлення частинок або краплин від газу, усі автори застосовують чисельне моделювання та експерименти для аналізу та оптимізації їхньої роботи.

Проте на сьогоднішній день відсутні дослідження по конденсації парів в циклонних апаратах з подальшим вловлюванням сконденсованих парів та розчинених в парах солей.

Література:

1. Multi-objective optimization of a novel vortex finder for performance improvement of cyclone separator. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591022007392>
2. Performance analysis of the cyclone separator with a novel clean air inlet installed on the roof surface. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591023006332>
3. Effects of the inlet particle spatial distribution on the performance of a gas-solid cyclone separator. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1674200123000986>
4. Effects of operational and geometrical parameters on velocity distribution and micron mineral powders classification in cyclone separators. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591022005034>
5. Numerical investigation on the performance and flow pattern of two novel innovative designs of four-inlet cyclone separator.
6. Performance analysis of a novel cyclone separator using RBFNN and MOPSO algorithms. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591023004473>
7. Investigating the effects of temperature on the performance of novel cyclone separators using large-eddy simulation. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591022010944>
8. Unconventional desalination: The use of cyclone separators in HDH desalination to achieve zero liquid discharge. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916422003873>
9. A brief review on improving materials particulates using cyclone separator by geometrical and turbulence factors. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221478532205341X>
10. An overview of novel geometrical modifications and optimizations of gas-particle cyclone separators. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586623020440>
11. Square Cyclone Separator: Performance Analysis Optimization and Operating Condition Variations Using CFD-DPM and Taguchi Method. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591023005739>
12. The effect of inlet velocity, gas temperature and particle size on the performance of double cyclone separator. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0255270123002064>
13. Performance analysis of cyclone separators with bulged conical segment using large-eddy simulation. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591023003686>
14. Numerical analysis on the influence of vortex motion in a reverse Stairmand cyclone separator by using LES model. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1995822621001436>

15. Numerical study of gas–solid flow in a cyclone separator. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X06000291>
16. Numerical study on gas-solid flow characteristics of ultra-light particles in a cyclone separator.
17. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S003259101831091X>
18. Numerical investigation on the swirling vortical characteristics of a Stairmand cyclone separator with slotted vortex finder. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591023000207>
19. Numerical simulation on structure optimization of escape-pipe of cyclone separator with downward outlet. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S003259102200482X>
20. Parametric analysis and optimization of gas-particle flow through axial cyclone separator: A numerical study. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921883123000225>
21. Improvement of the cyclone separator performance by the wedge-shaped roof: A multi-objective optimization study. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0009250922009897>
22. Numerical investigation of effects of inner cone on flow field, performance and erosion rate of cyclone separators. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586617335591>
23. An alternative for the collection of small particles in cyclones: Experimental analysis and CFD modeling.
24. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586616323024>
25. Numerical analysis of a novel cascading gas–liquid cyclone separator. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000925092300074X>
26. Design and performance study of a two-stage inline gas-liquid cyclone separator with large range of inlet gas volume fraction. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0920410522010701>
27. Effect of local erosion on the flow field and separation performance of the cyclone separator. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591022008889>



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.290930>

UDC 57.043:044:620.951

PROSPECTS OF PRODUCING BIOBUTANOL USING MICROALGAE RESIDUE AFTER LIPID EXTRACTION

Anna DUDNIK

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute
Prospect Beresteiskyi 37, Kyiv, 03056, Ukraine

email: dudnik.anna@iit.kpi.ua

Introduction. Biobutanol is a renewable biofuel chemically similar to gasoline but produced from biomass rather than fossil fuels. It is typically produced through fermentation, usually using strains of bacteria from the class Clostridia, which convert sugars derived from biomass into butanol via acetone-butanol-ethanol (ABE) fermentation [1].

Biobutanol can become a severe competitor to other types of biofuels. For instance, one advantage of biobutanol over ethanol is its higher energy density, which means it contains more energy per unit volume. This makes biobutanol a more attractive alternative to gasoline as a transportation fuel. In addition, biobutanol has a lower vapour pressure than ethanol, which can reduce evaporative emissions and make it easier to blend with gasoline.

Biobutanol can also be used in existing gasoline engines without significant modifications. It can be blended with gasoline at higher concentrations than ethanol without causing engine damage or performance issues [1]. Therefore, it has the potential to be used as a "drop-in" replacement for gasoline, which would make it easier to integrate into existing fuel infrastructure and vehicle fleets.

Discussion. Several feedstocks can be used for biobutanol production, including agricultural residues, energy crops, lignocellulosic materials, food waste, and algae [1]. The choice of feedstock depends on various factors, including availability, cost, and sustainability.

The production of first-generation biobutanol is largely made possible by the fermentation of primarily hexose sugars, which is a reasonably straightforward process. These sugars are produced by hydrolysing crops high in starch, like maize, wheat, rice, and cassava. Biobutanol yield for such raw materials is usually the highest; for example, Iyyappan et al. (2022) studied biobutanol production from black strap molasses using *Clostridium acetobutylicum* MTCC11274. The results show the maximum butanol production as 4.15 ± 0.48 g/L [2]. These materials are often readily available and may cost less than other feedstocks. However, they may also face competition from other industries that use them as feed or fertiliser.

Second-generation biobutanol is represented using agricultural residues such as corn stover, wheat straw, or energy crops, such as switchgrass and miscanthus. The last ones can be grown on marginal land, do not compete with food crops, and provide high biomass yields per unit area. These materials are abundant and widely available, but their high lignin content makes them more challenging to break down and convert into biofuels than other feedstocks. For instance, Pratto et al. (2020) used sugarcane straw and *C. acetobutylicum* NRRL B-527 for biobutanol production. The findings suggest that the butanol production peaked at 7.6 ± 0.7 g/L [3].

The third-generation biobutanol uses microalgae as a primary feedstock. Microalgae can be grown in various environments, including wastewater and brackish water, producing high biomass yields per unit area. Today algae-based biobutanol production is an area of active research and development, and several studies have shown that it is possible to convert algal biomass into biobutanol through fermentation. Melih Onay (2020) studied biobutanol production from microalgae *Chlorella zofingiensis* CCA 944 by *C. acetobutylicum*. In that article, the results show that maximum butanol production reaches up to 3.1 ± 0.3 g/L [4].

Nevertheless, the primary focus of research on microalgae has been their capacity to accumulate lipids suitable for producing biodiesel, constituting a significant portion of their dry weight. Therefore, using microalgae residues after lipid extraction (e.g. after biodiesel production) for butanol production rather than whole microalgae cells could be more reasonable. Moreover, that strategy has several advantages.

Firstly, by utilising the residues after lipid extraction, we can potentially use a broader range of microalgae species for biobutanol production. Secondly, microalgae residues are typically rich in carbohydrates and proteins, which can be converted into other biofuels, such as biobutanol and bioethanol, or valuable co-products, such as animal feed, fertiliser, or bioplastics. Finally, utilising microalgae residues after lipid extraction can help improve microalgae biofuel production's sustainability. Microalgae are often grown using large quantities of water and nutrients, which can have negative environmental impacts if not appropriately managed. By utilising the residues, we can reduce the environmental footprint of microalgae-based biofuel production and move towards a more sustainable and circular economy [5].

Ionic liquid extraction is a solvent extraction that uses ionic liquids as solvents to extract target compounds (e.g. lipids) from various sources such as plants, microorganisms, or industrial wastes. This procedure involves treating microalgae with methanol and 1-ethyl-3-methylimidazolium ethylsulfate ($C_2mimEtSO_4$) at a mass ratio of 1:2 for one hour. Ionic liquid extraction is characterised by several advantages, such as high selectivity, good solubility, low toxicity and a sustainable approach to various compounds, making it an attractive alternative to traditional extraction methods, such as hexane extraction.

The study compared two types of substrates for direct ABE fermentation (without pre-treatment) by *C. saccharobutylicum*: *C. vulgaris* after ionic extraction and *C. vulgaris* after hexane/2-propanol extraction. The study shows that butanol concentration reached 4.99 ± 0.2 and 6.63 ± 0.3 g/L retrospective. However, hexane-extracted microalgae also require detoxification, while ionic liquid-extracted microalgae do not. The study showed that it was possible to produce both butanol and biodiesel from the same feedstock, which could assist in lowering the cost of feedstock for each process separately, and that ionic liquid pre-treatment can improve the efficiency of the process [5].

Conclusion. Biobutanol can be produced from various feedstocks, including corn, sugarcane, wheat, barley, switchgrass, and algae residues. Each feedstock has advantages and challenges depending on availability, cost, and sustainability.

Corn and sugarcane are currently the most widely used feedstocks for biobutanol production due to their high sugar content and availability in many parts of the world. However, these feedstocks can have negative environmental impacts, such as competition with food crops and land use change.

Alternative feedstocks such as switchgrass and algae residues have shown promise for biobutanol production due to their lower environmental impact and potential for use on marginal lands. However, further research and development are needed to optimise the production processes and reduce the costs associated with these feedstocks.

In general, the choice of feedstock for biobutanol production will depend on various factors, including availability, cost, sustainability, and local regulations. With continued research and

development, it is possible to produce biobutanol from a range of feedstocks sustainably and cost-effectively, helping to reduce our dependence on fossil fuels and mitigate the impacts of climate change.

References

1. Eloka-Eboka A, Maroa S. Biobutanol fermentation research and development: feedstock, process and biofuel production. *Advances in Pollution Research*. 2023. Vol. 3. P. 79-103
2. Iyyappan J, Bharathiraja B, Varjani S, et al. Anaerobic Biobutanol Production from Black Strap Molasses Using *Clostridium Acetobutylicum* MTCC11274: Media Engineering and Kinetic Analysis. *Bioresource Technology*. 2022. Vol. 346. 126405.
3. Pratto B, Chandgude V, de Sousa Júnior R, et al. Biobutanol production from sugarcane straw: Defining optimal biomass loading for improved ABE fermentation. *Industrial Crops and Products*. 2020. Vol. 148. 112265.
5. Gao K, Orr V, Rehmann L. Butanol Fermentation from Microalgae-Derived Carbohydrates after Ionic Liquid Extraction. *Bioresource Technology*. 2016. Vol. 206. P. 77–85.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.290783>

УДК 544.723.52

ПЕРЕРОБКА ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ З МЕТОЮ ОТРИМАННЯ НАНОЧАСТИНОК ВУГЛЕЦЮ ДЛЯ СОРБЦІЇ ВОДНЮ

Олена ІВАНЕНКО¹, Олександр СНИГУР², Вікторія КОВБАСЮК¹, Валерія ГЛУЩУК¹

¹Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського
проспект Берестейський, 37, Київ, Україна

²Інститут газу Національної академії наук України
вулиця Дегтярівська, 39, м. Київ, Україна

e-mail: gvrmars@gmail.com

Вуглецеві наноматеріали, зокрема вуглецеві нанотрубки (ВНТ), виявляються перспективними сорбентами для водню, сприяючи розвитку водневої енергетики [1]. Дослідження в області адсорбції водню на вуглецевих матеріалах має велике значення для розвитку чистої енергії (REPowerEU), що пришвидшить перехід до «зеленої» енергетики. До того ж, використання відходів різноманітних виробництв може стати важливим джерелом вуглецевих матеріалів для виробництва ВНТ [2, 3].

Висока вартість та дефіцит викопних палив, у першу чергу природного газу, утворення шкідливих викидів змушують людство шукати альтернативні види сировини для енергетики, хімічної промисловості, виробництва водню тощо. До таких видів сировини належать відходи сільського господарства, деревообробної промисловості, деякі промислові відходи [4], в окремих випадках низьковартісні викопні палива, наприклад, торф. Газифікація альтернативних палив має як істотні переваги, так і недоліки.

Альтернативним видом сировини для отримання ВНТ можуть слугувати тверді побутові відходи (ТПВ), оскільки вони мають ряд переваг. Газифікація таких ТПВ як: шкаралупи соняшникового насіння, деревні пелети, рис, пташиний послід дає наступний склад генераторного газу: CO – 12-30 %, H₂ – 10-25 %, CH₄ – 0,05-5 %. Склад баласту: N₂ – 35-55 %, CO₂ – 8-15 %, H₂O – 2-20 %. Газифікація зазначених палив має ряд позитивних якостей: по перше, усі органічні сполуки розщеплюються та газифікуються всередині апарату; по друге, газ не містить смолистих речовин. До недоліків біопалива з відходів можна віднести складну підготовку: роздільне збирання, сортування, подрібнення, виготовлення пелет або брикетів, а також зміну складу та теплотворної здатності генераторного газу при зміні палива [5].

Шляхом піролізу можна також утилізувати широкий спектр відходів [6, 7], до того ж пропонується використовувати сміття з різних матеріалів, коли роздільний збір сміття не є життєздатною альтернативою [7].

ВНТ і вуглецеві нановолокна є найпопулярнішими циліндричними формами вуглецю, які використовуються в різних сферах застосування. Завдяки поєднанню своїх унікальних властивостей (високої міцності на розрив, чудових теплових і електричних властивостей та високого співвідношення довжини до діаметра) вони є найбільш універсальним матеріалом для сорбції водню [8, 9].

Існує достатня кількість літературних джерел щодо звичайних методів каталітичного піролізу для отримання ВНТ [10]. Одним із істотних обмежень традиційного піролізу є нагрівання, що не є ні рентабельним, ні економічно вигідним [9]. За дослідженнями [9], для піролізу відходів можна застосовувати каталізatori на основі перехідних металів на оксидно-алюмінієвому носії ($\text{Fe}/\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\text{Ni}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\text{Ni}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) з використанням нагрівання при 700–900 °С, нікелеві та залізні каталізatori на основі кремнезему [10]. Авторами [9] доведено, що каталізатор на основі заліза на оксидно-алюмінієвому носії є найбільш ефективним і дешевим каталізатором. Авторами [11, 12] було досліджено можливість використання каталізаторів на основі заліза (FeAlO_x , $\text{Fe}/\text{FeAl}_2\text{O}_4$) за технологією СВЧ для отримання ВНТ при високочастотному піролізі поліолефінів.

Щодо самого технологічного процесу отримання ВНТ, то літературні дані свідчать про використання різних конфігурацій реакторів для виробництва вуглецевих нанотрубок із відходів. Найкращим методом є двоетапна система реакторів, де на першому етапі відходи піролізуються в контрольованих умовах, а отримані піролізні гази подаються в другий керований каталітичний реактор, де вони можуть бути використані для виробництва ВНТ [13].

Отже, метою даної роботи є дослідження можливості отримання наночастинок вуглецю при переробці твердих побутових відходів з подальшим використанням ВНТ для сорбції водню. ВНТ отримувались з деревних пелет, азотовмісної смоли, фенолу, нафтового пеку, лушпиння коксу. Для дослідження процесів отримання ВНТ використовувалась лабораторна установка, схему якої представлено на рис. 1.

Конверсія генераторного газу проводилась в реакторі каталітичної конверсії 1 з каталізатором ГИАП-3-6Н. Отриманий конвертований газ проходив через вузол очищення і поступав до горизонтальної печі 2, в реакційну зону якої був завантажений каталізатор з нержавіючої сталі X18H10T. Водень 5 виконує функцію активатора металевого каталізатора, на якому відбувався ріст ВНТ. Результати досліджень сорбції та десорбції водню на отриманих ВНТ наведені у таблиці 1.

Як видно, найкращі сорбційні властивості має ВНТ, отриманий з генераторного газу при піролізі деревних пелет. Причому для зразку, отриманого з деревних пелет, найвища питома ємність складала 21,9 $\text{см}^3(\text{H}_2)/\text{г}$ при 300 °С. Проте інші зразки ВНТ відрізняються більш швидким досягненням результату при сорбції водню.

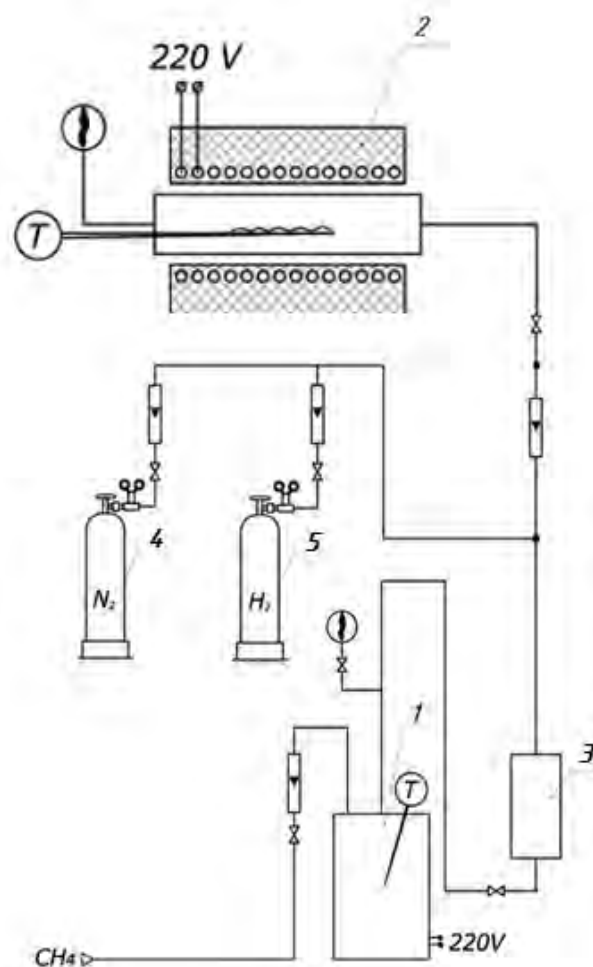


Рис. 1. Технологічна схема лабораторної установки для дослідження процесів одержання ВНТ: 1 – генератор конвертованого газу, 2 – горизонтальна піч з каталізатором (нержавіюча сталь X18H10T), 3 – поглинач вологи, 4 – балон з азотом, 5 – балон з воднем

Таблиця 1. Показники сорбції-десорбції водню, одержані в процесі експерименту по ефективності використання нанотрубок для сорбції водню

Походження зразку ВНТ	m, г	ρ , г/см ³	Час, год	V(H ₂), см ³	V(H ₂)/m при 300 °С, см ³ /г
Деревні пелети	4,516	0,113	5	99,0	21,9
Азотвмісна смола	9,824	0,246	4	78,0	7,9
Фенол	7,075	0,177	2	55,0	7,7
Нафтовий пек	8,469	0,212	1,5	57,0	6,7
Лушпиння кокосу	11,182	0,280	2	86,0	7,7

Вочевидь, використання ТПВ для отримання ВНТ є досить перспективним шляхом для отримання матеріалів з метою зберігання водню.

Література:

1. Vavrysh A., Nebesniy A., Bondarenko B. et al. (2014). Production of carbon nanomaterials for hydrogen storage. *NANOCON*. pp. 416-420.
2. Williams P.T. (2021). Hydrogen and Carbon Nanotubes from Pyrolysis-Catalysis of Waste Plastics: A Review. *Waste and Biomass Valorization*. 12:1-28.
3. Ramzan, F., Shoukat B., Naz M. et al. (2022). Single step microwaves assisted catalytic conversion of plastic waste into valuable fuel and carbon nanotubes. *Thermochimica Acta*. 715. p. 179294.
4. Putra H., Shaifulazuar R., Patah A. et al. (2022). A review of microwave pyrolysis as a sustainable plastic waste management technique. *Journal of Environmental Management*. 303. p. 114240.
5. Снігур О., Праженнік Ю., Марчук Ю. (2018). Термодинамічний аналіз методів забезпечення автотермічності процесів повітряної газифікації комбінованих палив. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. №1. с. 21-30.
6. Chen X., Wang Y., Zhang L. (2021). Recent progress in the chemical upcycling of plastic wastes, *Chemical Upcycling of Waste Plastics*. 14. pp.4137–4151.
7. Al-Salem S., Antelava A., Constantinou A., Manos G. (2017). A review on thermal and catalytic pyrolysis of plastic solid waste (PSW). *Journal of Environmental Management*. 197. pp.177–198.
8. Hopewell J., Dvorak R., & Kosior E. (2009). Plastics recycling: challenges and opportunities, *Philosophical transactions of Royal Society* 364. pp. 2115–2126.
9. Wang j., Pan Y., Song J., (2022). A high-quality hydrogen production strategy from waste plastics through microwave assisted reactions with heterogeneous bimetallic iron/nickel/cerium catalysts. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 166. p. 105612.
10. Yao D., Zhang Y., Williams P. (2018). Co-production of hydrogen and carbon nanotubes from real-world waste plastics: Influence of catalyst composition and operational parameters. *Applied Catalysis B: Environmental*. 221. pp. 584-597.
11. Yao L., Yi B., Zhao X., et al. (2022). Microwave-assisted decomposition of waste plastic over Fe/FeAl₂O₄ to produce hydrogen and carbon nanotubes. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 165. p. 105577.
12. Gholizadeh F., Izadbakhsh A., Huang J., et al. (2021). Catalytic performance of cubic ordered mesoporous alumina supported nickel catalysts in dry reforming of methane. *Microporous and Mesoporous Materials*. 310. p. 110616.
13. Lee J., Jun K., Kang S., et al. (2018). Fe–Co/alumina catalysts for production of high calorific synthetic natural gas: effect of Fe/Co ratio. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 66. pp. 396-403.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.290871>

УДК 628.543.3.9

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІОНООБМІННОГО ВИЛУЧЕННЯ ІОНІВ ЗАЛІЗА З КИСЛИХ СТОКІВ ГАЛЬВАНІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

Олена ІВАНЕНКО, Сергій ДОВГОЛАП, Юля НОСАЧОВА, Тетяна ВЕРЕЩУК

Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

проспект Берестейський, 37, м. Київ 03056, Україна

e-mail: s.dovholap@gmail.com

Гальванічне виробництво широко використовується в різних галузях промисловості, включаючи автомобільну, електронну, галузі виробництва приладів, ювелірну справу та інші. Гальванічне осадження значно покращує якість та зовнішній вигляд виробів, а також захищає їх від корозії та інших агресивних факторів. Проте, як будь яка галузь виробництва, гальваніка має свої власні екологічні проблеми та виклики [1].

В процесі гальванічного виробництва часто утворюються стічні води, що містять різні хімічні сполуки, включаючи важкі метали та металевий осад, електроліти, розчинники. Це призводить до забруднення водойм та підземних вод, що негативно впливає на екосистеми та здоров'я людей. Деякі процеси гальванічного виробництва можуть бути дуже енерговитратними, що призводить до викидів дисперсних та газоподібних речовин. Викиди парникових газів, таких як вуглекислий газ, сприяють зміні клімату. Покращення енергоефективності і використання відновлювальних джерел енергії можуть допомогти зменшити цей вплив.

Відходи гальванічного виробництва – це відходи, які виникають під час процесу гальванічного покриття металевими шарами на поверхні різних матеріалів. Ці відходи включають різні речовини, що можуть бути небезпечними для навколишнього середовища і здоров'я людей, тому важливо належним чином управляти ними, щоб забезпечити безпеку та збереження довкілля. Навіть у виробництвах, де наявна система очищення стоків, вона, як правило, функціонує не на високому рівні та не відповідає міжнародним стандартам [2]. З-поміж різноманітних методів очищення стічних вод гальванічного виробництва, таких як реагентні, іонообмінні, сорбційні, біохімічні та електрохімічні, на вітчизняних підприємствах найбільш поширеними є реагентні методи. Застосування цих методів має цілу низку недоліків. Більшість відновників мають не тільки відновлюючі властивості, але й комплексоутворюючі. При взаємодії з металами утворюються комплекси, що не здатні випадати в осад або взаємодіяти з іоннообмінними смолами та важко піддаються будь-яким методам очищення. Також до недоліків реагентних методів можна віднести необхідність застосування надлишкової кількості реагентів, що призводить до суттєвого збільшення загального об'єму гальванічного шламу.

Для розв'язання цих проблем гальванічні виробництва повинні впроваджувати ресурсоефективні технології та процеси, вдосконалювати управління відходами, зменшувати викиди, підвищувати енергоефективність.

Перед гальванічним виробництвом стоїть одна з найскладніших проблем - розробити

методи ефективного очищення стічних вод та утилізації відпрацьованих електролітів. Один із способів вирішення цієї проблеми полягає вторинному використанні стічних вод, а саме в створенні ресурсоекономних систем промислового водопостачання, які ґрунтуються на багаторазовому використанні очищених стічних вод, що відповідають вимогам якості технологічних вод [2].

Метою роботи стало є вивчення закономірностей іонообмінного вилучення іонів заліза з кислих розчинів травлення гальванічного виробництва.

В ході досліджень в якості сорбційного матеріалу було обрано сильнокислотну катіонообмінну смолу (сульфований сополімер стиrolу та дивінілбензолу) Dowex HCR S/S в Na^+ -формі.

Процеси сорбції іонів заліза (II) проводили в динамічних умовах. При дослідженні використовували розчини заліза з концентрацією по іонах Fe^{2+} 1; 5 г/дм³. Концентрацію сірчаної кислоти змінювали в діапазоні від 0 до 13 г/дм³.

Таблиця 1. Залежність повної обмінної динамічної ємності та ступеня регенерації іоніту від складу вихідного, регенераційного розчинів та питомої витрати (q_p) регенераційного розчину

Склад розчину, що сорбується		ПОДС, мг-екв/см ³	Склад регенераційного розчину, С (H ₂ SO ₄), %	Витрата регенераційного розчину, q_p , см ³ /см ³	Ступінь регенерації іоніту, Z, %
Fe ²⁺ , мг/дм ³	SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³				
1 000	0	1,385	5	5	99,0
				10	100,0
1 000	500	1,9	5	5	95,5
				10	100,0
1000	1 200	0,44	5	5	98,0
				10	100,0
1 000	2 450	0,3	5	5	100,0
1000	3 500	0,46	5	5	100,0
5000	500	1,92	10	5	100,0
5 000	1 300	2,21	10	5	100,0
5 000	3 000	1,85	10	5	100,0
5 000	8 100	1,35	10	5	100,0
5 000	13 000	1,35	10	5	100,0

Вибір сильнокислотного катіоніту обумовлений тим, що обмінна ємність сильнокислотних катіонітів майже не залежить від рН. Навіть при низьких значеннях рН можна досягати граничні величини обмінної ємності.

Проте, експериментальні дослідження показали, що зі збільшенням концентрації сірчаної кислоти повна обмінна динамічна ємність катіоніту суттєво зменшується при сорбції іонів заліза (табл. 1). Для залізовмісних розчинів ПОДС знижується з 1,39 г-екв/дм³ за відсутності в початковому розчині сірчаної кислоти, до 0,3 – 0,46 г-екв/дм³ при концентрації сірчаної кислоти на рівні 1 – 3 г/дм³. Збільшення концентрації іонів заліза (II) приводить до суттєвого збільшення ПОДС, навіть при концентрації сірчаної кислоти 8 – 13 г/дм³, ПОДС була на рівні

1,35 г-екв/дм³, що відповідає рівню сорбції розведених розчинів навіть при відсутності кислоти.

Основним показником, на який орієнтуються при виборі іонообмінного методу, є можливість ефективної регенерації катіонообмінного матеріалу. В роботі регенерацію проводили 5-ти та 10 %-ти розчинами сірчаної кислоти. При використанні 5 % розчину вже при питомій витраті регенераційного розчину 5 см³/см³ вдалося досягти ступеню регенерації на рівні 95 – 98 %, а при використанні 10 % розчину ступінь регенерації сягала 100%.

В цілому, виходячи з отриманих результатів, застосування іонообмінного методу вилучення іонів заліза з кислих концентрованих травильних розчинів є доцільним.

Література:

[1] Кунтій О.І. Гальванотехніка // Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2004. 236 с.

[2] Екологічна безпека гальванотехніки. Частина 1. Стічні води. Механічна та сорбційна очистка: навч. посіб. / М.І. Донченко, С.В. Фроленкова – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 202 с.



ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ РЕГЕНЕРАЦІЇ МЕМБРАН ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ

Маргарита КАРПЕНКО, Вячеслав РАДОВЕНЧИК

Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

Берестейський проспект, 37, м.Київ 03056, Україна

e-mail: k.margarita111@gmail.com

Зворотній осмос отримує все більшу популярність і в побутовому використанні завдяки надійності, компактності, зручності в експлуатації і, звичайно ж, стабільно високій якості отриманої води [1]. Дефіцит питної води став однією із найбільших проблем сьогодення. Неєфективна водна політика, нестійке зростання населення та кліматичні зміни є головним фактором дефіциту води [2]. Загалом на сьогодні актуальна гостра нестача питної води у світі, яка спричинена глобальним потеплінням, збільшенням чисельності населення та негативним впливом промисловості на довкілля. І саме технології баромембранного очищення води є найпопулярнішими і найдоступнішими технологіями для вирішення цього питання і створення можливості постачати питну воду у кожен будинок і родину завдяки побутовим установкам зворотного осмосу. Методи обробки води і процеси доочищення водопровідної води можуть допомогти позбутися широкого спектру забруднюючих речовин, що входять до її складу, а саме, сполук солей, патогенних організмів, хлору. Саме мембранна технологія є однією з найбільш широко впроваджених процесів очищення води. Мембранні процеси включають мікрофільтрацію (МФ), ультрафільтрацію (УФ), нанофільтрацію (НФ) і зворотний осмос (ЗО) [3]. Метод очищення стічних вод завдяки високій енергоефективності, високим виробничим потужностям та високим темпам видалення забруднень ростою в даний час вважається найбільш надійною технологією опріснення води [4].

Зворотний осмос є баромембранним процесом, який найбільш часто використовується серед мембранного розділення. Його широко застосовують для обезсолювання (опріснення) всіх типів вод на установках від дрібних побутових до крупних промислових, а особливо – для доочистки питної води на локальному рівні. Проте використання мембран у системах очистки води, зокрема і зворотного осмосу (ЗО), передбачає утворення значної кількості відходів, зокрема, це:

- змінні картриджі механічного очищення;
- мембрани та мембранні блоки;
- постфільтри;
- концентрат, насичений забруднюючими речовинами, які утворились внаслідок очищення води.

Ще одним вектором негативного впливу систем мембранного очищення води на довкілля є співвідношення очищеної води (пермеату) та концентрату (забрудненої води), який скидається у каналізаційну мережу. За усередненими даними, таке співвідношення складає (2-3)/1, тобто, зі 100 дм³ водопровідної води, які заходять у систему зворотного осмосу, очищеної

отримуємо лише 65 - 70 дм³, решта разом з продуктами очистки скидається у каналізаційну мережу. Таке нераціональне використання водних ресурсів ставить під питання безпеку та екологічну доцільність застосування систем ЗО у побуті, хоча з точки зору ефективності та економічної доступності такі системи є одним з найкращих рішень проблеми нестачі якісної питної води у світі.

Можливі шляхи регенерації механічних фільтрів систем зворотного осмосу малої та середньої продуктивності ми уже розглядали у наших попередніх дослідженнях [5 - 6]. А ось очищення і регенерація мембран продовжує бути актуальним і найбільш досліджуваним питанням в системах баромембранних установок. Обростання мембран забруднюючими речовинами має негативний вплив на їх продуктивність, оскільки вона знижує потік фільтрату, підвищує робочий тиск, скорочує термін служби мембрани. Загалом, забруднення мембрани можна розділити на чотири види забруднень:

- колоїдне;
- органічне;
- неорганічне;
- комбіноване.

Полімери служать мембранними фільтрами для установок зворотного осмосу завдяки своїм хорошим хімічним властивостям, механічним і термічним властивостям. Це синтетичні полімери, а саме полівінілхлорид, поліакрилова кислота, полівініліденфторид, поліамід, поліетиленгліколь, поліефірсульфат, поліакрилонітрил, полівініловий спирт, поліметакрилова кислота, наночастинки поліаніліну, полівініліденфторид полісульфон тощо. Ці полімери класифікуються на основі їх морфології, структури, хімії та способів виробництва. Полімерні елементи також поділяються на основі розміру пор, наприклад мікро-, ультра-, нанофільтрату та зворотного осмосу [7].

Звичайна полімерна мембрана має певне обмеження в боротьбі з проблемами біобростання. Загалом, мікробне забруднення спочатку утворює шар біоплівки на полімерній мембрані. брану і утворює колонієподібну структуру шляхом виділення позаклітинних полімерних речовин. Такі забруднення містять велику кількість органічних молекулярних сполук, що включають білки, ліпіди, нуклеїнові кислоти та полісахариди [8]. Отож, мембрана повинна бути стійкою до рН, температури, іонних зарядів, гідрофобності, розміру мембрани, швидкості потоку води, антимікробної активності тощо. Мікроорганізми розмножуються, ростуть, накопичуються в середовищі структури біоплівки і розвиваються в складні конструкції [9]. Біологічне забруднення мембрани має негативний вплив на здоров'я людини. Досліджені раніше профілактичні заходи проти біологічного обростання, утворення накипу та хімічного осадження мембран, наприклад механічна та хімічна обробка, не дуже успішно підвищують довговічність полімерних мембран.

Стандартна обробка мембран зазвичай виконується дезінфікуючими засобами з формування твердої фази на мембранах відбувається при концентруванні неорганічних солей. Ці солі випадають в осад і утворюють суцільну плівку на поверхні мембрани. До основних неорганічних речовин, які сприяють утворенню осаду на мембранах відносяться сульфати, фториди, залізо, карбонати, кальцій, магній і кремнезем [10]. Крім того, мембрана може забруднюватися колоїдними частинками, які завжди присутні у природних та питних водах. Колоїдні забруднення включають неорганічні забруднювачі і органічні молекули [11]. Мул, глина, кремнезем і оксиди металів складають більшість неорганічних колоїдів в природній воді, тоді як білки, олії та гумінові кислоти формують більшість органічних колоїдів [12]. Біобростання, або прикріплення та розмноження мікроорганізмів на поверхні мембрани є ще однією проблемою. Щоб уявити весь широкий спектр забруднюючих речовин, які

видаляються на мембранах, і, відповідно, накопичуються на їх поверхні та у товщі мембранних шарів, розглянемо порівняльний аналіз розмірів часток, які видаляють різні методи очистки. Мембрани зворотного осмосу є найефективнішим інструментом очищення води, так як видаляють 98 % усіх існуючих забруднювачів води на планеті.

Розріз використаної мембрани дозволяє виявити тип і причини обростання, сприяє пошуку найефективніших методів очищення для запобігання швидкого забруднення мембран в майбутньому. Найчастіше використовують такі інструменти для дослідження шару обростання – сканування зображення електронним мікроскопом, яке виконується для вивчення морфології обростання. Для визначення жорсткості забрудненої поверхні та зміни шарів забруднення застосовують спектри атомно-силового мікроскопа.

Енергодисперсійний рентгенівський спектроскоп використовують, щоб визначити хімічний склад обростання [13]. Іншим спектроскопічним інструментом є мікроскоп Фур'є, який використовує інфрачервону спектроскопію. Як показують численні дослідження, мембрани з часом забруднюються, забиваються та обростають плівкою, втрачаючи свої очисні властивості. Тому існує декілька способів продовження терміну експлуатації мембран.

Для захисту мембран від відкладення на них різноманітних речовин, в установках зворотного осмосу середньої та малої продуктивності використовують, здебільшого, спеціальний розчин під назвою антискалант. Дана речовина додається в оброблювану воду в досить невеликій кількості (приблизно 5 г на 1 м³ води). Ця речовина утворює на поверхні мембрани тоненьку плівку, яка має яскраво виражені антиадгезійні властивості. Після чого забруднення потрапляє на цю плівку, ковзає по ній і тим самим не може закріпитися на мембрані. Дана властивість дає можливість застосовувати мембрану з антискалантами досить довгий час без використання хімічної очистки. Антискалант не є отруйним, ця речовина представлена у вигляді суміші з високомолекулярних кислот органічного типу. У пермеат даний розчин не потрапляє. Він не в змозі пройти крізь мембрану зворотного осмосу [14].

Нами проведені дослідження можливості очищення мембран за допомогою розчинів оцтової та яблучної кислот. Звісно, біологічну плівку, якою обростає мембрана, ці речовини розчиняють повністю, але очистити пори і структури мембрани від усіх забруднювачів харчові кислоти не можуть. Тому варто шукати більш ефективні сполуки для регенерації мембран.

Хімічне очищення використаних мембран зворотного осмосу сумішшю триполіфосфату натрію – натрію додецилбензолсульфонової кислоти, додецилсульфатом натрію – гідроксидом натрію або соляною кислотою не може повністю відновити проникність мембрани, що свідчить про необхідність заміни мембрани. Кремнієвмісні забруднювачі найменше піддаються впливу всіх оцінених хімічних методів очищення (включаючи гідроксид натрію) і залишаються домінуючою причиною хімічно незворотних забруднень, що зменшують термін служби мембран. Отже, використання різноманітних засобів очистки та регенерації мембран дозволяє збільшити термін її служби на декілька місяців, але відновлює її властивості лише на 30 - 40 % від початкових. Звісно, це вже позитивний результат на фоні кількості використаних мембран, які викидаються у довкілля.

Література:

1. Кравченко, Марина Василівна. Зворотний осмос–як метод доочистки питної води на локальному рівні : Diss. ІТТА, 2022, 246 с.
2. Що таке зворотний осмос? URL: <https://ecosoft.ua/ua/blog/chto-takoe-obratnyy-osmos/> (дата звернення: 14.10.2023)
3. Орестов Є., Мітченко Т. Фізико-хімічні основи дії інгібіторів фоулінгу мембран зворотного осмосу та шляхи їхнього оптимального використання : Water and water purification technologies. scientific and technical news, 2013, 12.2, p. 3-17.
4. Стовбуров С. Розробка заходів з підвищення ефективності системи оберненого осмосу для очищення води. URL: <http://ea.donntu.edu.ua/handle/123456789/33964> (дата звернення: 18.10.2023)
5. Радовенчик В., Карпенко М. Використання розчинів органічних кислот для очищення мембранних блоків баромембранних установок// Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2021. № 2., с. 86-92.
6. Радовенчик В., Карпенко М. Видалення сполук заліза із механічних фільтрів побутових зворотньоосмотичних систем очищення води.
7. Благополучна А., Парахненко, В., Ляховська, Н. Застосування економічної оцінки мембранних технологій для очищення стічних вод : Економічні горизонти, №2, 2017, с. 33-41.
8. Xiaoyuan Zhang, Yu Liu, Reverse osmosis concentrate: An essential link for closing loop of municipal wastewater reclamation towards urban sustainability : Chemical Engineering Journal, Volume 421, Part 2, 2021, p. 127-133, ISSN 1385-8947,
9. David M. Warsinger, Sudip Chakraborty, Emily W. Tow, Megan H. Plumlee, Christopher Bellona, Savvina Loutatidou, Leila Karimi, Anne M. Mikelonis, Andrea Achilli, Abbas Ghassemi, Lokesh P. Padhye, Shane A. Snyder, Stefano Curcio, Chad D. Vecitis, Hassan A. Arafat, John H. Lienhard, A review of polymeric membranes and processes for potable water reuse, Progress in Polymer Science, Volume 81, 2018, P. 209-237.
10. Brick, M.T., Nihatullin, R.R., & Alpatova, A.L. Drinking water and membrane technologies (review). Scientific notes of NaUKMA. Special issue, 9, 2000 p. 409-411
11. Singh, V., Das, A., Das, C., Pugazhenth G.. Fouling and Cleaning Characteristics of Reverse Osmosis Membranes : Chem. Eng. Proc. Technol., 2015, Vol. 6, No. 4. URL: <https://dx.doi.org/10.4172/2157-7048.1000244> (дата звернення: 18.10.2023)
12. Зворотній осмос. URL: <http://waterton.com.ua/%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%BE%D1%81-%D0%B7%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%B9-%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%BE%D1%81.html> (дата звернення: 18.10.2023)
13. Ladewig, B. and Al-Shaeli, M. Fundamentals of Membrane Processes: Fundamentals of Membrane Bioreactors. Springer Transactions in Civil and Environmental Engineering. Springer, Singapore, 2017, 234 p.
14. Pena, N., Callego S., del Vigo, F., Chesters S. Evaluating impact of fouling on reverse osmosis membranes performance. Desal : Water Treat., Vol. 51, No. 4-6, 2012. pp. 958-968.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.292058>

УДК 628.543.3/9

ОЦІНКА ПЕРЕБІГУ КОРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У МІНЕРАЛІЗОВАНИХ ВОДНО-НАФТОВИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Микола КОСМИНА, Ярослава КУШНАРЕНКО, Юлія НОСАЧОВА

Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

проспект Берестейський, 37, м. Київ 03056, Україна

e-mail: kosmynaeco@gmail.com

В усьому світі приділяється величезне значення боротьбі з корозією матеріалів у всіх її проявах, захист металевого обладнання від корозії є однією з найактуальніших науково-технічних проблем світового масштабу. Внаслідок прискорення корозійних процесів відбуваються величезні втрати металу, незліченні економічні витрати внаслідок аварій на трубопроводах, промислових хіміко-технологічних установках тощо.

Переважає більшість виробничих об'єктів хімічних, нафтохімічних, нафтовидобувних та нафтопереробних підприємств є складними великомасштабними металомісткими комплексами. Це, зокрема, різне нафтопромислове обладнання, системи оборотного водопостачання та багато іншого.

Одним із суттєвих факторів, що впливають на цілісність та роботу нафтопромислового обладнання, є внутрішня корозія. Саме корозія становить велику небезпеку для резервуарів, трубопроводів та іншого обладнання в системі транспорту та зберігання нафти чи нафтопродуктів. Вуглеводні, що входять до складу нафти і моторних палив в чистому вигляді і при відсутності води хімічно та корозійно неактивні по відношенню до металів. Корозія металів в нафтомісних середовищах має свої специфічні особливості і в значній мірі визначається наявністю в них розчиненої і вільної води та інших домішок. Видобування, зберігання, транспортування та використання нафтопродуктів супроводжується постійним насиченням їх водою і конденсацією води на металевих поверхнях. Вміст води в нафтопродуктах може коливатися в широких межах від 0,001 до 0,01 %. Це залежить від умов експлуатації технічного обладнання і від кліматичних факторів. Головним джерелом накопичення води в нафтопродуктах є наявність високомінералізованих низькокислотних супутньо-пластових вод та атмосферна волога, яка при зміні температури нафтопродуктів і стінок резервуарів конденсується на металевих поверхнях [1].

У переважній більшості випадків корозія промислового обладнання протікає по електрохімічного механізму при контакті металу з водним мінералізованим середовищем, тому доцільно використовувати саме інгібіторний захист обладнання від процесів корозії. Відомо, що інгібітори корозії це речовини, введення яких у відносно невеликих кількостях в агресивне середовище викликає помітне сповільнення корозії металів. По суті це речовина, яка гальмує процес корозії за рахунок конкуруючої адсорбції з частинками активаторів і утворення на металевій поверхні захисних адсорбційних або фазових плівок, іноді з бар'єрними властивостями. Інгібітори корозії впливають на кінетику електродних процесів, які проходять під час корозії, а також характеризуються здатністю утворювати на металі

оксидні і гідрооксидні та інш. плівки і переводити його в пасивний стан.

Тривале використання вуглецевої сталі в корозійно агресивних середовищах вимагає застосування ефективного інгібітору корозії у галузі видобутку нафти та газу. При цьому до інгібіторів корозії висуваються певні вимоги. Інгібітор повинен забезпечити необхідну захисну дію при тестуванні в модельних системах як за умов високих тисків і температур, так і за звичайних умов - температури +40 °С і нормального атмосферного тиску, а також за умов високих швидкостей потоку та наявності в ньому абразивних частинок [2].

Метою роботи було вивчення закономірностей протікання корозійних процесів в різних водних та водно-нафтових середовищах для ефективного підбору механізму інгібування та типу інгібітору корозії.

В якості кородуючих матеріалів в дослідженні були використані зразки металів сталі Ст20, найбільш вживаної для виготовлення нафтопроводів та нафтовидобувного обладнання. Зміну рН проводили шляхом додавання розчину оцтової кислоти.

Ступінь корозії визначали масометричним методом. Для випробувань готувалися зразки у вигляді прямокутних пластин. Перед випробуванням зразки шліфували вручну, потім полірували механічно тонким абразивним матеріалом до повного видалення рисок, що залишаються від шліфування, маркували. Знежирення проводили етиловим спиртом, потім зважували на аналітичних вагах з точністю $\pm 0,0001$ г. Після завершення випробувань з металу очищали продукти корозії, пластини промивали, висушували і знову зважували.

Об'єм розчину для випробування – 150 см³.

Масовий показник корозії визначали за формулою:

$$K_m = \frac{(M_n - M_k)}{S \cdot \tau}, \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}) \quad (1)$$

де M_n – початкова маса зразка, г;

M_k – маса зразка після дослідження, г;

S – площа зразка, м²;

τ – тривалість досліджень, год.

Глибинний показник корозій визначали за формулою:

$$K_r = \frac{8,76 \cdot K_m}{\rho_{\text{ме}}}, \text{ мм/рік} \quad (2)$$

де показник 8,76 враховує кількість годин на рік поділену на 1000;

$\rho_{\text{ме}}$ – густина металу, г/см³ ($\rho_{\text{Fe}}=7,85$ г/см³).

Коефіцієнт зниження швидкості (j) розраховується за формулою:

$$j = \frac{W_x}{W_i}, \quad (3)$$

де W_i - швидкість корозії з інгібітором,

W_x - швидкість корозії в холостій пробі.

Ступінь захисту від корозії (Z) розраховували, виходячи із коефіцієнту зниження швидкості корозії, за формулою:

$$Z = \left(1 - \frac{1}{j}\right) \cdot 100\% ; \quad (4)$$

де j – коефіцієнт зниження швидкості корозії.

Таблиця 1. Залежність швидкості протікання корозійних процесів від складу корозійного середовища та температури дослідження

Склад корозійного середовища			Температура, °С	Масовий показник корозії, г/(м ² год)	Глибинний показник корозії, мм/рік
Склад водного середовища	Об'єм нафти, см ³	pH середовища			
В.в.*	-	7,7	20	0,0370	0,0414
В.в.	-	7,5**	20	0,0382	0,0428
В.в.	7,5	7,7	20	0,0126	0,01411
3% NaCl	-	7,1	20	0,0385	0,0431
3% NaCl	7,5	7,1	20	0,0242	0,0271
3% NaCl	7,5	7,0**	20	0,0352	0,0394
3% NaCl	7,5	6,0**	20	0,0458	0,0650
3% NaCl	7,5	5,5**	20	0,0568	0,0636
3% NaCl	7,5	5,5**	20	0,0637	0,0713
10% NaCl	-	6,9	20	0,0465	0,0521
10% NaCl	7,5	6,9	20	0,0592	0,0663
10% NaCl	7,5	6**	20	0,0694	0,0777
10% NaCl	7,5	5,5**	20	0,0789	0,0884
10% NaCl	7,5	5**	20	0,0825	0,0924

*В.в. – водопровідна вода;

** - pH довели розчином оцтової кислоти.

Як видно з результатів досліджень суттєво на швидкість корозії впливає мінеральний склад водного розчину. Наявність нафти дійсно знижує швидкість корозії за рахунок як блокування нафтовою плівкою доступу кисню в систему, а також за рахунок корозійної інертності хімічних компонентів нафти. Проте при ступені мінералізації водної компоненти корозійного середовища на рівні 100 г/дм³ наявність нафти ніяким чином не впливає на швидкість корозії.

Висновки: враховуючи результати досліджень по вивченню закономірностей протікання корозійних процесів в водно-нафтових середовищах різних ступенів мінералізації можна запропонувати як інгібіторний захист за адсорбційним механізмом, так і за механізмом, що дозволить виведення кисню із системи.

Література

1. Слободян З.В., Никифорчин Г.М., Петрущак О.І. Корозійна тривкість трубної сталі у нафто-водних середовищах // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2002. – № 3. – С. 93-96.
2. Chemical means of equipment protection during oil and gas fields operation / O. I. Ivanenko et al. Каталіз та нафтохімія. 2022. No. 33. P. 66–72.



ДОСЛІДЖЕННЯ СОРБЦІЇ ІОНІВ ФТОРУ НА ФЕРУМВМІСНИХ СОРБЕНТАХ

Євгеній КОСТЕНКО, Тетяна ОБУШЕНКО,
Наталія ТОЛСТОПАЛОВА, Ольга САНГІНОВА
Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»
пр. Берестейський, 37, Київ 03056, Україна,
e-mail: tio1963@gmail.com

Фтор – надзвичайно активний елемент, він утворює сполуки з більшістю елементів. Широке розповсюдження розчинних фторовмісних сполук у породах та ґрунтах обумовлює присутність фтору у природних водах, що використовуються для питного водопостачання.

Природні води в деяких регіонах України мають у своєму складі підвищену концентрацію фтору [1]. Особливо це стосується підземних вод, що пов'язано з геологічними, фізичними та хімічними факторами, а також із консистенцією ґрунту, пористістю порід, рН, температурою та іншими характеристиками. В Україні вміст фторидів у питній воді регламентується в межах 0,7-1,2 мг/дм³ і він не має перевищувати 1,5 мг/дм³ [2].

При вмісті у воді більше 1,5 мг/дм³ іонів фториду необхідно дефторувати воду, хоча це і досить складне завдання. Дотепер не розроблені прості і дешеві методи видалення з води надлишку іонів фториду.

Відомо різні методи очищення водних розчинів від іонів фтору: осадження, мембранні процеси, електрокоагуляція, адсорбція, іонний обмін [3]. Кожен із цих методів має свої переваги та недоліки.

Найбільш перспективними методами видалення з води домішок фтору можуть бути сорбційні процеси з використанням природних і синтетичних сорбентів: глинистих утворень; вугілля; активованого Al₂O₃; іонообмінних смол оброблених солями алюмінію. Сорбційні методи очищення води викликають особливий інтерес з точки зору ефективності, економічності та простоти експлуатації. На сьогоднішній день існує досить велика кількість досліджень із видалення іонів фтору з водних розчинів за допомогою даних методів [3].

Як сорбційні матеріали та їх модифікації для видалення фтору з води використовують активований оксид алюмінію, хітозанові кульки, вуглецевмісні речовини, оксиди та гідроксиди металів, композитні сорбенти та і т.д.

Вивчали для видалення фтору матеріали на основі феруму, так як такі сполуки мають кращу, ніж оксиди алюмінію та кальцію, спорідненість до фторид-іону. Більшість адсорбентів для видалення фториду були протестовані для стічних вод, у яких рН змінюється в значних межах та не регулюється [4].

Аналіз сучасних наукових публікацій з цієї тематики показує, що пошук нових ефективних сорбентів, отриманих за ресурсозберігаючими технологіями, – важлива науково-практична задача. Представлена робота направлена саме на пошук таких сорбентів. Відомо, що ферум

має високу спорідненість до фтору. Тому в роботі запропоновано використовувати в якості сорбенту осади станцій знезалізнення підземних вод. Ці шлами утворюються в значній кількості та створюють значні екологічні проблеми.

Мета роботи. Дослідження сорбції іонів фтору з модельних розчинів на ферумвмісному сорбенті А-06. Сорбент отримано шляхом агломерації шламу станцій знезалізнення.

У конічні колби вносили точну наважку сорбенту масою 0,1 г та 100 см³ розчину фториду натрію з концентрацією 0,005 моль/дм³. Колби закривали пробками та встановлювали в апарат для струшування. Після закінчення сорбції вміст колб відфільтровували в сухі колби крізь складчасті фільтри. Із отриманих фільтратів відбирали проби та визначали концентрації іонів фтору на іономері з фторселективним електродом. За результатами побудовано залежність, з якої визначено, що час досягнення сорбційної рівноваги не перевищує трьох годин (рис. 1).

Сорбент є активним і швидко досягає максимальної сорбційної ємності 17 мг F⁻/г.

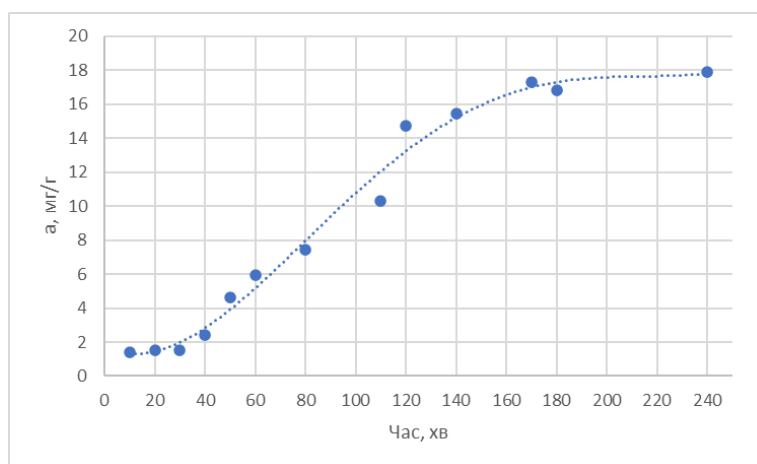


Рис. 1. Кинетична крива сорбції фторид-іонів

Для побудови ізотерми сорбції наважки сорбенту масою 0,1 г зважували та завантажували у конічні колби, додавали 100 см³ розчину з різним вмістом іонів фтору та ставили колби у шейкер ELPAN Water bath shaker 357 з частотою обертання 150 об/хв. Після сорбції впродовж трьох годин вміст колб фільтрували та визначали залишкову концентрацію фторид-іонів. Робочі концентрації розчинів NaF наступні: 0,1; 0,075; 0,05; 0,025; 0,01; 0,005; 0,001; 10⁻⁴ мг/дм³.

Ізотерму сорбції побудовано в координатах $a - C(F^-)$, де a – кількість поглинутої сорбентом речовини, мг/г; $C_{\text{зал}}$ – кількість речовини, що залишилась після сорбції. Ізотерма сорбції наведена на рис. 2.

Бачимо, що досліджений ферумвмісний сорбент має рівноважну сорбційну ємність 65 мг/г, що є досить значним порівняно з відомими запропонованими сорбентами [3].

Таким чином, досліджено сорбцію ферумвмісного сорбенту А-06, який є відходом станцій знезалізнення, по відношенню до фторид-іонів.

Побудована кинетична крива сорбції фторид-іонів на сорбенті. На початковому етапі процес сорбції був досить швидким, потім швидкість сорбції поступово знижувалася. За три години встановлюється рівновага.

Побудована ізотерма сорбції фторид-іонів на сорбенті. Ізотерма демонструє залежність між концентрацією фторид-іонів у розчині та їх сорбцією на сорбенті. Максимальна сорбційна здатність складає 65 мг F⁻/г.

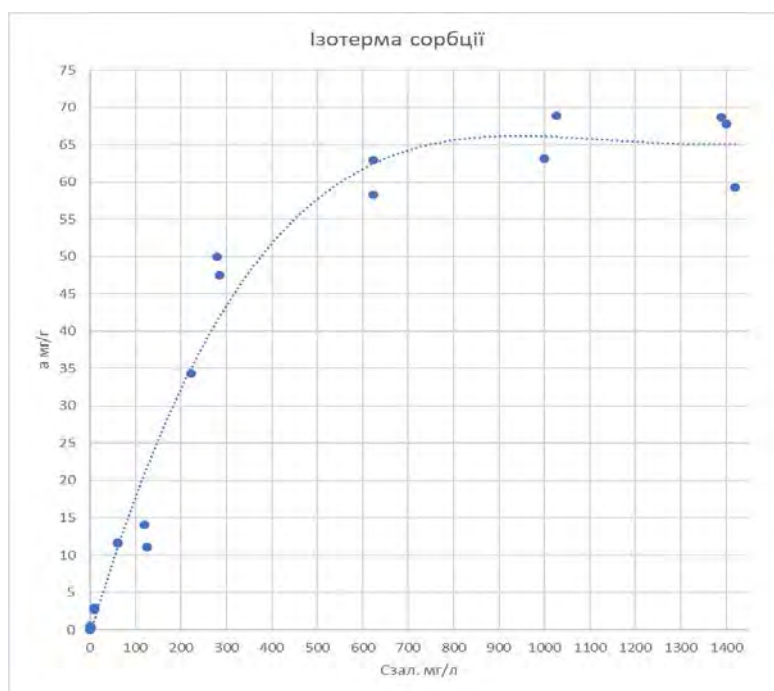


Рис. 2. Ізотерма сорбції іонів фтору

Результати дослідження дозволяють зробити висновок про високу ефективність ферумвмісного сорбенту у процесі сорбції фторид-іонів. Отримані ізотерма сорбції та кінетична крива надають цінну інформацію для оптимізації процесу сорбції та розробки ефективних методів знефторення води. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на оптимізацію умов сорбції, вивчення механізмів взаємодії фторид-іонів з сорбентом та оцінку ефективності видалення фтору з води під час використання сорбенту.

Література:

1. З.О. Знак, Г.Ф. Винявська, Дослідження процесу вилучення іонів Флюору із природної води клиноптилолітом Закарпатського родовища, *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка". Хімія, технологія речовин та їх застосування*, № 726, с. 15–19, 2012.
2. M. Habuda-Stanić, M. Ergović Ravančić, A. Flanagan, A review on adsorption of fluoride from aqueous solution, *Materials*, 7(9), pp. 6317-6366, 2014, <https://doi.org/10.3390/ma7096317>
3. В.С. Куриленко, Н.М. Толстопалова, О.В. Сангінова, Т.І. Обушенко, Огляд методів видалення фтору з водних розчинів. *Вісник НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського". Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження*, № 1 (22), с. 52–69, 2023, <https://doi.org/10.20535/2617-9741.1.2023.276447>
4. A. Eskandarpour, M.S. Onyango, A. Ochieng, S. Asai, Removal of fluoride ions from aqueous solution at low pH using schwertmannite. *J. Hazard. Mater.*, No. 152, pp. 571–579, 2008, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.07.020>.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.291111>

УДК 628.349+628.386

ЕНЕРГООЩАДНА ПЕРЕРОБКА ВІДПРАЦЬОВАНИХ ТРАВІЛЬНИХ РОЗЧИНІВ ФЕРИТИЗАЦІЄЮ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗМІННИХ МАГНІТНИХ ПОЛІВ

Геннадій КОЧЕТОВ¹, Дмитро САМЧЕНКО¹, Дмитро ДЕРЕЧА², Юрій СКІРТА^{2,3}

¹ Київський національний університет будівництва та архітектури

31, Повітрофлотський пр., м. Київ 03037, Україна,

² Інститут магнетизму НАН України

бульв. Акад. Вернадського 36-б, м. Київ 03142, Україна

³ Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського

пр. Берестейський, 37, м. Київ 03056, Україна

e-mail: gkochetov@gmail.com

Останнім часом більшість країн світу приділяють значну увагу скороченню викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище. Промислові підприємства, і особливо гальванічні виробництва є одним з найбільш небезпечних джерел забруднення в результаті утворення значних обсягів токсичних відходів, які містять сполуки важких металів, зокрема заліза. Обсяги розчинів після операцій травлення сталі складають 85 % від загального об'єму висококонцентрованих стічних вод на гальванічних виробництвах. Відпрацьований кислотний травильний розчин в залежності від складу і умов обробки сталевих деталей містить до 300 г/дм³ FeSO₄. В результаті із недостатньо очищеними гальванічними стічними водами в водні об'єкти щороку потрапляють тисячі тон токсичних феро-місних сполук. Крім того, травильні розчини відносяться 2 – 3 класу небезпеки, їх нейтралізація та захоронення потребує значних затрат.

В теперішній час існують два основних напрямки переробки відпрацьованих розчинів травлення сталевих поверхонь: регенерація цих розчинів та вилучення іонів заліза у вигляді твердофазних хімічно стійких сполук. Якщо на виробництві вказані вище методи переробки не передбачені, ці відходи направляють на спеціалізовані підприємства для їх подальшого знешкодження та утилізації. Серед численних методів переробки травильних розчинів найбільш поширеним є реагентний метод [1]. Іони заліза осаджують у вигляді малорозчинного гідроксидного осаду при додаванні лужного реагенту. Проте при зберіганні такого шламу на відкритих звалищах під впливом атмосферних опадів іони заліза з нестійких гідроксидів вилугуюються в ґрунт та водойми. Особливий інтерес викликають методи отримання з відходів хімічно стійких та малотоксичних речовин, таких як магнетит Fe₃O₄ та магеміт γ-Fe₂O₃, які можна успішно використовуватися в різних галузях виробництва [2, 3]. Крім того, ці оксидні сполуки мають кристалічну структуру та швидко седиментують в процесі переробки, а їх об'єм та вологість значно нижчі ніж у гідроксидів заліза. Одним із перспективних методів такої переробки є метод феритизації [4]. Недоліками феритизації є висока енерговитратність, оскільки вона здійснюється при температурах вище 75 °С. У роботі [5] показано, що альтернативною термічній феритизації є активація процесу змінними

магнітними полями (ЗМП) при кімнатних температурах. Дослідження проводились при високій амплітуді магнітної індукції (0,3 Тл), що призводить до значних розходів електричної енергії для активації реакційної суміші в процесі феритизації. Тому актуальним є проведення досліджень, які спрямовані на зниження значення амплітуди магнітної індукції із забезпеченням високої якості очищення розчинів від іонів заліза.

Метою роботи є удосконалення технології феритизаційної переробки сірчаноокислих травильних розчинів. Це дасть можливість підвищити її енергоефективність, встановити найкращі технологічні параметри проведення процесу феритизації та отримати осади, здатні до утилізації.

Об'єктом дослідженням був відпрацьований сірчаноокислотний розчин травлення сталевих деталей. Процес феритизації досліджувався при вихідній концентрації іонів заліза (II) – 16,6 г/дм³. Коригування рН провадили 25 %-им розчином гідроксиду натрію до величини рН 11,5. Тривалість феритизації становила 15 хв. Часткове окислення Fe²⁺ в Fe³⁺ здійснювалось аерацією реакційної суміші киснем повітря зі швидкістю 0,15 м³/год.

Досліджувався процес феритизаційної переробки відпрацьованих травильних розчинів, як з традиційною термічною активацією реакційної суміші при температурі 75 °С, так і з активацією реакційної суміші ЗМП при кімнатній температурі. Схема установки з робочим об'ємом реактора 1 дм³ зображена в роботі [6]. Для створення ЗМП було розроблено керований генератор прямокутних імпульсів на основі плати мікроконтролера ATmega328p. Вихідна напруга імпульсів на 8 цифрових виходах плати контролера становила 5 В, максимальний струм 20 мА. Зміна амплітуди магнітної індукції в робочій зоні установки проводилося блоком живлення UTP3305C через інтерфейс RS-232 в діапазонах значень 0,02...0,1 Тл. Сталими були інші параметри експерименту генерації ЗМП: частота імпульсів 1 Гц, період між імпульсами 100 мс, тривалість імпульсу 1000 мс.

В результаті проведених експериментів з вибору оптимальних значень амплітуди магнітної індукції в робочій зоні феритизаційної установки встановлено, що загальна залишкова концентрація іонів заліза знижується зі збільшенням значення амплітуди магнітної індукції (табл. 1). Це очевидно пов'язано з тим, що при підвищенні амплітуди магнітної індукції зменшується енергія активації феритизаційного процесу. При амплітуді магнітної індукції 0,1 Тл ступінь вилучення іонів заліза складає 99,99 %. Виявлені закономірності обробки відпрацьованих розчинів ЗМП, дозволяють стверджувати, що подальше підвищення амплітуди магнітної індукції суттєво не впливає на ступінь вилучення іонів заліза. Залишкові концентрації цих іонів мають близькі величини при обох способах активації реакційної суміші: 0,78 і 0,85 мг/дм³ при термічній та ЗМП, відповідно.

Таблиця 1. Ефективність вилучення іонів заліза з відпрацьованих травильних розчинів феритизацією з використанням ЗМП активації

Серія дослідів	Амплітуда магнітної індукції, Тл	Концентрація іонів феруму, мг/дм ³	
		До очистки	Після очистки
1	0,02	16600	1,38 ± 0,02
2	0,04		1,32 ± 0,03
3	0,06		1,27 ± 0,03
4	0,08		1,22 ± 0,03
5	0,1		0,85 ± 0,04

Результати проведених дослідів свідчать про те, що після проведення феритизації отримано розчини, що задовольняють вимогам води для скиду до систем централізованого водовідведення щодо гранично допустимих концентрацій іонів феруму – 3 мг/дм³.

Результати структурних досліджень осадів феритизації добре узгоджуються з даними дослідження залишкових концентрацій іонів заліза в розчині і дозволяють більш повно зрозуміти процеси, які відбуваються при перебігу феритизації. Аналіз даних цих досліджень свідчить про те (табл. 2), що в зразках осадів, які отримані при активації реакційної суміші ЗМП, міститься фаза магнетиту Fe₃O₄, яка має феромагнітні властивості. Слід зазначити, що крім магнетиту в осаді, який отримано при активації суміші з амплітудою магнітної індукції в межах від 0,02 до 0,06 Тл містяться проміжний твердо фазний продукт реакції феритизації – фероксигіт δ-FeOOH. Ця фаза є менш стабільною в порівнянні з Fe₃O₄, але також має магнітні властивості. Результати досліджень також демонструють, що підвищення амплітуди магнітної індукції до 0,1 Тл призводить до формування кристалічної структури осаду, який містить тільки одну фазу – магнетит Fe₃O₄.

Таблиця 2. Фазовий склад феритних осадів

Зразок осаду	Спосіб активації реакційної суміші в процесі феритизації	Амплітуда магнітної індукції, Тл	Вміст фази, %	
			Fe ₃ O ₄	δ - FeOOH
1	Термічний	-	100,0	-
2	ЗМП	0,1	100,0	-
3		0,06	89,9	10,1
4		0,02	81,0	19,0

Особливістю запропонованого методу переробки травильного розчину є активація процесу феритизації ЗМП. Це значно підвищує його енергоефективність, оскільки більш ніж на 40 % зменшується витрата електроенергії в порівнянні з термічною активацією процесу. Результати цієї роботи переконливо свідчать про те, що ЗМП активація не погіршує ступінь вилучення іонів заліза з реакційної суміші в порівнянні з традиційним термічним. Крім того, така енергоощадна активація призводить до утворення, головним чином, осаду магнетиту, який легко утилізується.

Література

1. N.A. Merentsov, S.A. Bokhan, and V.A. Balashov, System for centralised collection, recycling and removal of waste pickling and galvanic solutions and sludge, *Materials Science Forum*, Vol. 927 MSF. pp. 183 – 189, 2018, doi :10.4028/www.scientific.net/MSF.927.183
2. R.Moreno, S. Poyser, and R.F.L. Evans, The role of faceting and elongation on the magnetic anisotropy of magnetite Fe₃O₄ nanocrystals, *Scientific Reports*, Vol. 10, No. 1, pp. 2722 – 2735, 2020, doi: 10.1038/s41598-020-58976-7.
3. M. Maliki, S.O. Omorogbe, and A. Ighodaro, Incisive Review on Magnetic Iron Oxide Nanoparticles and Their Use in the Treatment of Bacterial Infections. *Minerals, Metals and Materials Series*, Vol. 10, No. 1, pp. 2083 – 2089, 2023, doi: 10.1007/978-3-031-22524-6 44.
4. S. Heuss-Aßbichler, M. John, and G. Kochetov, Recovery of copper as zero-valent phase and/or copper oxide nanoparticles from wastewater by ferritization, *Journal of Environmental Management*, Vol. 181, pp. 1 – 7, 2016, doi: 10.1016/j.jenvman.2016.05.053.

5. G. Kochetov, T. Prihna, and O. Kovalchuk, Development of ferritization processing of galvanic wastes with energy saving electromagnetic pulse activation of the process, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 6, No. 102, pp. 6 – 14, 2019, [doi:10.15587/1729-4061.2019.184179](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184179).

6. G. Kochetov, D. Samchenko, T. Arhatenko Determination of influence of pH on reaction mixture of ferritization process with electromagnetic pulse activation on the processing of galvanic sludge, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 4/10, No. 112, pp. 24 – 30, 2021, doi: 10.15587/1729-4061.2021.239102.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.290348>

УДК 628.165

ЗАСТОСУВАННЯ МАЛОВІДХОДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ КОНЦЕНТРАТИВ ЗВОРОТНЬООСМОТИЧНОГО ЗНЕСОЛЕННЯ ВОД

Яна КРИЖАНОВСЬКА, Микола ГОМЕЛЯ, Яна ПЛЯЦУК

Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського

пр. Берестейський, 37, Київ, 03056, Україна

e-mail: yanamart93@ukr.net

На сьогоднішній день, якісне і безпечне водопостачання, особливо в теперішній час, населення нашої держави є актуальним та болючим питанням. Проблема високої мінералізації природних вод нікуди не дівається, а навпаки, в результаті активних бойових дій на сході та півдні нашої країни, тільки погіршується та підвищується. Причиною також являються постійні скиди засолених стічних вод підприємств та шахт у природні водойми.

Всі існуючі та добре відомі методи очистки є досить недосконалими, адже після очищення води утворюється величезна кількість так званих відходів - концентратів та регенераційних розчинів, якщо мова йде про іонообмінні методи очищення.

Тому, на сьогоднішній день, доцільно вивчати та вирішувати проблему з новоутвореними елюатами після очищення води, що містять в своєму складі кислоти, луги, хлориди натрію. Одним із перспективних напрямків боротьби із накопиченням концентрованих розчинів солей, що є відходами при процесах підготовки та очищення води, є їх переробка із отриманням корисних продуктів. Слід відмітити, що реалізація підходу по переробці відходів попередньої очистки вод, передбачає застосування так званих маловідходних технологій на теренах сучасної України. Накопичені відходи не будуть складуватись і накопичуватись, створюючи при цьому низку реальних проблем в тих чи інших галузях, а й приносити користь та економічну вигідність.

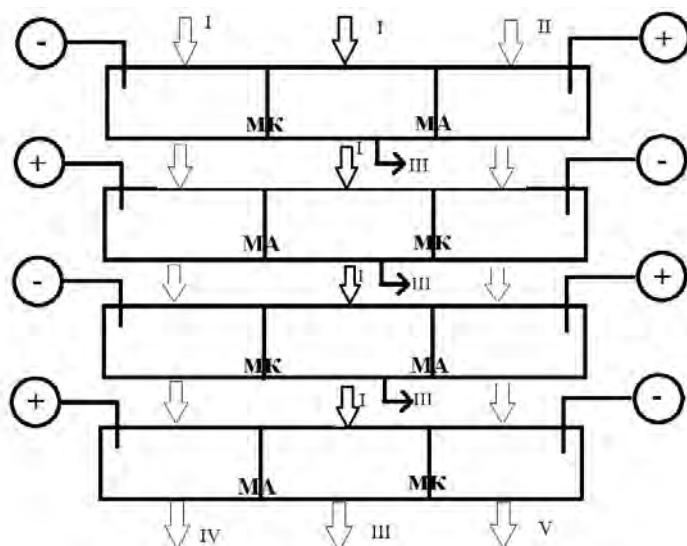
Найбільш вигідним та раціонально доцільним методом боротьби з накопиченням відходів є отримання з даних відходів корисних продуктів, в ідеалі, дешевших, за вже існуючі на ринку. Вважається, що перспективним для впровадження даного підходу є застосування процесів електродіалізу. Можна підкреслити те, що такі реагенти є досить дефіцитним продуктом, є досить дороговартісними - даний метод можна реалізувати для отримання кислоти і луку з розчинів сульфату натрію [1], луку [2], алюмінієвих [3] та залізних [4] коагулянтів.

До прикладу, для утилізації розчинів хлориду натрію доцільно застосовувати технології отримання гіпохлориту натрію, який є дефіцитним реагентом не лише в Україні.

Метою роботи є визначення умов електрохімічної переробки розчину хлориду натрію шляхом їх концентрування.

Слід зазначити, що під час експериментальних досліджень, застосовували трикамерні електролізери (рис.1), в яких використовували катіонообмінну мембрану МК-40 та

аніонообмінну мембрану МА-41. Об'єм кожної камери, а саме - анодної, катодної та робочої камери - 100 см³. Площа катоду дорівнювала 0,12 дм³.



МК - катіонна мембрана; МА – аніонна мембрана; I - Подача розчину NaCl ($C_{(NaCl)}=20$ г/дм³); II - подача розчину NaCl і NaOH ($C_{(NaOH)}\sim 500$ мг-екв/дм³); III - відведення знесоленої води; IV – відведення концентрованого розчину NaCl (аноліт); V - відведення концентрованого розчину NaCl (католіт)

Рис. 1 – Схема електролізера для концентрування розчину NaCl

Як катод використовували леговану сталь 12×18Н10Т, анод - титан, покритий оксидом рутенію. Для ведення процесу електролізу використовували джерело постійного струму. На початку процесу використовували розчин хлориду натрію, з концентрацією 21060 мг/дм³ (360 ммоль/дм³). В анодній камері, крім NaCl концентрацією 360 ммоль/дм³, було лужне середовище ($L=188$ мг-екв/дм³). Лужність в катодній камері сягала 2,5 мг-екв/дм³. Сила струму – 0,5 А. Анодна густина струму – 4,17 А/дм². Суть полягає в тому, що через рівні проміжки часу (60 хв) вимірювали лужність та концентрацію хлоридів в усіх камерах. Через 5 годин процес завершили, після зниження лужності в анодній області до 18 мг-екв/дм³.

Після проведення таких маніпуляцій, перемістили катод в анодну область, а анод - в катодну. Знесолену воду, котра утворилась в результаті попередньої серії експериментального дослідження в робочій камері, замінили на розчин NaCl і електроліз повторили. Даний процес повторювали до досягнення концентрації хлористого натрію в католіті значень, вищих 100 г/дм³. В свою чергу в аноліті концентрація хлориду натрію була іще вищою. Вихід речовини за струмом розраховували як в роботах [3].

Результати електролізу приведені на рис. 2. Як видно з рис. 2 за 5 годин проведення першого етапу концентрування концентрація хлоридів у робочій камері знизилась до 35,5 мг/дм³ (1 мг-екв/дм³), а в анодній зросла із 360 до 600 мг-екв/дм³. Лужність в анодній камері знизилась до 68 мг-екв/дм³. Лужність в катодній камері зросла до 370 мг-екв/дм³, а в робочій камері до 25 мг-екв/дм³. Таким чином, лужність в анодній камері знизилась на 420 мг-екв/дм³, а катодній та

робочій камері зростає на 310 мг-екв/дм³. З отриманих даних, можемо стверджувати, що гідроксид-аніони з робочої камери частково переходили в анодну камеру, тим самим, сповільнюючи процес зниження лужності в анодній камері. Але, слід зазначити, що при цьому сповільнювалась міграція хлоридів в анодну камеру. Їх концентрація в анодній камері зростає на 300 мг-екв/дм³, тоді як в робочій камері концентрація хлоридів знизилась на 359 мг-екв/дм³. Можливо, частина хлоридів окислилась, хоча зростання вмісту активного хлору в анодній камері не було відмічено. В свою чергу, катодній камері вміст хлоридів не змінювався.

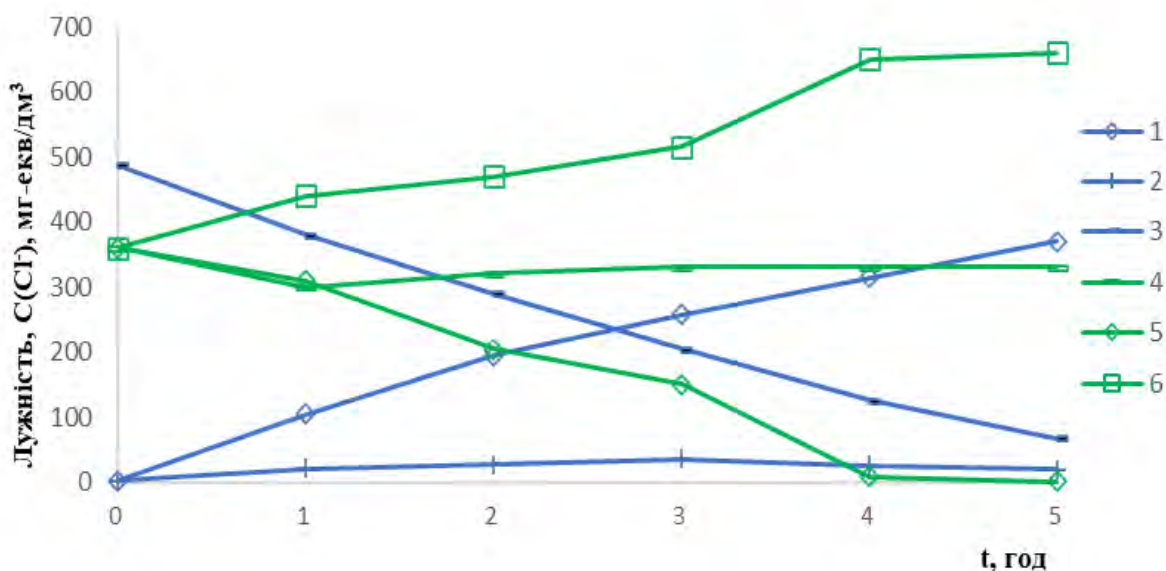


Рис. 2 – Залежність лужності (1, 2, 3) та концентрації хлоридів (4, 5, 6) в катодній (1, 4), робочій (2, 5) та анодній (3, 6) камерах від часу електролізу розчину хлориду натрію ($C_{NaCl}=20 \text{ г/дм}^3$) в трикамерному електролізері при густині струму $4,17 \text{ А/дм}^3$ ($I=0,5 \text{ А}$), концентрація $NaCl$ - 360 мг-екв/дм^3 в катодній, робочій та анодній камерах

Можемо спостерігати, що зростання концентрації хлоридів в катодній камері не буде збільшувати опір системи, а навпаки, буде сприяти електропровідності розчину. Опір буде зростати при підвищенні лужності розчину. Проте, суттєво опір системи зростає при підвищенні лужності більш як на 1000 мг-екв/дм^3 [6,7]. Але, більше на опір системи буде впливати концентрація хлоридів в анодній області при лужності $50\text{-}450 \text{ мг-екв/дм}^3$. Далі було проведено серію експерименту при концентрації хлоридів в катодній області на рівні 1200 мг-екв/дм^3 , а в анодній області на рівні $12780 \text{ мг-екв/дм}^3$ (рис. 3).

В результаті проведених експериментальних досліджень, можемо стверджувати, що зростання концентрації хлоридів (хлориду натрію) в катодній камері не буде збільшувати опір системи, а навпаки, буде сприяти електропровідності розчину. Опір буде зростати при підвищенні лужності розчину.

Також, проведені дослідження показали, що при створенні в анодній камері трикамерного електролізера на рівні $\sim 500 \text{ мг-екв/дм}^3$ хлориди можуть концентруватись в аноліті без помітного утворення активного хлору за рахунок окислення гідроксид-аніонів при зниженні лужності до $45\text{-}100 \text{ мг-екв/дм}^3$.

Таким чином можна побачити, що при концентруванні хлориду натрію в трикамерному електролізері за наявності лугу в католіті та при періодичній заміні місцями катоду та аноду

знесолоної води на розчин NaCl не призводить до суттєвого підвищення опору системи та енергозатрат до концентрування NaCl з 20 г/дм³ до 120-150 г/дм³.

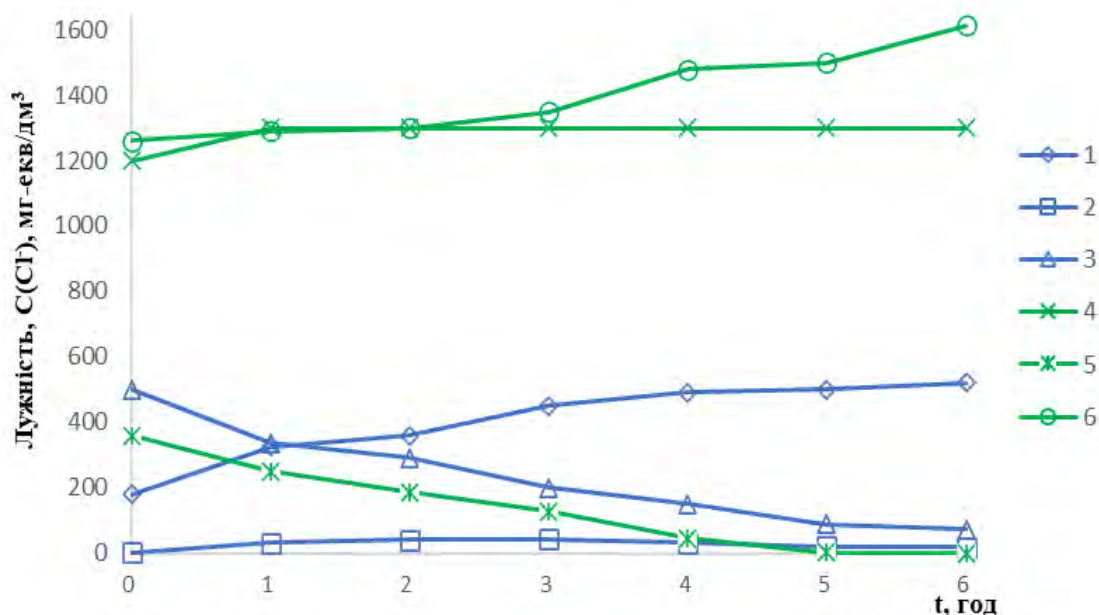


Рис. 3 - Залежність лужності (1, 2, 3) та концентрації хлоридів (4, 5, 6) в катодній (1, 4), робочій (2, 5) та анодній камері (3, 6) від часу електролізу розчину хлориду натрію в трикамерному електролізері при густині струму 4,17 А/дм³ (I=0,5 А), концентрація хлоридів в катодній камері 1200 мг-екв/дм³, в анодній – 1260 мг-екв/дм³, в робочій – 360 мг-екв/дм³

Література:

1. Голтвяницька О.В., Шаблій Т.О., Гомеля М.Д. Електродіалізне отримання сірчаної кислоти та луку з розчинів сульфату натрію // Восточно-європейський журнал передових технологій, 2011. №3/6(51). С.18-22.
2. Трус І.М., Радовенчик Я.В., Гомеля М.Д. Спосіб концентрування розчинів луку при електрохімічній переробці елюатів, що містять солі натрію / Східно-Європейський журнал передових технологій, 2013. №5/6 (65), С. 20-23.
3. Гомеля М.Д., Радовенчик Я.В., Мартинюк Я.П. Переробка розчинів хлористого натрію з отриманням хлоридів алюмінію // Інтегровані технології та енергозбереження. 2017. №4. с. 664.
4. Радовенчик Я.В., Крижановська Я.П., Вакуленко А.К. Отримання FeCl₃ при електрохімічному очищенні води // Сучасна наука: проблеми і перспективи. 2018. No 1. С. 23-25.
5. Грабітченко В. М., Трус І. М., Гомеля М. Д. Переробка концентратів зворотньоосмотичного опріснення води, що містять сульфати та нітрати // Збірник праць другої всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих учених «Молодь: наука та інновації». Дніпропетровськ. 2014. С. 9-57 – 9-58.
6. Шаблій Т. А. Переработка отработанных щелочных и нейтральных регенерационных растворов ионообменного умягчения воды методом электролиза / Т. А. Шаблій // Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2010. № 6. С. 63 – 66.
7. Трус І. М. Отримання сірчаної кислоти при електрохімічній переробці елюатів, що містять сульфати / І. М. Трус, В. М. Грабітченко, М. Д. Гомеля // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2013. № 4/6 (64). С. 10 – 13.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.290729>

UDC 544.77:544.526.5+667.28

PHOTOCATALYTIC ACTIVITY OF ANATASE DOPED WITH GOLD IN THE DESTRUCTION OF ORGANIC DYES

Olena LAVRYNENKO¹, Maksim ZAHORNYI¹, Erwan PAINEAU², Valeriia VEMBER³

¹*I. Frantsevich Institute for Problems of Materials Science, NAS of Ukraine,
3, Omeliana Pritsaka St., Kyiv 03142, Ukraine*

²*Laboratoire de Physique des Solides, CNRS, Universite Paris-Saclay
F-91405 Orsay, France*

³*Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute
37, Beresteyskiy avenue, Kyiv 03056, Ukraine*

e-mail: vvember@gmail.com

One of the urgent problems of environmental protection and water resources is the damage of liquid wastes from the production of paper, textile, pharmaceutical, food, dye, and plastic industries, which use organic dyes characterized by non-biodegradability and high toxicity [1]. Photocatalytic decomposition of dye molecules with the formation of simple chemical substances was found to be a recognized method of disposal of such waste [2]. Among the variety of photocatalysts, oxide semiconductors have become widespread. The advantages of titanium and zinc oxides are low cost, photo corrosion resistance in a dispersion medium, low toxicity, convenient physical and optical properties, and efficiency in the destruction of organic dyes [3]. At the same time, the use of TiO₂ in catalysis requires additional exposure to ultraviolet irradiation of the suspension due to the wide band gap of the semiconductor (~3.2 eV), which prevents the absorption of visible light and the rapid recombination of photogenerated holes (h⁺) and electrons (e⁻) on crystal lattice defects, and leads to relatively low quantum efficiency [4]. Among the strategies proposed to increase the photocatalytic activity of titanium dioxide, the modification of titanium oxide nanoparticles with noble metals [5] or rare earth elements [6] has become widespread.

Noble metals such as Pd, Pt, Au, or Ag localized on the surface of TiO₂ particles or introduced into the TiO₂ matrix as nanoparticles or nanoclusters exhibit a high Schottky barrier value and thus act as electron traps. Thus, it enhances the photogenerated separation of electron-hole pairs and electron transfer in interphase processes [7]. The application of gold to modify titanium dioxide particles and the formation of metal clusters on the surface of titanium dioxide particles are able to cause the effect of Surface Plasmon Resonance (SPR) [8]. The positive experience of using particles of composites based on gold-modified titanium dioxide in the destruction of organic dyes is highlighted in a number of publications, for example [9]. In general, the doping of titanium dioxide particles with noble metals and Rare Earth Elements (REE) leads to the extension of the photocatalytic activity of TiO₂ to the visible light spectrum, which was shown by us during the destruction of Malachite Green by particles of binary and ternary nanocomposites based on the anatase doped with noble metals and nanocerium [10].

The aim of the work is to study the photocatalytic activity of gold-doped anatase particles during the destruction of anionic and cationic dyes in a neutral medium under the influence of UV irradiation.

Objects and Methods of the Research

The synthesis of anatase particles modified with gold was carried out by a chemical method in a weakly alkaline medium using titanium tetraisopropoxide (TTIP) and a solution of gold hydrochloric acid. The gold content was adjusted to obtain particles with 0.2 and 0.8 wt.% of gold. Hydroxide precipitates were washed with a water-ethanol solution, lyophilized, and calcined at 600 °C for 2 hours. The particles were characterized by the method of X-ray diffraction phase analysis (XRD), on the DRON-3.0 device with copper anode (CuK α) radiation. The scanning step was 0.05-0.1 $^{\circ}$, the exposure was 4 s, and the range of 2 Θ angles was from 15 to 90 $^{\circ}$. The morphology and elemental composition of the samples were studied by Scanning Electron Microscopy (SEM) on a Tescan Mira 3 LMU scanning electron microscope equipped with an Energy-Dispersive Module for microanalysis.

The photocatalytic activity of the particles was studied through the photodegradation of Methylene Blue (MB), Rhodamine B (RB), Methyl Orange (MO), and Orange G (OG) with a concentration of 20 mg/dm 3 . To this end, a nanocomposite powder (100 mg) was transferred to a dye solution (80 ml) and stirred in the dark until the system reached sorption-desorption equilibrium. To study the photocatalytic activity under the influence of UV irradiation, a portable Xe 15A lamp with a power of 300 W was used. Sampling was carried out after 20, 40, and 60 min of UV irradiation in the suspension mixing mode. The optical density of the solutions was measured on a UV-Vis-NIR Spectrometer (Cary 5000, Agilent) in the range of wavelength from 200 to 800 nm.

The degree of discoloration of the solutions or the efficiency of the dye's destruction (D, %) was estimated according to the standard equation:

$$D, \% = (1-C/C_0)*100,$$

Where C is the residual concentration of the dye, and C $_0$ is the initial concentration of the dye. The concentration of the dyes was found by calibration curves.

Results and Discussion

1. The characteristics of the nanocomposite sample

According to X-ray phase analysis, TiO $_2$ &Au nanocomposites, which were subjected to processing at a temperature of 600 °C, crystallize in an anatase structure (JCPDS file No. 21-1272). The diffractogram (Fig. 1a) shows the broadening of anatase reflexes and the absence of peaks of low intensity, which indicates the nanometer size of the particles. The results of the calculation of the parameters of the anatase crystal lattice are presented in Table 1. The parameter *a* of a tetragonal lattice of both composites is almost the same, and the *c* parameter is smaller for the TiO $_2$ &Au composite (0.2 wt.%). The degree of tetragonality (*c/a* ratio), which characterizes the deformation of the crystal lattice, for the TiO $_2$ &Au sample (0.8 wt.%) does not differ from this parameter for the standard anatase sample (JCPDS file No. 21-1272), or slightly exceeds it in sample TiO $_2$ &Au (0.2 wt.%). At the same time, for both samples, there is a shift of the (101) reflex towards larger angles compared to the standard sample, for which $d_{(101)} = 0.35129$ nm. The coherent scattering region (CSR), or the size of primary particles of polycrystalline composite powders, is 8.6-9.2 nm. The absence of gold reflexes is explained by the sensitivity threshold of the X-ray diffraction method, which does not allow identifying phases with a content of < 5% in the composition of powders. By analogy with the TiO $_2$ &Ag system, gold can either be distributed in the crystal structure of anatase (titanium dioxide matrix) in the form of metal atoms or nanoparticles [11] but they can be localized on the surface of anatase in the form of clusters, preventing the growth of titanium dioxide particles.

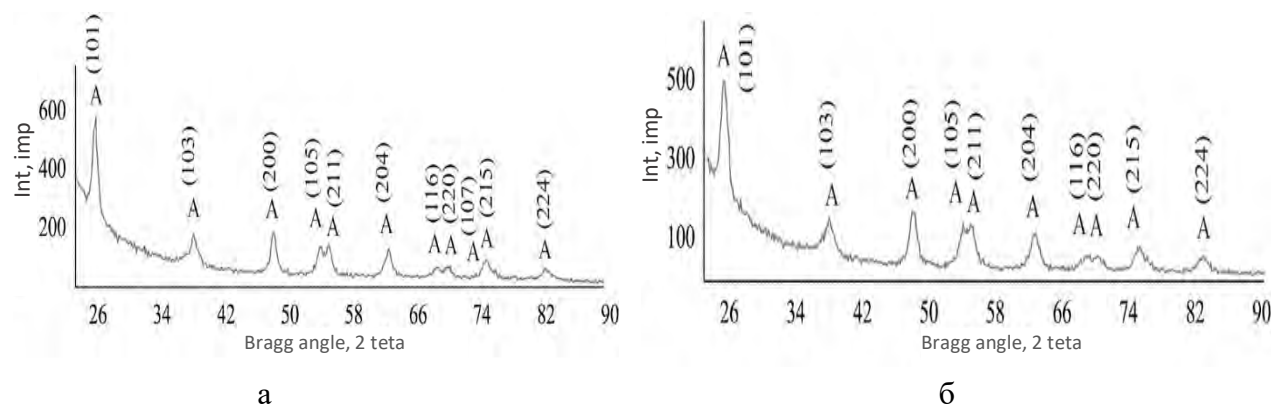


Fig. 1. XRD patterns of gold-doped anatase powders:
a – $TiO_2&Au$ (0.2 wt.%); *b* – $TiO_2&Au$ (0.8 wt.%).

Table 1. Crystal lattice parameters and primary particle size (CSR) of gold-doped anatase

The sample	Crystal lattice parameters of anatase					
	<i>a</i> , nm	<i>c</i> , nm	<i>c/a</i>	<i>V</i> , nm ³	CSR, nm	<i>d</i> ₍₁₀₁₎ , nm
TiO ₂ &Au (0.2 wt.%)	0.3757	0.9460	2.52	0.133	9.6	0.34919
TiO ₂ &Au (0.8 wt.%)	0.3758	0.9428	2.51	0.133	8.2	0.34906

Fig. 2a shows the SEM image of nanocomposite TiO₂&Au (0.8 wt.%). Anatase phase was obtained after thermal treatment at T = 600 °C, forms loose aggregates of nanoparticles, which in an aqueous-dispersion medium easily transition into a highly dispersed state and acquire colloidal stability upon contact with molecules of organic dyes, which requires the use of a centrifugal field for their deposition. A typical EDS spectrum of the TiO₂&Au sample (0.8 wt.%) is presented in Fig. 2b. The nanocomposite contains titanium, oxygen, carbon (the main element), sulfur, and gold. In addition, to fix the highly dispersed anatase powder on the base and obtain high-quality SEM images, the surface of the sample was coated by gold-palladium alloys, which explains the presence of corresponding reflections of noble metals in the energy dispersive spectrum.

2. Study of the photocatalytic activity of TiO₂&Au nanocomposites in the dyes discoloration

The analysis of the dye concentration in the solutions carried out after the suspensions reached sorption-desorption equilibrium (40 min in the dark) shows that anatase particles doped with gold show little sorption activity in MB and MO solutions. The maximum degree of discoloration of the MB solution (28.5%) was recorded in the presence of TiO₂&Au particles (0.2 wt.%). At the same time, the sorption activity of gold-doped anatase powders for the extraction of MO and OG is absent, with the exception of the TiO₂&Au sample (0.8 wt.%) in the MO solution. Under the visible light action, a slight desorption of dye molecules is observed in all systems. At the same time, no change in the color of the suspension was observed in any experiment, which indicated the decomposition of the dye.

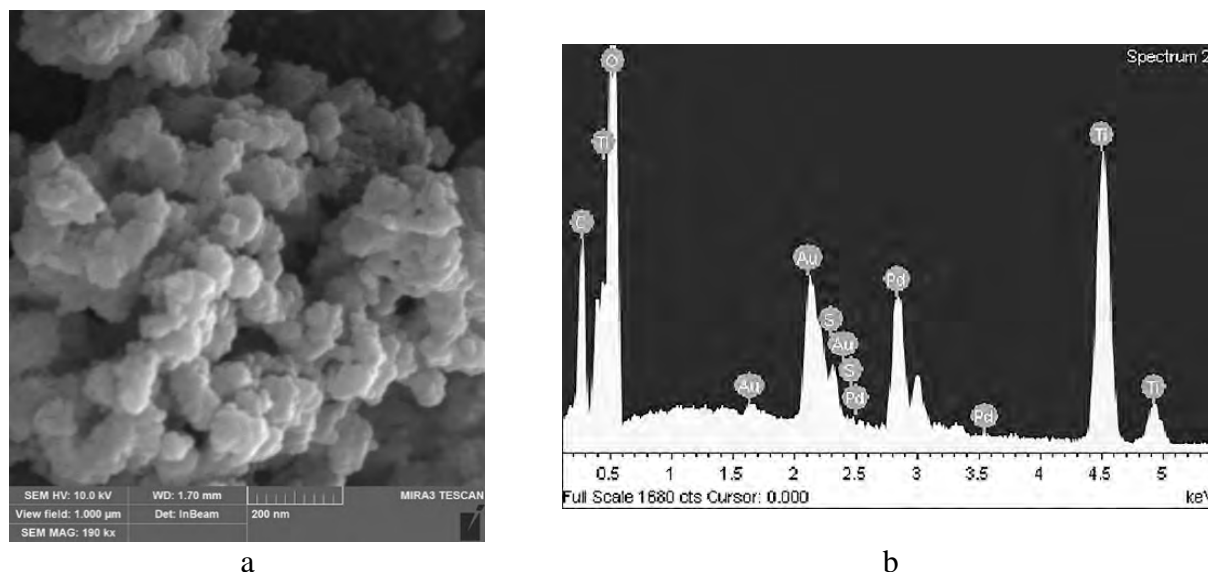
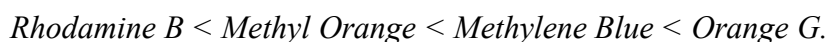


Fig. 2. The electron microscopic study of the TiO₂&Au nanocomposite (0.8 wt.%):
a – SEM image, b – EDS spectrum.

The degree of discoloration of dye solutions under the UV irradiation of the suspension for 60 min (Table 2) indicates that for all dyes, and the TiO₂&Au sample (0.8 wt.%) shows the highest activity, forming the activity series:



At the same time, for the TiO₂&Au sample (0.2 wt.%), the series of dye discoloration efficiency is slightly different:



The likely reason for this difference may be due to the gold content in the anatase structure and the electrokinetic properties of the composite particles, in particular, ZPC (zero point of charge).

Table 2. Degree of discoloration of organic dye solutions after 60 minutes of UV irradiation of gold-doped anatase suspension

The sample	Discoloration degree, %			
	Methylene Blue	Rhodamine B	Methyl Orange	Orange G
TiO ₂ &Au (0.2 wt.%)	77.2	31.5	75.8	58.3
TiO ₂ &Au (0.8 wt.%)	91.0	50.0	81.5	95.2

Fig. 3 shows the kinetic regularities of discoloration of anionic (Fig. 3a) and cationic (Fig. 3b) dyes under the UV irradiation. The correlation coefficient indicated the pseudo-first order of the reaction neutralization of Orange G by both systems of TiO₂&Au ($R^2 = 1$); the destruction of Rhodamine B by TiO₂&Au particles (0.2 wt.%) and Methylene Blue by TiO₂&Au particles (0.8 wt.%), where $R^2 = 0.99$. In other cases, the coefficient of correlation is significantly lower.

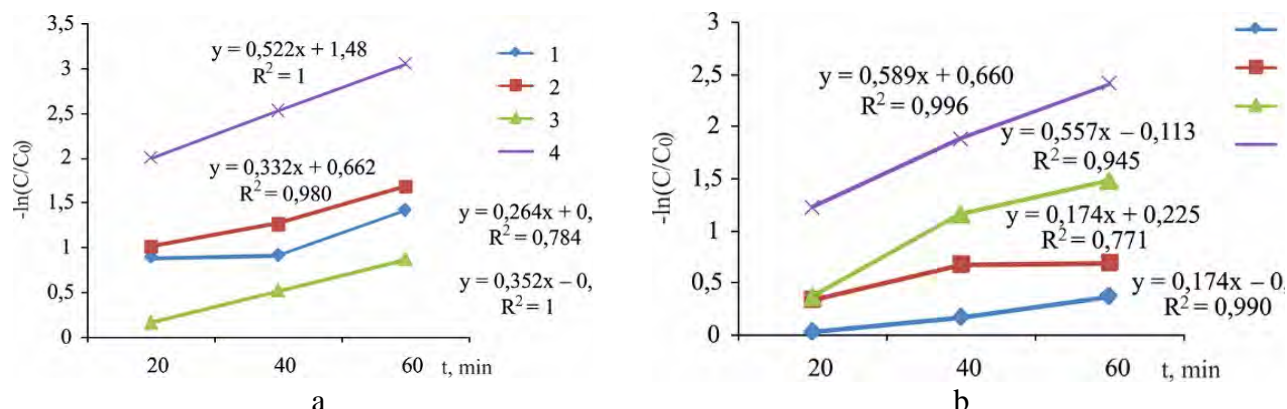


Fig. 3. Kinetic regularities of the dye's discoloration under UV irradiation of the suspension:
a – anionic dyes, where numbers indicate: 1 – $TiO_2\&Au$ (0.2 wt.%), MO; 2 – $TiO_2\&Au$ (0.8 wt.%), MO; 3 – $TiO_2\&Au$ (0.2 wt.%), OG; 4 – $TiO_2\&Au$ (0.8 wt.%), OG;
b – cationic dyes, where numbers indicate: 1 – $TiO_2\&Au$ (0.2 wt.%), RB; 2 – $TiO_2\&Au$ (0.8 wt.%), RB; 3 – $TiO_2\&Au$ (0.2 wt.%), MB; 4 – $TiO_2\&Au$ (0.8 wt.%), MB.

Conclusion

Nanosized particles of anatase with a gold content of 0.2 and 0.8 wt.% were synthesized using the sol-gel method. Particles of binary composites are characterized by the size of CSR 8.6 ± 9.2 nm and form loose aggregates that spontaneously disperse in solutions of dyes with the formation of colloid-resistant sols. Particles of nanocomposites show low sorption activity in cationic dyes and the absence of sorption for anionic dyes. Such composite particles $TiO_2\&Au$ have the heterojunction between TiO_2 and Au and efficient separation of photo-generated carriers for the initiation photo-catalytic processes of organic anionic and cationic dyes neutralization and reduce the degree of discoloration of solutions (20 mg/dm^3) of Rhodamine B to 31-50%, Methyl Orange to 75-81%, Methylene Blue to 77-91% and Orange G up to 58-92% depending on the gold content in the composite.

References

1. Zangeneh H., Zinatizadeh A.A.L., Habibi M. Photocatalytic oxidation of organic dyes and pollutants in wastewater using different modified titanium dioxides: A comparative review. *J Ind Eng Chem*, 2015, 26:1–36. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2014.10.043>
2. Kavithayeni, V.; Geetha, K.; Akash Prabhu, S. A review on dye reduction mechanism using nano adsorbents in waste water. *Intern. J. Recent Techn. Engin.*, 2019, 7, 332-339.
3. Joshi N.Ch, Gururani P., Gairola Sh.P. Metal Oxide Nanoparticles and their Nanocomposite-based Materials as Photocatalysts in the Degradation of Dyes. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 2022, 12(5):6557 – 6579. <https://doi.org/10.33263/BRIAC125.65576579>
4. Upadhyaya, A. and Rincon, G. Visible-Light-Active Noble-Metal Photocatalysts for Water Disinfection: A Review. *Journal of Water Resource and Protection*, 2019, 11:1207-1232. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2019.1110070>
5. Sescu, A.M.; Favier, L.; Lutic, D.; Soto-Donoso, N.; Ciobanu, G.; Harja, M. TiO_2 Doped with Noble Metals as an Efficient Solution for the Photodegradation of Hazardous Organic Water Pollutants at Ambient Conditions. *Water*. 2021, 13:19. <https://dx.doi.org/10.3390/w13010019>
6. Jaramillo-Fierro, X.; León, R. Effect of Doping TiO_2 NPs with Lanthanides (La, Ce and Eu) on the Adsorption and Photodegradation of Cyanide—A Comparative Study. *Nanomaterials*. 2023, 13: 1068. <https://doi.org/10.3390/nano13061068>

7. Subramanian V., Wolf E., Kamat P.V. Semiconductor-metal composite nanostructures. To what extent do metal nanoparticles improve the photocatalytic activity of TiO₂ films? *J. Phys. Chem. B.*, 2001, 105:11439-11446.

8. Torrell M., Adochite R.C., Cunha L., Barradas N.P., Alves E., Beaufort M. F., Riviere J.P., Cavaleiro A., Dosta S., Vaz F. Surface Plasmon Resonance Effect on the Optical Properties of TiO₂ Doped by Noble Metals Nanoparticles. *Journal of Nano Research*, 2012, 18-19:177-185. doi:10.4028/www.scientific.net/JNanoR.18-19.177.

9. Jinga, L.I.; Popescu-Pelin, G.; Socol, G.; Mocanu, S.; Tudose, M.; Culita, D.C.; Kuncser, A.; Ionita, P. Chemical Degradation of Methylene Blue Dye Using TiO₂/Au Nanoparticles. *Nanomaterials*, 2021, 11:1605. <https://doi.org/10.3390/nano11061605>

10. Lavrynenko O. M., Zahornyi M. M., Paineau E., Pavlenko O. Yu. Synthesis of active binary and ternary TiO₂-based nanocomposites for efficient dye photodegradation. *Applied Nanoscience*. 2023. <https://doi.org/10.1007/s13204-023-02909-z>

11. Evcin A., Arlı E., Baz Z., Esen R., Sever E.G. Characterization of Ag-TiO₂ Powders Prepared by Sol-Gel Process. *ACTA PHYSICA POLONICA A*. 2017. 132(3):608-611. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.132.608>



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.290794>

УДК 544.7+549.057:549.5+542.973

ВПЛИВ ВИХІДНИХ СПОЛУК НА ФОРМУВАННЯ НАНОРОЗМІРНИХ ЧАСТИНОК ОРТОФЕРИТІВ ІТРИЮ І ЛАНТАНУ

Олена ЛАВРИНЕНКО, Олеся ПАВЛЕНКО, Олена ОЛІФАН

Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України

вул. Омеляна Прицака, 3, м. Київ 03142, Україна

e-mail: alena.lavrynenko@gmail.com

Нанорозмірні порошки ортоферитів рідкісноземельних металів характеризуються підвищеними електричними, магнітними та оптичними властивостями [1]. Вони належать до напівпровідників із вузькою заборонною зоною і проявляють фото-каталітичну активність під впливом видимого світла [2]. Завдяки сукупності керованих фізико-хімічних властивостей ортоферити ітрію та лантану використовуються у виробництві оптичного скла, люмінофорів, фотокатодів та інших електродних матеріалів, каталізаторів, світло-випромінюючих і лазерних матеріалів, у водневій енергетиці та в технологіях твердого палива [3-5]. Серед численних фізичних і хімічних методів синтезу нанорозмірних перовськітів набули переваги низькотемпературні, зокрема, гідротермальний синтез, метод реверсивних міцел (мікроемульсій), золь-гель синтез, метод сумісного осадження гідроксидів, термічний розклад гетероядерних ціанокомплексів металів (метод CN), ультразвуковий та мікрохвильовий синтез та інші [6-8].

Водночас, слід зазначити, що впровадження хімічного синтезу для отримання ортоферитів ускладнюється формуванням супутніх фаз оксидів та гідроксидів феруму або РЗЕ [9]. Для вирішення цієї проблеми синтез проводять через утворення проміжних цитратних комплексів (метод Печіні) [10], введення в систему сечовини або використання комплексних солей, які відіграють роль сполук-прекурсорів, наприклад $\text{Ln}[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ($\text{Ln} = \text{La}, \text{Gd}, \text{Lu}$) [11]. Іншими важливими чинниками, які впливають на структур та властивості нанорозмірних порошків перовськітів, синтезованих хімічним шляхом, є склад вихідних розчинів, значення рН середовища, окисно-відновні умови, наявність і склад допоміжних речовин, умови ліофілізації та режими прожарювання осадів.

Метою дослідження є визначення впливу хімічного складу вихідних сполук і допоміжних речовин на формування ортоферитів ітрію і лантану методом сумісного осадження гідроксидів з їх подальшою термообробкою.

Об'єкти та методи дослідження. Синтез частинок ортоферитів проводили хімічним методом із використанням розчинів $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ і $\text{Y}_2(\text{CO}_3)_3$ або $\text{La}_2(\text{SO}_4)_3$ та допоміжних речовин: KOH , NH_4OH , сечовини та цитратної кислоти. Осади промивали водно-етанольним розчином, ліофілізували за $T = 105^\circ\text{C}$ та прожарювали впродовж 5 год за $T = 800^\circ\text{C}$.

Дослідження зразків проводили методами рентгенофазового аналізу (РФА), сканувальної електронної мікроскопії (СЕМ) та енерго-дисперсійної спектроскопії (ЕДС). Визначення фазового складу порошків проводили методом РФА на дифрактометрі ДРОН 3М, оснащеному мідним анодом. Крок сканування становив 0,05-0,1 градусів, експозиція – 4 с, діапазон кутів

2θ – 25-70°. Зразки відбирали при стандартній температурі. Для визначення фазового складу використовували базу даних Міжнародного комітету стандартів на порошки (JSPDS International Centre for Diffraction Data 1999). Розмір частинок (область когерентного розсіювання, ОКР) розраховували за стандартною формулою Дебая-Шеррера. Дослідження морфології та елементного складу зразків проводили за допомогою скануючого електронного мікроскопу Mira 3 Tescan (Чехія) з ЕДС модулем (Oxford INCA x-act).

Експериментальна частина. Результати РФА представлені на Рис. 1. Згідно отриманих даних, введення в систему $K_4[Fe(CN)_6] - La_2(SO_4)_3$ розчину сечовини призводить до формування двохфазних нанопорошків La_2O_3 (PDF No. 02-0688) і $LaFeO_3$ (PDF No. 25-0148) (Рис. 1а). Розрахований розмір частинок $LaFeO_3$ становить 9,2 нм, а середній розмір частинок La_2O_3 складає 16,3 нм. Введення у систему $K_4[Fe(CN)_6] - La_2(SO_4)_3$ розчину сечовини призводить до формування гомогенного порошку ортофериту лантану (Рис. 1б), але розмір частинок збільшується до 22,5 нм. Водночас, аналіз порошків, утворених в системі $K_4[Fe(CN)_6] - Y_2(CO_3)_3$ в присутності сечовини, вказує на те, що частинки ортофериту ітрію (PDF No. 39-1489) гомогенні і мають розмір 18,7 нм (Рис. 1в). На Рис. 2 наведені електронні зображення структур, отриманих в системах, які досліджуються, та показано типовий ЕДС спектр порошку. На електронних зображеннях видно, що частинки ортоферитів характеризуються сферичною формою та нанометровими розмірами (Рис. 2а, б). Оксид лантану має більші розміри та кристалізується у формі платівок (Рис. 2а). На ЕДС спектрі (Рис. 2в) крім основних елементів – лантану, феруму та кисню, наявні супутні елементи, які входять до складу допоміжних сполук – сірка та калій. Наявність рефлексів Au і Pd пояснюється методикою підготовки зразків для отримання якісних СЕМ зображень, яка полягає у фіксації порошків на основі шляхом запылення сплавом благородних металів.

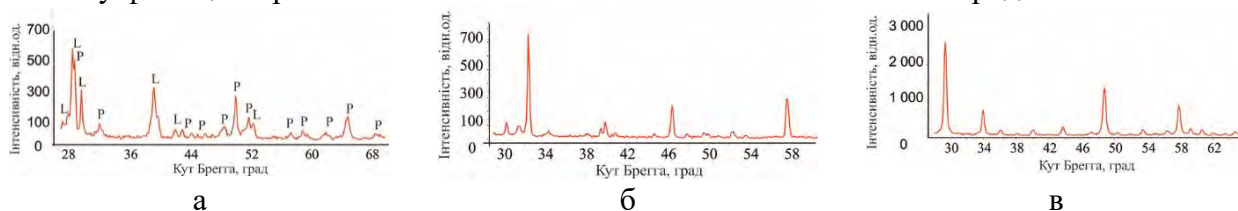


Рис. 1. Дифрактограми порошків, утворених в системах: а – $K_4[Fe(CN)_6] - La_2(SO_4)_3$ (сечовина); б – $K_4[Fe(CN)_6] - La_2(SO_4)_3$; в – $K_4[Fe(CN)_6] - Y_2(CO_3)_3$.

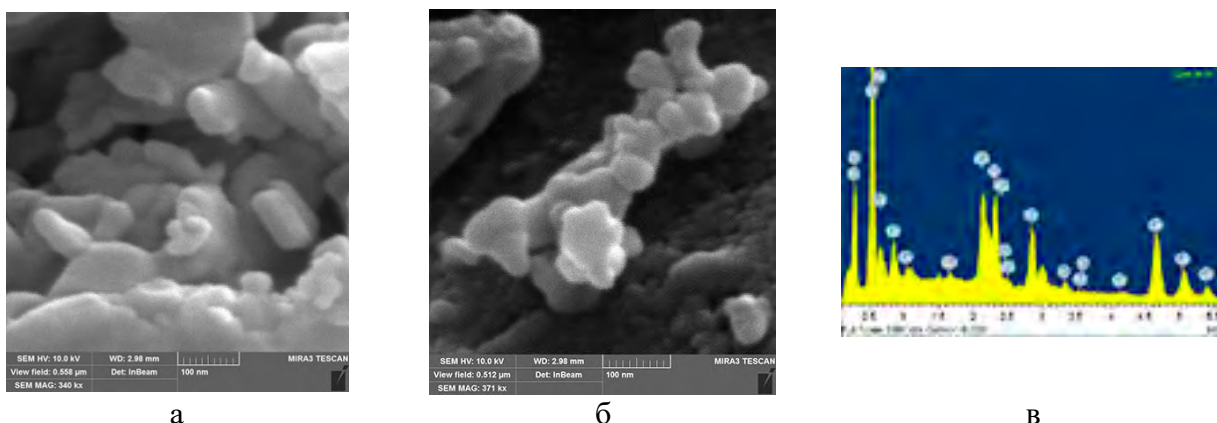


Рис. 2. Результати дослідження порошків методом СЕМ: а – частинки $LaFeO_3$ та La_2O_3 ; б – $LaFeO_3$; в – ЕДС спектр ортофериту і оксиду лантану.

Висновок. Отримані результати свідчать про те, що на структуру, морфологію і дисперсність порошків ортоферитів впливає не тільки хімічний склад вихідних металовмісних сполук, а також вибір допоміжних речовин, які дають змогу регулювати швидкість гідролізу, процес зародкоутворення та осадження гідроксидів. Використання гексаціаноферату калію та сечовини при синтезі ортоферитів ітрію та лантану дає змогу отримати однофазні порошки перовськітів з розмірами частинок 22,5 та 18,7 нм, відповідно.

Література:

1. Ahmed M. A., Azab A. A., El-Khawas E. H. Structural, magnetic and electrical properties of Bi doped LaFeO₃ nano-crystals, synthesized by auto-combustion method // *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* 2015. **26**: 8765-8773. doi: [10.1007/s10854-015-3556-4](https://doi.org/10.1007/s10854-015-3556-4)
2. Wierzbicki T.A., Lee I.C., Gupta A.K. Recent advances in catalytic oxidation and reformation of jet fuels. *Appl Energ.* 2016. **165**:904–918
3. Kucharczyk B., Winiarski J., Szczygieł I., Adamska K. Physicochemical Properties of LaFeO₃ Perovskite Prepared by Various Methods and Its Activity in the Oxidation of Hydrocarbons // *Ind. Eng. Chem. Res.* 2020. **59**: 16603–16613
4. Mahato N., Banerjee A., Gupta A., Omar S., Balani K. () Progress in material selection for solid oxide fuel cell technology: a review. *Prog Mat Sci.* 2015. **72**:141–337
5. Tong F., Zhao Y., Wang M.-H. Cube-like LaFeO₃ microstructures synthesized by a hydrothermal method and their optical properties *Micro Nano Letters.* 2018. **9**(17):41.
6. Gymez-Cuaspu J. A., Vera-Lypez, Barrachina E., Carda-Castelly J. B. One-step hydrothermal synthesis of LaFeO₃ perovskite for methane steam reforming. *Reac Kinet Mech Cat.* DOI [10.1007/s11144-016-1092-8](https://doi.org/10.1007/s11144-016-1092-8)
7. Abazari R., Sanati S., Perovskite LaFeO₃ nanoparticles synthesized by the reverse microemulsion nanoreactors in the presence of aerosol-OT: morphology, crystal structure, and their optical properties, Superlattices and Microstructures. 2013, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.spmi.2013.09.017>
8. Sivakumar M., Gedanken A., Zhong W., et al. Sonochemical synthesis of nanocrystalline LaFeO₃. *J. Mater. Chem.* 2004. **14**:764–769
9. Лавриненко О. М., Павленко О. Ю., Оліфан О. І. Характеристика нанорозмірних композитів на основі ортоферитів рідкоземельних елементів і гематиту // *Вісник НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»*. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2022. No 4. – P. 73–87. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.4.2022.269813>
10. Lin Q., Yang X., Lin J., Guo Z, He Y. The Structure and Magnetic properties of Magnesium-substituted LaFeO₃ Perovskite negative electrode material by Citrate sol-gel. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319918309856>
11. Kondo N., Itoh H., Kurihara M., Sakamoto M., Aono H., Sadaoka Y. New high-yield preparation procedure of Ln[Fe(CN)₆]-nH₂O (Ln = La, Gd, and Lu) and their thermal decomposition into perovskite-type oxides. *J. Alloys Compd.* 2006. – No 408. – P. 1026-1029. doi: [10.1016/j.jallcom.2004.11.095](https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2004.11.095).



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.291013>

УДК 628.17

ПОМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ В ПРОЦЕСАХ ВОДОПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВ КОСМЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ

Ірина МАКАРЕНКО, Тамара КРИСЕНКО, Ольга ГЛУШКО

Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

проспект Берестейський, 37, м. Київ 03056, Україна

e-mail: oolga.glushkoo@gmail.com

Життя сучасної людини тісно пов'язано із щоденним використанням у побуті окремої групи непродовольчих товарів – косметичних засобів. З-поміж споживних властивостей парфумерно-косметичних засобів виокремлюється їх безпечність, яка безпосередньо залежить від складу, якості початкових компонентів, технологічного процесу, умов зберігання і продажу, умов споживання. Головним нормативним документом, що регламентує безпеку косметичних засобів в Україні, на даний час є ДержСанПіН 2.2.9.027-99, який потребує врегулювання із європейським законодавством. Але безперечним залишається факт необхідності використання води відповідної високої якості в технологіях виробництва косметичних засобів.

Переважна кількість лікарських та косметичних засобів містить 80-97% води, від ступеня очищення якої залежить якість продукції, що випускається, її зовнішній вигляд, запах, консистенція [1]. Так, зокрема, у технології косметичних кремів підготовка води направлена на зниження вмісту неорганічних солей, органічних домішок і бактеріальної флори. З точки зору органолептичних показників вода для косметичних препаратів повинна бути безкольорова, абсолютно прозора, не мати запаху і майже не мати смаку. Після довгого відстоювання вода не повинна залишати каламуті. З точки зору хімічного складу вода не повинна містити неорганічні солі у вигляді домішок. Жорстку воду, яка містить значну кількість солей кальцію і магнію, необхідно додатково очищувати, з метою зменшення її жорсткості. Слід зазначити, що якість води може впливати також і на надійність та термін роботи технологічного обладнання парфумерно-косметичних виробництв.

Отже, вода, яка використовується для виготовлення косметичних засобів, має бути глибоко очищена. Слід зазначити, що подекуди використовують дистилат. Така підготовка води є достатньо затратною, але цілком виправданою, оскільки високий вміст солей може призводити до утворення осаду при виробництві парфумів, туалетної води, одеколонів; високий вміст органічних домішок впливає на запах косметичних засобів внаслідок хімічних реакцій, що відбуваються, у першу чергу, між цими домішками та антиоксидантами, що вводяться до складу косметичних засобів. Також жорстко нормується вміст у воді важких металів, оскільки косметично-парфумерна продукція має безпосередній контакт із тілом людини [2].

Основні хімічні та біологічні показники води питного призначення задовільняють вимоги до води, що використовується у косметичній промисловості. Проте за ДСанПіН 2.2.4-171-10 "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" жорсткість води

нормується на рівні до 7 мг-екв/дм³. Тому актуальним є питання демінералізації води, враховуючи той факт, що поверхневі водойми значної частини території України характеризуються підвищеною мінералізацією.

Сучасні технології водопідготовки використовують різноманітні методи та їх комбінації для одержання води високої якості. Серед великого розмаїття пропонованих методів широко використовуються й традиційні реагентні методи пом'якшення води, оскільки вони є економічно вигідними. Проте ефективність цих методів є недостатньою при використанні класичних реагентів – вапна, соди, луку або їх композицій. Одночасне використання цих сполук із алюмініймісткими коагулянтами збільшує ступінь пом'якшення води у кілька разів [3]. Використання фосфату натрію у процесах видалення іонів кальцію та магнію з природних вод є досить ефективним у побутових та офісних системах [4,5], але широке використання у процесах пом'якшення води у промисловості обмежується, зокрема, високою вартістю даного реагента. Велика кількість твердих відходів, необхідність точного дозування хімікатів, а також спеціалізоване обладнання та склади для їх зберігання є основними недоліками реагентних технологій пом'якшення води.

Доцільність застосування іонного обміну визначається складом мінералізованих вод і оптимальними умовами проведення процесів сорбції іонів, десорбції і переробки сорбатів. Натрій-катионітовий метод пом'якшення води застосовують для пом'якшення підземних і поверхневих вод із вмістом завислих речовин не більше 5-8 мг/дм³ і кольоровістю не більше 30 град. Жорсткість води може бути знижена при одноступінчастому Na-катионуванні до 0,03-0,05, при двоступінчастому - до 0,01 мг-екв/дм³. Регенерація сильнокислотних катионітів здійснюється розчином хлориду натрію [6]. Попри загальні проблеми іонообмінних технологій щодо вартості та процесів регенерації іонітів і переробки утворених регенераційних розчинів, вони мають широке використання і широкі можливості внаслідок застосування різноманітних іонообмінних матеріалів, фільтрів змішаної дії та організації ступеневого іонообмінного очищення води.

Іонообмінні технології дозволяють вилучати не лише іони жорсткості, але й іони мангану (II), заліза (II), важких металів та отримувати глибоко знесолену воду. Авторами [7] було вивчено процеси одночасного вилучення іонів жорсткості та заліза за допомогою суміші сильнокислотного катионіту КУ-2-8 та слабокислотного катионіту Dowex MAC-3 в різних об'ємних співвідношеннях та показано, що катионіт КУ-2-8 навіть в Ca²⁺ - формі сорбує іони заліза; обмінна динамічна ємність іоніту до проскоку іонів заліза складає 172 мг-екв/дм³.

Серед сучасних технологій одержання глибоко очищеної води найбільш економічними, екологічними, енерго- та матеріалозберігаючими є мембранні технології (зворотний осмос, електродіаліз, ультра- та нанофільтрування, мембранна дистиляція) [8, 9, 10]. Зворотний осмос є одним з найперспективніших методів в процесах підготовки води високої якості та вимагає високого ступеня попереднього очищення води [11, 12]. Крім того важливим питанням нанофільтраційного та зворотньоосмотичного очищення води є її стабілізаційна обробка перед подачею на мембранні фільтри. Без стабілізаційної обробки води мембрани швидко втрачають свої фільтрувальні властивості. Часті заміни мембран недопустимі через їх надвисоку вартість. Застосування антискалантів небажане через додаткове забруднення концентратів, що ускладнює їх утилізацію.

Іонообмінне пом'якшення є одним із перспективних напрямків стабілізаційної обробки води. Застосування слабокислотних катионітів в кислій формі (наприклад, Dowex MAC-3) на стадії попередньої обробки води дозволяє досягти її повної стабільності до карбонатних відкладень в баромембранних процесах її очищення за рахунок часткового пом'якшення води та видалення гідрокарбонат аніонів [13,14].

Комбінування методів реагентного, іонообмінного пом'якшення води та баромембранних методів дозволяє отримати воду високої якості і уникнути основних недоліків окремих традиційних методів демінералізації води. Так, застосування реагентів на основі гідроксоалюмінату натрію під час реагентного пом'якшення води дозволяє суттєво зменшити її жорсткість. Цьому сприяє також застосування слабокислотних катіонів у кислій формі на першій стадії катіонування [15]. Глибоке пом'якшення води у даному випадку під час реагентного пом'якшення забезпечується обробленням води вапном, содою та реагентом типу РИКС-А в освітлювачі із завислим шаром осаду. Освітлена й відфільтрована на фільтрі вода має жорсткість 0,1...0,5 мг-екв/дм³, на відміну від реальних виробництв, де цей показник становить 2,7...4,3 мг-екв/дм³. Залишкова лужність води – 1,5...2,0 мг-екв/дм³. Це дозволяє на першій стадії катіонування використовувати слабокислотний катіоніт DOWEX MAC-3 у Н⁺-формі, завдяки чому жорсткість води зменшується до 0,1 мг-екв/дм³, повністю видаляються йони алюмінію та заліза, якщо вони присутні в пом'якшеній воді. На другій стадії катіонування застосовують сильнокислотний катіоніт КУ-2-8 у кислій формі, що вилучає з води залишки йонів жорсткості та однозарядні катіони (переважно йони натрію). Хлориди й сульфати вилучають з води на аніонообмінному фільтр, заповненому низькоосновним аніонітом DOWEX Marathon WBA. Катіонообмінні фільтри регенерують розчинами сірчаної кислоти. Дана технологія передбачає також стадію знезараження води, повне перероблення рідких відходів та забезпечує ефективне знесолення води.

Висновки

Необхідність використання якісної води при виробництві парфюмерно-косметичної продукції не викликає сумнівів. Важливе значення у процесах підготовки води у даній галузі займають процеси пом'якшення води, що можуть бути реалізовані шляхом застосування реагентних, іонообмінних та баромембранних методів. Поєднання реагентних, іонообмінних та баромембранних методів є основою ресурсоефективних, мововідходних технологій знесолення води.

Література:

1. Технологія косметичних засобів: підручник для студ. вищ. навч. закладів/О.Г.Башура, О. І.Тихонов, В.В.Россіхін [та ін.]; за ред. О.Г.Башури і О. І.Тихонова.— Х.:НФаУ; Оригінал, 2017.—552 с. ISBN 978-966-915-520-0 (НФаУ).
2. Пешук Л. В., Бавіка Л. І., Демідов І. М. П 31 Технологія парфумерно-косметичних продуктів. — К.: Центр учбової літератури, 2007. — 376 с. ISBN 978-966-364-484-4
3. Голтвяницька О. Підвищення ефективності реагентного пом'якшення води за допомогою алюмініймістких коагулянтів / Голтвяницька О.В., Шаблій Т. О., Камасв В. С., і Гомеля М. Д. // *Вісник ВПШ*, №. 4, 2010. – С. 12–15. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2023-169-4>
4. Гордієнко К. Ефективність висадження іонів кальцію з розведених водних розчинів у вигляді фосфатів / Гордієнко К., Радовенчик Я., Крисенко Т., Радовенчик В. // *Вісник Хмельницького національного університету*, №5, 2022 (313). – С. 134 – 140. DOI: <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-313-5>
<http://journals.khnu.km.ua/vestnik/wp-content/uploads/2022/12/vknu-ts-2022-n5313.pdf>
5. Радовенчик Я.В. Ефективність видалення іонів магнію з води в процесах її пом'якшення / Радовенчик Я.В., Гордієнко К.Ю., Крисенко Т.В., Радовенчик В.М. // *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*, Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження», 2022. – № 4 (21). С. 88 – 94. ISSN: 2617-9741 (Print) ;ISSN: 2664-1763 (Online)

6. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води. – К.: Вища школа, 2005. 671 с.
7. Гомеля М.Д. Знезалізнення природних вод в присутності іонів жорсткості / Гомеля М.Д., Трохименко Г.Г., Твердохліб М.М. // Екологічна безпека та природокористування, № 4(20), 2015. – С. 57-62. КВ № 14146-3117 Р від 27.05.2008 р.
8. VanDijk J. C., Munnweke B. R., Kramer B., Wouters J. W. II Desalination.— 1991.-81, N 1—3.— P. 229—247.
9. Adnikary S. K., Harkare W. P., Govindan K. P. II Indian J. Technol.— 1987.— 25, N 2.— P. 79—82
10. Techno Jap,— 1992,— N 11.— P. 78.
11. Трус І.М. Вплив попереднього механічного доочищення води на ефективність зворотньоосмотичного опріснення води / І.М. Трус, М.Д. Гомеля, В.М. Радовенчик // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. – № 9 (198) Ч.2. – С. 197-202. ISSN: ISSN 1998-7927
12. Трус І. М. Нейтралізація перміату зворотньоосмотичного опріснення води при її попередній обробці на катіоніті в кислій формі / І. М. Трус, А.І. Петриченко, М.Д. Гомеля // Вісник ЧДТУ. – 2013. – № 3 (67). – С. 85-90. ISSN/EISSN 2306-4412/2708-6070
13. Глушко О.В., Макаренко І.М., Рисухін В.В., Малін В.П. Застосування слабокислотного катіоніту Dawex MAC -3 для стабілізаційної обробки води. // X., «Східно-європейський журнал передових технологій». -№ 3/6(57). – 2012. –с. 16-20 DOI: 10.15587/1729-4061.
14. Гомеля М.Д. Оцінка ефективності зворотньоосмотичного опріснення води після її пом'якшення на слабокислотному катіоніті / М.Д. Гомеля., І.М. Трус, В.М. Радовенчик // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 3. – С. 32-36. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2023-169-4>.
15. Макаренко, І. М. (2014). Маловідходні технології опріснення води. Вісник НТУУ “КПІ імені Ігоря Сікорського”. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження, (2), 84–89. <https://doi.org/10.20535/2306-1626.2.2014.52154>.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.291555>

УДК 546 К63

ВИКОРИСТАННЯ ГАЛЬВАНІЧНИХ ВІДХОДІВ ДЛЯ ЗАБАРВЛЕННЯ ГПСОВИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЛАКОВОГО ПОКРИТТЯ

Марія МАСЛЯНЧУК¹, Наталія ДОРОГАНЬ², Юлія МІРОШНИЧЕНКО^{1,2}

¹Політехнічний ліцей КПІ імені Ігоря Сікорського
бул. Вацлава Гавела, 41а, м. Київ, 03065, Україна

²Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського
пр. Берестейський, 37, м. Київ 03056, Україна

e-mail: masha.m2311@gmail.com

В Україні є велика кількість заводів машинобудування, побічними продуктами роботи яких є гальванічні відходи. На даний момент розроблені технології їх нейтралізації та використання переробленого шламу при виробництві асфальту, керамзиту, тощо. У даній науковій роботі пропонується використання гальваношламів з великим вмістом барвників оксидів як пігмента в композиційних системах; досліджується ефективність використання гальванічних відходів як барвників.

Актуальність теми визначається тим, що такий спосіб утилізації – як вторинне практичне використання відходів комунального господарства та промисловості – є одним із важливих способів вирішення задач екології та ресурсозбереження. До відомих прикладів ефективного вирішення таких задач відносяться дослідження та розробки по застосуванню відходів промисловості як техногенної сировини в технологічних процесах виробництва будівельних матеріалів різного призначення. Зокрема використання гальванічних відходів (гальваношламів) як барвників сприяло б зменшенню складів з цим типом відходів, вирішенню низки екологічних питань, зменшенню шкідливого впливу на довкілля, підвищенню економічної ефективності й підвищенню архітектурної різноманітності споруд.

Метою даного пошукового ініціативного дослідження стало вивчення результативності застосування відходів гальванічного виробництва машинобудівних підприємств України як барвників, що забезпечують декоративні властивості будівельних матеріалів та архітектурну виразність споруд.

Гальванічний шлам є гетерогенним, складним і нестабільним за складом матеріалом. Такий тип відходу найчастіше утворюється у відпрацьованому електроліті та очисних водах. Оскільки гальваношлами часто містять досить токсичні сполуки важких металів (хрому, міді, свинцю, кадмію, нікелю та марганцю), їх відносять до 2-4 рівня небезпеки, і при неправильному поводженні такі відходи можуть суттєво порушити екологічну рівновагу [1]. Таким чином при зберіганні гальваношламів на відкритому повітрі, вони висихають та розносяться вітром у водойми та дихальні шляхи, що неминуче призводить до ураження внутрішніх органів, хвороб ендокринної та інших систем організму. Після певної обробки гальванічний шлам стає нетоксичним, а його нейтралізовані залишки спрямовуються на спеціальні полігони для поховання. Проте шламосховища, де зберігаються знешкоджені відходи, можуть стати джерелом альтернативної сировини.

Як можливі техногенні барвники досліджувалися два типи відходів: відход А (взято з підприємств машинобудування Хмельницької області), він характеризується бірюзовим кольором, та відход В (взято з підприємств машинобудування Полтавської області), він характеризується коричневуватим кольором. Досліджувані відходи відрізнялись за походженням, кольором, ступенем дисперсності та хімічним складом.

Однакова степінь дисперсності проб перед дослідженням забезпечувалась розтиранням та просівом через сито 10 000 отв/см³. Компоненти згідно складу дозували по масі та змішували для гомогенізації.

Для визначення хімічного складу проб гальванічних відходів застосовували рентгенофлуоресцентний аналіз (РФА, XRF), що базується на зборі та аналізі спектру, який виникає при опроміненні досліджуваного матеріалу рентгеновським випромінюванням.

Склад проби А (Таблиця) визначається значною кількістю сполук важного металу міді (89,51 %), суттєвою кількістю діоксиду силіцію, домішками фосфору, кальцію та заліза.

Хімічний склад відходів проби В (Таблиця 1) відзначається переважною кількістю оксидів кальцію та заліза (73 %), суттєвою кількістю оксидів магнію, хрому, цинку, кремнію, міді, домішками оксидів нікелю, фосфору та кадмію.

Таблиця 1. Хімічний склад гальванічних відходів

Код проби	Вміст оксидів, %													
	SiO ₂	CuCl ₂	CuO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ni ₂ O ₃	CaO	CaSO ₄	MgO	ZnO	CdO	SnO ₂	P ₂ O ₅	
А	8,50	46,81	42,7	-	0,30	0,02	0,46	-	-	-	-	0,21	0,89	
В	2,60	-	2,37	4,22	22,58	1,72	50,42	3,24	6,82	3,64	0,66	0,22	1,10	

Як мінеральне в'язуче використовували будівельний гіпс марки Г-5 [2,3]. При виготовленні гіпсового тіста, що отримується шляхом змішування гіпсу і води до нормальної густини, проводили додаткову операцію, задана кількість техногенного пігменту змішувалась з водою, а потім цим розчином зачиняли гіпс. Це сприяло гомогенному розподілу пігменту в дослідній суміші. При введенні досліджуваних гальванічних відходів у гіпсову суміш відбувалось забарвлення зразків виробів. При цьому ступінь ефекту залежав від різновиду відходів та їх концентрації. Так, при застосуванні техногенного пігменту проби А в інтервалі його концентрації 5-25 % кольорова гама зразків змінюється від блідо салатного до світло зеленого тону (рис. 1).



Рис. 1 Кольорова гама зразків гіпсу з барвником А

Цьому ефекту відповідають оптичні характеристики поверхні зразків виробів: із збільшенням ступеню забарвлення коефіцієнт відбиття світла зменшується від 0,40 до 0,25 проти 0,75 для зразків без пігменту (рис. 2).

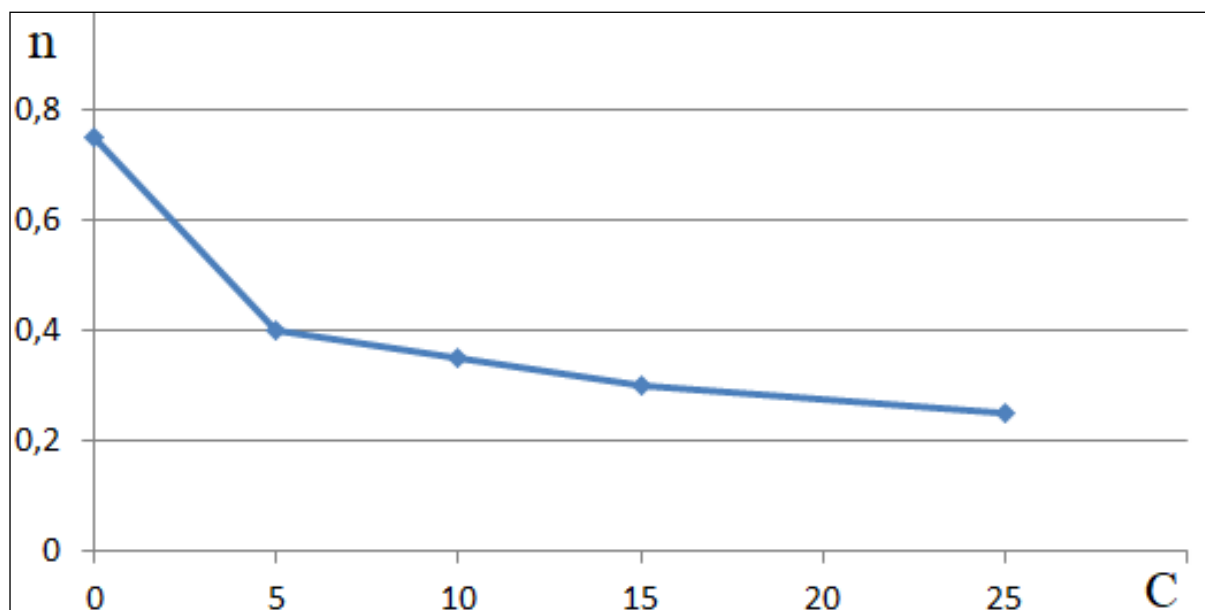


Рис. 2. Залежність коефіцієнту відбиття світла від концентрації техногенного барвника А (виміряно за допомогою фотоспектрометра)

При використанні техногенного пігменту проби В в інтервалі його концентрації 5-15 % кольорова гама зразків змінюється від блідо бежевого до світло помаранчевого тону (рис. 3).



Рис. 3. Кольорова гама зразків гіпсу з барвником В

Цьому ефекту відповідають оптичні характеристики поверхні зразків виробів: із збільшенням ступеню забарвлення коефіцієнт відбиття світла зменшується від 0,65 до 0,50 проти 0,75 для зразків без пігменту (рис. 4).

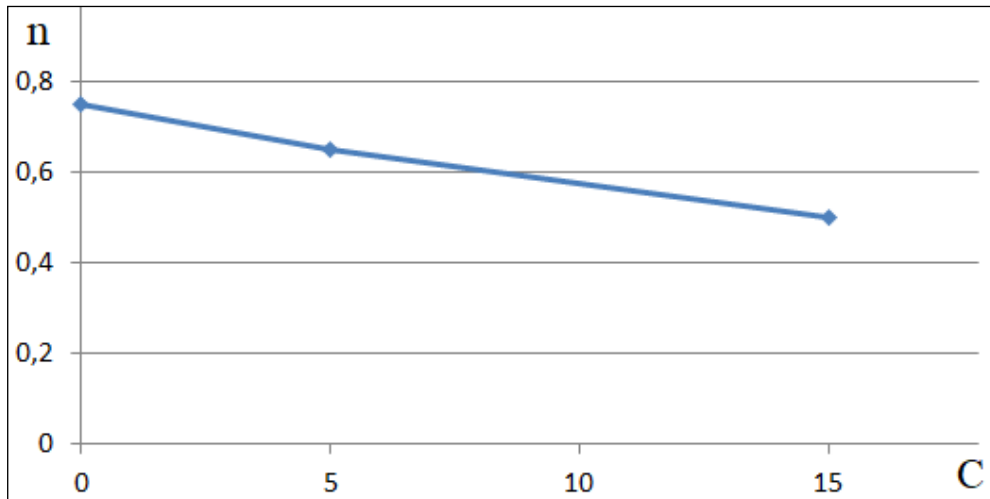


Рис. 4. Залежність коефіцієнту відбиття світла від концентрації техногенного барвника В (виміряно за допомогою фотометра)

Експериментально визначили, що оптимальна концентрація з гіпсом пігменту А становить 5-25%, а пігменту В – 5-15%. Робота з більшою концентрацією в обох випадках стає неможливою, адже гіпс твердіє занадто швидко.

Як полімерні в'язучі застосовували безкольорові водно-дисперсні лаки на основі акрилу марок Novoset 3340 та TRIORA wood [3,4]. Склади дослідного покриття на основі лаку характеризувались варіюванням вмісту гальванічних відходів в інтервалі 2-20 мас. %.

Встановлено, що аналогічно до зразків гіпсу, при введенні досліджуваних гальванічних відходів в лак досягається забарвлення зразків покриття. При цьому ступінь ефекту залежить від різновиду лаку, відходів та їх концентрації. Так, при застосуванні техногенного пігменту проби А в інтервалі його концентрації 2-20 % кольорова гама зразків покриття на основі лаку Novoset 3340 змінюється від світло бірюзового до темно бірюзового тону (рис. 5).

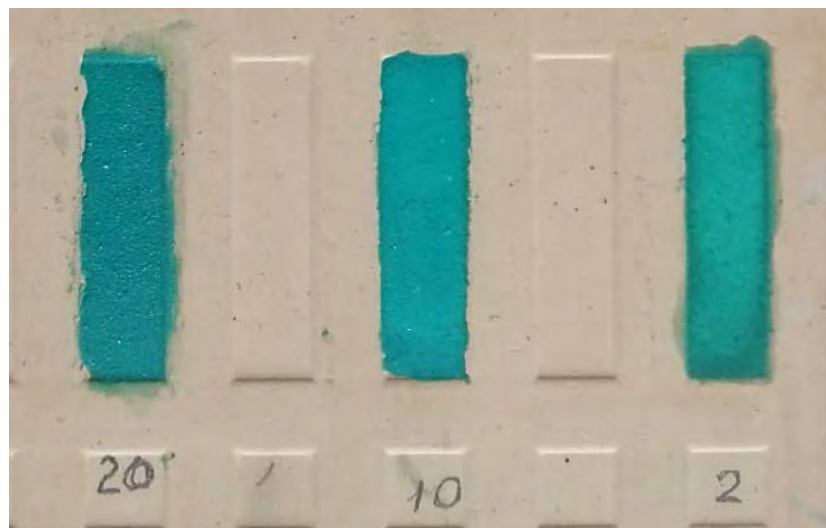


Рис. 5. Кольорова гама зразків на основі лаку Novoset 3340 є барвником А

При застосуванні техногенного пігменту проби А в інтервалі його концентрації 2-20 % кольорова гама зразків покриття на основі лазури TRIORA wood змінюється від світло бірюзового до бірюзового тону (рис. 6).

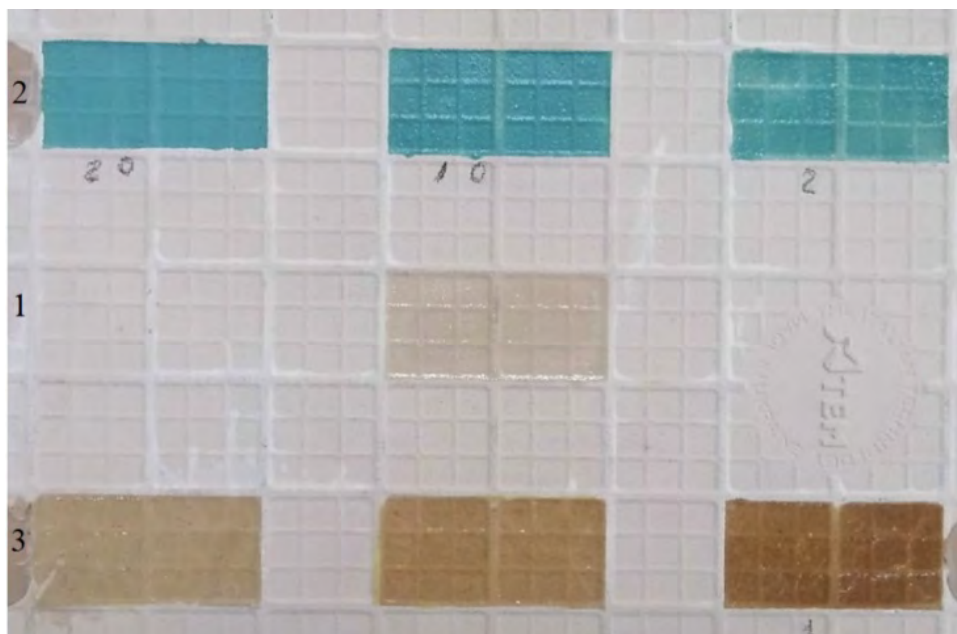


Рис. 6. Кольорова гама зразків на основі лазури TRIORA wood (1) та з барвниками А (2) і В (3)

При застосуванні техногенного пігменту проби В в інтервалі його концентрації 2-20 % кольорова гама зразків покриття на основі лаку TRIORA wood змінюється від світло бежевого до помаранчевого тону (рис. 6).

Оптимальна ж концентрація і пігменту А, і пігменту В з полімерним в'язучим (лаком) знаходиться в межах до 20%, в результаті отримуємо яскраві кольори. Варто зазначити, що чим більша концентрація пігменту, тим менша прозорість лаку. При більшій концентрації робота з матеріалом неможлива, бо він втрачає свої властивості і стає розсіпчастим .

Таким чином, встановлено:

- відмінності хімічного складу двох різновидів гальванічних відходів;
- особливості забарвлення гіпсових матеріалів в інтервалі концентрацій техногенних барвників 5-25 %;
- особливості забарвлення лакового покриття в інтервалі концентрацій техногенних барвників 2-20 %.

Експериментально доведено, що утилізація гальванічних відходів як барвників (з високим вмістом барвних оксидів) ефективно вирішує задачі ресурсозбереження, екології та підвищить ефективність виробництв, зменшує площі гальваносховищ та буде достатньо доступною за ціною. Саме ж використання кольорових будівельних матеріалів є значним фактором привабливості та виразності споруд різного призначення.

Література:

1. Донченко, М. І. Екологічна безпека гальванотехніки. Стічні води. Механічна та сорбційна очистка. / М. І. Донченко, С. В. Фроленкова, Т. І. Мотронюк; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – С. 12-31.
2. Т.М. Пашенко, З.І. Світла. Будівельне матеріалознавство: навчальний посібник. Київ: Аграрна освіта, 2009. – С. 130-131.
3. В. О. Візір, І. В. Громовий. Кольорова та металізована кераміка. Київ: Будівельник, 1973. 86 с.
4. Лакофарбові матеріали // Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / Р. А. Шмиг, В. М. Боярчук, І. М. Добрянський, В. М. Барабаш ; за заг. ред. Р. А. Шмига. — Львів, 2010. — С. 116.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.291011>

УДК 676

КІНЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕСУ ДЕЛІГНІФІКАЦІЇ РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ

Назарій МИХАЙЛЕНКО¹, Оксана ОРЛОВА¹, Віта ГАЛИШ^{1,2}

¹ Київський політехнічний інститут

пр. Берестейський, 37, м. Київ 03056, Україна

² Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка Національної академії наук України

вул. Генерала Наумова, 17, м. Київ 03164, Україна

e-mail: v.galysh@gmail.com

Сільськогосподарські рослинні відходи – продукти переробки сільськогосподарської культури. Через високий попит на зернові та олійні культури, сільське господарство постійно розширяється та продукує утворення великої кількості рослинних відходів. Розробка ефективних способів поводження з рослинними відходами є важливою задачею екології та хімічної технології, вирішення якої сприятиме попередженню забруднення навколишнього середовища [1]. Оскільки такі відходи представляють собою лігноцелюлозний комплекс, то можуть розглядатися як перспективна сировина для хімічного перероблення та забезпечення потреб різних галузей промисловості, зокрема паперової, фармацевтичної, хімічної та ін. Крім того, варто зазначити, що лігноцелюлозна біомаса недеревної рослинної сировини відноситься до відновлюваних ресурсів, та зустрічається в природі у великій кількості, а отже може бути альтернативою деревній сировині [2]. Обирають метод обробки рослинної сировини, враховуючи екологічні та техніко-економічні аспекти [3]. Органосольвентне варіння вважається перспективним напрямом делігніфікації, оскільки відбувається в м'яких умовах, компоненти варильного розчину можна регенерувати та повертати на повторне використання, можна також ефективно утилізувати органічні компоненти відпрацьованих варильних розчинів з отриманням цінних продуктів аліфатичного та ароматичного характеру [4].

Метою роботи було дослідження кінетичних характеристик надоцтової делігніфікації недеревної рослинної сировини. Як вихідну сировину використовували солому пшениці та стебла ріпаку, січку яких з розмірами 1-2 см піддавали обробці розчином надоцтової кислоти концентрацією 10 % за температури 95 °C протягом різної тривалості процесу. В результаті обробки одержано целюлозний продукт з різним вмістом лігніну.

Оцінка ефективності процесів делігніфікації була проведена за допомогою аналізу показників оптимальності видалення лігніну та оптимальності видалення вуглеводів, значення яких у випадку делігніфікації соломи пшениці та стебел ріпаку представлені на рис. 1 та 2. Відповідний аналіз виконується, в основному, з метою оцінки ефективності процесу делігніфікації та для встановлення оптимальних умов, які забезпечать одержання целюлозного продукту прийнятної складу. Крім того, це дає можливість оцінити вплив делігніфікуючого реагенту на лігноцелюлозний комплекс в цілому і дозволяє встановити найбільш підходящі технологічні параметри варіння для різних видів лігноцелюлозної сировини.

Представлені результати свідчать про те, що процес надоцтової делігніфікації протікає однаково ефективно як і у випадку варіння соломи пшениці, так і за використання стебел ріпаку. Збільшення тривалості делігніфікації відповідно призводить до зменшення вмісту залишкового лігніну в одержаному целюлозному продукті. Проте, разом з тим, відбувається і частковий гідроліз полісахаридної складової. Оптимальності видалення лігніну та вуглеводів мають характерні максимуми, які вказують на оптимальні тривалості варіння.

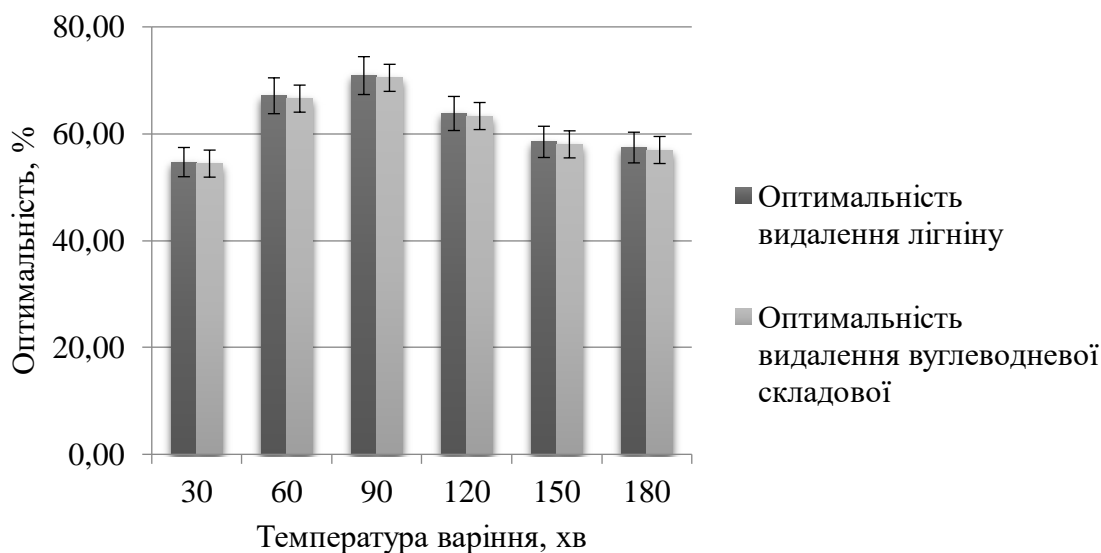


Рис. 1. Оптимальність видалення лігніну та вуглеводної складової з соломи пшениці

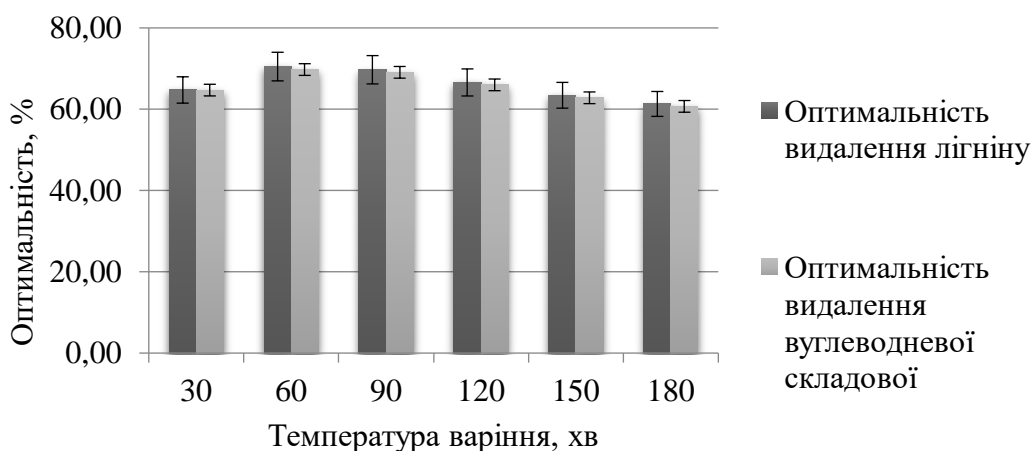


Рис. 2. Оптимальність видалення лігніну та вуглеводної складової з стебел ріпаку

Для визначення кінетичних характеристик делігніфікації використовували аналітичний метод. Константи швидкості процесу розраховували для конкретного часу варіння за формулою:

$$k = \frac{1}{t} \times \ln \frac{C_0}{C}$$

де C_0 – вміст лігніну в вихідній сировині, %; C – вміст залишкового лігніну в целюлозі, %; t – тривалість варіння.

Кінетичні криві залишкового лігніну в координатах рівняння першого порядку представлено на рис. 3. Результати розрахунків констант швидкості представлено в табл. 1.

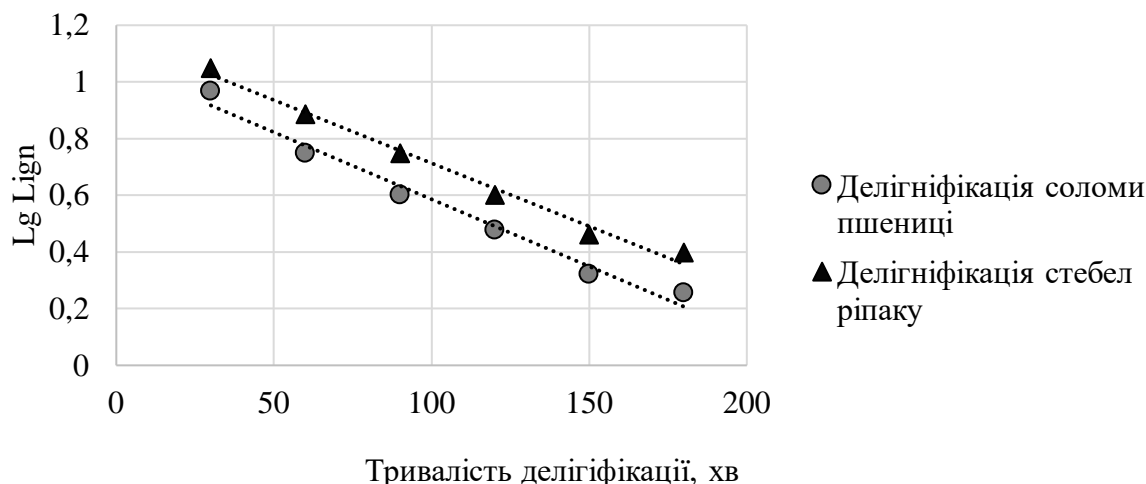


Рис. 3. Кінетичні криві залишкового лігніну в координатах рівняння першого порядку

Таблиця 1. Константи швидкості реакції першого порядку делігіфікації соломи пшениці та соломи ріпаку

Константа швидкості	Значення, хв ⁻¹	
	Делігіфікація соломи пшениці	Делігіфікація стебел ріпаку
К	$4,97 \times 10^{-3}$	$5,21 \times 10^{-3}$

Представлені результати свідчать про можливість організації ефективного способу утилізації рослинних відходів агропромислового комплексу волокнистої структури шляхом їх перетворення на целюлозні продукти для потреб паперової, гідролізної хімічної та інших галузей промисловості.

Література:

1. А.Ковальчук, Т.Почечун, В. Галиш, та І. Трус, Фосфорилування шкаралуп волоських горіхів для підвищення ефективності очищення водних розчинів. *Технічні науки та технології*, №2, с. 236-244, 2018.
2. I.Trembus, A.Hondovska, V.Halysh, I.Deykun, and R. Cheropkina, Feasible Technology for Agricultural Residues Utilization for the Obtaining of Value-Added Products. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, Vol. 2, No. 23, pp. 2022.
3. I. Trembus, V. Halysh, Wheat straw solvolysis delignification, *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, Vol. 54, No. 5, pp. 986–992, 2019.
4. I. Deykun, V. Halysh, and V. Barbash, Rapeseed straw as an alternative for pulping and papermaking, *Cellulose. Chem. Technol.*, Vol. 52, No. 9-10, pp. 833–839, 2018.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.290845>

УДК 546.732:[66.081.63+678.7]

ПОСДНАННЯ КОМПЛЕКСОУТВОРЕННЯ З МЕМБРАННОЮ ОЧИСТКОЮ ВОДИ ВІД ІОНІВ КОБАЛЬТУ(II)

Ірина РОМАНЮКІНА¹, Людмила ЮРЛОВА¹, Владислав ІВАЩЕНКО²

¹Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України
бульв. Вернадського, 42, м. Київ 03142, Україна

²Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського
просп. Берестейський, 37, м. Київ 03056, Україна

e-mail: ir.molekyla@gmail.com

Не дивлячись на те, що останніми десятиліттями якість наукових досліджень та їх кількість зростає, стан навколишнього природного середовища через його антропогенне забруднення лише погіршується. Незважаючи на зменшення потужностей промислового виробництва, спостерігається зростання рівня забруднення природних вод, як поверхневих, так і підземних. Тому, безперечно, проблема охорони водних об'єктів від забруднення різними типами хімічних речовин та сполук є досить гострою та актуальною.

Серед великої кількості органічних та неорганічних екоотоксикантів окрему велику групу складають важкі метали, які завдяки своїй високій здатності до розчинення можуть завдавати мутагенну та токсичну дію на усі об'єкти біосфери. Потрапивши у живий організм, важкі метали здатні накопичуватися у різних тканинах та органах, що може спричиняти їх дисфункцію [1, 2]. Джерелами забруднення важкими металами навколишнього природного середовища взагалі, а також водних об'єктів зокрема, залишаються такі галузі промисловості, як гірнична, металургійна, хімічна, гальванічна та ін. Існуючі методи очистки стічних вод цих виробництв від важких металів не завжди дають очікуваний ефект та можуть мати складнощі при експлуатації очисних споруд. А ті методи, які здатні забезпечити високий ступінь видалення важких металів зі стічних вод, часто потребують великих експлуатаційних витрат, що зазвичай є економічно недоцільним [3, 4].

Серед іонів важких металів одним з найбільш небезпечних є кобальт, ГДК у питній воді якого складає $< 0,1 \text{ мг/дм}^3$. Накопичення до 50 мг кобальту в організмі людини може викликати ретикулоцитоз, більшої кількості – незворотні токсичні ураження [5]. В природних водах сполуки кобальту перебувають у розчиненому і у зваженому станах, кількісне співвідношення між якими визначається рН середовища, температурою та хімічним складом води. В умовах, які характерні для природних поверхневих вод, кобальт існує у вигляді Co^{2+} , домінуючими формами Co(II) при $\text{pH} > 8$ залежно від концентрації є Co(OH)_3^- , CoOH^+ та Co(OH)_2 (див. рис. 1). У присутності окиснювачів у водних середовищах можливе існування в помітних концентраціях Co^{3+} [6]. Іони Co(II) все в більшій кількості потрапляють у природні водні джерела шляхом недостатньо очищених стічних вод підприємств атомної енергетики,

металообробки, гальванічного виробництва (в тому числі і внаслідок процесів кобальтування), а також через фільтрати полігонів твердих побутових відходів.

До основних методів очистки води від іонів кобальту відносяться реагентні, електрохімічні, іонообмінні, сорбційні та мембранні. Найбільш розповсюджені реагентні методи, пов'язані з хімічним осадженням малорозчинних сполук. Перевага цих методів – простота реалізації, проте у стоки в такому випадку потрапляють нові хімічні речовини, тобто відбувається вторинне забруднення, а отримані

осади мають великий об'єм [7]. Електрохімічні методи вилучення іонів кобальту та інших важких металів є передовими та високоефективними, вони дозволяють видалити цінні компоненти без використання хімічних реагентів шляхом впровадження досить простих та автоматизованих процесів. Але головний недолік цих методів – дуже висока вартість електроенергії. Використання процесів іонного обміну має свої обмеження. Їх більш інтенсивному поширенню перешкоджає обов'язкова попередня підготовка води (наприклад, вилучення завислих речовин, нафтопродуктів, іонів заліза, тощо) [8].

Сорбційний метод є досить поширеним та достатньо ефективним, особливо на стадії доочистки, та дає можливість видалення іонів кобальту до значень, менших за його ГДК. Найчастіше у якості сорбентів використовують активоване вугілля різних марок. Але часто вони мають високу вартість, що разом з необхідністю проведення регенерації відпрацьованого сорбента призводять до здорожчання очистки. Тому останні десятиліття стрімко розвивається новий напрямок в галузі очистки води – використання недорогих природних глинистих мінералів або відходів промислового та сільськогосподарського виробництва для створення селективних сорбентів, в тому числі і для вилучення іонів кобальту [9, 10].

Досить перспективними для вилучення іонів кобальту із забруднених вод є мембранні технології, які останнім часом отримали широке застосування в галузі водоочистки. З метою пошуку економічно раціональних та ресурсозберігаючих методів і технологій очистки забруднених іонами важких металів (у тому числі й кобальту) стічних вод вчені все частіше використовують можливості комбінації баромембранного розділення з іншими методами обробки забрудненої води (сорбцією, іонним обміном, міцелоутворенням, комплексоутворенням, тощо) [11, 12].

Розробка і впровадження нових технологій дозволять мінімізувати вплив забруднених стічних вод на навколишнє природне середовище, а їх якісна очистка збільшить об'єми води для повторного використання в технологічних циклах.

Мета даної роботи – розглянути можливість використання комбінованого методу для ефективного очищення забруднених вод від іонів Co(II) , що поєднує баромембранне розділення з комплексоутворенням.

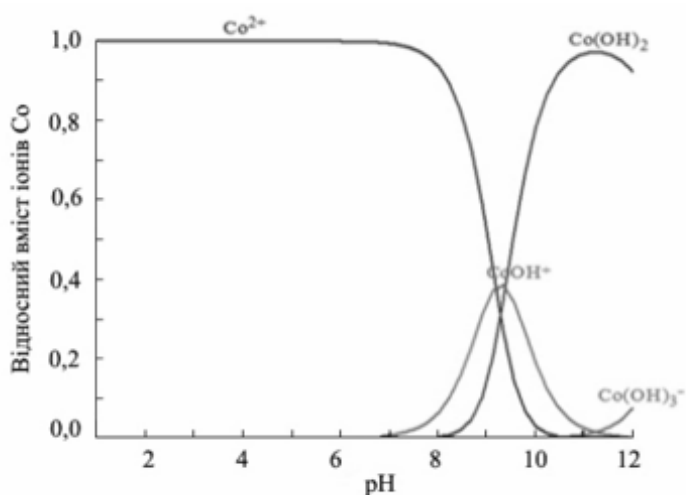


Рис.1 Діграма стану іонів кобальту в розчині в залежності від pH

Запропонований метод полягає в тому, що в кобальтвмісний розчин вводиться високомолекулярний поліелектроліт, який утворює з іонами кобальту міцні комплексні з'єднання великого розміру, що дозволяє затримувати їх на мембранах.

Дослідження проводилися в стандартній непроточній тупиковій комірці місткістю 1,0 дм³ при робочому тиску 0,2 МПа з інтенсивним перемішуванням розчину над мембраною за допомогою магнітної мішалки (≈ 300 об/хв) з використанням полімерної мембрани ОПАМ (низьконапірної зворотного осмосу) та більш продуктивної ультрафільтраційної мембрани УПМ-20. Діаметр пор використаних мембрани (за даними виробника) – 10 - 50 нм; товщина мембрани складає 0,3 мм. Мембрана представляє собою полімерну плівку на целюлозній основі. Зразки пермеату (об'ємом 0,04 дм³) відбиралися до досягнення стабільних значень коефіцієнтів затримання кобальту. Концентрацію металу в досліджуваних розчинах визначали фотометричним методом з використанням стандартної методики аналізу з нітрато-*R*-сіллю [13]. Після отримання експериментальних результатів було розраховано основні характеристики баромембранних процесів: коефіцієнт затримання *Co*(II) мембраною *R* та об'ємний потік крізь цю мембрану *J_v* [14].

У якості комплексоутворювачів використовували ПАА – поліакриламід з молекулярною масою 1500 та 10000; а також ПЕІ – поліетиленімін з розгалуженою будовою та молекулярною масою 2000 та 60000. Відомо, що дані полімери утворюють достатньо стійкі комплекси з іонами кобальту [15]. Полімери використовували марки «Sigma-Aldrich», США.

При роботі з застосуванням полімерної мембрани ОПАМ для очистки води від іонів *Co*(II) отримали достатньо високий коефіцієнт затримання – 0,930. При введенні у забруднені зразки ПАА та ПЕІ з різною молекулярною масою коефіцієнти затримання зростають до 0,999 (див. табл. 1). Але, зрозуміло, що показники об'ємного потоку крізь зворотноосмотичну мембрану є невисокими. Для зниження енерговитратності процесу очистки проведено дослідження з використанням ультрафільтраційної мембрани. Так, вдалося досягти коефіцієнта затримання іонів *Co*(II) 0,920 при об'ємному потоці, що дорівнює 7,5 дм³/м²*год.

Таблиця 1.

	Мембрана ОПАМ		Мембрана УПМ-20	
	<i>R</i>	<i>J_v</i> , дм ³ /м ² *год	<i>R</i>	<i>J_v</i> , дм ³ /м ² *год
<i>Co</i> (II) без добавок	0,930	0,44	0,215	9,0
<i>Co</i> (II)+ПАА ₁₅₀₀	0,970	0,43	0,800	8,5
<i>Co</i> (II)+ПАА ₁₀₀₀₀	0,999	0,41	0,880	7,6
<i>Co</i> (II)+ПЕІ ₂₀₀₀	0,980	0,42	0,850	8,0
<i>Co</i> (II)+ПЕІ ₆₀₀₀₀	0,999	0,40	0,920	7,5

Отримані результати свідчать про можливість успішного використання полімерних комплексоутворювачів в процесі мембранної очистки води, яка забруднена іонами *Co*(II). Так, високий ступінь очистки отримали для ПАА₁₀₀₀₀ та ПЕІ з різною молекулярною масою при роботі з мембраною ОПАМ; для ПЕІ₆₀₀₀₀ – з мембраною УПМ-20. Об'ємний потік крізь ультрафільтраційну мембрану суттєво вищий (порівняно зі зворотноосмотичною мембраною), тому варто підкреслити, що вибір мембрани залежить від завдання, яке треба вирішити в конкретному випадку (отримання високого ступеня очистки води від іонів *Co*(II) чи вищої продуктивності мембранного розділення).

Література:

1. Monisha, J., Tenzin, T., Naresh, A., Blessy B. M. and Krishnamurthy, N. B. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60 – 72. doi: 10.2478/intox-2014-0009.
2. Balali-Mood, M., Naseri, K., Tahergorabi, Z., Khazdair, M. R., Sadeghi, M. (2021). Toxic mechanisms of five heavy metals: mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic. *Frontiers in Pharmacology: Section Predictive Toxicology*, 12. doi: 10.3389/fphar.2021.643972.
3. Wang, Z., Luo, P., Zha, X., Xu, C., Kang, S., Zhou, M., Nover, D., Wang, Y. (2022). Overview assessment of risk evaluation and treatment technologies for heavy metal pollution of water and soil. *Journal of Cleaner Production*, 379 (2), 134043. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.134043.
4. Femina, C. C., Kamalesh, T., Kumar, P. S., Rangasamy, G. (2023). A critical review on the sustainable approaches for the removal of toxic heavy metals from water systems. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 62, 22, 8575 – 8601. doi: 10.1021/acs.iecr.3c00709.
5. Leysens, L., Vinck, B., Van Der Straeten, C., Wuyts, F., Maes, L. (2017). Cobalt toxicity in humans – a review of the potential sources and systemic health effects. *Toxicology*, 387, 15, 43 – 56. doi: org/10.1016/j.tox.2017.05.015.
6. Linnik, P. N. and Nabivanets, B. I. (1984). The state of metal ions in natural waters. *Clean – soil, air, water*, 12, 4, 335 – 361. doi: org/10.1002/ahch.19840120402.
7. Quito, K. G., Huang, Y. H. and Lu, M. C. (2022). Recovery of cobalt and copper from single- and co-contaminated simulated electroplating wastewater via carbonate and hydroxide precipitation. *Sustainable Environment Research*, 32, 31. doi: org/10.1186/s42834-022-00140-z.
8. Trus, I. M., Gomelya, M. D., Makarenko, I. M., Khomenko, A. S., Trokhymenko, G. G. (2020). The study of the particular aspects of water purification from the heavy metal ions using the method of nanofiltration. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 117 – 123. doi: org/10.33271/nvngu/2020-4/117.
9. Zhao, G., Wu, X., Tan, X., Wang, X. (2011). Sorption of heavy metal ions from aqueous solutions: A review. *The Open Colloid Science Journal*, 4, 19 – 31. doi: 10.2174/1876530001104010019.
10. Halysh, V., Trus, I., Radovenchyk, I., Gomelya, M. and Fleisher, H. (2020). *Complex technologies of water sorption purification from heavy metal ions*. Kyiv: Condor. [in Ukrainian]
11. Sain, D. (2020). A review of micellar enhanced ultrafiltration technique in the removal of heavy metals from aqueous solutions. *Journal of Chemical Engineering Research Updates*, 7, 34 – 46. doi: org/10.15377/2409-983X.2020.07.5.
12. Fuks, L., Mi'skiewicz, A. and Zakrzewska-Kołtuniewicz, G. (2022). Sorption-assisted ultrafiltration hybrid method for treatment of the radioactive aqueous solutions. *Chemistry*, 4, 1076 – 1091. doi: org/10.3390/chemistry4030073.
13. Upor, E., Mohai, M. and Novak, G. (1985). *Photometric methods in inorganic trace analysis*. Budapest: Published by Akademiai Kiado.
14. Tsapiuk, E.A. (1997). Calculation of the product composition and the retention coefficient by pressure driven membrane separation of solutions containing one and two solutes. *Journal of Membrane Science*, 124, 107 – 117.
15. Ayalew, Z. M., Guo, X., Zhang, X. (2022). Synthesis and application of polyethyleneimine (PEI)-based composite/nanocomposite material for heavy metals removal from wastewater: A critical review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 8, 100158. doi: org/10.1016/j.hazadv.2022.100158.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.291565>

УДК606:628+662.743

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИРОБНИЦТВА БІОЧАРУ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В ЯКОСТІ ДОБАВКИ ДЛЯ КОМПОСТУВАННЯ

Анастасія ТКАЧЕНКО, Ольга САГДЄЄВА

Одеський національний технологічний університет

вул. Канатна, 112, м. Одеса 65039, Україна

e-mail: anastasiafox8@gmail.com

Накопичення органічних відходів є однією з екологічних проблем, особливо для регіонів з розвинутою харчовою промисловістю. Органічні відходи, особливо рослинного походження, самі по собі не несуть шкоди навколишньому середовищу, але їх накопичення може бути причиною забруднення ґрунтів і поверхневих вод токсичними продуктами гниття і патогенними мікроорганізмами, що призводить до погіршення якості ґрунтів і вод, які в свою чергу стають непридатними для використання, і в подальшому потребують великих капіталовкладень для їх відновлення. Крім цього, видалення відходів замість утилізації суперечить філософії Zero Waste та реалізації її програм в Україні. Саме тому, одним з пріоритетних завдань сьогодення є розробка нових, удосконалення та впровадження вже існуючих технологій переробки відходів.

Стосовно утилізації саме органічних відходів рослинного походження успішно зарекомендувало себе аеробне компостування, як актуальний та екологічно безпечний біотехнологічний метод переробки [1, 2, 3]. Останніми роками удосконаленню та підвищенню ефективності компостування як технології переробки відходів присвячено багато наукових праць, дослідження яких доводять доцільність застосування різноманітних добавок різного походження [4, 5, 6, 7]. Використання мінеральних та мікробіологічних добавок значно скорочує час компостування, сприяє його продуктивності та забезпечує отримання біотехнологічного продукту високої якості. Останніми роками увагу наукової спільноти привертає біочар, додавання якого дозволяє впливати на параметри процесу компостування [8, 9].

Метою роботи є дослідження методів виробництва біочару з його подальшим використанням в якості добавки і визначенням ролі у підвищенні ефективності процесу компостування.

Біочар, або ж біовугілля, є відносно сучасною розробкою, це багатий вуглецем продукт, який отримують з біомаси методом піролізу, тобто нагріву у закритій ємності з обмеженим доступом кисню і при відносно низьких температурах ($\approx 700^\circ\text{C}$) [10]. З хімічної точки зору визначальною властивістю біочару є те, що його органічна частина має великий вміст вуглецю, який в основному складається з ароматичних сполук, що характеризуються кільцями з шести атомів вуглецю, з'єднаних між собою без атомів кисню або водню, які в інших випадках є більш поширеними в органічних речовинах.

Біочар має безліч властивостей, що благотворно можуть впливати на компост: вологоутримуюча та катіонообмінна здатність, великий вміст органічних речовин, може

покрощувати аерацію компосту, регулювати рН. Крім того, біочар має пористу структуру, заряджену поверхню та поверхневі функціональні групи, що є важливими факторами, які впливають на міграцію, трансформацію та біодоступність забруднюючих речовин у ґрунті.

Основні характеристики біочару залежать від матеріалу і методів, які використовувалися для його виробництва. Щоб отримати максимальний вихід біочару, слід обирати такий метод виробництва, що відповідає типу біомаси, а також дотримуватися оптимальних умов процесу: швидкість нагрівання, температура, час перебування у реакторі тощо. Ці умови є вирішальними, оскільки вони можуть впливати на фізичні та хімічні властивості біочару [11].

Найпоширенішою технологією для виробництва біочару є термохімічна конверсія (табл. 1). Виробництво біочару супроводжується утворенням побічних продуктів, таких як біомасло і синтез-газ, які в подальшому можуть використовуватися в енергетиці і у вигляді мастил.

Процес термічного розкладання органічних матеріалів у безкисневому середовищі в інтервалі температур від 300 до 1000°C називають піролізом. Піроліз вважають традиційним методом виробництва біочару, оскільки він використовувався ще з давніх часів [12]. В процесі піролізу лігноцелюлозні компоненти (целюлоза, геміцелюлоза, лігнін) піддаються процесам деполімеризації, фрагментації та крос-лінкінгу, в результаті чого утворюються продукти в різному агрегатному стані: тверді (біочар), рідкі (біомасло) та газоподібні (CO₂, CO, H₂, вуглеводні C₁–C₂) [13].

Таблиця 1. Методи термохімічної конверсії та технологічні умови

Метод		Температура, °C	Час витримування	Вихід біочару, %	Вихід біомасла, %	Синтез-газ, %
Піроліз	Повільний	300 – 700	<2 сек	35	30	35
	Швидкий	500 – 1000	Година-день	12	75	13
Гідротермальна карбонізація		180 – 300	1 – 16 год	50 – 80	5 – 20	2 – 5
Газифікація		750 – 900	10 – 20 сек	10	5	85
Торрефікація		290	10 – 60 хв	80	0	20
Флеш карбонізація		300 – 600	<30 хв	37	-	-

Більшість біомаси складається з целюлози, геміцелюлози та лігніну. Ці компоненти перетворюються на біочар за допомогою різних умов і механізмів реакцій:

- механізм розкладання целюлози відбувається шляхом зменшення ступеню полімеризації, що складається з двох реакцій: 1) шляхом повільного піролізу, що включає розкладання целюлози в результаті тривалого часу перебування біомаси в реакторі та меншої швидкості нагрівання; 2) шляхом швидкого піролізу, що відбувається при високій швидкості нагрівання через швидке випаровування, що призводить до утворення левоглюкозану (C₆H₁₀O₅), далі в результаті дегідратації утворюється гідроксиметилфурфурол (C₆H₆O₃), який може розкладатися з утворенням рідких і газоподібних продуктів, біомасла та синтез-газу відповідно; крім того, C₆H₆O₃ можна проводити через реакції ароматизації, конденсації та полімеризації, щоб знову отримати біочар;

- механізм розкладання геміцелюлози подібний до целюлози; геміцелюлоза піддається деполімеризації з утворенням олігосахаридів, що відбувається через серію реакцій: декарбоксілювання, деполімеризацію та ароматизацію з утворенням або біочару, або сполука розкладається на синтез-газ і біомасло [14];

- механізм розкладання лігніну, на відміну від двох попередніх, є складнішим; зв'язок лігніну β -O-4 розривається, що призводить до утворення вільних радикалів, які захоплюють інші протони, як наслідок утворюються розкладені сполуки; вільні радикали переходять до інших молекул, здійснюючи поширення ланцюга [15].

Вихід біочару в результаті піролізу залежить від типу біомаси. Температура є основною умовою робочого процесу, яка визначає ефективність продукту. Як правило, вихід біочару зменшується, а синтез-газу збільшується, коли температура підвищується під час процесу піролізу. Піроліз може бути швидким і повільним, залежно від швидкості нагрівання, температури, часу перебування біомаси в реакторі та тиску.

Умовами швидкого піролізу є швидкі темпи нагрівання біомаси ($>100^{\circ}\text{C}/\text{хв}$) в поєднанні з коротким часом перебування біомаси в реакторі (0,5–2 с) при високих температурах і помірний температурний режим ($400\text{--}600^{\circ}\text{C}$). Слід зазначити, що швидкий піроліз частіше використовується для виробництва саме біомасла [16]. При повільному піролізі швидкість нагрівання дуже низька, приблизно $5\text{--}7^{\circ}\text{C}$ на хвилину. Перевагами повільного піролізу є кращий вихід біочару порівняно з іншими типами піролізу та карбонізації [17]. При повільній швидкості нагрівання, відповідно до звіту [18], вдається отримати біочар кращої якості, ніж при використанні швидких методів нагрівання біомаси. Традиційні методи піролізу потребують додаткових заходів і устаткування для відводу біомасла і синтез-газу з реактору, які мають досить хороші характеристики для подальшого їх використання. Тому доцільно використовувати методи піролізу в тих випадках, коли всі продукти розкладання біомаси (біочар, біомасло і синтез газ) в подальшому планується використовувати.

До сучасних методів виробництва біочару, що були досліджені з початку 20 сторіччя, відносять флеш-карбонізацію, вакуумний і мікрохвильовий піроліз, газифікацію, торрефікацію, гідротермальну карбонізацію тощо.

Біочар, вироблений методом гідротермальної карбонізації, називають гідрочаром, оскільки в процесі виробництва біомасу змішують з водою. Виробництво гідрочару вважається економічно ефективним, оскільки процес можна виконувати за низьких температур ($180\text{--}250^{\circ}\text{C}$) в порівнянні з іншими методами. Гідролізований продукт проходить через ряд реакцій, таких як дегідратація, фрагментація та ізомеризація з утворенням проміжного продукту - $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_3$ та його похідних. Крім того, реакція протікає через конденсацію, полімеризацію та внутрішньомолекулярну дегідратацію з утворенням С. Висока молекулярна маса та складна природа лігніну ускладнюють процес: розкладання відбувається реакціями деалкілювання та гідролізу з утворенням фенольних продуктів (феноли, пірокатехоли, сирінголи) [19]. Компоненти лігніну, які не розчинилися в рідкій фазі, перетворюються на гідрочар. Для використання такого продукту переробки біомаси в компості можуть потребуватися додаткові процедури по його висушуванню.

Метод газифікації використовують для виробництва синтез-газу, що містить CO , CO_2 , H_2 , CH_4 і залишки вуглеводнів у присутності агентів газифікації (кисень, пара), тоді як біочар, в даному випадку, є побічним продуктом. Тому, цей метод не є доцільним для виробництва біочару у великих масштабах.

Флеш-піроліз є відносно новою модифікацією швидкого піролізу. Температури від 900 до 1200°C досягаються протягом секунд. Така швидкість нагрівання призводить до високого виробництва біомасла, але використання цього методу є досить обмеженим через конструкцію реактора, який повинен працювати при високих температурах і швидкостях нагрівання [20].

Основною технологією виробництва біочару вважають торрефікацію, при якій використовується низька швидкість нагрівання, тому такий процес ще називають помірним піролізом. Кисень, волога та CO_2 , присутні в біомасі, видаляються за допомогою інертного

атмосферного повітря за відсутністю кисню при температурі 300°C за допомогою різних процесів розкладання. В результаті змінюються властивості біомаси, такі як розмір частинок, вміст вологи, площа поверхні, швидкість нагрівання, щільність енергії тощо [18]. На сьогоднішній день торрефікацію в лабораторних умовах можна провести за допомогою двох способів: традиційна торрефікація в конвекційній печі та торрефікація в мікрохвильовій печі.

Традиційна торрефікація проводиться в трубчастій печі з кварцовою трубкою для відводу газів, яка живиться від електрики. Завдяки регульованій швидкості нагріву температуру реакції можна точно контролювати, але для сильнішої карбонізації потрібна більша тривалість процесу.

На відміну від попереднього методу, піроліз в мікрохвильовій печі це процес перетворення біомаси за допомогою електромагнітного опромінення. Останнім часом мікрохвильовий піроліз привертає все більшу увагу наукової спільноти, як альтернативний метод нагрівання біомаси. Серед головних переваг такого методу виділяють: можливість безконтактного, швидкого, селективного нагрівання, швидкий старт і зупинка нагрівання, високий рівень безпеки при виробництві біочару і можливість нагрівання біомаси зсередини, а не ззовні, як це відбувається при використанні практично всіх інших методів. Повідомляється, що біочар, виготовлений завдяки методу мікрохвильового піролізу має більшу площу поверхні та об'єм пор, в порівнянні з іншими методами виробництва біочару [21, 22]. Крім того, мікропори біочару досить однорідні і чисті, тобто не є контамінованими біомаслом, що виділяється при розкладанні біомаси [23]. За цими даними можна зробити висновок, що біочар з такими характеристиками, має великий потенціал для використання його в якості добавки для компосту. Оскільки, одними з головних властивостей біочару у компості є збільшення площі поверхні для іммобілізації мікроорганізмів компосту, за рахунок мікро- і макропор, що підвищує швидкість і якість процесу компостування. Окрім того, мікрохвильовий піроліз можна провести в звичайній побутовій мікрохвильовій печі без додаткових модифікацій і устаткування для відводу синтез-газу і біомасла [24]. Таким чином, таку технологію можна назвати майже безвідходною, у тому розумінні, що побічні продукти піролізу біомаси використовуються в самому процесі піролізу. Синтез-газ в мікрохвильовій печі створює безкисневе середовище, завдяки чому не потрібно використовувати додаткове джерело азоту.

Аналіз методів виробництва біочару дозволяє зробити висновок про перспективність мікрохвильового піролізу, який вирізняється з-поміж інших методів виробництва біочару своєю інноваційністю і застосовується саме для виробництва біочару, а не побічних продуктів переробки біомаси, таких як синтез-газ і біомасло. Біочар, що отримують таким методом, має саме ті властивості, які, при внесенні його в компост, можуть позитивно впливати на процеси компостування.

Також важливим аспектом є простота виробництва біочару методом мікрохвильового піролізу, оскільки процес розкладання біомаси протікає при відносно низьких температурах, в порівнянні з традиційними методами, і такий біочар не потребує додаткових процедур його активації, висушування і очищення від домішок, наприклад, біомасла. Тому використання в процесі компостування біочару, що був вироблений за допомогою мікрохвильового піролізу, є досить перспективним завданням для подальшого дослідження біотехнологічної утилізації органічних відходів.

Література:

1. M. Reyes-Torres, E.R. Oviedo-Ocaña, I. Dominguez, D. Komilis, A. Sánchez, A systematic review on the composting of green waste: Feedstock quality and optimization strategies, *Waste Management*, Vol. 77, pp. 486-499, 2018, doi: 10.1016/j.wasman.2018.04.037.
2. Z. Li, H. Lu, L. Ren, L. He, Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review, *Chemosphere*, Vol. 93, No. 7, pp. 1247-1257, 2013, doi: 10.1016/j.chemosphere.2013.06.064.
3. M. Pilar Bernal, S. G. Sommer, D. Chadwick, C. Qing, L. Guoxue, F. C. Michel Jr., Current Approaches and Future Trends in Compost Quality Criteria for Agronomic, Environmental, and Human Health Benefits, *Advances in Agronomy*, Vol. 144, pp. 143-233, 2017, doi: 10.1016/bs.agron.2017.03.002

4. Gowe C., Review on Potential Use of Fruit and Vegetables By-Products as A Valuable Source of Natural Food Additives, *Food Science and Quality Management*, Vol. 45, pp. 47-61, 2015.
5. W. Chung, J. Shim, S. W. Chang, B. Ravindran, Effect of Biochar Amendments on the Co-Composting of Food Waste and Livestock Manure, *Agronomy*. 2023., Vol. 13, No. 35, doi: 10.3390/agronomy13010035.
6. M. Kopec, A. Baran, M. Mierzwa-Hersztek et al., Effect of the Addition of Biochar and Coffee Grounds on the Biological Properties and Ecotoxicity of Composts, *Waste Biomass Valor*, Vol. 9, pp. 1389-1398, 2018, doi: 10.1007/s12649-017-9916-y.
7. L. Zhang, X. Sun, Effects of bean dregs and crab shell powder additives on the composting of green waste, *Bioresource Technology*, Vol. 260, pp. 283-293, 2018, doi: 10.1016/j.biortech.2018.03.126.
8. M. K. Nguyen, C. Lin, H. G. Hoang, P. Sanderson et al., Evaluate the role of biochar during the organic waste composting process: A critical review, *Chemosphere*, Vol. 299:134488, 2022, doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.134488.
9. H. Wang, T. Shao, Y. Zhou, X. Long et al., The effect of biochar prepared at different pyrolysis temperatures on microbially driven conversion and retention of nitrogen during composting, *Heliyon*. Vol. 9, No. 3, e13698, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13698>.
10. P. Harris, On charcoal, *Interdisciplinary Science Reviews*, Vol. 24, No. 4, pp. 301-306, 1999, doi: 10.1179/030801899678966.
11. S. Pang, Advances in thermochemical conversion of woody biomass to energy, fuels and chemicals, *Biotechnology Advances*, Vol. 37, No. 4, pp. 589-597, 2019, doi: 10.1016/j.biotechadv.2018.11.004.
12. B. Glaser, L. Haumaier, G. Guggenberger, W. Zech, The 'Terra Preta' phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics, *The Science of Nature*, Vol. 88, No. 1, pp. 37-41, 2001, doi: 10.1007/s001140000193.
13. J. Wei, C. Tu, G. Yuan, Y. Liu et al., Assessing the effect of pyrolysis temperature on the molecular properties and copper sorption capacity of a halophyte biochar, *Environmental Pollution*, Vol. 251, No. 1, pp. 56-65, 2019, doi: 10.1016/j.envpol.2019.04.128.
14. W. Mu, H. Ben, A. Ragauskas, Y. Deng, Lignin Pyrolysis Components and Upgrading—Technology Review, *BioEnergy Research*, Vol. 6, pp. 1183-1204, 2013, doi: 10.1007/s12155-013-9314-7.
15. J. Fang, L. Zhan, Y. S. Ok, B. Gao, Minireview of potential applications of hydrochar derived from hydrothermal carbonization of biomass, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 57, pp. 15-21, 2018, doi: 10.1016/j.jiec.2017.08.026.
16. Y. Wang, R. Yin, R. Liu, Characterization of biochar from fast pyrolysis and its effect on chemical properties of the tea garden soil, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol. 110, No. 1, pp. 375-381, 2014, doi: 10.1016/j.jaap.2014.10.006.
17. W. J. Liu, H. Jiang, H. Q. Yu, Development of Biochar-Based Functional Materials: Toward a Sustainable Platform Carbon Material, *Chemical Reviews*, Vol. 115, No. 22, pp. 12251-12285, 2015, doi: 10.1021/acs.chemrev.5b00195.
18. U. Morali, S. Şensöz, Pyrolysis of hornbeam shell (*Carpinus betulus L.*) in a fixed bed reactor: Characterization of bio-oil and biochar, *Fuel*, Vol. 150, pp. 672-678, 2015, doi: 10.1016/j.fuel.2015.02.095.
19. D. Prabakar, V. T. Manimudi, S. Suvetha K, S. Sampath et al., Advanced biohydrogen production using pretreated industrial waste: Outlook and prospects, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 96, pp. 306-324, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.08.006.
20. L. Li, J. Rowbotham, H. C. Greenwell, P. W. Dyer, An Introduction to Pyrolysis and Catalytic Pyrolysis: Versatile Techniques for Biomass Conversion, *New and Future Developments in Catalysis: catalytic biomass conversion: book*, Topic 8, pp. 173-208, 2013, doi: 10.1016/B978-0-444-53878-9.00009-6.
21. S. S. Lam, H. A. Chase, Review on Waste to Energy Processes Using Microwave Pyrolysis, *Energies*, Vol. 5, No. 10, pp. 4209-4232, 2012, doi: 10.3390/en5104209.
22. J. A. Menéndez, A. Domínguez, Y. Fernández, and J. J. Pis, Evidence of Self-Gasification during the Microwave-Induced Pyrolysis of Coffee Hulls, *Energy & Fuels*, Vol. 21, No. 1, pp. 373-378, 2007, doi: 10.1021/ef060331i.
23. M. Miura, H. Kaga, A. Sakurai, T. Kakuchi et al., Rapid pyrolysis of wood block by microwave heating, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol. 71, No. 1, pp. 187-199, 2004, doi: 10.1016/S0165-2370(03)00087-1.
24. J. C. C. Quillope, R. B. Carpio, K. M. Gatdula, M. C. M. Detras et al., Optimization of process parameters of self-purging microwave pyrolysis of corn cob for biochar production, *Heliyon*, Vol. 7, No. 11, pp. 2405-8440, 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e08417.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.291329>

УДК 628.16

ВИРОБНИЦТВО І МОДИФІКАЦІЯ АКТИВОВАНОГО БІОВУГІЛЛЯ З ЛОКАЛЬНО-ДОСТУПНОЇ БІОМАСИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

Олексій ТОМІН

незалежний дослідник, м. Еспо, Фінляндія

e-mail: tomin.oleksii@ukr.net

Коли проблемні забруднювачі, такі як нутрієнти, природні органічні речовини (ПОР) або барвники, знаходяться в поверхневих водах, з'являється необхідність у додаткових методах очищення води, щоб зменшити їхній шкідливий вплив на здоров'я людини та навколишнє середовище [1]. ПОР безпосередньо впливає на якість процесу очищення води, сприяючи забрудненню мембран та конкуруючи з видаленням інших забруднюючих речовин [2]. Додатковий етап, такий як адсорбція, часто виконується як метод третинного очищення для видалення такого забруднення. Процес адсорбції широко використовується для більш повного очищення питної води. Традиційно адсорбцію зазвичай проводять активованим вугіллям (АВ). Однак АВ не можна вважати екологічно чистим матеріалом. Активоване вугілля здебільшого виготовляється з кам'яного вугілля, видобуток і транспортування якого до кінцевих споживачів має значний вуглецевий слід [3]. Таким чином, біологічне АВ (БАВ), вироблене з локально-доступної, місцевої біомаси, стає все більш популярним як заміник традиційного АВ [4].

Подібно до АВ, БАВ є результатом термічної обробки сировини в середовищі з обмеженим вмістом кисню (піролізу), отже БАВ є відносно простим і економічно ефективним у виробництві. Перевагами БАВ, окрім місцевої доступності та відновлюваного походження сировини, є висока питома поверхня та пористість. Крім того, після використання у очищенні води, відпрацьований БАВ може бути використаний як вторинний матеріал, наприклад, як добриво [5]. Однак найбільшою, але маловивченою перевагою БАВ є можливість задавання їх кінцевих властивостей під час виробництва. Параметри виробництва, метод активації або тип біомаси впливають на кінцеві властивості БАВ. Таким чином, контролюючи температуру піролізу та метод активації, можна створювати специфічні сорбенти для покращеного видалення цільових забруднюючих речовин.

БАВ можна виробляти з багатьох типів біомаси, таких як водорості, рисове лущиння, кістки тварин, тощо. Наприклад, останні дослідження демонструють ефективне видалення антибіотиків [6] або важких металів [7] за допомогою БАВ, виробленими з місцевої біомаси. Тим не менш, найпоширенішими джерелами біомаси є побічні продукти лісового господарства та сільського господарства [8]. Щодо варіативності способів виробництва БАВ, поширеними методами є швидкий, повільний та мікрохвильовий піроліз [9]. Температура піролізу є одним із ключових факторів, що визначає властивості БАВ. Тоді як низькотемпературний (200-300 °С) піроліз призводить до пористого БАВ з низьким вмістом кисню та водню, високі температури (600-800 °С) призводять до збільшення площі поверхні та гідрофобності [10]. Виробництво може включати стадію активації, яка може бути фізичною

або хімічною. Фізична активація збільшує пористість за допомогою високих температур в окисному середовищі. Переважними агентами активації, які використовуються для такого методу, є CO_2 або водяна пара [9]. При хімічній активації біомаса реагує з хімічним активатором - кислотою, лугом або сіллю, під час термічної обробки. Хімічна активація покращує властивості БАВ шляхом окислення його поверхні та введення функціональних груп у його структуру. Створені функціональні групи полегшують специфічні взаємодії на поверхні адсорбенту, наприклад π - π взаємодії, полярні/електростатичні взаємодії, тощо. Такі взаємодії покращують ефективність адсорбції забруднюючих речовин із води [11].

Останніми роками виробництво та активація БАВ широко вивчалася для застосувань БАВ у очищенні води. Тим не менш, досі відсутні фундаментальні та систематичні знання про вплив типу біомаси та умов активації на кінцеві властивості адсорбенту [12]. В літературі бракує знань щодо створення селективних вуглецевих адсорбентів за допомогою модифікації БАВ і механізм створення таких адсорбентів недостатньо досліджений. Це дослідження має на меті частково заповнити цю прогалину в знаннях.

За основу цього дослідження взято припущення що властивості БАВ можна змінювати та проектувати за допомогою контролю параметрів виробничого процесу для створення БАВ для конкретних цільових застосувань. Ілюстрацію цієї гіпотези можна знайти на рис. 1. Іншими словами, створення певної структури пор і хімічного складу поверхні БАВ є процесом вибору правильної процедури виробництва. Правильна процедура виробництва дозволяє створити БАВ з покращеними властивостями для адсорбції певного цільового забруднювача, що робить БАВ селективним.



Рис.1. Ілюстрація гіпотези, синя та зелена лінії представляють можливі шляхи вибору параметрів виробництва та результати цього вибору

У цьому дослідженні БАВ був вироблений з тирси – простої та доступної деревної біомаси. Спочатку біомасу було карбонізовано за допомогою низькотемпературного піролізу (300 °C). Потім отримане БАВ активували двома різними хімічними речовинами – хлоридом заліза та міді (мокре просочення). Нарешті, активований БАВ повторно піролізували високотемпературним піролізом (800 °C). Отримані зразки БАВ було названо вугілля активоване залізом (ВАЗ) і вугілля активоване міддю (ВАМ). Окремо було створено БАВ за тією ж схемою але без додавання активаційного агента, як зразок для порівняння – не активоване вугілля (НАВ). Для ідентифікації селективності було проведено тест з використанням природної озерної води, забрудненої органічними сполуками і фосфором. Для цього певну кількість БАВ помістили у розчин і залишили на шейкері на дві години. Після

проходження заданого часу БАВ було відфільтровано з розчину. Тест було виконано з трьома репліками.

Результати дослідження представлені на рис. 2а. ВАЗ було спроможне видалити 86 % фосфору і лише 8 % органічних речовин. Грунтуючись на отриманому результаті можна сказати що ВАЗ проявило селективність до фосфору. Крім того, окремою перевагою модифікацію БАВ за допомогою солі заліза є магнітні властивості такого вугілля (рис. 2б). Магнітні властивості спрощують видалення вугільного порошку з води. ВАЗ, що адсорбував фосфати, можна згодом вторинно використовувати як добриво повільної дії, тим самим регенеруючи фосфор, який є вичерпним ресурсом.

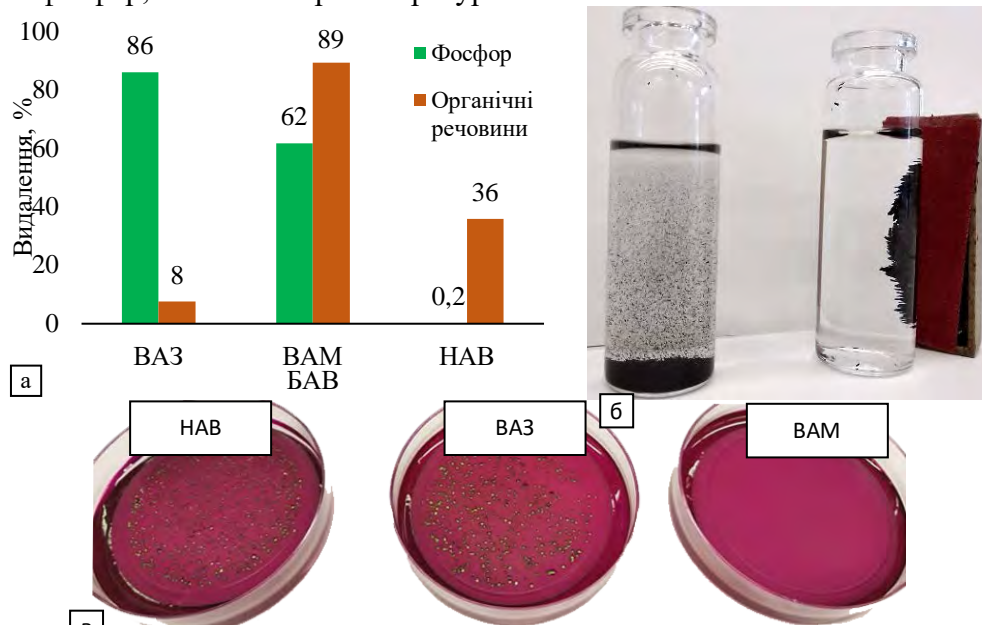


Рис.2. а) Адсорбція бінарної суміші органічних речовин (ХПК 16 мг/л) і фосфору (10 мг/л); б) Магнітні властивості ВАЗ; в) Дослідження інактивації E-coli бактерій на НАВ, ВАЗ і ВАМ

ВАМ видалило до 90 % органічних речовин з розчину і 62 % фосфору. Отже результат протилежний порівняно з ВАЗ. ВАМ має гірші показники адсорбції фосфору але натомість селективний до органічних сполук. Додатковою властивістю ВАМ є значний антимікробний ефект, що підтверджує дослідження на бактеріях E-coli (рис. 4).

В свою чергу зразок НАВ показав неспроможність у адсорбції фосфору, але за рахунок пористості, отриманої за високої температури піролізу, видалив з розчину 36% органічних сполук. При цьому, з Таблиці 1 видно, що питома поверхня НАВ найбільша серед отриманих зразків БАВ, за рахунок того що кристали активаційних агентів займають місце у порах і зменшують питому поверхню ВАЗ і ВАМ.

Отримані результати підтверджують гіпотезу щодо модифікації БАВ і можливості впровадження необхідних властивостей, таких як селективність, у БАВ в процесі виробництва. Порівняння модифікованих БАВ з НАВ виявило, що хоча НАВ мало більшу площу питомої поверхні, ніж ВАЗ і ВАМ, воно не було спроможне до адсорбції. Таким чином, площа поверхні не є ключовим фактором адсорбції цільових забруднювачів, але БАВ повинен мати відповідні функціональні групи (такі як оксид заліза чи міді) на своїй поверхні для комплексоутворення з забруднюючими речовинами.

Таблиця 1. Основні характеристики поверхні БАВ

Зразок	Питома поверхня, м ² /г	Об'єм пор, см ³ /г	Розмір пор, нм
ВАЗ	101	0.28	12.2
ВАМ	98	0.11	4.3
НАВ	570	0.29	2.3

Наведений вище приклад модифікації БАВ є частиною великого дослідження з створення, модифікації і використання БАВ для конкретних цілей. На поточному етапі дослідження вже було порівняно як змінюватися адсорбційна здатність і властивості БАВ, виробленого за аналогічних умов виробництва, але з різної біомаси, за різних методів активації, за різних температур, тощо. Наступними етапами дослідження буде використання модифікованих БАВ у пілотному масштабі і оптимізація процесу. Модифікований БАВ з деревної біомаси буде вироблятися у великих масштабах у повномасштабній печі та використовуватися в пілотній колоні безперервного потоку для очищення озерної води. Пілотний проект включає порівняння ефективності адсорбції виробленого БАВ з кількома іншими конвенційними АВ, які існують на ринку.

Література:

- [1] T. Rasheed, M. Bilal, F. Nabeel, M. Adeel, and H. M. N. Iqbal, "Environmentally-related contaminants of high concern: Potential sources and analytical modalities for detection, quantification, and treatment," *Environ. Int.*, vol. 122, pp. 52–66, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.envint.2018.11.038.
- [2] A. Matilainen, M. Vepsäläinen, and M. Sillanpää, "Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review," *Adv. Colloid Interface Sci.*, vol. 159, no. 2, pp. 189–197, Sep. 2010, doi: 10.1016/j.cis.2010.06.007.
- [3] M. H. Kim, I. T. Jeong, S. B. Park, and J. W. Kim, "Analysis of environmental impact of activated carbon production from wood waste," *Environ. Eng. Res.*, vol. 24, no. 1, pp. 117–126, 2019, doi: 10.4491/eer.2018.104.
- [4] S. Wu and H. Wu, "Incorporating Biochar into Wastewater Eco-treatment Systems: Popularity, Reality, and Complexity," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 53, no. 7, pp. 3345–3346, Apr. 2019, doi: 10.1021/acs.est.9b01101.
- [5] Y. Zheng *et al.*, "Reclaiming phosphorus from secondary treated municipal wastewater with engineered biochar," *Chem. Eng. J.*, vol. 362, pp. 460–468, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.cej.2019.01.036.
- [6] X. Fan, Z. Qian, J. Liu, N. Geng, J. Hou, and D. Li, "Investigation on the adsorption of antibiotics from water by metal loaded sewage sludge biochar," *Water Sci. Technol.*, no. wst2020578, Dec. 2020, doi: 10.2166/wst.2020.578.
- [7] H. Deng *et al.*, "Removal of Zn(II), Mn(II) and Cu(II) by adsorption onto banana stalk biochar: adsorption process and mechanisms," *Water Sci. Technol.*, vol. 82, no. 12, pp. 2962–2974, Nov. 2020, doi: 10.2166/wst.2020.543.
- [8] M. Tripathi, J. N. Sahu, and P. Ganesan, "Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 55, pp. 467–481, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.10.122.
- [9] A. K. Sakhiya, A. Anand, and P. Kaushal, "Production, activation, and applications of biochar in recent times," *Biochar*, vol. 2, no. 3, pp. 253–285, Sep. 2020, doi: 10.1007/s42773-020-00047-1.
- [10] H. S. Kambo and A. Dutta, "A comparative review of biochar and hydrochar in terms of production, physico-chemical properties and applications," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 45, pp. 359–378, May 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.01.050.
- [11] W. Gwenzi, N. Chaukura, C. Noubactep, and F. N. D. Mukome, "Biochar-based water treatment systems as a potential low-cost and sustainable technology for clean water provision," *J. Environ. Manage.*, vol. 197, pp. 732–749, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.jenvman.2017.03.087.
- [12] X. Tan *et al.*, "Biochar as potential sustainable precursors for activated carbon production: Multiple applications in environmental protection and energy storage," *Bioresour. Technol.*, vol. 227, pp. 359–372, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.biortech.2016.12.083.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.290919>

UDC 579.66

A NOXIOUS WEED *AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA* L. AS A SUSTAINABLE FEEDSTOCK FOR METHANE PRODUCTION AND METALS IMMOBILIZATION

Oleksandra SHABLIY¹, Olesya HAVRYLIUK²,
Vira HOVORUKHA², Oleksandr TASHYREV²

¹Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

37, Beresteyskyi Avenue, 03056 Kyiv, Ukraine

²Zabolotny Institute of Microbiology and Virology, National Academy of Sciences of Ukraine

154, Akademika Zabolotnoho St, 03143 Kyiv, Ukraine

e-mail: alexandra.shably@gmail.com

Noxious weeds are widespread in the countries of Europe, America, and Asia and pose a significant danger to the environment. The toxic metabolites of invasive plants have a greater impact on the plants and microorganisms that live in those biogeocenoses. Many of them, for example, the *Ambrosia* genus, also pose a danger to human health, causing allergic reactions as well as skin and respiratory tract irritation. In addition, invasive weeds can rapidly colonize agricultural and urban lands, inhibit the growth of valuable agricultural crops (allelopathic effect), and reduce the harvest. Thus, the problem of spreading these plants entails serious economic and social consequences. The plant *Ambrosia artemisiifolia* (family *Asteraceae*) is an especially noxious weed that can cause significant human health damage [1, 2].

Ragweed biomass is considered as a valuable energy resource. The feedstocks generated from weed biomass are sustainable sources for the production of biologically active substances (such as flavonoids, phenolic compounds, vitamins, etc.) or biogas production (methane or hydrogen). This weed can be used as a source of organic substances, in particular carbohydrates, which will ensure high efficiency in biogas production. The concentration of cellulose, lignin, and hemicellulose in the ragweed biomass ranges from 25.3% to 30.9%, 24.2% to 28.3%, and 13.1% to 17.7%, respectively. Due to the high content of these compounds, ragweed is extremely valuable for the microbial synthesis of biofuels (H₂ and CH₄ gases) [3, 4].

This work aimed to confirm experimentally the capability of ragweed degradation, methane production, and simultaneous detoxification of sewage from toxic compounds of heavy metals (copper, chromium, and iron) by a diversified microbial community. The objective was to evaluate the biotechnological potential of ragweed as a new renewable energy source.

Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) dried biomass was used as a feedstock for CH₄ production and heavy metal immobilization. Ragweed biomass was collected in September 2022 at Sofiivska Borshchahivka village (Kyiv region, Ukraine) during active flowering.

Sludge from the sewage treatment plant in Kyiv was used as an inoculum and source of a diversified microbial community (DMC). It contained a large number of different physiological groups of microorganisms with cellulolytic activity as well as methane-producing bacteria.

To determine the patterns of *Ambrosia* degradation by a diversified microbial community (in syntrophic association), we performed five variants of the experiment: The first was the control variant (degradation of the ragweed by the native microbiome of *Ambrosia artemisiifolia* L. without using additional inoculum). The second variant was experimental (degradation of *Ambrosia artemisiifolia* L. by a diversified microbial community). The diversified microbial community was also used as an inoculum in the third, fourth, and fifth variants. Copper (II), chromium (VI), and iron (III) were inserted into different anaerobic jars in the active phase of degradation (42 days) at a concentration of 500 mg L⁻¹. The active phase of fermentation was observed on the 42nd day of degradation, during which a significant amount of anaerobic biomass was present along with a low redox potential and active methane synthesis. These conditions were favorable for the microbial immobilization of metals.

Several metabolic parameters were measured, including cumulative gas production (mL), gas phase concentration (% of CH₄ and CO₂), dissolved organic carbon concentration (DOC, mg L⁻¹), pH, and redox potential (Eh, mV).

Solutions of copper, chromium, and iron were added into the anaerobic jars (bioreactor) with tap water and *Ambrosia artemisiifolia* L. dried biomass at the 42nd hour of cultivation to the final concentrations of 100, 200, 500, and 1000 mg L⁻¹ in the active phase of microbial growth. It was necessary to determine the level of resistance of the microbial community and the concentration at which maximum heavy metal immobilization would occur. Immobilization occurred in the anaerobic jars due to the active growth of a diversified microbial community (inoculum). The active phase of degradation was dominated by methanogenic microorganisms that consumed the hydrolysis products of ragweed (acetate, glucose, and hydrogen) and synthesized methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂). Methanogenic microorganisms actively immobilized copper compounds in the active phase of growth at concentrations of 100, 200, and 500 mg L⁻¹ (Fig 1)

The efficiency of immobilization in the variants with 100, 200, and 500 mg L⁻¹ Cu(II) was 100%. As expected, the fastest immobilization occurred in the presence of 100 mg L⁻¹ Cu(II). The duration of complete immobilization was 6 h. Cu(II) compounds also precipitated gradually at the other concentrations. However, the immobilization durations were 12 and 30 h at 200 mg L⁻¹ and 500 mg L⁻¹, respectively.

Chromium turned out to be more toxic than copper. Thus, effective immobilization occurred only in the presence of 100 and 200 mg L⁻¹ Cr(VI)

The methanogenic microbial community immobilized iron with the lowest efficiency compared to copper and chromium immobilization. Methanogens reduced Fe(III) to Fe(II), which then precipitated as insoluble compounds of divalent and trivalent iron (Fig 2).

Intensive degradation of ragweed biomass was confirmed by significant methane synthesis in experimental variants where the inoculum was DMC from a sewage treatment plant. Cumulative methane production in the control was only 130 mL in the variant with DMC inoculum and under the influence of copper, it was 1120 mL and 735 mL. Thus, copper inhibited methane production by 1.5 times. Similar patterns of changes in the concentration and carbon dioxide synthesis were also observed in both the control and the experimental variants. The cumulative production of CO₂ in the control was 170 mL, in the variant with DMC inoculum, 1350 mL, and in the variant with copper, 1134 mL (Fig 3).

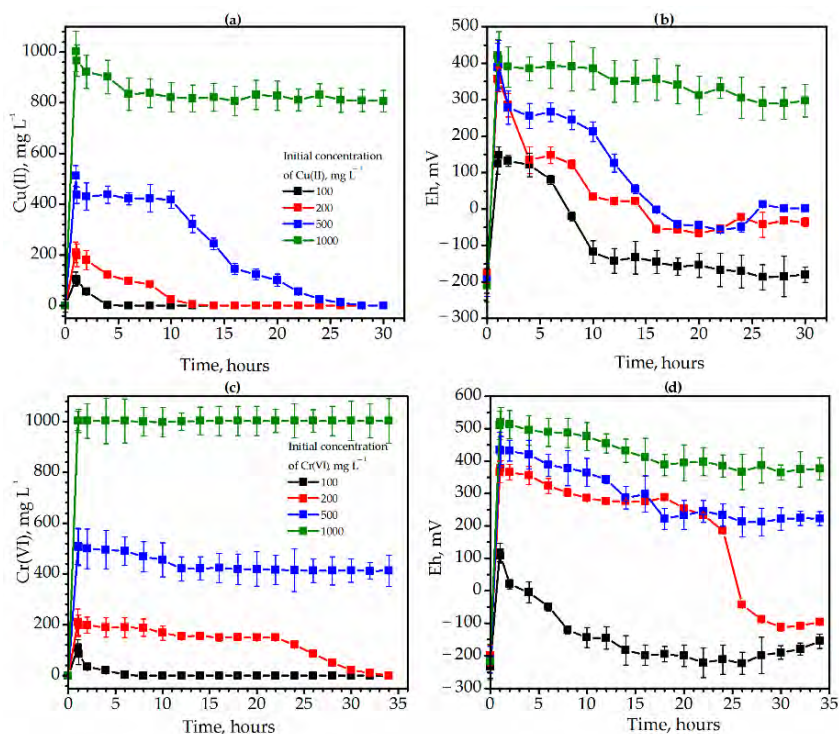


Fig 1. The dynamics of Cu(II) (a) and Cr(VI) (c) immobilization and Eh (b,d) during degradation of *Ambrosia artemisiifolia* L. weed in the presence of 100 (black lines), 200 (red lines), 500 (blue lines), and 1000 (green lines) mg L⁻¹ Cu(II) (a,b) and Cr(VI) (c,d).

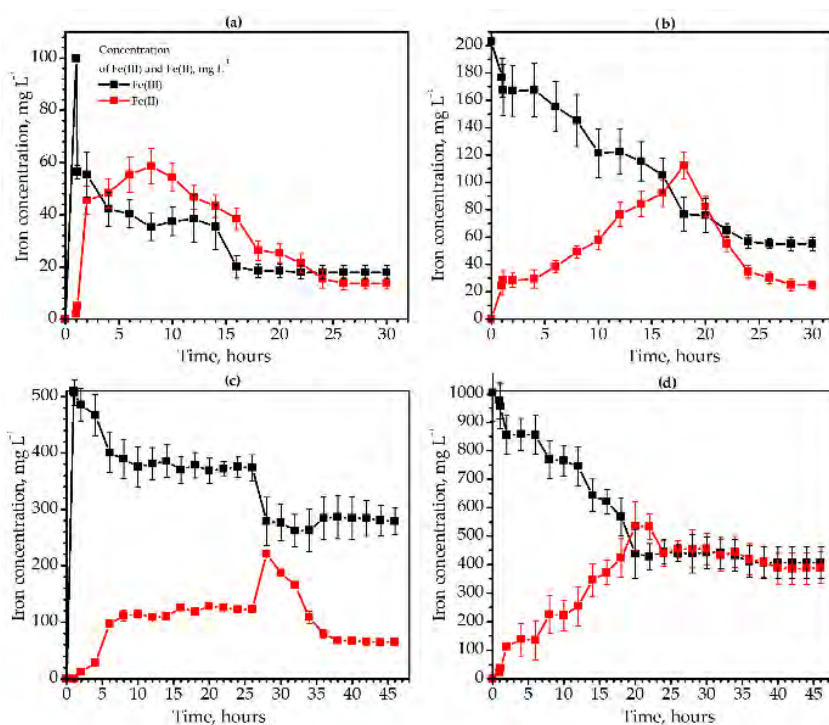


Fig 2. The dynamics of the iron (Fe (II) and Fe (III)) immobilization by the methanogenic microbial community during degradation of *Ambrosia artemisiifolia* L. weed at the initial concentrations of 100 (a), 200 (b), 500 (c), and 1000 (d) mg L⁻¹ Fe (III).

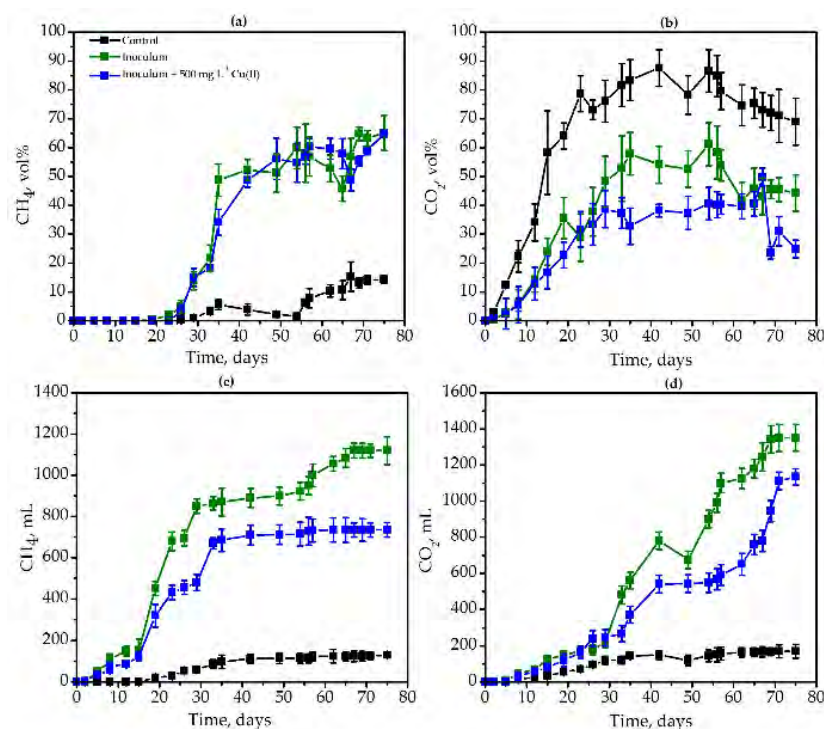


Fig 3. The dynamics of the CH₄ (a) and CO₂ (b) concentration as well as methane (c) and carbon dioxide (d) production during the degradation of *Ambrosia artemisiifolia* L. weed: the degradation in control conditions with the native microbiome (black lines), the degradation by inoculum (DMC, green lines), as well as under the influence of 500 mg L⁻¹ Cu(II) (blue lines).

The methane and carbon dioxide yields during the degradation of ragweed biomass were calculated. This also confirmed the high efficiency of ragweed degradation by a diversified microbial community (Table 1).

Table 1. The effectiveness of ragweed degradation in the presence of heavy metals

Treatments	CH ₄ Max, vol. %	CH ₄ Yield, L kg ⁻¹ TS _{plant}	CO ₂ Yield, L kg ⁻¹ TS _{plant}	K _d , Times
Control with native bacteria	14.3 ± 1.3	6.5 ± 2.2	8.5 ± 2.1	2.3 ± 0.4
Inoculum of DMC	65.1 ± 6.1	56.0 ± 7.3	67.5 ± 8.0	19.2 ± 5.4
500 mg L ⁻¹ Cu(II)	64.9 ± 11.3	38.4 ± 4.6	56.7 ± 9.1	11.3 ± 3.7
500 mg L ⁻¹ Cr(VI)	53.1 ± 11.3	22.4 ± 4.2	34.1 ± 5.4	5.3 ± 1.5
500 mg L ⁻¹ Fe(III)	64.3 ± 8.1	49.7 ± 5.3	68.9 ± 7.2	18.4 ± 5.2

The obtained results demonstrate the high effectiveness of using a diversified microbial community in sewage treatment plants for the degradation of *Ambrosia artemisiifolia* L., a noxious plant. Microorganisms in the syntrophic association have shown promise for the utilization of

ragweed and the synthesis of biogas, as well as the complete immobilization of toxic copper compounds. Ragweed biomass was effectively degraded with methane production, indicating its capability as a sustainable feedstock for renewable energy carriers.

References

1. Leru, P.M.; Anton, V.F.; Eftimie, A.M.; Stefanut, S. Biologic Pollution Due to Ambrosia (Ragweed) Pollen in Urban Environment of Bucharest. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19, 10613
2. Han, C.; Shao, H.; Zhou, S.; Mei, Y.; Cheng, Z.; Huang, L.; Lv, G. Chemical composition and phytotoxicity of essential oil from invasive plant, *Ambrosia artemisiifolia* L. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2021, 211, 111879
3. Voća, N.; Bilandžija, N.; Peter, A.; Krička, T. Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) Biomass as a Source for Energy Production. *Technol. Acta-Sci. J. Chem. Technol.* 2020, 13, 17–22
4. Janačković, P.; Rajčević, N.; Gavrilović, M.; Novaković, J.; Radulović, M.; Miletić, M.; Janakiev, T.; Dimkić, I.; Marin, P.D. Essential Oil Composition of *Ambrosia artemisiifolia* and Its Antibacterial Activity against Phytopathogens. *Biol. Life Sci. Forum* 2022, 15, 22.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.291903>

УДК 662.569:631.816:631.816.35

ПОРІВНЯННЯ ВПЛИВУ ДІГЕСТАТУ, ЩО МІСТИТЬ ДОДАТКОВЕ ДЖЕРЕЛО МІКРОЕЛЕМЕНТІВ, НА РІСТ РОСЛИН В ПЕРШІ 2 ТИЖНІ ВЕГЕТАЦІЇ

Андрій ШИНКАРЧУК^{1,2}, Наталія ГОЛУБ²,
Мальвіна КОЗЛОВЕЦЬ³, Олександр КОЗЛОВЕЦЬ⁴

¹Збройні сили України, 30-та механізована бригада

²Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

пр. Берестейський, 37, м. Київ 03056, Україна

³ТОВ «Про-Енерджі»

вул. Велика Васильківська 24/1, м. Київ 01024, Україна

⁴ТОВ «Міамато Інтернешнл Україна»

вул. Володимирська, 10, м. Київ 01001, Україна

e-mail: malvina.schinkarchuk@gmail.com

На сьогодні гостро постає питання органічного вирощування продукції сільськогосподарського виробництва без застосування добрив хімічного походження. В органічному виробництві останні кілька років стали використовувати дігестат – побічний продукт ферментації з виробництва біогазу. За рахунок вмісту легкодоступних форм азоту, фосфору, калію, сульфуру та мікроелементів, дігестат є повноцінним добривом, яке завдяки своїм властивостям може замінити мінеральні добрива [1]. Через економічні складнощі, пов'язані з пандемією, а потім і воєнним станом, фермери та виробники традиційної (не органічної) сільськогосподарської продукції в пошуку доступнішого добрива також стали розглядати та використовувати дігестат з біогазових станцій, які розташовуються відносно неподалік до місця внесення добрива, чим також скорочують витрати на вартості транспортування добрива. Однак, серед багатьох виробників рослинної с/г продукції існують сумніви щодо використання дігестату як добрива через тривале накопичення та зберігання в спорудах відкритого типу та втрату в дігестаті джерела азоту, який виділяється в повітря в процесі зберігання.

Тому метою нашого дослідження було показати вплив різних фракцій дігестату на розвиток пшениці та кукурудзи, а саме на етапах сходів.

Дігестат використовують у сільському господарстві у двох видах: рідкому та твердому. Згідно літературних даних дігестат містить ряд поживних речовин, таких як: азот: 2,3-4,2 кг/т, фосфор: 2-2,5 кг/т, калій: 1,3-8,8 кг/т, мікроелементи, що грають істотну роль в розвитку культур (Ca, Mg, Mn, B, Fe) [2, 3]. Окрім цього, дігестат містить органічний вуглець, у тому числі в складі гумінових речовин (1-3 % по масі), має високу частку доступного для рослин азоту (10...70 % у порівнянні з незбродженими матеріалами), оптимальне для ґрунту співвідношення C:N, оптимальне для ґрунту значення показника рН 6,8-7,5 [2].

В дослідженні використовували дигестат з діючої біогазової станції «Каліпсо-Біогаз». Дигестат розділили на рідку і тверду фракцію за допомогою лабораторного сита (розмір комірок 0,5 мм). Рідку фракцію зберігали при температурі 4 °С в холодильнику, при внесенні в ґрунт нагрівали до кімнатної температури. Тверду фракцію сушили в термостаті при температурі 40 °С, після сушіння подрібнювали у зернодробарці та зберігали в герметичній ємності при кімнатній температурі.

В дослідженні використовували стерилізований ґрунт PLANTAGROW Універсальний (рН 5,0-7,0, виробник Україна). До наважки ґрунту (25 г) додавали добриво і змішували суміш в зернодробарці, звідки переносили у пластикові ємності для вирощування культур. Норми внесення добрив, які вказано в таблиці, приймали за аналогією з твердим гноем великої рогатої худоби (ВРХ) та гноївкою для кожної культури окремо [4], норми внесення перерахували з т/га в г/см².

У якості рослин для пророщування були обрані культури, які найбільш популярні для України: пшениця та кукурудза. Пшениця яра сорту Надра (ННЦ «Інститут землеробства НААН», Україна) за описом виробника насіння демонструє прекрасну стійкість до посухи, вилягання, осипання, до поширених захворювань, шкідників. Рекомендовані зони для вирощування – Полісся, Лісостеп України. Тип сорту – інтенсивний. Група стиглості – середньорання. Вегетаційний період – 102-104 дні. Потенціал врожайності – 70 ц/га. Кукурудза цукрова Делікатесна («Наша грядка», Україна) – ранньостиглий сорт. За описом виробника насіння вегетаційний період від сходів до технічної стиглості складає 80-90 днів. Рослина середньоросла, теплолюбна, вимоглива до світла, не виносить затінення, чутлива до поливу.

Для прискорення пророщування зерно замочували у звичайній воді на 1 добу. Посів проводили лунковим способом, забезпечували щоденний полив, світловий режим був наближений максимально до природних умов (квітень-травень) при кімнатній температурі. На кожний досліджуваний зразок суміші ґрунт-добриво сіяли по 10 зернин. Дослід проводили тричі. Максимальний термін експозиції – 14 діб.

Результати дослідження наведено в таблиці та на рисунку нижче.

Таблиця 1. Результати вирощування пшениці та кукурудзи під дією дигестату

Культура	Фракція дигестату, концентрація	Висота рослин на 14 добу, мм	Збільшення приросту порівняно з контролем, %
Кукурудза	Контроль (без дигестату)	194,6±7,01	-
	Рідка (2 т/га)	215,5±8,67	10,74
	Тверда (15 т/га)	214,9±8,56	10,43
Пшениця	Контроль (без дигестату)	200,6±8,83	-
	Рідка (2 т/га)	210,1±7,7	4,74
	Тверда (35 т/га)	215,1±11,2	7,23

Пшениця, яку вирощували з додаванням твердої фракції у кількості 35 т/га, показала найкращий результат – середня висота стебел пшениці становить 215,1±11,2 мм на 14 добу вирощування, що на 7,23% більше, ніж середня висота контрольного зразка (ґрунт без додавання дигестату). Для зразків рідкої фракції найбільш продуктивною концентрацією виявилась 2 т/га – висота рослин на 4,74 % більша, ніж середня висота контрольного зразка. Отже, використання рідкої та твердої фракції у якості добрива для пшениці сприяє швидшому приросту зеленої маси на 4,74-7,23 % порівняно з контролем.



Рис. 1. Результати вирощування кукурудзи на 5 добу та на 14 добу.

Результати вирощування кукурудзи при застосуванні рідкої та твердої фракції дигестату показали, що раціональним вмістом для покращення росту рослин є 2 т/га та 15 т/га відповідно. Концентрація твердої фракції 25 т/га показала результати дещо менші, ніж концентрація 15 т/га – $217,2 \pm 8,63$ мм, що всього на 0,36% менше, ніж при концентрації 15 т/га. Рідка фракція при концентраціях 1 і 1,5 т/га показує ріст рослин $209,9 \pm 6,21$ і $210,6 \pm 8,9$ мм відповідно, що на 3% менше, ніж при концентрації 2 т/га. Отже, як рідка, так і тверда фракція може використовуватися як органічне добриво для вирощування кукурудзи. Раціональні норми внесення добрив для отримання рослин з покращеним ростом на стадії 14 днів вирощування становлять 2 т/га рідкої фракції та 15 т/га твердої фракції.

З урахуванням можливості використання відходів кукурудзи у якості ко субстрату для коферментації жиромісних відходів, застосування дигестату як добрива для вирощування культури сприяє створенню замкнутого циклу виробництва.

Отже, використання дигестату як у рідкому так і в твердому вигляді у якості добрив для вирощування пшениці та кукурудзи позитивно впливає на ріст і розвиток рослин. За використання дигестату при вирощуванні пшениці можна інтенсифікувати ростові процеси рослин рослин на 4,74-7,23 %, а при вирощуванні кукурудзи можна покращити приріст рослин на 10% при нормі внесення 2 т/га рідкої фракції та 15 т/га твердої фракції відповідно.

Література:

1. Мельник ВО. Хімічний склад пташиного посліду [Інтернет]. Київ: Державна дослідна станція птахівництва НААН; 2013 [цитовано 2023 Лист. 29]. Доступно на: <http://avianua.com/index.php/statti-z-ptakhivnistva/tehnologiya-ptakhivnistva/12-ptashinij-poslid-himichnyj-sklad>
2. Chiew Y. L., Spangberg J., Baky A. Environmental impact of recycling digested food waste as a fertilizer in agriculture – A case study. Resources, Conservation and Recycling; 95; 2015; 1-14 p.
3. Paterson M, Kuhn W. Biogas manual – from production to use. 5th ed. Gülzow (GER): Special Renewable Resources Agency; 2010; 232 p.
4. Корнієнко СІ, Гончаренко ВЮ, Ходєєва ЛП, Гладкіх РП, Парамонова ТВ, Куц ОВ, та ін. Удобрення овочевих та баштанних культур: Монографія. Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД»; 2014. 370 с.

СТРАТЕГІЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ У КОНТЕКСТІ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Секція № 3



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.291564>

UDC 628.35

SUSTAINABLE STORMWATER TREATMENT AND MANAGEMENT – SWEDISH EXAMPLES

Lena JOHANSSON WESTHOLM

Mälardalen University

p.o. box 883 SE-721 23 Västerås, Sweden

e-mail: lena.johansson.westholm@mdu.se

Climate changes such as extended periods with increased temperatures, intense precipitation in some areas and severe drought in others are challenges that we must face from now on [1]. In Sweden, many municipalities have adopted municipal plans for climate change adaptation in which increased precipitation causing flooding, elevated temperatures, and rise of the sea level among other climate challenges are included. The plans for climate change adaptation must be throughout the built environment when densifying or developing new housing districts and further in existing buildings and in the dimensioning of preparedness [2].

The amounts of stormwater are expected to increase when precipitation events such as cloudburst are expected to be more intense and frequent. Today, our cities consist of paved surfaces, and excess water that falls as precipitation have nowhere to go since sewer systems are not adapted to these water volumes. In Sweden, torrential rain events have occurred in recent years, the cities Malmö and Gävle were hit by cloudbursts in 2014 and 2021, respectively. In both cases, the consequences were detrimental regarding buildings and the technical infrastructure.

In addition to large stormwater volumes, stormwaters are regarded as polluted. The types of pollutants differ depending on the land-use in the area where the stormwater is generated [3]. Typical pollutants present in urban stormwater are sediments, nutrients, e.g., nitrogen (N) and phosphorus (P), heavy metals and organic compounds. These pollutants are regarded as priority pollutants and are found on the list of selected stormwater priority pollutants (SSPP) (ibid.). These pollutants must be removed at the same time as the large water volumes are managed.

There are different options to manage and treat large volumes of stormwater. According to the Swedish Environmental Protection Agency (SEPA), the urban planning must include methods to relieve the existing sewers, but also to treat and manage stormwater in a sustainable way. Stormwater should be regarded as a resource, that it should be treated and managed locally, that cloudbursts are considered, and that the future management of the stormwater facilities can be maintained in a sustainable way. Examples of sustainable solutions for treatment and management of stormwater that fulfil these criteria are for instance constructed wetlands, biofilters of various kinds, green roofs or facilities based on filter substrates. These methods can be regarded as Low Impact Development (LID) solutions, or green technologies, since they aim to increase the infiltration and at the same time, treat the stormwater commonly polluted with nutrients, heavy metals, and organic substances.

LID solutions have been implemented world around. In China, several newly built cities have been constructed as “sponge cities” with extensive green areas, tree plantations and surface water ponds and similar [4]. Stormwater facilities based on filter substrates have been implemented as well

[5]. Constructed wetlands have been built to treat and manage stormwater. In Sweden, sponge cities have not been constructed, but several other LID-solutions have been implemented. Constructed wetland systems and filter substrate-based methods have been constructed in different cities. The aim with the present paper is to provide a range of recent examples of LID-solutions that have been used to treat and manage large volumes of stormwater in Sweden.

Many Swedish municipalities have adopted municipal plans for climate change adaptation, while other municipalities are in the process of developing these plans. The climate change adaptation plans might include different LID-solution facilities to treat and manage stormwater. These facilities look different depending on local conditions. Below, some examples of LID-solution facilities are described.

Constructed wetlands

In the city of Västerås, 90 km west of Stockholm, a constructed wetland was built a few years ago [6]. The aim was to treat and manage the stormwater, and at the same time, create an area that could both serve as recreational area and strengthen the biodiversity.

The constructed wetland, the Johannisberg Wetland Park, is a multifunctional park covering 14.5 ha. The Wetland Park receives stormwater (maximum 700 l/s) from a stream originating from the western parts of Västerås city. The park consists of four open ponds that are connected, see Figure 1. In the first pond, the speed of the incoming stormwater from the stream slows down and pollutants that come with the stormwater settles on the bottom of the pond. The second pond is planted with aquatic species that filter the stormwater, thus pollutants such as nitrogen (N) and phosphorus (P) are assimilated by the plants. The third and fourth ponds are sedimentation ponds in which pollutants settle on the bottom of the ponds. Through the pond system, approximately 40-60% of the incoming heavy metals and the phosphorus have been removed [7] before the water is released into Lake Mälaren from which raw water is extracted and used for production of drinking water in Västerås.

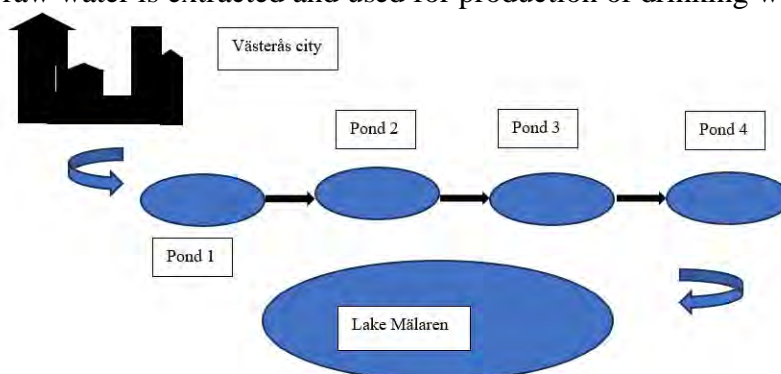


Figure 1. Principal design of the Johannisberg Wetland Park in Västerås, Sweden

Except for treating and managing stormwater, the Johannisberg Wetland Park also serves as a recreational area for the citizens in Västerås. There are resting places along the walkways where people can stop for a while, watching the scenery. Further, the wetland park contributes to the biodiversity being the habitat for several bird species [6]. The area is also a habitat for bats.

Filter-based LID-solutions

Filter-based solutions have been used world-over to treat and manage stormwater of diverse kinds [5]. The filters have been included in several types of facilities and have for instance been used for treatment of roof runoff or road runoff. Milovanović *et al.* [8] investigated the removal capacity of zeolite regarding copper (Cu) in the first place, but aluminium (Al), sodium (Na) and zinc (Zn) were measured as well. The investigation was carried out as field experiment in Stockholm, it lasted for 16

months, and the authors could report that total-Cu was reduced with 52-82% while the corresponding reduction for dissolved Cu was 48%–85%. Another experiment based on filter materials have been carried out as a pilot-investigation located close to a thoroughfare in Stockholm. In the experiment, stormwater from the thoroughfare was led to a grit-chamber before being fed to sand-filled columns [9]. The aim with the pilot-test was to investigate the removal of copper and zinc from the road runoff. After 7 months, it was reported that the removal was 67% for total-Cu and 93% for total-Zn. The corresponding removal rates were 19% for dissolved Cu and 87% for dissolved Zn, respectively. The sand in the columns still had capacity to remove both Cu and Zn.

Park areas

Already existing park areas are in some cases transformed to meet torrential rain events. One such example is the Rålambshov Park located in the central part of Stockholm. The Park has for many years been a popular place to go for recreational purposes, it is located close to Lake Mälaren, thus it is a popular place to go swimming. Other activities and events are frequently arranged in the park [10]. Some of the park areas, e.g., lawns in the middle of the park, have been submerged in water at torrential rain events and at snow-melting periods. In 2017, Stockholm Stad started to adapt the Rålambshov Park to meet these challenges that the climate changes entail regarding large volumes of stormwater. The project to transform the Rålambshov Park consists of three parts: the Cloudburst Pond, the Rain Garden, and the Outlet. The Cloudburst Pond is a low-lying area intended for sports; precipitation that falls can be collected at the bottom of the area that facilitates infiltration to the ground to an underground reservoir filled with crushed stones. The areas adjacent to the sports area have been planted with trees and other vegetation. The Rain Garden receives stormwater from roads next to the park. The stormwater enters the Rain Garden in a large bed of plants, a biofilter, that is composed of walls, gutters, water mirrors and vegetation to make this part of the park nice. The Outlet of the Rålambshov Park is located close to Lake Mälaren. The Outlet is formed in a way that makes it easy for the stormwater to enter the lake. Some pollutants are also treated before the stormwater enters Lake Mälaren. According to [10], the transformation of the Rålambshov Park has been successful since the sewer system has been relieved from parts of the stormwater at the same time as there are green solutions that can both treat and manage large volumes of stormwater in a nice-looking park area.

Climate changes are already here and therefore, it is of uttermost importance to meet the challenges that they entail. Regarding stormwater, there are several natural based methods that could be used for treatment and management of large water volumes caused by torrential rain events. Many of these methods are so called LID-methods indicating they mimic natural processes and in addition, to a low cost.

The type of LID-solutions presented in the paper could be implemented in the already existing built environment provided that given conditions allow for this. Large, constructed wetlands can be built in cities, perhaps not in the centre of the city, but close enough to treat and manage stormwater from the city.

Constructed wetlands

Natural wetlands are important in the landscape since they fulfil several functions. Water is treated and can be buffered in the wetlands, and they have high biodiversity. Due to previously extensive drainage and ditching several decades back to obtain more agricultural land, there is a lack of natural wetlands in Sweden. Constructed wetlands can therefore serve as substitutes to regain the lacking functions. The Johannisberg Wetland Park in Västerås city, can thus be regarded as a (constructed) wetland that fulfil the functions that a natural wetland can provide. Regarding treatment of water, a constructed wetland has the advantage that it can be designed to treat specific pollutants. Nutrients and heavy metals as present in the stormwater reaching the wetland, are removed by processes that

occur in the ponds. The ponds in the Johannisberg Wetland Park fulfil different purposes, pollutants can settle in some ponds while vegetation assimilate pollutants in another. The removal of pollutants, P, and heavy metals in the Johannisberg Wetland Park, has been reported to be 40-60%. It should be noted that this is a young wetland, when it matures, the removal rates might decrease. A disadvantage with constructed wetlands is that they demand large land areas, and these might not be available within or adjacent to all cities as in Västerås where former agricultural land has been used for the Johannisberg Wetland Park.

Filter bed solutions

Filter bed solutions are more convenient to install, they do not need as much surface areas as constructed wetlands. Filter substrates can be incorporated into smaller treatment facilities and examples of these could be green roofs, biofilters or rain gardens. The filter substrates can be chosen depending on the targeted pollutants to be removed [5]. Many of these small treatment facilities remove various pollutants such as nutrients, BOD, COD, heavy metals, and organic compounds, but it is difficult to compare results due to variations in stormwater content, stormwater loading, design of the treatment facility and the filter substrate used. Filter substrates should be based on the capacity of the substrate to remove targeted pollutants, its cost and availability that should be local. Further, it was concluded that the composition of the stormwater, and potential need for pre-treatment must be taken into consideration. The filter bed solutions presented in this paper, e.g., the sand columns [9] and the facility described by [8] are both small-scale pilot studies with advantages and disadvantages. Hallberg et al. [9] could for instance observe that the sand in the filter columns did remove targeted pollutants, but that the sand might be saturated within an abbreviated period when in use. This is normal that the substrate gets saturated, but it is advantageous if the filter substrate could last for longer periods without need for change since the disposal of the saturated substrate might be a disadvantage. However, the use of filter substrates should be further investigated since it has potential as a low-cost solution.

Park areas

Park areas already existing are of uttermost importance in cities, they are green oases in the otherwise paved environment. Parks, like natural wetlands, offers several functions, they are advantageous for people's health, they offer shadow when the sun is shining, they allow precipitation to infiltrate into the ground and the vegetation can assimilate pollutants. Further, parks can reduce noise and they offer a space in the city where people can meet and socialize. In the case of the Rålambshov Park in Stockholm, all of this has been offered for several decades. What is new is that the park, especially some areas, are transformed to treat and manage stormwater in a way that was not needed a few decades ago [10]. Measurements have been taken to prevent flooding of the lawns, otherwise the park is a popular place for the citizens of Stockholm. What could be difficult in an already existing park is the given conditions regarding possibilities to transform parts of the green areas into nice looking parts of the park that fulfils the important task to treat and manage stormwater. Even though it might be difficult to transform an already existing city with paved areas, it is not impossible as shown in Copenhagen where paved areas are being transformed into green areas that can treat and manage torrential rain events when large volumes of stormwater need to be taken care of to prevent destruction of buildings and infrastructure [11]. However, it is costly to transform a paved city into a city with more green areas, in Copenhagen the transformation is expected to go on for roughly a decade to a high cost, but the transformation was regarded as necessary due to the costs that arose during the floodings [11].

As described above, the type of LID-solutions presented in the paper could be implemented in the already existing built environment provided that given conditions allow for this. Large, constructed wetlands can be built in cities, perhaps not in the centre of the city, but close enough to treat and

manage stormwater from the city. Filter bed solutions such as biofilters and rain gardens can easily be included in the built environment and transformations of park areas to manage stormwater caused by cloudbursts are also possible to conduct. What type of solutions that should be taken into consideration depends on the composition of the stormwater, the stormwater load, and the given conditions. It is advantageous if the treatment and management of stormwater could be carried out by means of LID-solutions which might be easy to implement in existing parts of the city.

Since we already face the climate conditions, it is necessary that treatment and management of stormwater are taken seriously to avoid flooding in our cities. From the above described, it is obvious that different types of LID-solutions could be used. However, the above presented examples cannot be used to say whether these solutions will work in the long run, there has been no cloudburst in Stockholm for the measurements taken in the Rålambshov Park, the constructed wetland system in Västerås is too young and the research on filter-based substrates for treatment and management of stormwater is rather limited. Further research on these types of solutions is therefore needed.

References

1. Doublas-Reyes, F. J., Sörensson, A. A., Almazroui, M., Dosio, A., Gutowski, W. J., Haarsma, R., *et al.* (2021). "Linking global to regional climate change," in *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Editors P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, *et al.* (Cambridge University Press).
2. Swedish Civil Contingencies Agency (2015) Intensiv korttidsnederbörd - Riktlinjer för översvämning av urbana områden – förstudie (Intense Short-Term Precipitation - Guidelines for Flooding of Urban Areas – Feasibility Study), Publikationsnummer MSB867 – Maj 2015 ISBN 978-91-7383-580-0 (In Swedish)
3. Eriksson, E., Baun, A., Scholes, L., Ledin, A., Ahlman, S., Revitt, M., Noutsopoulos, C., Mikkelsen, P.S. (2007). Selected stormwater priority pollutants — a European perspective. *Science of the Total Environment* 383:41–51. doi:10.1016/j.scitotenv.2007.05.028
4. Kongjian, Y. (2018). Three comprehensive and innovative strategies to solve the water problems in Xiong'an new district. *Landsc. Archit. Front.*, 6(4): 4–13 <http://dx.doi.org/ep.bib.mdh.se/10.15302/J-LAF-20180401>
5. Johansson Westholm L. (2023), Filter media for storm water treatment in sustainable cities: A review. *Front. Chem. Eng.* 5:1149252. doi: 10.3389/fceng.2023.1149252
6. Andersson, M., Hansen, S., Hedin, Å., Hållmarker, M., and Myhrman, G., (2023) Slutrapport LIFE IP Rich Waters. Anläggande av multifunktionella vattenparker i Uppsala, Västerås och Smedjebacken. Delprojekt C10. (In Swedish, Summary in English)
7. Länsstyrelsen Västmanland, 2021. Invgning av Johannisbergs våtmarkspark (Inauguration of the Johannisberg Wetland Park), [Nyheter Invgning av Johannisbergs våtmarkspark - LIFE IP Rich Waters](#), retrieved November 23, 2023 (In Swedish)
8. Milovanović, I., Hedström, A., Herrmann, I., and Viklander, M. (2022) Performance of a zeolite filter treating copper roof runoff. *Urban Water Journal*, 19(5), 499–508. doi:10.1080/1573062X.2022.2031230
9. Hallberg, M., Renman, G., and Lundbom, T. (2007) Seasonal variations of ten metals in highway runoff and their partition between dissolved and particulate matter. *Water, Air Soil Pollut.* 181, 183–191. doi:10.1007/s11270-006-9289-5
10. Stockholms Stad, 2023. Rålambshovsparken. [Rålambshovsparken - Stockholms stad \(parker.stockholm\)](#), retrieved November 20, 2023 (In Swedish)
11. Københavns Kommunes, S. (2012). Københavns Kommunes Skybrudsplan 2012. (In Danish).



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.292593>

УДК 502.5+504

ОЦІНКА ЗБИТКІВ, ЗАВДАНИХ НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩУ В РЕЗУЛЬТАТІ ПІДТОПЛЕННЯ ТЕРИТОРІЇ, МЕТОДАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Кароліна БОРОВИК, Сергій ГАПОН

ННЦ «Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку»,

Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського

пр. Берестейський, 37, м. Київ 03056, Україна

e-mail: borovyk@wdc.org.ua

Підтоплення територій в результаті руйнації гідрологічних споруд призводить до великих втрат серед населення та завдає збитків навколишньому природному середовищу. Україна за останні роки зазнає значних руйнувань в результаті ведення бойових дій. Великі водосховища каскаду Дніпра, інші значні штучні водні об'єкти несуть особливі потенційні ризики прилеглим територіям в контексті ймовірної руйнації цілісності гідрологічних споруд: дамб, каналів, насосних станцій тощо.

Доволі обмежений доступ до територій після руйнації гідрологічних споруд для безпосереднього моніторингу та оцінки збитків унеможлиблюється через ведення бойових дій. Саме тому вкрай важливо використовувати сучасні дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та методи штучного інтелекту для створення універсальної системи оцінки збитків, які нанесені різким зростанням рівня води, навколишньому середовищу: екосистемам, селитебним територіям та інфраструктурним об'єктам.

Наймасштабнішим випадком руйнування дамби водосховища був випадок підриву дамби Каховської ГЕС, в результаті якого були підтоплені сотні квадратних кілометрів території та нанесена шкода населенню, природним екосистемам та інфраструктурі регіону.

Для ідентифікації зон підтоплення внаслідок прориву дамби Каховської ГЕС були використані знімки Sentinel-1A (за 09.06.2023), Sentinel-2B (за 05.06.2023-09.06.2023), Sentinel-3 (за 09.06.2023) OLCI [1]. На їх основі здійснена мануальна делімітація кордонів зони затоплення. Використовувались знімки Sentinel-2 тому що вони мають кращу роздільну здатність, проте на дослідний період не забезпечують достатню видимість через велику хмарність. Для ідентифікації меж зон затоплень на ті території де хмарність складала більше 30% були використані радарні знімки Sentinel-1A. Частота оновлення супутникових знімків Sentinel-3 OLCI більша, тому вони використовувались за ті періоди, за які знімків інших супутників не було.

Для аналізу стану трансформації типів наземного покриття та оцінки шкоди території затоплення після підриву Каховської ГЕС були використані дані з відкритих каталогізованих державних та міжнародних джерел даних: шари OpenStreetMap (OSM) [2], типи наземного покриття ESRI LandCover [3] за 2017-2022 роки отримані на основі зображень Sentinel-2 L2A з просторовим розрізненням 10 м й знімки супутників Sentinel (за 09.06.2023) та Google Satellite. Окрім бази даних OSM, використовувались дані GHSL [4] (набір просторових растрових даних

меж населених пунктів з зазначенням функціонального використання забудови із роздільною здатністю 10 м та набір просторових растрових даних, який відображає розподіл щільності населення) та ОСНА [5] (адміністративні кордони України рівень 4 – населені пункти) для статистичного підрахунку затоплених будівель та можливої кількості постраждалих осіб на основі щільності населення.

Оцінка висоти та глибини підтоплення у селитебній зоні були виконана на основі даних цифрової моделі рельєфу (ЦМР) від SRTM та Copernicus DEM [6] з роздільною здатністю 30 м з відфільтрованими значеннями висот для будинків, споруд й деревного покриву.

Через неповноту бази даних об'єктів забудови та інфраструктури OpenStreetMap на дану територію ідентифікація забудови в зоні затоплення відбувалась за допомогою моделі глибинного навчання для автоматичного виявлення будинків та споруд. Була створена навчальна вибірка для тренування моделі глибинного навчання [7] та використано модель типу Single Shot Detector (SSD), так як вона є однією з найшвидших і доволі точних моделей для знаходження об'єктів. Принцип роботи моделі SSD полягає в поділі зображення за допомогою сітки, де кожна комірка сітки відповідає за виявлення об'єктів у цій області. Модель SSD є одноступінчатим алгоритмом, тобто дана модель виділяє об'єкти за один прохід, внаслідок чого забезпечується висока швидкість обробки. Проте модель типу SSD виявилася не ефективною в даному випадку, так як вихідними даними моделі є обмежувальні рамки (прямокутники), які не враховують форми будівель і в результаті захоплюють доволі велику територію, через що утворюється великий відсоток накладання, особливо коли будівлі знаходяться близько одна біля одної.

Тому наступною була обрана та навчена модель типу MaskRCNN (Object detection) — це згортова нейронна мережа на основі Faster R-CNN. Ця нейронна мережа може виявляти об'єкти та виконувати семантичну сегментацію одночасно [8]. Архітектура Faster R-CNN здійснює обробку в два етапи: на першому етапі після обробки зображення надаються пропозиції регіонів на карті, які містять об'єкт. Mask R-CNN є розширенням Faster R-CNN з додатковою гілкою для прогнозування масок сегментації для кожного регіону інтересу.

Навчання моделі типу MaskRCNN було виконано з параметрами: Max Epochs – 30, Batch Size – 4, chip size – 224, Backbone Model RESNET – 50. Розпізнавання будинків проводилось на основі знімків Google Satellite з роздільною здатністю 30 см/піксель. Наступним етапом для знаходження об'єктів на зображенні з використанням попередньо навченої моделі був запущений модуль Detect Objects Using Deep Learning з такими параметрами: padding – 28, batch_size – 2, threshold – 0,7, tile_size – 224. Для покращення отриманих результатів, шляхом видалення полігонів, що ідентифікували один і той самий об'єкт, був використаний інструмент постобробки Non Maximum Suppression з допустимим накладанням 10% (рис.1).

Станом на 9 червня загальна територія підтоплення разом з Дніпровсько-Бузьким лиманом, притоками та каналами Дніпра склала 1730,23 км² (рис.2), з яких: територія підтоплення Херсонської області складає 1151,98 км², Миколаївської області – 578,25 км². Площа суходолу, яка опинилася під водою сягає 620,69 км². Підтоплено 75 населених пунктів (40,05 км²), 32 острови (150,96 км²) та райони у містах Херсон та Миколаїв загальною площею 91,81 км².



Рис.1 Результати виявлення будинків за допомогою навченої моделі типу MaskRCNN



Рис.2 Зона затоплення внаслідок прориву дамби Каховської ГЕС станом на 09.06.2023 рік

Зазнали збитків об'єкти виробничої (дороги, канали, пристані, залізниця тощо) інфраструктури загальною протяжністю 2468,72 км та соціальної (школи, лікарні, дитячі садочки, аптеки, бібліотеки, театри, стадіони, готелі, музеї, зоопарки тощо) інфраструктури

загальною площею 367,35 км², типи наземного покриття (вода, деревний покрив, підтоплена рослинність, поля, урбанізовані території, гола земля, трав'яний покрив) загальною площею 1730,54 км².

На основі даних GHSL була оцінена площа затопленої селітебної території, вона складає 25,12 км², з яких: житлова забудова – 23,84 км², не житлова забудова – 1,29 км².

Внаслідок підриву дамби Каховської ГЕС опинилася під затопленням територія з кількістю населення 87000 осіб. В результаті автоматичного виявлення будинків та споруд на знімках території зони затоплення після підриву Каховської ГЕС за допомогою моделі типу MaskRCNN було виявлено 96541 будинків та споруд.

Література:

1. OpenStreetMap URL: <https://www.openstreetmap.org/#map=6/48.538/35.002>.
2. Sentinel-2 Land Cover URL: <https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer/#mapCenter=-3.286%2C31.34%2C3&mode=step&timeExtent=2017%2C2021&year=2022&downloadMode=true>
3. Copernicus Open Access Hub URL: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>.
4. GHSL - Global Human Settlement Layer URL: <https://ghsl.jrc.ec.europa.eu/index.php>
5. OCHA Services URL: <https://data.humdata.org/dataset/cod-ab-ukr>
6. Copernicus DEM URL: <https://spacedata.copernicus.eu/collections/copernicus-digital-elevation-model/>
7. Z. Hao, L. Lin, C. J. Post та ін, Automated tree-crown and height detection in a young forest plantation using mask region-based convolutional neural network (Mask R-CNN), *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 178, pp. 112-113, 2021, doi:10.1016/j.isprsjprs.2021.06.003.
8. N.Xuan, D. Mengyang, D. Haoxuan, H. Bingliang, Attention Mask R-CNN for Ship Detection and Segmentation From Remote Sensing Images, *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 9325-9334, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2964540.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.290363>

УДК 371.21

ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СВІДОМОСТІ ТА КУЛЬТУРИ ЯК ЗАСОБИ ЕКОЛОГІЧНОГО ВИХОВАННЯ СТУДЕНТСЬКОЇ МОЛОДІ

Божена БУРКУТ

Чернівецький фаховий коледж технологій та дизайну
вулиця Гребінки, 16, Чернівці, Чернівецька область 58001, Україна

e-mail: bozhena.sa@gmail.com

Актуальність. Екологічна криза є однією з найбільших загроз сучасності. Забруднення атмосфери, водних ресурсів та земель, знищення біорізноманіття та виснаження ресурсів, інші сучасні екологічні проблеми призводять до серйозних наслідків для земного середовища і людства в цілому. Особливо важливою є роль молоді в розв'язанні цих проблем. Студентська молодь формується у ВНЗ, де вона оточена освітнім середовищем, що може вплинути на її екологічну свідомість та цінності. Студенти можуть впливати на розвиток суспільства, приймаючи свідомі екологічні рішення, розробляючи інноваційні підходи до вирішення екологічних проблем та впроваджуючи їх на практиці. Таким чином, екологічна культура та свідомість серед студентської молоді мають важливе значення в контексті сталого розвитку та збереження навколишнього середовища.

Екологічна освіта та виховання – актуальна соціально-економічна та психолого-педагогічна проблема, змістом якої є формування розуміння сучасних екологічних проблем, виховання відповідальності за стан довкілля, опанування навичок етичної поведінки в природі. Такої мети можна досягти лише спільними зусиллями навчальних закладів, громадських організацій та державних установ.

Мета. Метою цього огляду літератури є аналіз публікацій та досліджень, присвячених екологічній культурі та свідомості студентської молоді. У завдання огляду входять:

1. Визначення понять "екологічна культура" і "екологічна свідомість" в контексті студентського середовища.
2. Аналіз факторів, що впливають на формування екологічної культури та свідомості серед студентів.
3. Вивчення методів та підходів, які сприяють розвитку екологічної свідомості серед студентів.
4. Огляд практичних прикладів та ініціатив, спрямованих на підвищення рівня екологічної культури серед студентської молоді.

Вступ. Сучасний світ стикається з безпрецедентними екологічними викликами, такими як зміни клімату, втрата біорізноманіття, забруднення природних ресурсів і виснаження екосистем. Людству потрібні нова філософія життя, висока екологічна культура і свідомість, а отже і екологічний гуманізм, відповідно до якого людина є лише частиною природи, з законами якої вона повинна керуватися, співпрацювати, не панувати над нею, а екологічна культура стає ключовою складовою для досягнення сталого майбутнього [1]. Вища школа посідає особливе

місце у формуванні екоцентричної свідомості і культури студентів, бо саме вони відзначаються особливою чутливістю до сприйняття природничих цінностей.

Гострота екологічної ситуації постійно зростає. Саме у формуванні екологічної культури особистості природо-центричного типу сьогодні вбачається можливість подолання екологічної кризи, вирішення екологічних проблем.

Результатом формування екологічної свідомості та цінностей людини є формування мотивів, потреб, звичок цілеспрямованої екологічної поведінки та природоохоронної діяльності, здорового способу життя.

Формування екологічної свідомості та цінностей студентської молоді. Екологічну свідомість можна успішно формувати на основі ідеальної динамічної моделі майбутнього типу відносин суспільства і природи, окремої людини і природи, базованої на понятті "ноосфера". Внутрішній світ кожної людини пов'язаний з ноосферою і впливає на неї. Виховання екології внутрішнього світу людини сприятливо впливатиме на ноосферні процеси. Отже, біосфера змінюється під впливом людської думки і людської праці.

Практична взаємодія зі світом природи здійснюється з акцентом на оволодінні технологіями естетичного засвоєння природних об'єктів: прояву почуттєво-естетичної сприйнятливості до них; індивідуально-значеннєвої оцінки їх вітальних (життєвих) станів; емоційної чуйності в ситуаціях спілкування з ними; і, нарешті, в умінні знайти культурну форму збереження і передати свої враження про ці об'єкти (у малюнках, віршах, фотографіях, музиці і т. ін.).

Психологічні особливості процесу формування екологічної свідомості в юнацькому віці детермінують концентрацію педагогічних зусиль на формуванні відповідної системи уявлень і на освоєнні систематичних технологій взаємодії особистості зі світом природи [2]. При цьому використовуються методи формування суб'єктивного ставлення до природи: екологічна ідентифікація, екологічна емпатія, екологічна рефлексія.

Предмети як природничого, так і гуманітарного циклу, за можливості, мають бути екологічно орієнтовані [3]. Під час їх вивчення бажано вибирати для розгляду ті питання екології, що відповідають змісту певної навчальної дисципліни. У курсі біології розглядають взаємозв'язок людини і біосфери, стан і охорону окремих природних ресурсів (рослинного і тваринного світу, світу ґрунту тощо), взаємодію між живими організмами і середовищем їх життя, питання природокористування. Вивчити методи боротьби із забрудненням довкілля дасть можливість хімія. У процесі роботи над формуванням екологічних завдань відбувається постійний обмін інформацією між студентами. Важливо те, що вони обмінюються один з одним інформацією, одержаною ними самостійно, цікавою для них за змістом. Це відбувається у процесі творчої діяльності, атмосфері загальної зацікавленості. Одержана інформація стає особистісно значущою.

З погляду синергетики сполучення репродуктивної і творчої діяльності дає бурхливий сплеск інформації, а внаслідок її цілеспрямованого добору й інтегрування відбувається утворення і становлення чогось нового. Отже, якщо інформація, що надходить, - екологічна, то відбувається становлення екологічної культури.

Сутність екологічної культури. Екологічна культура - це сукупність цінностей, переконань, знань та практик, які сприяють створенню гармонійних відносин між людиною і природою. Вона передбачає повагу до природи, відчуття відповідальності за збереження екологічної рівноваги та свідоме впливання на природне середовище. Екологічна культура орієнтована на стале співіснування людства та природи, а не на їхню конфронтацію.

Методи формування екологічної культури.

1. Освіта: Одним із найважливіших методів формування екологічної культури є освіта [3]. Навчальним закладам бажано включати в програми навчання пропонувані курси з екології, сталого розвитку та природознавства. Освіченість громадян є ключовим чинником у розв'язанні екологічних проблем.
2. Публічні ініціативи: Громадські організації, екологічні групи та інші ініціативи можуть сприяти поширенню екологічної культури шляхом інформаційних кампаній, акцій та лобювання екологічних питань.
3. Приклад лідерів: Громадянські лідери, вчені, бізнесмени та політики, які демонструють свою прихильність до екологічної культури, можуть впливати на інших і стати прикладом для наступних поколінь.
4. Споживча поведінка: Індивідуальна споживча поведінка має велике значення. Від вибору екологічно чистих продуктів до ефективного використання ресурсів - це важливі кроки у підвищенні рівня екологічної культури.

Важливість розповсюдження цінностей сталого розвитку. Однією з важливих складових екологічної культури є розповсюдження цінностей сталого розвитку. Ця концепція передбачає поєднання екологічних, економічних та соціальних аспектів розвитку. Вона визнає, що екологічна стійкість не може існувати окремо від соціальної справедливості та економічної стійкості.

Розповсюдження цінностей сталого розвитку включає в себе розвиток альтернативних джерел енергії, підтримку справедливої торгівлі, підтримку регіональних громад, створення екологічно чистих робочих місць, екологізацію умов життя людей та інші заходи. Ці цінності повинні стати частиною культурного спадку та норм, що керують життям суспільства.

Одним із підходів до розв'язання цих питань є екоцентрична свідомість, яка розглядає природу в центрі уваги як самоцінну та унікальну.

Для студентської молоді розвиток екоцентричної свідомості має велике значення. Саме вищі навчальні заклади є місцями, де формується світогляд молоді, і де може бути посіяне насіння екоцентризму [4]. Існує декілька важливих аспектів, які показують, чому екоцентрична свідомість важлива для студентів.

1. Сприяння сталому розвитку: Розуміння важливості збереження природи і прийняття екоцентричного підходу може сприяти розвитку сталого розвитку в сучасному суспільстві.
2. Самосвідомість студентів: Екоцентрична свідомість допомагає студентам краще розуміти своє місце в природі та відповідальність за неї. Це може підвищити самосвідомість та етичні цінності студентів.
3. Залучення до дій: Студенти з екоцентричною свідомістю більш схильні до участі в екологічних ініціативах, акціях та діяльності, спрямованих на збереження природи.

Освіта грає важливу роль у формуванні екоцентричної свідомості серед студентів. Вищі навчальні заклади можуть сприяти цьому процесу, включаючи наступні практики:

1. Екологічні курси: Запровадження спеціальних курсів та програм, які розглядають екоцентричні принципи та практики.
2. Дослідницькі проекти: Підтримка студентів у проведенні досліджень з екологічних питань та публікація їх результатів.
3. Екоініціативи студентських груп: Сприяння створенню та підтримці студентських організацій та груп, спрямованих на розвиток екоцентричної свідомості.
4. Спільнотні проекти: Залучення студентів до спільнотних проектів з охорони природи та сталого розвитку [5].

Ефективному формуванню екологічної свідомості та культури також сприяють наведені нижче заходи.

Освітні програми. Освітні програми з екології та сталого розвитку [3] є одним із найефективніших способів формування екологічної свідомості серед студентів. Вищі навчальні заклади можуть включити такі курси в свою навчальну програму. На цих курсах пропонується розглядати не лише теоретичні аспекти екології, але й практичні аспекти збереження природи та розв'язання екологічних проблем.

Позакласні заходи та групи. Створення екологічних груп та позакласних заходів може сприяти активному включенню студентів у екологічну діяльність. Студентські екологічні групи можуть проводити акції з збору сміття, висадки дерев, інформаційні кампанії та інші заходи, що популяризують збереження природи.

Волонтерська діяльність. Волонтерська діяльність в галузі охорони природи може надати студентам практичний досвід і спонукати їх до більш активної участі в екологічних питаннях. Вони можуть долучитися до проєктів з охорони природи, участь у добровільних робочих днях та подіях, що спрямовані на збереження природи.

Екологічні стажування. Стажування в екологічних організаціях або дослідницьких центрах може надати студентам можливість вивчити практичні аспекти охорони природи та здійснювати дослідження у цій галузі. Це може бути цінним досвідом для їхньої майбутньої професійної кар'єри.

Використання мультимедіа. Використання мультимедіа, таких як відео, аудіо та інтерактивні інтернет-ресурси, може допомогти привернути увагу студентів до екологічних питань. Вони можуть дивитися документальні фільми про природу, слухати подкасти про сталий розвиток та брати участь у віртуальних екологічних проєктах.

Розвиток критичного мислення. Формування критичного мислення серед студентів є ключовим аспектом екологічного виховання. Студенти повинні вміти аналізувати інформацію про екологічні питання, виявляти джерела забруднення та причини екологічних проблем. Вони повинні бути здатні розуміти складні взаємозв'язки між екологічними процесами та суспільством.

Висновки. Екологічне виховання студентів є надзвичайно важливим для сталого майбутнього нашої планети. Освіта, позакласні заходи, волонтерська діяльність, стажування, використання мультимедіа та розвиток критичного мислення є засобами, які можуть сприяти формуванню екологічної свідомості та культури серед студентської молоді. Інвестування в екологічне виховання студентів є інвестицією у майбутнє, оскільки вони можуть відігравати ключову роль в збереженні природи та розв'язанні екологічних проблем.

Екологічна культура є ключовим елементом вирішення екологічних проблем та створення сталого майбутнього. Вона передбачає формування цінностей, знань та практик, які сприяють гармонійним відносинам між людиною та природою. Освіта, громадські ініціативи, приклади лідерів та індивідуальна споживча поведінка є методами формування екологічної культури. Розповсюдження цінностей сталого розвитку є важливою складовою цього процесу [5]. Екологічна культура має стати не просто ідеалом, а дійсною реальністю для кожного, оскільки від неї залежить майбутнє нашої планети.

Екоцентрична свідомість відіграє ключову роль у збереженні природи та створенні сталого майбутнього. Студентська молодь має потенціал стати важливим фактором змін в цій сфері. Освіта та свідомий підхід до формування екоцентричної свідомості серед студентів можуть ефективно забезпечити максимальне досягнення цієї мети для створення сталого майбутнього.

Таким чином, екологічна освіта стає способом життя людини на сучасному етапі її існування на Землі. Одним з головних стратегічних напрямків розвитку екологічної освіти є

виховання особистості на наукових і духовних принципах з урахуванням національних традицій, надбань та світового досвіду; формування поколінь з новою екологічною культурою, новим екологічним світоглядом на принципах гуманізму, екологізації мислення, міждисциплінарної інтеграції, історизму та системності з метою збереження і відновлення природи України та її біологічного різноманіття; розвитку міжнародних зв'язків і співробітництва у галузі екологічної освіти і науки, охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів, збереження біосфери і цивілізації.

Література:

1. Перкун І. В., Погребняк В. Г. Інтеграція знань у контексті сталого розвитку // Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства, європейський досвід та перспективи: матеріали II-ої Міжнародної науково-практичної конференції, Львів, 2015. С. 30–31.
2. Дубасенюк О. А. Сучасні тенденції розвитку вищої освіти // Інноваційні аспекти підготовки фахівців в умовах модернізації освітнього простору: матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції, Новоград-Волинський, 2018. С. 12–21.
3. Орфанова М. М., Яцишин Т. М. Екологізація освітнього процесу: екологічна освіта та виховання // Екологічний вісник. 2015. № 6. С. 23–24.
4. Інноваційні технології у формуванні трирівневої екологічної освіти / М. Мик. Орфанова, М. Мих. Орфанова, Т. М. Яцишин, О. І. Рибак // Вісник Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна. Серія «Екологія». 2016. Вип. 14. С.98–101.
5. Висоцька О. Є. Формування розвивального освітнього середовища учня на засадах освіти для сталого розвитку засобами предметів природничого циклу // зб. наук. праць всеукраїнського круглого столу (12 березня 2018 р., м. Полтава) / Технології інтеграції змісту освіти. 2018. Вип. 10. С. 109–116.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.291016>

УДК 502.34:351

366.636:323

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ В ЗАСОБАХ МАСОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ УКРАЇНИ ПІД ЧАС ВІЙНИ

Світлана ДЕЛЕГАН¹, Оксана МАЛИЧКОВИЧ², Олег ГЛУХ¹, Денис ПЕТРОВЦІ¹

¹ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

вул. Підгірна, 46, м. Ужгород 88000, Україна

²Товариство з обмеженою відповідальністю «ЕЛ. БІ. АЙ.»

вул. Євгена Сверстюка, 19, офіс 2017, м. Київ 02660, Україна

e-mail: svitlana.delehan-kokaiko@uzhnu.edu.ua

Після повномасштабного вторгнення росії зростає довіллева тематика в медіапросторі України і починає займати особливе значення, що відображається в зростанні екологічної частки медіа поля та постійної присутності на шпальтах провідних онлайн медіа видань. Відомі онлайн медіаресурси демонструють приріст трафіку, а отже мають змогу забезпечити ширший резонанс серед цільової аудиторії і можуть впливати на дії влади та, потенційно, міжнародної спільноти. Зростаюча увага до потенційних загроз сприяє поширенню недостовірних або маніпулятивних даних. Це може призвести до панічних настроїв. Важливо враховувати інформаційну відповідальність та бути максимально об'єктивними в матеріалах сенситивних тематик, як то радіаційна загроза, руйнування джерел електрогенерації, отруєння водойм, тощо. Сенситивність загроз, що тісно пов'язані із довкіллям миттєво створюють медіа хвилю та насичують інформаційне поле публікаціями однаковими за змістом. Це ускладнює відслідкування інших важливих тем, або ж медіа просування таких тем з метою отримання уваги цільової аудиторії. Наприклад, обговорення законопроектів, чи публікації експертів, чи екоактивістів з нішевих екологічних явищ. Війна що триває, змістила фокус довіллевой тематики на шкоду завдану навколишньому середовищу внаслідок військової агресії росії в Україні. Це є одним з основних факторів збільшеного резонансу, проте цей факт також свідчить про значне зменшення у медіапросторі інших тем, не пов'язаних з повномасштабною агресією росії. Зокрема, висвітлення локальних екологічних проблем чи подій стає справжнім викликом на фоні ядерної загрози чи підриву Каховської гідроелектростанції. Переслідування екологічних злочинів, включаючи випадки екоциду, відзначає Україну як країну-новатора у вирішенні таких питань. Слід зауважити, що увага до цих справ у засобах масової інформації може зміцнити позицію України на міжнародній арені щодо додаткових санкцій проти росії за злочини в Україні. У контексті цього важливо також удосконалювати використання вірної екологічної термінології у медіа.

У цьому дослідженні проведено комплексний аналіз екологічної медіа політики в Україні, охоплюючи онлайн та друковані видання, нові блоки на телебаченні та активність у соціальних мережах. Було виявлено 8800 найменувань традиційних медіа. Період аналізу тривав з 24 лютого 2022 року до 30 червня 2023 року, що становить півріччя. Попереднє дослідження якості висвітлення екологічної складової в засобах масової інформації та

соціальних мережах проводили в 2020-2021 роках. Для даного дослідження було використано ключові слова, що вже застосовували в 2021 році при вивченні екологічної складової в медіа полі України, такі як: довкілля, навколишнє середовище, зміна клімату, глобальне потепління та інші [1]. В даному дослідженні додатково включено нові терміни, що відображають реалії 2022-2023 років: екоцид, замінування, Каховська гідроелектростанція, Запорізька атомна електростанція, ядерний вибух, радіаційна загроза, забруднення земель нафтопродуктами та вибуховими речовинами, СОР 27, Глобальна платформа для оцінки збитків довкіллю та клімату внаслідок війн, а також синонімічний ряд до вказаного переліку.

Дослідження загального медіа поля українських традиційних засобів масової інформації демонструє зменшення об'єму публікацій у 2022-2023 роках у порівнянні до даних 2019, 2020 чи 2021 року приблизно на 40% [2]. Серед основних фактів скорочення медіа поля: припинення діяльності видань на окупованих територіях; закриття видань після повномасштабного вторгнення у лютому 2022 року (переважно регіональних видань); різке скорочення друкованих видань у лютому-березні 2022 року, які так і не поновили вихід або ж перейшли з тижневих у місячні формати. Новини в етерах Єдиного Телемарафону дублюються на шести телевізійних каналах, що технічно є новинною стрічкою одного каналу, а не шести, як було до лютого 2022 року. У свою чергу, ТОП видання [3] з мільйонними аудиторіями наростили кількість новин протягом дня, проте це не компенсувало втрати через вищенаведені чинники. Різке зростання трафіку на таких відомих ТОП онлайн платформах дозволяє припускати, що українці приділяли всю свою увагу саме цим небагатьом ресурсам. Так, наприклад, у першому кварталі 2022 року лідером із кількості переглядів стала "Українська правда" з рекордним середнім показником у 136 млн переглядів на місяць. Для порівняння, в 2021 році лідером був "Цензор" з охопленням у 41,2 млн.

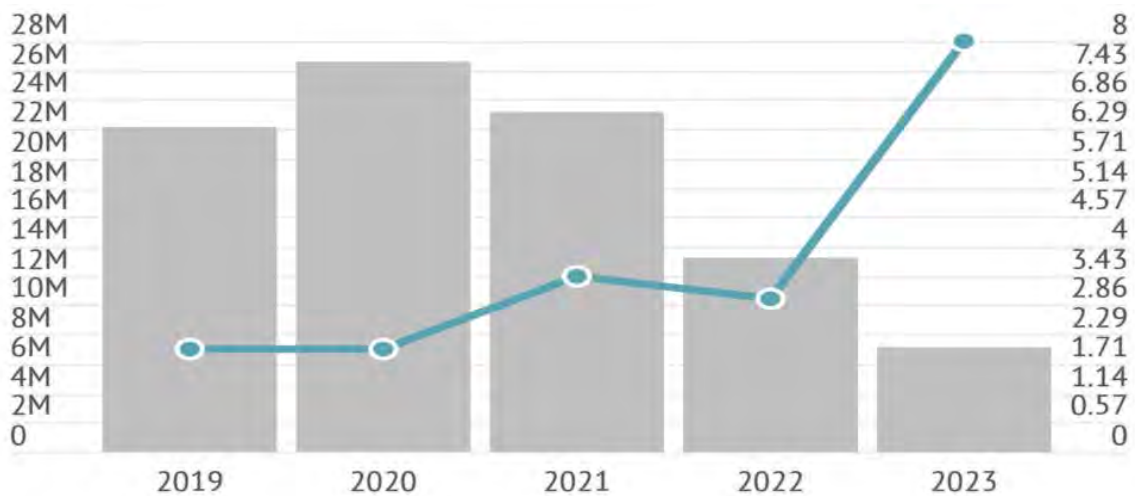


Рис.1. Динаміка присутності довкіллевої тематики в традиційних медіа
(● медіаполе, ● довкіллева тематика, %)

Українська аудиторія, особливо у перші місяці після повномасштабного вторгнення, значно збільшила відвідуваність певних онлайн ресурсів. Саме присутність новин в медіа полі цих онлайн видань збільшує ймовірність контакту з цільовою аудиторією. Зменшення загального медіа поля вплинуло і на частку присутності довкіллевої тематики в українських

засобах масової інформації в 2022 році. Ядерна загроза, наслідки повномасштабного вторгнення, руйнування об'єктів зеленої енергетики змістили акценти у статтях. На фоні зменшення загальної кількості публікацій частка довікільцевої тематики залишилася на рівні 2021 року. Знищення Каховської гідроелектростанції російськими окупантами в червні 2023 року тільки за місяць більш ніж подвоїло долю присутності екологічної тематики у медіа полі України.

Аналіз поширення новин про довікільця у соціальних мережах свідчить, що Telegram є основною платформою миттєвого та масового інформування. Він був особливо ефективним після вибуху Каховської гідроелектростанції. Професійні Telegram-канали, які фокусують увагу на довікільцевих питаннях, демонструють значно менші (у сотні разів) аудиторії порівняно з новинними виданнями. Результатом є мінімальне залучення аудиторії такими каналами. Незважаючи на сплески поширення новин-блискавок у Telegram, Facebook залишається основною платформою для підтримки комунікації та дискурсу з поправкою на цільову аудиторію – люди віком від 35 років. Порівняння реакцій аудиторії протягом часового проміжку показало, що залучення Facebook представляє поступовий і стійкий інтерес, на відміну від швидких реакцій Telegram. Ця відмінність має важливе значення для планування комунікаційних кампаній, вибір каналів і планування комунікації. Характер цілей диктує вибір каналів комунікації. Різні канали обслуговують різні типи взаємодії, від негайних та інтенсивних реакцій до більш стійкого, поступового інтересу. У контексті насиченого медіа поля підтримання та залучення односторонніх через власні канали комунікації стає надважливим, адже саме власна сформована цільова аудиторія стає рушієм розповсюдження інформації, що підвищує обізнаність серед інших соціальних груп.

Література:

1. Тендер на замовлення Міжнародного Фонду Відродження "Довкілля проблема в публічному інформаційному просторі України 2021". Делеган-Кокайко С., Маличкович О. // [Електронний ресурс]. Дата звернення 22.04.2023 року. Режим доступу: http://cabinet.lbicompany.com.ua/dashboard_climat/.

2. Тендер на замовлення Міжнародного Фонду Відродження "Довкілля проблема в публічному інформаційному просторі України 2023". ТОВ ЕЛ.БІ.АЙ. // [Електронний ресурс]. Дата звернення 24.10.2023 року. Режим доступу: <https://mail.google.com/mail/u/0/#search/gennadiy.slabkiy-acc%40uzhnu.edu.ua/QgrcJHrhxnqpJnJvmmnrXKGjbbGwWDbkjV?projector=1&messagePartId=0.2>.

3. 36% Онлайн-медіа оприлюднили редакційні політики у 2023 році // [Електронний ресурс]. Дата звернення 9.10.2023 року. Режим доступу: <https://imi.org.ua/monitorings/36-onlajn-media-oprylyudnyly-redaktsijni-polityky-u-2023-rotsi-i55940>.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/ehs2710-3315.2023.291198>

UDC 504.056

THE DESTRUCTION OF URBAN FORESTS IN UKRAINE: POTENTIAL SOCIAL IMPACTS, REMOTE SENSING-BASED MONITORING, AND CONSIDERATIONS FOR FUTURE RECONSTRUCTION

Iryna DRONOVA^{1,2}, Igor LACAN³, Joe MCBRIDE¹

¹*University of California Berkeley, Department of Landscape Architecture and Environmental Planning, College of Environmental Design
Berkeley, 94720-2000, California, USA*

²*University of California Berkeley, Department of Environmental Science, Policy & Management, Rausser College of Natural Resources
Berkeley, 94720-3114, California, USA*

³*University of California, Cooperative Extension
Half Moon Bay, 94019, California, USA*

e-mail: idronova@berkeley.edu

The invasion of Ukraine by Russian forces in 2022 has resulted in the partial or complete destruction of cities and towns. In addition to damage to buildings and infrastructure in urban areas, the war has impacted the urban forests and greenspace areas. This synthesis seeks to summarize the social and psychological benefits of urban trees, report on the potential to use remote sensing and Earth Observation technology to assess the damage to urban forests due to the invasion, and review considerations for the reconstruction of Ukraine's urban forest.

Urban trees and parks produce numerous benefits including support of biodiversity and wildlife habitat, conservation of energy, reduction in air pollution, greater efficiency in stormwater management, as well as improvement of physical and mental health, and establishment of a sense of community. Positive effects of urban forests on human health and well-being have been documented for several decades and revealed a wide range of ways in which these benefits are expressed [1, 2]. In particular, earlier research three principal domains in which such benefits are manifested: (a) mitigation, or the reduction of harms (e.g., amelioration of microclimate or reduction in air pollution), (b) restoration, or re-building capacity for normal functioning due to reduced stress levels after contact with nature, and (c) instoration, or building new positive social interactions in green spaces [3, 4]. Various benefits have been reported among different socio-demographic groups, including positive effects on academic performance of school children when either the school grounds [5], or the local neighborhood contained trees [6]. In the context of recovering from war, rebuilding urban forests will thus likely provide for an improvement in social interactions among adults.

However, measuring the impacts of the ongoing armed conflict on these diverse urban forest benefits remains extremely difficult due to barriers to both field-based tree inventories and assessments of public perception under current war conditions. Remote sensing and Earth Observation technology can provide a preliminary insight into urban forest dynamics in response to the war effects based on instantaneous coverage or large regions, repeated data collection, and spectral contrasts between vegetation and built environment features [7]. To investigate this potential for

Ukraine's urban forests, we assessed changes in vegetation indicators derived from 10-m spatial resolution Sentinel-2 satellite image products within seven cities in Donetsk and Lugansk oblasts that have experienced a particularly high damage during the first year of the war: Mariupol, Severodonetsk, Bakhmut, Lyman, Popasna, Volnovakha, and Rubizhne. Given the lack of on-the-ground validation information, we applied a two-step hybrid change analysis approach where 1) May-September imagery of 2021 was first used to map pre-invasion built-up areas and woody and herbaceous vegetation using supervised random forest machine learning classification, and then 2) potential losses of vegetation were assessed from the changes in Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), a popular indicator of vegetation greenness and cover, between July-August periods of 2021 and 2022.

Among the seven studied cities, major detected losses of greenness ranged between ~9 and 247 ha and constituted 1-10% of their 2021 vegetated areas, with the lowest in Lyman (~1%) and the highest - in Rubizhne (10.12%), Severodonetsk (8.95%), and Bakhmut (7.17%). For areas classified as woody in 2021, major NDVI losses constituted 21.11% of their 2021 extent in Rubizhne, 7.73% in Severodonetsk, and 0.98-3.75% in other cities. Herbaceous-dominated areas had pronounced NDVI losses within 0.80-9.62% of their 2021 extent with the largest effects in Bakhmut (9.49%) and Severodonetsk (9.62%). These results resonate with media reports and photographic records from these cities and nearby regions showing tree damage from direct military attacks, logging of urban and exurban green zones for the fuel, and the impacts of war-induced fires and pollution. Classification accuracy for 2021 urban green space mapping reached 88.7% in overall accuracy; 89.4%, 86.3% and 90.3% in user's accuracy for woody, herbaceous, and built-up, respectively; and 90.3%, 83.8%, and 92.1% for woody, herbaceous, and built-up, respectively. Misclassifications resulted mainly from 1) confusion between spectrally similar woody and herbaceous vegetation, and 2) heterogeneous urban landscapes where Sentinel-2 pixels were more likely to contain mixed spectral signals from multiple different classes.

These outcomes suggest important implications for urban forest monitoring under ongoing invasion and in the future. First, the impacts on urban vegetation are likely to be scattered in space and vary in magnitude and extent even within a single city. Second, some effects may induce partial tree damage or stress rather than complete removal of vegetation, and thus might be harder to detect, verify, or attribute to a specific timeline of events, especially with limited on-the-ground validation. Third, various landscape processes may convolute impact signatures in the available data, such as regeneration, and/or revegetation by faster-growing herbaceous species. Furthermore, some changes may be hard to detect in the 'mixed pixels' containing different landscape elements (buildings, trees). Strategies to navigate these caveats in the future assessments may include: 1) using multiple dates of available imagery in each year to emphasize seasonal contrasts among vegetation types and disentangling signals of damage from short-term spectral variation; 2) applying multiple change detection approaches together to reveal complementary aspects of urban vegetation change (such as combining classification of pre-war imagery with spectral index differencing to detect pronounced losses or gains in plant cover), and 3) combining traditionally popular visible, near- and shortwave-infrared reflectance products with other open-access satellite datasets such as thermal infrared indicating land surface temperature and synthetic aperture radar (SAR) sensitive to 3-D structure of urban environments.

When the war ends Ukraine must undertake the rebuilding of cities and towns. Such rebuilding must first focus on the reconstruction of housing and critical infrastructure, but at some point, reconstruction of urban forests and urban greenspaces will be considered. Studies of the reconstruction of urban forests following historical events such as World War II and the Bosnian war may help identify issues to be addressed in the reconstruction of urban forests in Ukraine [8]. Several

issues are particularly important in the reconstruction of war damaged urban forests and greenspace: (1) people may have a strong preference for their original environment, including trees and greenspace, restored to pre-war conditions, (2) nursery stock may not be available immediately after the war, (3) impacts of bombing on soil at replanting sites, (4) importance of engaging local people in replanting trees, (5) implications of climate change in the selection of trees and plants for replanting, and (6) the psychological value of saving a few damaged trees as survivors of the war. The opportunity of local people to see trees that survived the war, in spite of the trees being damaged, can remind people that they too are survivors. Arborist should evaluate damage trees in various bombed cities in Ukraine to identify potential tree that should not be cut down and a system of signs should be developed to identify these trees in the future.

References:

- [1] Ulrich, R.S., 1984. View through a window may influence recovery from surgery. *Science*, 224(4647), pp.420-421.
- [2] Wolf, K.L., Lam, S.T., McKeen, J.K., Richardson, G.R., Van Den Bosch, M. and Bardekjian, A.C., 2020. Urban trees and human health: A scoping review. *International journal of environmental research and public health*, 17(12), p.4371.
- [3] Shepley, M., Sachs, N., Sadatsafavi, H., Fournier, C. and Peditto, K., 2019. The impact of green space on violent crime in urban environments: an evidence synthesis. *International journal of environmental research and public health*, 16(24), p.5119.
- [4] Beute, F., Andreucci, M.B., Lammel, A., Davies, Z.G., Glanville, J., Keune, H., Marselle, M., O'Brien, L.A., Olszewska-Guizzo, A., Remmen, R. and Russo, A., 2020. Types and characteristics of urban and peri-urban green spaces having an impact on human mental health and wellbeing: a systematic review. Report prepared by an EKLIPSE Expert Working Group. UK Centre for Ecology & Hydrology, Wallingford, United Kingdom.
- [5] Hodson, C.B. and Sander, H.A., 2017. Green urban landscapes and school-level academic performance. *Landscape and Urban Planning*, 160, pp.16-27.
- [6] Li, D., Chiang, Y.C., Sang, H. and Sullivan, W.C., 2019. Beyond the school grounds: Links between density of tree cover in school surroundings and high school academic performance. *Urban Forestry & Urban Greening*, 38, pp.42-53.
- [7] Kostyuchenko, Y.V., Yuschenko, M., Movchan, D., Kopachevsky, I., 2017. Analysis of economic values of land use and land cover changes in crisis territories by satellite data: models of socio-economy and population dynamics in war, in: Michel, U., Schulz, K. (Eds.), *Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications VIII*. Presented at the Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications, SPIE, Warsaw, Poland, p. 11. <https://doi.org/10.1117/12.2276153>
- [8] McBride, J. R., Stilgenbauer, I. Lacan, S. Cheng, S. Medbury, and D. McBride. 2021. *Reconstruction of Urban Forests: Post World War II and the Bosnian War*. Springer: Cham, Switzerland.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.291686>

UDC 911.6(477.46)

LANDSCAPE COVERS CLASSIFICATION FOR THE PURPOSE OF UNITED TERRITORIAL COMMUNITY'S MANAGEMENT (FASTIV REGION CASE STUDY)

Tamara DUDAR¹, Olga TITARENKO², Lesya RATUSHNIUK¹

¹*National Aviation University*

1 Lubomyra Guzara ave, Kyiv, 03058, Ukraine

²*Scientific Center for Aerospace Research of the Earth, NAS of Ukraine*

55 B Olesia Honchara St., Kyiv, 02000, Ukraine

e-mail: lesia.ratushniuk02@gmail.com

Currently, there are a number of problems related to the lands use and management in Ukraine. A number of consequences arising from improper land management and enhanced by direct and indirect warfare activities impact lead to lands degradation and their loss. To control and counteract negative processes in land degradation hereby we are considering lands classification of one of the typical regions of Kyiv oblast, namely the Fastiv region.

As far as the management of territories is an important issue in many aspects, we are here considering and emphasizing the environmental aspect. So, the aim of this research is to characterize and classify the landscape covers of the Fastiv region for further development of their changes assessment for a certain period of time. Below we present a brief description of the Fastiv region landscapes as typical ones for the south-western part of the Kyiv oblast.

The Fastiv region has the character of a relief in the form of a gently undulating forest plateau with separate moraine-zandre ridges. The northern part of the region is hilly, and the southern part is partially eroded with ravines and gullies. The forest plateau is divided by the valleys of the Irpin, Unava, Kamenka, Stugna rivers and a network of beams that are widespread in the southeastern and northern parts of the region. River valleys have narrow floodplains with swampy lands and mostly one, rarely two, supraflood terraces. The banks of the rivers have gentle slopes with little erosion, and the slopes of the streams are characterized by a significant development of erosion.

In the northern part of the region, at the transition from the undulating plateau to the river floodplains, there are narrow pine terraces. River floodplains are usually narrow (from 100 to 500 meters), swampy and used mainly for haymaking. Some of them are drained and processed. Arable lands are located mainly on a gently undulating plateau, which contributes to their intensive use in agricultural production.

Geostructural, the territory of the Fastiv region is part of the northeastern slope of the Ukrainian crystalline shield. This shield was subjected to denudation processes that led to the formation of an undulating denudation plain with dislocated Precambrian crystalline rocks. Granites and granitogneisses represent crystalline rocks. The surface of crystalline rocks is covered with sedimentary rocks of the Tertiary and Quaternary systems. The upper layers of Quaternary sediments are soil-forming rocks, in particular typical chernozems and podzolic soils. Poorer sod-podzolic soils were formed on water-glacial and ancient alluvial deposits.

Territories of depressed areas of streams and river floodplains contain alluvial, meadow-chnozem, sod and swamp soils. Modern alluvial deposits, formed during river overflows, also contain turf and swamp soils. Typical chernozems (43.8%) and podzolized soils (33.4%) prevail in the area. Meadow-black earth, turf-podzolic, meadow, black earth-meadow, swamp soils are less common. The most fertile soils of universal use are typical chernozems, which occupy a significant area of agricultural land. They are the main part of arable land.

This natural background promotes development of negative exogenous geological processes such as soil erosion, denudation, waterlogging of the territory [1]. To make the lands cover classification we used the following types of covers: tree cover, grassland, cropland, built-up areas, bare lands, water bodies, and herbaceous wetlands, which is typical for the researched territory, with the help of the Sentinel-5 images (Fig. 1) [1, 2].

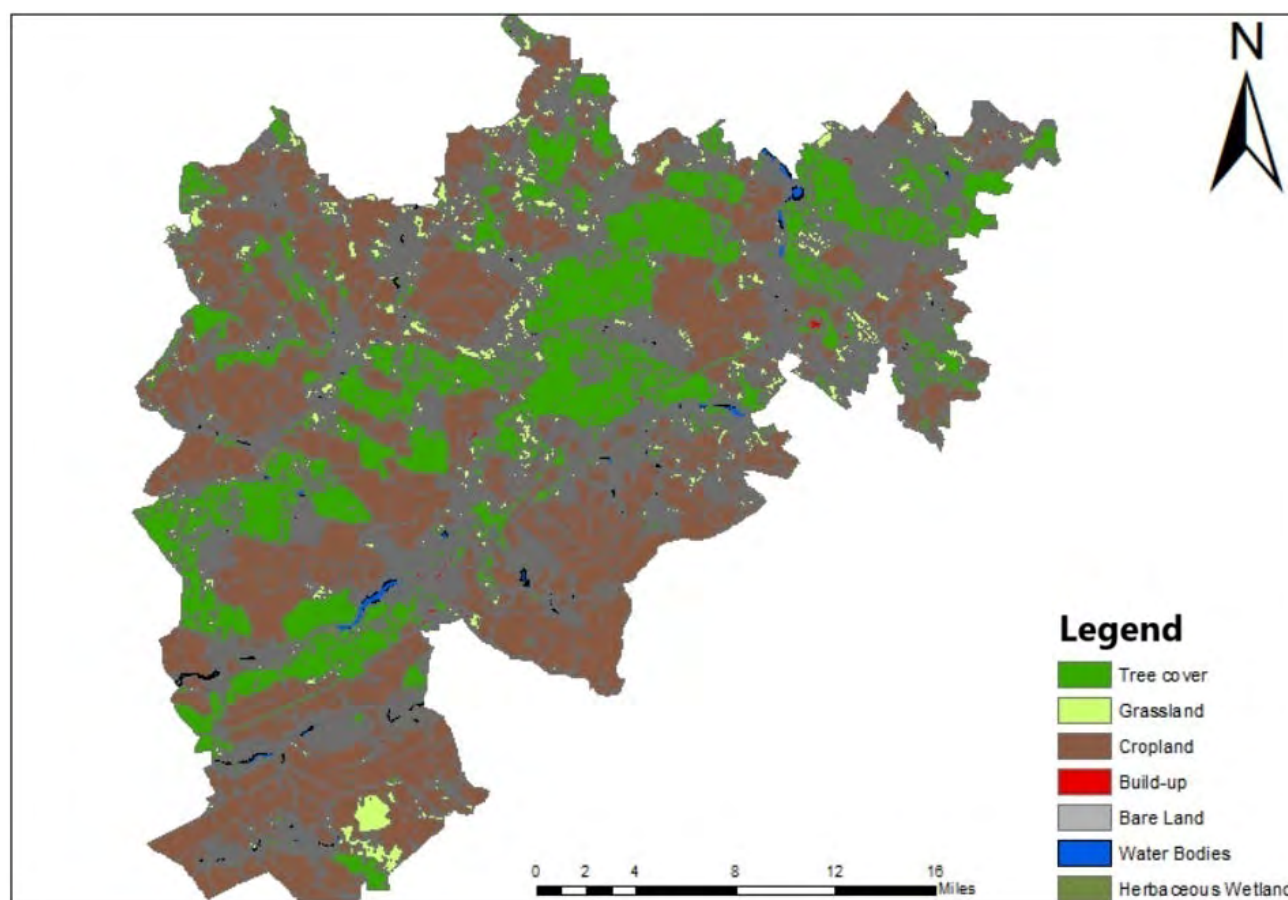


Fig. 1 Land cover classification of the Fastiv region

Meadow and swamp vegetation, such as sedge, sedge, reeds, grows on virgin areas of the floodplains of the Unava, Irpin, Stugna, and Kamenka rivers, as well as on the bottoms of streams; among the moisture-loving cereals - common sedge, meadow fescue, marsh fieldwort; various herbs include meadow geranium, meadow sedge, marsh sedge, horse sorrel. The predominant part of grass coverage in such areas is 70-80%. Percentages of the land cover types is given in table 1 and Fig. 2.

Table 1. Percentages of land cover types

Type of landscape	Area (Ha)	Percentage (%)
Tree cover	61261,55	35,17
Grassland	24463,14	14,04
Cropland	78872,91	45,28
Built-up	4853,42	2,79
Bare	118,2	0,07
Water bodies	1481,32	0,85
Herbaceous Wetland	1140,67	0,65

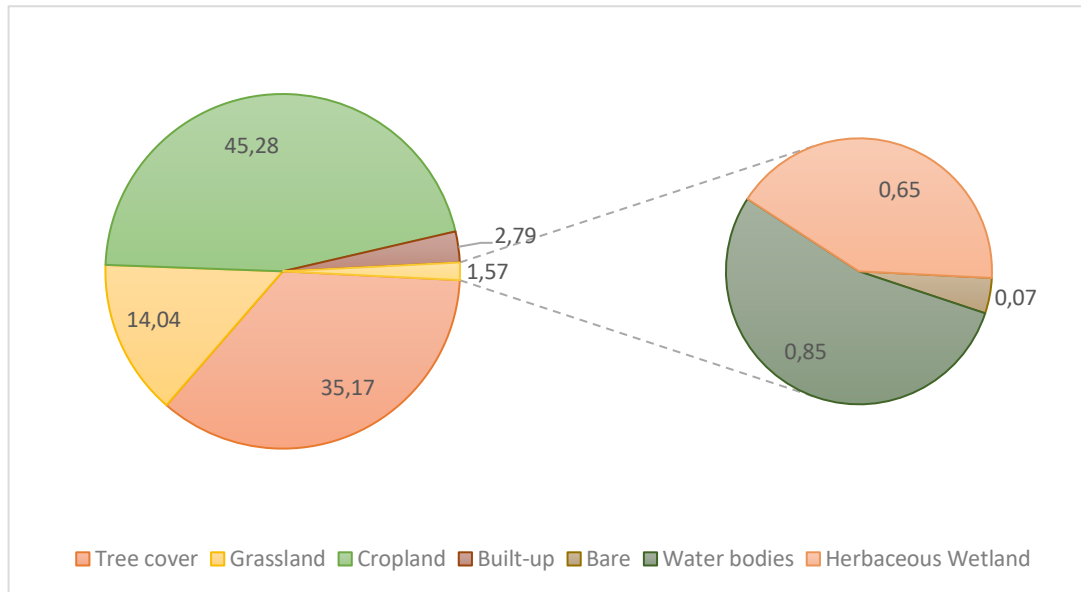


Fig.2 Percentages of land cover types (%)

On arable lands, especially among crops and perennial crops, various weeds are common, such as horsetail, field horsetail, white quinoa, field cornflower, thistle, wild radish, and others. The vegetation of the hayfields is represented by grass and grass-swamp communities, which are formed according to the relief and soil cover.

It is specially striking that wetlands occupy almost 1% of the entire territory and might get higher since time. It is not typical for the researched territory and worth paying attention for the future united territorial communities (UTC) management. This type of classification is worth to be made in every UTC in Ukraine as it will definitely help in their territory's management.

Further research will be aimed at assessing the change in land cover over a certain period of time. It will be very useful for territory management and rational use of natural resources in general.

References:

1. Dudar T.V. (2014). Landscape Ecology. Manual. K. NAU. – 244 p.
2. KharytonovM., Pashova, V., Lemyshko, S., Yevgrashkina, G., & Titarenko, O. (2021). Geospatial Assessment of the State of the Samara River Floodplain in the Area of Coal Mining in Western Donbas. *Agrology*, 4(2), 93-97. <https://doi.org/10.32819/021012>.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.290843>

УДК 502,3/.7

РОЛЬ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Арсен ЄФРЕМОВ, Віталій ОЛІФІРЕНКО

Херсонський державний аграрно-економічний університет

вул. Стрітенська, 23, м. Херсон, Україна

e-mail: arsen.efremov.2020@ukr.net

Актуальність теми пов'язана з тим, що ми живемо в умовах зростаючого екологічного тиску та зміни клімату. Тому, екологізація виробництва стає ключовим елементом сталого розвитку. Забруднення, використання обмежених природних ресурсів та викиди шкідливих речовин на заводах і підприємствах мають значний вплив на екосистеми та загрожують довкіллю і здоров'ю людей. Ефективна екологізація виробництва є не лише необхідністю для обробної промисловості, а й стратегічним напрямом забезпечення сталого розвитку національної економіки.

Метою дослідження є аналіз та визначення ролі екологізації виробництва в Україні для забезпечення сталого розвитку, аналіз того, на якому етапі законодавчого розвитку та підтримки екоініціатив знаходиться Україна.

Наукова новизна дослідження полягає в поглибленні розуміння впливу екологізації на сталий розвиток. Суть дослідження полягає в визначенні конкретних заходів та стратегій, спрямованих на ефективну інтеграцію екологічних принципів у виробничі процеси з метою досягнення сталого розвитку.

«Екологізація – процес послідовного впровадження нової техніки і технології, нових форм організації виробництва, виконання управлінських та інших рішень, які дають змогу підвищити ефективність використання природних ресурсів з одночасним збереженням природного середовища та його поліпшення на різних рівнях» [1].

Важливість впровадження екологізації виробництва в Україні зумовлена низкою чинників, а саме:

- Захист здоров'я населення. Завдяки зменшенню викидів шкідливих речовин, покращується якість повітря і води, що безпосередньо впливає на здоров'я населення. Екологізація допомагає уникнути серйозних захворювань і зменшує негативний вплив на систему охорони здоров'я.
- Збереження природних ресурсів. Використання екологічно-чистих технологій та методів виробництва дозволяє зменшити використання природних ресурсів, таких як вода, деревина та мінерали. Це сприяє сталому використанню ресурсів і запобігає їх виснаженню.
- Міжнародний вплив. Міжнародна спільнота все більше усвідомлює необхідність вирішення проблем забруднення та зміни клімату. Беручи участь у процесі екологізації виробництва, Україна може активно долучитися до міжнародних зусиль з вирішення екологічних проблем.

- Зменшення витрат на енергію та сировину. Зелені технології часто спрямовані на підвищення енергоефективності та оптимізацію використання сировини, що дозволяє компаніям знизити витрати та підвищити конкурентоспроможність.
- Створення нових робочих місць. Розвиток зелених технологій та зелених індустрій створює нові робочі місця та стимулює інноваційний розвиток.
- Скорочення викидів парникових газів. Екологізація виробництва дозволяє зменшити викиди парникових газів і сприяє обмеженню глобального потепління та пом'якшенню наслідків зміни клімату.
- Виконання міжнародних зобов'язань. Як і інші країни, Україна зобов'язана дотримуватися міжнародних екологічних стандартів та угод. Участь у процесі екологізації виробництва допоможе виконати ці зобов'язання та покращити міжнародний імідж країни.

Таким чином, бачимо, що є важливі фактори, які демонструють важливість активної участі України в процесі екологізації виробництва для досягнення сталого розвитку та забезпечення добробуту суспільства. Окрім цього, варто пам'ятати, що Україна активно рухається в напрямку інтеграції та вступу в Європейський Союз, який нині активно впроваджує екологічні методи ведення бізнесу.

Європейський зелений курс (далі – ЄЗК) був представлений Європейському парламенту 11 грудня 2019 року для досягнення мети Паризької угоди щодо обмеження глобального потепління до 1,5 градусів до кінця століття та реалізації Цілей сталого розвитку. ЄЗК – це стратегічний напрям розвитку сталої, чистої, безпечної та здорової Європи, що визначає план дій для створення стійкої економіки та перетворення кліматичних та екологічних проблем на можливості для всіх секторів у справедливий інклюзивний спосіб. ЄЗК охоплює транспорт, енергетику, сільське господарство, будівництво та промисловість. Також він спрямований на підвищення ефективності використання ресурсів, відновлення біорізноманіття та зменшення забруднення.

Головна мета ЄЗК – перетворити Європу на перший кліматично-нейтральний континент до 2050 року, де всі викиди парникових газів від людської діяльності будуть компенсовані за рахунок екосистем і технологій людської діяльності будуть компенсовані за рахунок екосистем і технологій уловлювання та зберігання вуглецю. Для досягнення цієї мети були розроблені плани дій на період до 2030 року в різних секторах (табл. 1)

Щодо нашої країни, то варто виділити те, що Україна здійснює процес адаптації до європейського законодавства для виконання своїх зобов'язань за Угодою про асоціацію з ЄС, але цей процес відбувається повільно і не охоплює всіх сфер. Впровадження ЄЗК в Україні має бути системним, з урахуванням екологічних особливостей та кліматичних аспектів в енергетиці, промисловості, сільському господарстві, транспорті та фінансах.

Україна зараз перебуває в стані нищівної війни, і наше головне завдання – захистити державу, забезпечити безпеку своїх громадян і захистити демократичні цінності. Частина нашої території і досі окупована, але за підтримки міжнародних партнерів, зокрема ЄС, триває відновлення деокупованих територій. Це можливість для післявоєнної України досягти сталої та зеленої реконструкції, яка визначатиме шлях економічного розвитку та життя населення. ЄЗК має стати орієнтиром для України в процесі відбудови.

Таблиця 1 Складові частини Європейського Зеленого Курсу (за даними [2])

№	Назва напрямку	Опис
1	Чиста, безпечна і доступна енергія	Декарбонізація енергетичної системи ЄС – ключовий елемент досягнення кліматичних цілей до 2030 та 2050 рр. Забезпечення енергоефективності є пріоритетом, оскільки понад 75% викидів парникових газів в ЄС пов’язані з виробництва та використання енергії. Розвиток відновлюваних джерел енергії має супроводжуватися швидкою відмовою від вугілля та газу. Перехід на чисту енергію повинен охоплювати споживачів і приносити їм користь. Ефективні програми, такі як кредити на підвищення енергоефективності будівель, можуть зменшити рахунки за енергію та сприяти захисту навколишнього середовища.
2	Перехід до циркулярної економіки	Основна мета – реалізувати нову промислову політику ЄС для циркулярної економіки. Глобальне виробництво матеріалів потроїлося між 1970 і 2017 рр., що створює серйозні глобальні ризики. Більше половини викидів парникових газів і 90% втрат біорізноманіття пов’язані з видобутком і виробництвом ресурсів; промисловий сектор ЄС, хоча і змінюється, відповідає за 20% викидів парникових газів і лише 12% циркулярних матеріалів. Перехід до циркулярної економіки має бути зосереджений на ресурсоемних секторах, таких як текстильна промисловість, будівництво, електроніки та пластмаси.
3	Енергоефективне будівництво та реконструкція	У будівництво та експлуатацію будівель інвестується велика кількість енергії та ресурсів. 40% енергії споживається будівлями. Рівень реновації будівельного фонду ЄС коливається між 0,4% і 1,2%, але для досягнення енергоефективності планується подвоїти цей показник. Це вимагає «хвилі реновації» в громадських і приватних будівлях. Підвищення енергоефективності може зменшити рахунки за енергоносії. Проектування та реконструкція будівель повинні відповідати принципам циркулярної економіки та сприяти цифровізації будівель та їхній стійкості до зміни клімату.
4	Сталий та «розумний» транспорт	Викиди парникових газів від транспорту, які наразі становлять близько 25% викидів в ЄС, необхідно скоротити на 90% до 2050 року. Це означає перехід до сталого і розумного транспорту, в тому числі переміщення значної частки вантажів з автомобільного транспорту на залізничний і внутрішні водні шляхи. Ціни на транспорт повинні відображати вплив на навколишнє середовище, а субсидії на викопні види палива мають бути поступово скасовані. Паралельно слід також розвивати стійкі альтернативні види палива для транспорту, щоб до 2025 року на дорогах ЄС з’явилося 13 млн автомобілів з низьким рівнем викидів.

№	Назва напрямку	Опис
5	Збереження та відновлення біорізноманіття	Стратегія ЄС з біорізноманіття спрямована на відновлення біорізноманіття шляхом збільшення площі природоохоронних територій до 30% до 2030 року. Міста також заохочуються до збільшення частки біорізноманіття в міському просторі. Лісова стратегія ЄС спрямована на поліпшення якості та кількості лісів Європи, що передбачає висадку 3 млрд нових дерев і відновлення пошкоджених лісів для збільшення поглинання CO ₂ .
6	«Від ферми до виделки»: справедлива, здорова та екологічна система продовольства	Така стратегія визначає підхід до забезпечення Європи безпечними, поживним та якісними продуктами харчування, мінімізуючи при цьому негативний вплив виробництва продуктів харчування на навколишнє середовище. Фермери та рибалки відіграють важливу роль і нова сільськогосподарська політика ЄС спрямована на підтримку їхньої участі у боротьбі зі зміною клімату.
7	Нульове забруднення довкілля	Було розроблено план дій для захисту громадян та екосистем від забруднення повітря, води та ґрунту. Заходи включають збереження біорізноманіття у водних екосистемах, зменшення впливу мікропластику та фармацевтичних препаратів, перегляд стандартів якості повітря відповідно до рекомендацій ВООЗ, підтримку місцевих органів влади у покращенні якості повітря, зменшення забруднення від великих заводів та покращення запобігання промисловим аваріям.
8	Посилення кліматичних амбіцій	ЄС планує збільшити свої цілі зі скорочення викидів на 55% до 2030 року порівняно з рівнем 1990 року, зокрема через ініціативу «Fit to 55», спрямовану на досягнення кліматичної нейтральності.

Зокрема, для цього, Уряду країни необхідно здійснити такі дії:

- Сприяти розвитку екологічно-чистих технологій виробництва шляхом підтримки запровадження сучасних технологій, які мінімізуватимуть вплив виробництва на довкілля та надавати фінансові гранти для підтримки екоініціатив.
-
- Посилити контроль за викидами та забрудненням, шляхом впровадження більш строгих екологічних стандартів для підприємств та впровадженням ефективної системи моніторингу викидів і залучення громадськості до контролю цього процесу.
- Заохочувати сталий розвиток сільського господарства шляхом підтримки фермерів та агропідприємств, які використовують екологічно-безпечні практики та надавати грантову допомогу для запровадження інновацій у цю сферу для зменшення використання хімікатів і підвищення врожайності.
- Посилити розвиток екологічної освіти та інформування громадськості, шляхом впровадження екопрограм в освітній процес в школах та університетах, як обов'язкову складову навчання, а також проводити різні інформаційні кампанії, з метою підвищення екологічної свідомості серед населення.

- Розробити та впровадити податкову підтримку для «зеленого» бізнесу, шляхом надання податкових пільг або ж можливості працювати певний визначений час без сплати податку за умов впровадження і використання зелених технологій.

Висновки. Підсумовуючи, бачимо, що екологізація виробництва – це один із суспільно-важливих світових трендів, який забезпечує екологічну стійкість та фізичне здоров'я нації. Україна, як країна, яка намагається стати членом Європейського Союзу має також дотримуватися та активно впроваджувати зелені технології, так в країнах ЄС прийняли план дій «Європейський зелений курс», який передбачає екологізацію багатьох сфер життєдіяльності. То ж, хоч наша країна і знаходиться на стадії економічного розвитку, але дотримання максимальної екологізації сприятиме різним економічним аспектам, підвищить інвестиційну привабливість та наблизить нас до вступу в ЄС. Для цього, Уряду рекомендовано, незважаючи на стан війни, здійснити заходи, які сприятимуть переходу до трансформації, а саме: заохочувати перехід до інноваційних методів ведення бізнес-діяльності шляхом надання грантів, продумати нову податкову політику, яка включатиме різні податкові пільги, сприяти підвищенню рівня освіти та самосвідомості громадян.

Література:

1. Екологізація економіки та екологічність виробництва в Україні. Центр екологічного моніторингу. URL: <http://surl.li/ncqaz> (дата звернення: 13.11.2023)
2. Communication From the Commission «The European Green Deal», 11.12.2019. European Commission. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640&from=ET> (дата звернення: 13.11.2023).



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.290920>

UDC 676

IMPLEMENTATION OF RESOURCE-EFFICIENT CLEAN PRODUCTION AT THE MILLS OF THE PAPER INDUSTRY

Tetiana KYLIUSHYK¹, Vita HALYSH^{1,2}

¹ Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute,
Beresteisky Avenu 37, Kyiv, 03056, Ukraine

² Chuiko Institute of Surface Chemistry, National Academy of Sciences of Ukraine
General Naumov St.17, Kyiv, 03164, Ukraine

e-mail: taniakilyushik@gmail.com

Resource-efficient clean production is an approach in production that focuses on optimal use of resources, reduction of waste and negative impact on the environment. The main goal of this approach is to achieve efficiency and sustainability of production with minimal consumption of resources and emissions [1]. The approach of resource-efficient and clean production is designed to facilitate the transition to a circular economy, in which the prevention of waste generation is a top priority, as well as the preparation of enterprises to reuse or increase the value of residues by introducing residues into value-added production chains [2]. Resource-efficient clean production includes the implementation of technologies for the ecologization of industry. The reduce in the consumption of materials and raw materials will help to avoid losses and minimize the impact on natural resources. Implementation of recycling systems and use of waste will help to create new products or energy. Development of products that have a lower impact on the environment during production, use and disposal priority direction of development of chemical technologies. Search and implementation of the latest technologies and production methods aimed at increasing efficiency and reducing waste. Implementation of environmentally friendly technologies to reduce emissions and pollution in air, water and soil the priority direction of the development of ecology.

The overall goal of resource-efficient clean production is to create a sustainable, cost-effective and environmentally responsible production process. Paper production faces a number of serious challenges, including high volumes of water consumption, high electricity costs and the need for heat recovery. Paper mills are sources of air pollution [3]. The high volume of water use poses a serious threat to natural water resources and can lead to water shortages in regions where paper mills are located. Electricity consumption in paper production is significant due to the processes of bleaching, drying and other stages of production.

This leads to large emissions of greenhouse gases and a negative impact on the climate [4]. In addition, the need for heat recovery is an important task, since the efficient use of thermal energy can contribute to the reduction of energy consumption and emissions, improving the overall sustainability and environmental efficiency of paper production. In addition, an important factor in the production of paper and cardboard is the large consumption of pulp, which is obtained from wood, which is accompanied by deforestation [5]. The development and implementation of the latest technologies aimed at optimizing production and reducing its impact on the environment are becoming important tasks for overcoming these problems.

To overcome these problems, paper factories must actively implement technologies for efficient use of resources, improve recycling systems, and improve production processes with regard to sustainability and environmental safety. The implementation of resource-efficient clean production at enterprises of the paper industry can include:

1. Modernization of equipment [6]: modernization of production equipment at paper industry factories is carried out in order to increase the productivity and quality of production of different types of paper and cardboard, both from primary fiber and using waste paper. This includes the purchase of modern machines and technological systems to improve production processes. Modernization of production facilities can apply to the entire technological process of paper and cardboard production, starting from the preparation of cellulose materials and ending with the storage of finished products.

2. Use of the latest technologies [7]: the introduction of modern technologies in production, such as automation, monitoring and quality control, which will help reduce costs and ensure high quality of final products, reduce the number of defects and by-products. It is also interesting to introduce new production technologies using chemical reagents in the composition of paper and cardboard to capture fiber and reduce pollution of sub-grid waters.

3. Use of domestic raw material sources for obtaining pulp [8]: the transition to the production of paper and cardboard from 100% pulp from non-wood plant raw materials will allow to reduce the cost of finished products and increase their competitiveness on the domestic market. Any country can choose its own source of plant raw materials, depending on the specifics of the agro-industrial complex, because waste from the processing of agricultural crops can be a source of cellulose products to meet the needs of the pulp and paper industry.

4. Reducing energy consumption [9]: improving the energy supply system and increasing the energy efficiency of production to reduce electricity consumption, which will be important for reducing the cost of finished products. It is important to develop and implement alternative energy sources that will reduce the use of fossil raw materials. This includes the burning of plant waste, the production of gaseous or liquid biofuels from plant materials, waste from the processing of plant materials or by-products of wastewater treatment.

5. Implementation of green practices [10]: take into account environmental aspects in the production process, including reducing the impact on the environment and using secondary resources. Secondary processing of paper and cardboard is important from the point of view of saving primary cellulose fibers and allows reducing the amount of solid waste accumulation in the environment.

6. Improvement of quality control [11]: improvement of the product quality control system at all stages of production to ensure high quality of final products, which meets the requirements of consumers of certain types of paper and cardboard.

7. Improving logistics efficiency [12]: optimizing transport costs by improving logistics processes and ensuring efficient delivery of raw materials and finished products to consumers. It is important to create optimal schemes for the transportation of materials to meet both the needs of the enterprise in raw materials and consumers in cardboard and paper products. It is also important to provide employees with access to information sources in which the latest achievements in the field of paper production are published.

8. Training of workers [13]: provide training and preparation of staff to work with new equipment and technologies. It is also important to provide employees with access to information sources in which the latest achievements in the field of paper production are published. An important factor in the development of workers is their constant improvement of qualifications through relevant courses, as well as attendance at conferences, symposiums and exhibitions.

9. Implementation of the development strategy [14]: to develop a long-term strategy for the development of the enterprise, taking into account the growing needs of the market and competitive opportunities. In general, the development strategy involves the development of a set of strategic decisions that determine the priority directions of the company's development as a whole in the long term.

These approaches can be implemented individually or jointly at domestic paper mills to improve production conditions, reduce resource consumption, and increase product quality and competitiveness. This is necessary not only to improve production indicators, but also to ensure the principles of sustainable development. Greening of paper production will also have a significant impact on the environment not only on a local scale, but also on a global scale, as emissions into the air and water bodies of the environment will decrease.

Literature:

1. A. Tukker, Product services for a resource-efficient and circular economy—a review, *Journal of cleaner production*, Vol. 97, pp. 76-91, 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2013.11.049
2. J.K. Staniskis, and E. Katiliute, Systems approach to resource efficient and cleaner production solutions: method and implementation. *Sustainability Through Innovation in Product Life Cycle Design*, pp. 385-398, 2017, doi: 10.1007/978-981-10-0471-1_26
3. J. Dionne, and T. R. Walker, Air pollution impacts from a pulp and paper mill facility located in adjacent communities, Edmundston, New Brunswick, Canada and Madawaska, Maine, United States, *Environmental Challenges*, Vol. 5, No. 100245, 2021, doi: 10.1016/j.envc.2021.100245
4. S. Lipiäinen, E.L. Apajalahti, and E. Vakkilainen, Decarbonization prospects for the European pulp and paper industry: different development pathways and needed actions. *Energies*, Vol. 16, No. 2, pp. 746, 2023, doi:10.3390/en.16020746
5. I.S. Beia, R. Ciceoi, M.M. Micu, and V.E. Beia, Lignocellulosic biomass as agricultural bioresource and input to the circular economy. *Romanian Agricultural Research*, Vol. 40. pp. 667-676, 2023, doi: 10.59665/rar.4062
6. M. Reczulski, W. Szewczyk, and M. Kuczkowski, Possibilities of Reducing the Heat Energy Consumption in a Tissue Paper Machine—Case Study. *Energies*, Vol. 16, No. 9, pp. 3738, 2023, doi: 10.3390/en.16093738
7. S. Gargaro, M. Cigola, A. Gallozzi, and R. Catuogno, Relationships Between Paper Mills and Technological Evolution of Paper Production. In *Explorations in the History and Heritage of Machines and Mechanisms: Proceedings of the 2018 HMM IFToMM Symposium on History of Machines and Mechanisms Springer International Publishing*, pp. 144-159, 2019, doi: 10.1007/978-3-030-03538-9_13
8. I. Trembus, A. Hondovska, V. Halysh, I. Deykun, and R. Cheropkina, Feasible Technology for Agricultural Residues Utilization for the Obtaining of Value-Added Products. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, Vol. 2, No. 23, 2022, doi: 10.12912/27197050/145732
9. M.D. Obrist, R. Kannan, T.J. Schmidt, and T. Kober, Long-term energy efficiency and decarbonization trajectories for the Swiss pulp and paper industry. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vol. 52, pp. 101937, 2022, doi: 10.1016/j.seta.2021.101937
10. M. Liu, S. Tan, M. Zhang, G. He, Z. Chen, Z. Fu, and C. Luan, Waste paper recycling decision system based on material flow analysis and life cycle assessment: A case study of waste paper recycling from China. *Journal of environmental management*, Vol. 255, pp. 109859, 2020, doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109859
11. V. Azamfirei, F. Psarommatis, and Y. Lagrosen, Application of automation for in-line quality inspection, a zero-defect manufacturing approach. *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 67, pp. 1-22, 2023, doi: 10.1016/j.jmsy.2022.12.010
12. M.L. Linares, E. da Silva Christo, and K.A. Costa, Lean Six Sigma in the logistics of the loading process of a paper mill. *Exacta*, Vol. 17, No. 3, pp. 191-200, 2019, doi: 10.5585/exactaep.v17n3.8520

13. M. Vetrakova, J. Durian, M. Seková, and A. Kaščáková, Employee Retention and Development in Pulp and Paper Companies. *BioResources*, Vol. 11, No. 4, pp. 9231-9243, 2016.
14. D.D. Mandal, G. Singh, S. Majumdar, and P. Chanda, Challenges in developing strategies for the valorization of lignin—A major pollutant of the paper mill industry. *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 30, No. 5, pp. 11119-11140, 2023, doi: 10.1007/s.11356-022-24022-4.



ВНЕСОК МОРСЬКОГО ЦИВІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ У ЗНИЖЕННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ ВИКИДІВ, ПРОГНОЗ НА ПЕРІОД ДО 2050 РОКУ

Марк ЛАНЕЦЬКИЙ, Лаурінас АГЕСВАС

Вільнюська Жвірине гімназія

Žalioji g. 4, Vilnius, LT-08111, Литовська Республіка

e-mail: laneckijm@gmail.com

Проблема глобального потепління загострила питання щодо зниження викидів в атмосферу парникового газу CO₂. Станом на 2020 р. світовий транспортний сектор генерує 24% світових викидів CO₂ внаслідок згоряння бензину та дизельного палива, або 7,2 млрд т.

Роль морського транспорту у світовій економіці неможливо переоцінити. Згідно з даними Ради Конференції ООН з торгівлі та розвитку (ЮНКТАД), понад 80% усіх вантажів у світовій торгівлі перевозяться морським транспортом [8]. За останні два десятиліття загальна вага вантажів, перевезених морським транспортом, збільшилася в 2 рази: з 5984 млн т у 2000 році до 11 076 млн т у 2019. За збереження існуючого тарифу вантажоперевезення морським транспортом можуть збільшитися майже втричі до 2050 року [5].

Питання зниження викидів CO₂ морським транспортом досліджується багатьма сучасними вченими. Зокрема, у джерелах [1;2;3;4;5;6;7] наведено інформацію щодо того, що у період з 1990 р. по 2020 р. спостерігається інтенсифікація використання морського транспорту, що супроводжується збільшенням викидів CO₂ в атмосферу у 2,5 рази, у порівнянні з початком вказаного періоду. Так у 2020 р. частка морського транспорту у викидах CO₂ в атмосферу становила до 3% від усіх викидів. [5]. При цьому, тільки у 2018 році морський транспорт здійснив викид у атмосферу 1,056 млрд. тон еквівалента вуглекислого газу, що становить близько 2,89% річних викидів усіх парникових газів [7].

Метою нашого огляду є аналіз відповідної статистичної інформації і спроба прогнозування тенденцій внеску морського цивільного транспорту у вуглецеві викиди транспортної інфраструктури світу.

Згідно з Паризькою кліматичною угодою від 2015 р. країни світу домовилися досягти зниження викидів CO₂ до «нульового рівня» у період до 2050 року. Відповідно до стратегії ухваленої Єврокомісією ЄС до 2030 року країни Євросоюзу мають знизити викиди CO₂ на 45% порівняно з 2010 р. При цьому якщо нинішні тенденції зберігатимуться, то глобальні викиди CO₂ до 2030 року не знизяться, а збільшаться на 14% [9].

Щоб переламати ситуацію Єврокомісія вводить спеціальний податок на «карбоновий слід» у розмірі 300 євро за тону, викидів CO₂ для вироблених в ЄС і 500 євро за тону для продукції, що імпортується. Цей податок обраховуватиметься виходячи з того, скільки викидів CO₂ знадобилося для виробництва та транспортування продукції до споживача [2].

Майже весь морський транспорт у світі зараз використовує дизельні двигуни внутрішнього згоряння. В сучасному світі з кожним роком збільшується кількість товарів, що транспортуються морським транспортом тим самим спричиняючи зростання викидів CO₂ в атмосферу. Перехід морських компаній на атомоходи значно зменшить загальні викиди міжнародного судноплавства. Якщо не буде вжито належних заходів, загальний обсяг викидів

CO₂, за прогнозами, збільшиться на 250% у 2050 році. [7]. Тому саме зараз настав час коли актуально не тільки задуматись, але і почати діяти в напрямку переходу морських транспортних суден на атомні реактори або водневі двигуни. Запровадження відповідного податку в майбутньому, буде мати вагомий вплив на вартість морських перевезень. При цьому у суден, що ходять на нафтовому паливі більше не буде цінної переваги перед судами з атомними реакторами. Оскільки податок буде впливати на ціну перевезень можна сміливо прогнозувати ріст компаній, що будуть готові вкладати кошти в нові розробки атомоходів для зменшення своїх податкових витрат. Також існує імовірність, що у майбутньому можуть бути запровадженні інші привілеї для атмосферно нейтральних суден, та обмеження для суден, що здійснюють викиди CO₂. Наприклад, існують пропозиції заборонити з 2040 р. вхід до портів ЕС кораблям із підвищеними викидами CO₂.

















	Ship	Country	Commission – Decommission year	Type
	<i>Lenin</i>	Soviet Union	1959–1989	Icebreaker
	<i>NS Savannah</i>	United States	1962–1972	Cargo and passenger demonstration ship
	<i>Otto Hahn</i>	Germany	1968–1979	Cargo and research ship
	<i>Mutsu</i>	Japan	1974–1992	Cargo ship
	<i>Arktika</i>	Russia	1975–2008	Icebreaker
	<i>Sibir</i>	Russia	1977–1992	Icebreaker
	<i>Rossiya</i>	Russia	1985–2013	Icebreaker
	<i>Sevmorput</i>	Russia	1988–in operation	Cargo ship
	<i>Sovetskiy Soyuz</i>	Russia	1989–2014	Icebreaker
	<i>Taimyr</i>	Russia	1989–in operation	Icebreaker
	<i>Vaygach</i>	Russia	1990–in operation	Icebreaker
	<i>Yamal</i>	Russia	1992–in operation	Icebreaker
	<i>50 Let Pobedy</i>	Russia	2007–in operation	Icebreaker
	<i>Arktika</i>	Russia	2020–in operation	Icebreaker
	<i>Sibir</i>	Russia	2021–in operation	Icebreaker

Рис.1 Ілюстрація з сайту <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9966280>

Водночас, у січні 2022 р., Єврокомісія визнала атомну енергетику екологічно чистою та такою, що сприяє зниженню парникових викидів. Це визнання значно покращує ситуацію з будівництвом атомоходів та сприяє залученню інвестицій до цієї індустрії. Після всесвітньо відомих аварій в Чорнобилі та Фукусімі була поширеною думка про те, що ядерна енергетика є небезпечною, але зараз стає зрозуміло, що це не відповідає дійсності і атомна енергетика, за умов додержання правил експлуатації АЕС, є безпечною, а її використання не є вуглецево нейтральним для навколишнього середовища.

В даний час морські атомоходи майже виключно використовують військові, хоча розробки і навіть збудовані морські судна «на атомному ході», переважно криголами, існують уже багато десятиліть. Головна перешкода їхнього масового використання – висока вартість

спорудження та існуючі обмеження з будівництва та експлуатації атомних реакторів. Поки що кількість судів невелика – зараз використовуються лише 7 цивільних атомних суден (див. табл.), але у таких суден точно є перспектива тому що вони абсолютно не забруднюють навколишнє середовище і є набагато потужнішими за кораблі з двигунами внутрішнього згорання [3].

У 2018 році Міжнародна морська організація сформулювала стратегію спрямовану на забезпечення скорочення викидів вуглекислого газу морськими суднами щодо 2008 року на 40% у 2030 році та на 70% (близько 300 млн т) у 2050 році. Згідно неї до 2030 року 17% енергії, що споживається морськими суднами, генеруватиметься з низьковуглецевих видів палива: аміаку (8%), водню (2%) та біопалива (7%). До 2050 року їхня частка в енергоспоживанні морського транспорту збільшиться до 84%, у тому числі 46% аміаку, 17% водню і 21% біопалива. Експерти Організації економічного співробітництва та розвитку прогнозують, що викиди вуглекислого газу морським транспортом можна скоротити на 80% вже до 2035 року за рахунок заміни 70% викопного палива аміаком та воднем та 22% – біопаливом.

В усіх сценаріях декарбонізації морського транспорту аміаку відводиться провідна роль. Сьогодні аміак успішно перевозиться морськими суднами, близько 120 портів вже мають необхідну інфраструктуру, а 170 суден мають відповідні «аміачні» двигуни. Залишається відкритим питання виробництва аміаку у необхідних обсягах. Для того щоб перевести на його використання хоча б 30% існуючих морських суден, потрібно збільшити світове виробництво на 150 млн т щорічно. Для цього пропонується задіяти зелені морські вітрові електростанції (що вже зараз в експериментальному режимі вже відбувається у Марокко). У той же час використання аміаку як палива для силових установок на морських суднах, потребує вирішення низки технологічних та екологічних проблем. Аміак має більш високу температуру самозаймання та меншу ламінарну швидкість поширення полум'я, порівняно з вуглеводневим паливом, що може призвести до нестабільної роботи двигуна на низьких та високих оборотах [5].

Висновки:

Введення нових податків і обмежень призведе до скорочення у 2050 р. загальних щорічних викиди CO₂ морським цивільним транспортом, як мінімум, на 40- 50% порівняно з 2008 роком. [2], що, водночас, може привезти до кризи морських перевезень, з огляду на підвищення їх собівартості. Реальною стратегією розвитку цієї галузі є поступовий перехід від двигунів, що використовують органічне пальне на водневі та атомні силові установки. Вважаємо за доцільне розробку стратегії державної підтримки суднобудівної галузі ЄС, на період початкового формування цивільного атомного флоту його країн-членів.

Література:

1. Ahmed G. Elkafas, Massimo Rivarolo, and Aristide F. Massardo. Environmental economic analysis of speed reduction measure onboard container ships *Environ Sci Pollut Res Int.* 2023; 30(21): 59645–59659. Published online 2023 Apr 4. doi: 10.1007/s11356-023-26745-4 PMID: PMC10071253 PMID: 37012573 Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Faculty of Engineering, Alexandria University <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10071253/>
2. Fayas Malik Kanchiralla, Selma Brynolf, Elin Malmgren, Julia Hansson, and Maria Grahn. Life-Cycle Assessment and Costing of Fuels and Propulsion Systems in Future Fossil-Free Shipping *Environ Sci Technol.* 2022 Sep 6; 56(17): 12517–12531. Published online 2022 Aug 23. doi: 10.1021/acs.est.2c03016 PMID: PMC9454245 PMID: 35998678 Department of

Mechanics and Maritime Sciences, Maritime Environmental Sciences, Chalmers University of Technology, SE-412 96 Gothenburg, Sweden
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9454245/>

3. Qiuwen Wang, Hu Zhang, Puxin Zhu, Using Nuclear Energy for Maritime Decarbonization and Related Environmental Challenges: Existing Regulatory Shortcomings and Improvements *Int J Environ Res Public Health*. 2023 Feb; 20(4): 2993. Published online 2023 Feb 8. doi: 10.3390/ijerph20042993 PMID: 36833688 College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang, China
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9966280/>

4. Sebastian Franz, Nicolas Campion, Sara Shapiro-Bengtson, Rasmus Bramstoft, Dogan Keles, and Marie Münster. Requirements for a maritime transition in line with the Paris Agreement *iScience*. 2022 Dec 22; 25(12): 105630. Published online 2022 Nov 18. doi: 10.1016/j.isci.2022.105630 PMID: 36505932 Technical University of Denmark, Department of Technology, Management and Economics, Energy Economics and Modelling, Kongens Lyngby, Denmark
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9730049/>

5. K. I. Yakubson, Prospects for Using Hydrogen in Various Branches of the World Economy as One of the Directions of Its Decarbonization. *Russ J Appl Chem*. 2022; 95(3): 309–340. Published online 2022 Aug 26. doi: 10.1134/S1070427222030016 PMID: 36833688 Institute of Oil and Gas Problems
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9417091/>

6. Yuze Li, Peng Jia, Shangrong Jiang, Haijiang Li, Haibo Kuang, Yongmiao Hong, Shouyang Wang, Xueting Zhao, and Dabo Guan The climate impact of high seas shipping *Natl Sci Rev*. 2023 Mar; 10(3): nwac279. Published online 2022 Dec 8. doi: 10.1093/nsr/nwac279 PMID: 36875783 Questrom School of Business, Boston University, Boston,
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9976761/>

7. Bin Yang and Jiahui Zou Optimization of Liner Operations and Fuel Selection considering Emission Control Areas *J Environ Public Health*. 2023; 2023: 6351337. Published online 2023 Jul doi: 10.1155/2023/6351337 PMID: 37457598 Institute of Logistics Science and Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10348850/>

8. Сайт новин ООН <https://news.un.org/ru/story/2018/11/1343431>

9. Сайт ООН Заходи боротьби зі зміною клімату <https://www.un.org/ru/climatechange/net-zero-coalition>



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.290382>

УДК 574.08:681.78:629.52.7

НАУКОВІ НАПРЯМИ ЗАСТОСУВАННЯ АЕРОКОСМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ

Олег МАШКОВ¹, Катерина МУХІНА², Володимир ПРИСЯЖНИЙ³

¹ Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, м. Київ 03035, Україна

² Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського
проспект Берестейській, 37, м. Київ 03056, Україна

³ Національний центр управління та випробувань космічних засобів
вул. Князів Острозьких, 8, м. Київ 02000, Україна

e-mail: maskhov_oleg_52@ukr.net

Розвиток ефективної системи управління екологічною безпекою відповідає європейським і світовим підходам до управління навколишнім середовищем, у тому числі вимогам і директивам Угоди про асоціацію України з Європейським Союзом. Створення такої системи значно розширить міжнародне співробітництво України у сфері охорони довкілля та сприятиме приведенню стану довкілля у відповідність до європейських та світових вимог. Незадовільний стан екологічного моніторингу визначено як загрозу національній безпеці в екологічній сфері. Нині в Україні відсутня цілісна система управління екологічною безпекою, певним чином функціонують лише відомчі мережі, які вирішують вузькопрофільні управлінські завдання. Система екологічного управління навколишнім середовищем як важлива складова системи державного управління національною безпекою та формуванням державної політики сталого розвитку, виконанням міжнародних зобов'язань України у сфері охорони навколишнього природного середовища потребує докорінного вдосконалення, особливо в частині впровадження сучасних технологій геоінформаційних систем і дистанційного зондування Землі.

Створення загальнодержавної системи управління навколишнім середовищем передбачає застосування ефективної системи управління екологічною безпекою. Управління екологічною безпекою передбачає збір, збереження та обробка достовірної та оперативної інформації, необхідної для розробки заходів щодо запобігання та зменшення негативних наслідків змін навколишнього середовища. При цьому управління екологічною безпекою навколишнього природного середовища та об'єктами критичної інфраструктури можна розглядати як комплекс взаємопов'язаних інформаційних процесів в екосистемах, що використовують певні методи та моделі та спрямовані на вирішення завдань планованої діяльності за допомогою інтегрованих автоматизованих систем. [1-3]. Процес прийняття управлінських екологічних рішень розглядається як сукупність взаємопов'язаних процедур перетворення екологічної інформації від моменту отримання вихідних даних до надання екологічної інформації особі, яка приймає управлінські екологічні рішення для досягнення певної мети [3-6]. Існуюча система управління екологічною безпекою базується на реалізації її суб'єктами розподілених функцій і складається з підпорядкованих підсистем. Кожна підсистема на рівні окремих суб'єктів системи управління

навколишнім середовищем має свої структурно-організаційні, науково-методичні та технічні основи.

Проблема інтеграції аерокосмічних технологій у систему управління екологічною безпекою розглядалася в роботах багатьох авторів [3-6]. Проведений аналіз показує, що на даний час залишаються невирішеними питання наукового обґрунтування технологій застосування аерокосмічних технологій в системах підтримки прийняття управлінських екологічних рішень. Порівняльний аналіз запропонованих нових рішень з відомими дозволяє визначити нові підходи до інтеграції аерокосмічних технологій у систему управління екологічною безпекою при оцінці ефективності системи підтримки прийняття управлінських інформаційних екологічних рішень.

Мета дослідження – наукове обґрунтування ефективності впровадження аерокосмічних технологій у систему управління екологічною безпекою з використанням інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень.

Система підтримки прийняття управлінських екологічних рішень з використанням аерокосмічних технологій передбачає виконання наступних процедур: просторове ув'язування об'єктів екологічного управління; моделювання динаміки надзвичайних екологічних ситуацій; аналіз екологічних загроз і ризиків для навколишнього природного середовища та об'єктів критичної інфраструктури; діагностика екологічної ситуації в районі спостереження на основі оцінки екологічних загроз і ризиків; підтримка прийняття управлінських екологічних рішень шляхом представлення та відображення оперативної екологічної ситуації засобами візуалізації та формування пропозицій щодо управлінських рішень.

Технологія створення інтелектуальної системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень передбачає послідовне виконання наступних процедур:

- створення статичного шару просторової моделі об'єктів екологічного управління, що складається з геотаксонів, створення атрибутивної бази даних, що описує геотаксони, та прив'язка її до шару геотаксонів;
- створення шару комірок змінного розміру;
- прийом та обробка даних для моніторингу стану об'єктів екологічного спостереження в умовах можливих надзвичайних екологічних ситуацій;
- моделювання екологічних процесів у зоні діяльності об'єкта планованої діяльності та уточнення параметрів моделі відповідно до даних екологічного моніторингу;
- візуальне представлення динаміки поширення надзвичайних екологічних ситуацій, у вигляді відповідного шару просторової моделі району планованої діяльності;
- візуалізація геопросторової інформації, необхідної для підтримки прийняття управлінських рішень під час планової діяльності з метою підвищення ефективності її сприйняття особою, що приймає рішення;
- діагностика ситуації в районі управління екологічною безпекою в умовах можливих надзвичайних екологічних ситуацій шляхом розрахунку екологічних загроз і ризиків та візуального відображення цих оцінок у просторовій моделі у вигляді динамічних зон на відповідних шар просторової моделі району планованої діяльності.

Технологічно схему системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень можна створити шляхом модернізації класичного шаблону MVC («Model-View-Controller»), а саме: користувач взаємодіє з графічним інтерфейсом, контролер обробляє запит і формує модель і представлення запитів моделі для відображення результатів. У MVT URL-запит передається в представлення. Для відображення картографічної інформації використовувався Google Maps. Картографічна інформація зберігається в базі даних PostgreSQL.

Концепція програмної частини системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень базується на блочно-модульній архітектурі з можливістю ефективною заміни функціональних блоків без зміни загального дизайну. Окремі функціональні блоки системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень запропоновано об'єднати в підсистеми за схожими функціональними характеристиками (рис. 1).

Структура системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень складається з таких підсистем: зберігання даних; підсистема зв'язку з пристроями; підсистема просторової прив'язки об'єкта планованої діяльності; підсистема моделювання та прогнозування; підсистема екологічного моніторингу; підсистема аналізу екологічних ризиків; підсистема діагностики екологічної ситуації; підсистема подання інформації (візуалізації).

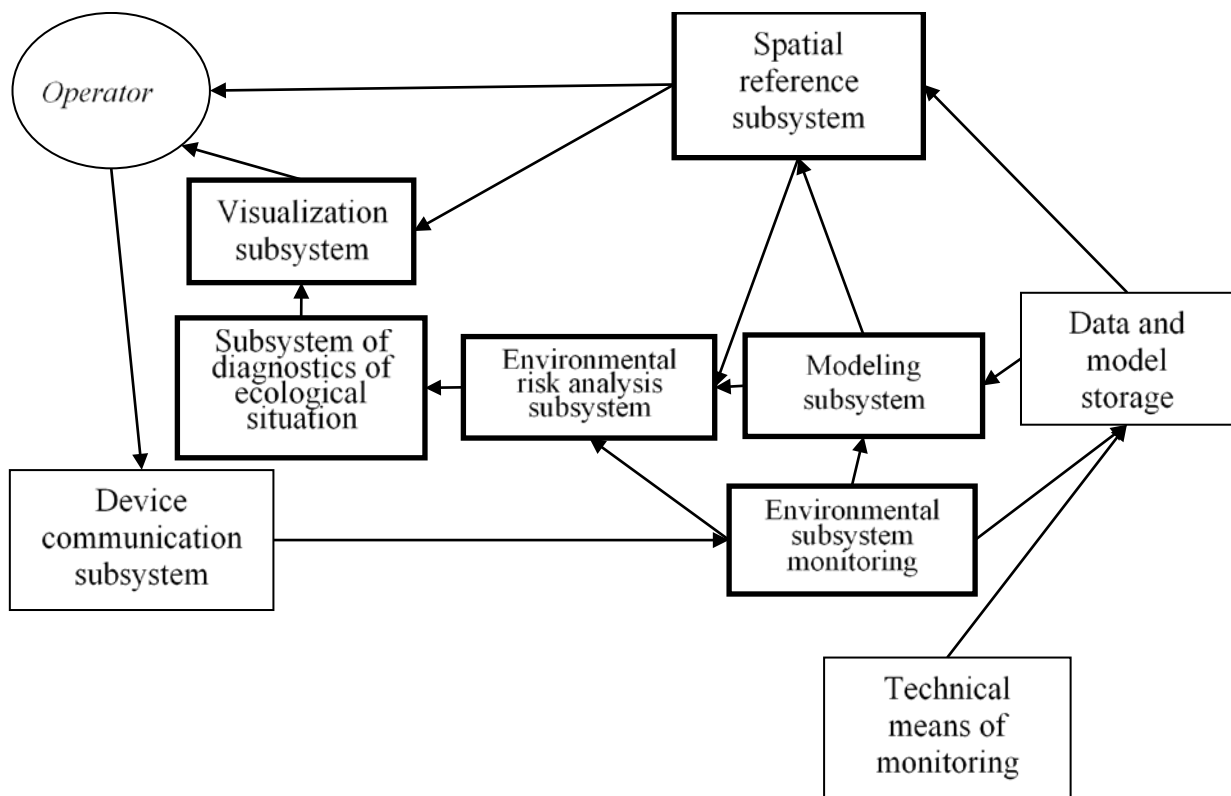


Рис. 1 – Концептуальна модель програмної системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень.

Вхідною інформацією для програмного продукту системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень є: сканована копія ділянки території, на якій здійснюється планована діяльність; значення атрибутів статичних даних картографічних об'єктів; значення параметрів середовища (метеорологічних умов); фото- та відеозображення, отримані за допомогою аерокосмічних технологій. Далі за допомогою інструментів Google Maps створюється електронна карта, на якій об'єкти нанесені у вигляді багатокутників. На основі атрибутивних параметрів картографічних об'єктів розроблено базу даних у форматі PostgreSQL.

Електронна карта містить полігони, які є наборами об'єктів просторової моделі та відображаються на карті відповідними кольорами. Вихідними даними ГС є розподіл оцінок ризику, що міститься в класі ризику. Для підтримки прийняття рішень інформація, отримана в результаті діагностики ситуації, подається у візуальному вигляді.

Результати експерименту підтвердили, що використання системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень дозволяє підвищити ступінь ефективності управлінських екологічних рішень за рахунок:

- скорочення часу на підготовку документів щодо стратегічної екологічної оцінки, оцінки впливу на довкілля, оцінки екологічних загроз та ризиків (зменшується час: до 1-2 годин при проведенні стратегічної екологічної оцінки, оцінки впливу на довкілля; 5-10 хв.) при обробці повідомлень про виникнення надзвичайних екологічних ситуацій, оцінці екологічних загроз і ризиків.);
- автоматизація доставки інформації, отриманої службами оперативного реагування;
- інформаційно-аналітичне забезпечення прийняття управлінських рішень при ліквідації надзвичайних екологічних ситуацій;
- зберігання інформації в базі даних з прив'язкою до об'єктів запланованої діяльності;
- можливості автоматизації створення звітів, ведення статистики, аналізу оперативної обстановки;
- єдиний інформаційний простір для підтримки прийняття управлінських екологічних рішень.

Запропонована система підтримки прийняття управлінських екологічних рішень може забезпечити прийнятні характеристики за точністю та швидкістю за умови дискретизації простору (локальності) з розмірами осередків від 10 до 20 м. Проведені експерименти також підтвердили, що використання GISForestProject дозволяє особі, яка приймає рішення, своєчасно приймати адекватні рішення. на основі оцінки екологічного ризику під час планової діяльності об'єктів критичної інфраструктури у разі виникнення надзвичайних екологічних ситуацій та відповідно зменшити реальні збитки в умовах надзвичайних екологічних ситуацій. Результати експерименту доводять, що використання системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень дозволяє скоротити тривалість оцінки ситуації та вибору рішення, що дає змогу зменшити залежність від її психофізіологічних та евристичних властивостей та знизити екологічні ризики від надзвичайні екологічні ситуації на об'єктах критичної інфраструктури.

Система підтримки прийняття управлінських екологічних рішень у GISForestProject апробована на вирішенні ряду завдань підтримки прийняття рішень зі стратегічної екологічної оцінки та оцінки впливу на навколишнє середовище. Таким чином, запропонована інтеграція аерокосмічних технологій у систему управління екологічною безпекою дозволяє ефективно використовувати системи підтримки прийняття управлінських інформаційних екологічних рішень. Запропоновану технологію підтримки прийняття екологічних управлінських рішень доцільно використовувати як основу веб-орієнтованої геоінформаційної системи GISForestProject, яка створена на мові програмування Python з використанням фреймворку Django та його розширення GeoDjango. Для створення системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень використано бібліотеку OpenLayers (для створення карт) та систему управління базами даних PostgreSQL.

Система забезпечує виконання наступних функцій: прийом та обробка даних моніторингу стану об'єктів планової діяльності в умовах можливих надзвичайних екологічних ситуацій; моделювання екологічних процесів у зоні діяльності об'єкта планованої діяльності та уточнення параметрів моделі відповідно до даних екологічного моніторингу; наочне

відображення динаміки поширення надзвичайних екологічних ситуацій у вигляді відповідного шару просторової моделі району планованої діяльності; діагностика ситуації в районі планованої діяльності в умовах можливих надзвичайних екологічних ситуацій шляхом розрахунку екологічних загроз і ризиків для об'єктів планованої діяльності та візуального відображення цих оцінок у просторовій моделі у вигляді динамічних зон на відповідному шарі просторової моделі території планованої діяльності; візуалізація геопросторової інформації, необхідної для підтримки прийняття управлінських рішень під час планових заходів з метою підвищення ефективності її сприйняття особою, що приймає рішення.

Література:

1. Khodashahri N.G, Sarabi M.H. Decision support system (DSS) // Singaporean journal of business economics and management studies. 2013. № 6 – С 94-102.
2. Tripathi K.P. Decision support system is a tool for making better decisions in the organization // Indian Journal of Computer Science and Engineering. 2017. № 21– С 112-117.
3. Бондар О.І., Машков О.А., Міхєєв В.С. Системний підхід щодо створення системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави / Екологічні науки: науково-практичний журнал. К.: ДЕА, 2020.-№ 3(30), 2020, с. 30-38.
4. Машков О.А., Іващенко Т.Г. Проблеми управління екологічною безпекою планованої діяльності за допомогою систем підтримки прийняття управлінських інформаційних екологічних рішень / Науковий часопис Академії національної безпеки, №3-4 (27-28) 2020, с. 7-34.
5. Машков О.А., Іващенко Т.Г., Мухіна К.Є. Застосування аерокосмічних технологій при управлінні екологічною безпекою планованої діяльності за допомогою інтегрованих автоматизованих систем. / Науковий часопис Академії національної безпеки, №1-2 (29-30) 2021, с. 4-27.
6. Офіційний сайт організації-розробника FuzzyGLIPS Електронний ресурс. Режим доступу: <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/projects/iit/fuzzy-reasoning.html>. – Загл. с екрана



ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ТЕХНОГЕННО ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ

Ольга МЕДВЕДЄВА¹, Заряна ГАЛЬЧЕНКО¹, Олексій ДЕМЧЕНКО²

¹ Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України
вул. Сімферопольська, 2а, м. Дніпро 49005, Україна

² ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»
просп. Гагаріна, 8, м. Дніпро 49005, Україна

e-mail: zhalchenko85@gmail.com

Згідно даних Міжнародного агентства відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) (IRENA) за останні 20 років потужність вітрової генерації у світі зросла з 7,5 ГВт у 1997 році до приблизно 564 ГВт у 2018 році. У період 2020-2022 років потужність вітрових електростанцій вже складає 730 ГВт і постійно зростає. Швидке зростання вітроенергетики спостерігається в Азії, Північній Америці, також вітровий потенціал розвивають країни ЄС – Данія, Іспанія, Німеччина. Розподіл потужностей встановлених вітрових електростанцій у світі (2014-2015 рр.) представлено на рисунку 1

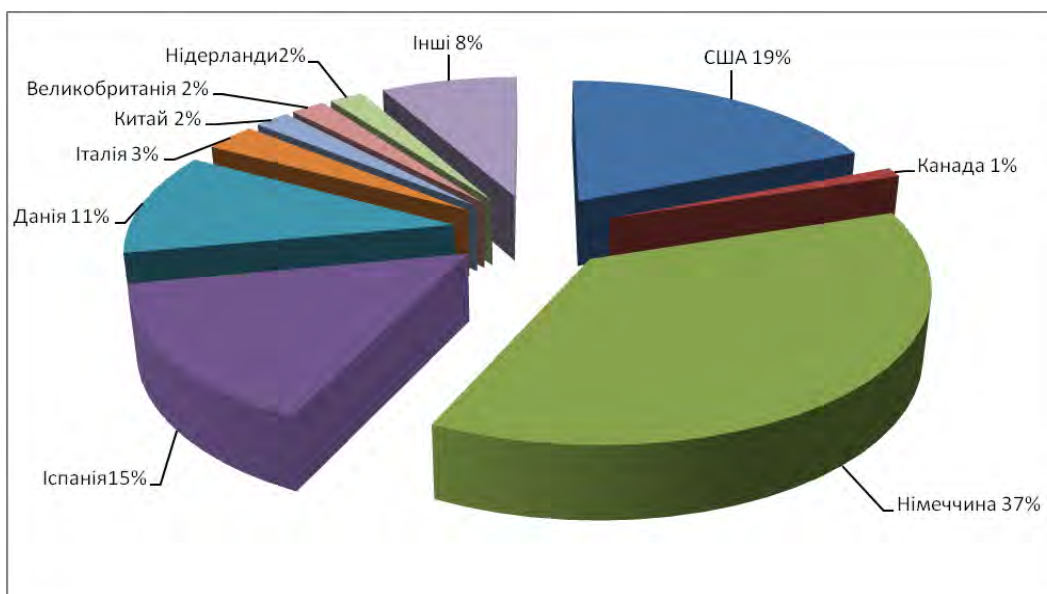


Рис.1. Розподіл потужностей встановлених вітрових електростанцій у світі (2014-2015 рр.)

Згідно даних Національної комісії, що здійснює регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) та Громадської спілки «Українська вітроенергетична

асоціація» (ГС «УВЕА») станом на 31 грудня 2021 року, встановлена потужність сектору відновлюваної енергетики України досягла 9 655,9 МВт із них доля вітроенергетики складає 1672,9 МВт, що у 20 разів вище порівняно з 2006 роком (рис. 2) [1]. Вітроенергетика є другою в Україні, після сонячної енергетики, в національному секторі відновлювальних джерел енергії, за загальною встановленою потужністю. До початку воєнних дій на території України працювали 34 вітроелектростанції (ВЕС), які складаються з 699 вітрових турбін, середня одинична потужність яких становить 3,5 МВт. На рисунку 3 представлені ВЕС України, які працювали в Україні станом на кінець 2021 року [1].

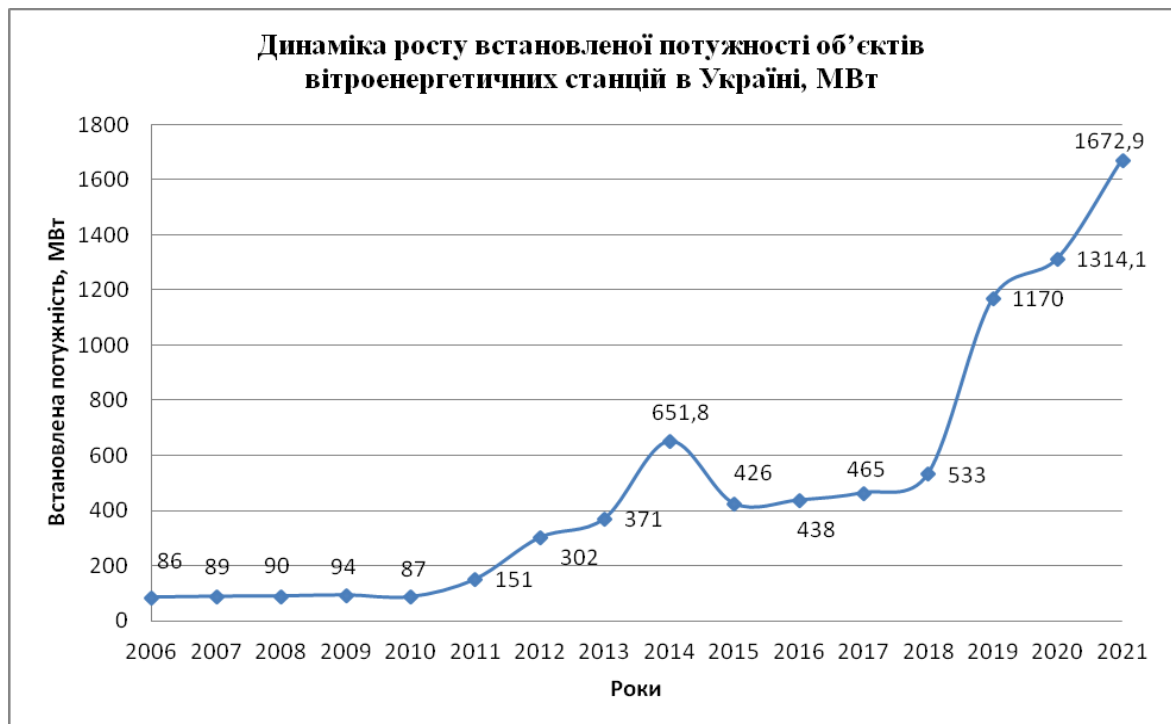


Рис. 2. Динаміка росту встановленої потужності об'єктів вітроенергетичних станцій в Україні (за даними НКРЕКП)

Як видно із рисунку 3, більшість ВЕС в Україні знаходяться на узбережжях Чорного та Азовського морів, на території Кримських та Карпатських гір, у Одеській, Херсонській та Миколаївській областях. За даними Інституту відновлювальної енергетики НАН України, ці регіони є найбільш придатними для використання енергії вітру. Але слід зазначити, що тут використовуються вітроенергетичні установки (ВЕУ) великої потужності з горизонтальною віссю обертання. Але слід відмітити, що на номінальний режим роботи генератор з горизонтальною віссю обертання виходить лише при швидкості вітру від 8 до 12 м/с. В діапазоні швидкостей від 2 до 6 м/с вихідна потужність подібних вітрогенераторів незначна, тобто використовується лише мала частина енергії вітру, що приймається. Якщо взяти до уваги той факт, що на більшості території України середньорічні швидкості вітру рідко перевищують 3,5-4,5 м/с, то використання ВЕУ з горизонтальною віссю обертання повсюдно стає неефективним. Тому треба вибрати більш раціональну ВЕУ, яка почне ефективно працювати навіть при низьких швидкостях вітру. Цим вимогам відповідають ВЕУ з вертикальною віссю обертання, що працюють на менших швидкостях вітру [2].



Рис. 3 Вітрові станції України станом на кінець 2021 року (за даними ГС «УВЕА»)

Також більш раціональним і перспективним є можливість використання техногенно порушених земель для встановлення ВЕУ. Наприклад, можна розташовувати ВЕУ на відвалах різних висот, тим самим збільшуючи виробництво електроенергії. Середня швидкість вітру на висоті 10 м дорівнює 6 м/сек., то на висоті 100 м – вже 9,6 м/сек. Таким чином, на високих відвалах вітроенергетичний потенціал буде на 60% перевищувати рівнинний. На території міста Кривий Ріг налічується 19 відвалів розкритих порід і некондиційних руд, які займають площу близько 6,0 тис. га, а середньорічна швидкість вітру складає 2,5-3,5 м/с – ці землі є придатними для встановлення на них малих ВЕУ з вертикальною віссю обертання. Головними перевагами таких вітряків можна назвати наступні:

- немає необхідності направляти вісь на потік вітру, такий вітряк використовує вітер, який дме в усіх напрямках, тому вони ефективні в районі Кривбасу, де переважають змінні вітри;
- якщо пориви вітру сильні, то подібні ВЕУ швидше нарощують силу тяги, а потім самі стабілізують швидкість обертання. Тому такі вітрові генератори можуть працювати безперебійно навіть при сильному штормовому вітрі;
- немає будь-яких обмежень щодо санітарно-захисних відстаней, тобто він може бути встановлений поряд з адміністративними будівлями, де працюють люди, оскільки шумове навантаження залишається в межах до 20 дБ. Він не має магнітного випромінювання, тому може встановлюватися в містах, на дахах будівель;

- не вимагає додаткових пристроїв для запуску;
- нешкідливий для бджіл, птахів та навколишнього середовища;
- через меншу швидкохідність і легкість лопатей він безпечніший;
- існують ВЕУ з вертикальною віссю обертання, які досягають номінальної потужності на малих обертах та незначній швидкості вітру (стартова швидкість вітру може бути 0,5 м/с);
- потребує мінімум території для установки, тому поряд можна розташувати декілька подібних ВЕУ[3].

Енергетичною стратегією України до 2035 року, яку було прийнято у серпні 2017 року, передбачається підвищення енергоефективності та використання енергії із відновлювальних та альтернативних джерел. Впровадження заходів із запобігання та адаптації до зміни клімату визначається як один із пріоритетів розвитку енергетики. Згідно з цією стратегією, частка ВДЕ в енергетичній системі України повинна до 2025 року скласти 12%, а до 2035 року – не менше 25% [1].

Звіт НЕК «Укренерго» з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей у 2020 році враховує поточні тенденції у сфері енергозбереження та передбачає подальше зростання частки всіх видів ВДЕ (у тому числі і вітроенергетики) у структурі виробництва електроенергії впродовж 10-11 років. Так у 2020 році вона збільшилася вдвічі у порівнянні з попереднім роком (з 3,5% у 2019 до 7,39% у 2020 р.). У наступні роки тенденція до зростання має зберігатися. У перспективі ВДЕ мають частково замінити електроенергію з вугільних ТЕС, які за прогнозом до 2031 року зменшать свої обсяги виробництва електроенергії на майже 12% [1].

Таким чином, можна зробити наступні висновки:

1. Вітровий потенціал України є досить високим. Доля вітроенергетики у встановленій потужності сектору відновлюваної енергетики України складає 1672,9 МВт, що у 20 разів вище порівняно з 2006 роком.

2. Для встановлення ВЕУ раціональним є використання техногенно порушених земель, зокрема зовнішніх відвалів.

3. Поряд з потужними вітроелектростанціями, які працюють на ВЕУ з горизонтальною віссю обертання, але для них потрібні спеціальні вітрові умови, доцільно використовувати ВЕУ з вертикальною віссю обертання, які працюють при малих швидкостях вітру і різному напрямку вітру. Також ВЕУ з вертикальною віссю обертання є більш екологічними і не потребують великих площ для розташування.

4. Тенденція до зростання використання ВДЕ в Україні зберігатиметься далі і в перспективі має замінити значну частку традиційних джерел отримання електроенергії.

Література:

1. В. Омельченко, Сектор відновлюваної енергетики України до, під час та після війни, Разумков центр, 2022 – [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://razumkov.org.ua/statti/sector-vidnovlyuvanoj-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny>. -Дата доступу: 08.11.2023.

2. O.O. Medvedieva, Z.S. Halchenko, O.O. Shustov, and D.K. Akhmetkanov, Prospects for the use of technologically disturbed lands in mining regions for the location of renewable energy sources facilities, *Geo-Technical mechanics Interdepartmental collection of scientific works*, Issue 165, pp. 17-27, 2023, doi:

3. P.I. Kopach, L.V. Yakubenko, T.M. Mormul, T.T. Danko, N.V. Gorobets, and Z.S. Halchenko, Assessment of natural resource potential of territories disturbed by mining works in the context of effective use of post-technogenic landscape, *Geo-Technical mechanics Interdepartmental collection of scientific works*, Issue 162, pp. 38-47, 2022, doi: <https://doi.org/10.15407/geotm2022.162.038>.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.291339>

УДК 504:61(477)

КЛІМАТ ПІВДНЯ УКРАЇНИ: ПРОГНОСТИЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ НА ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАСЕЛЕННЯ РЕГІОНУ

Андрій МОКІЄНКО¹, Володимир БАБІЄНКО², Ігор ГУЩУК¹

¹Національний університет «Острозька академія»

вул. Семінарська, 2, м. Острог, Рівненська обл. 35800, Україна

e-mail: osa@oa.edu.ua

²Одеський національний медичний університет

пров. Валіховський, 2, м. Одеса, Одеська обл. 65082, Україна

e-mail: office@onmedu.edu.ua

У Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року [1] зазначається, що «на Півдні та Південному Сході погіршиться якість поверхневих вод, що потребуватиме як додаткових заходів з очищення води, так і можливого транспортування води в ці регіони. За недостатності поверхневих вод необхідно залучення вод з глибоких підземних водоносних горизонтів. За умови недостатнього підживлення суміжних водойм від р. Дніпро можливе запровадження заходів з обмеження водопостачання».

Як відомо, українське узбережжя Чорного моря є найбільш уразливим до ризику дефіциту води через використання поверхневих вод і навантаження під час відвідувань відпочиваючих і туристів. Застаріла інфраструктура систем водопостачання та водовідведення в цьому регіоні також впливає на збільшення загроз.

Метою даного дослідження є аналіз взаємозв'язку та впливу змін клімату на стан водозабезпечення населення та рівні захворюваності водно-обумовленими інфекціями.

Завданнями Водної стратегії України на період до 2050 року [2], спрямованими на досягнення поставлених цілей, є будівництво нових, реконструкція та модернізація очисних споруд і формування планів дій з адаптації до зміни клімату у сферах управління водними ресурсами (в рамках плану управління річковим басейном).

Очікується, що в результаті реалізації Стратегії до 2030 року зменшиться рівень неінфекційних захворювань, що сприятиме зниженню рівня смертності внаслідок хвороб, зумовлених негативним впливом факторів навколишнього природного середовища. При цьому, автори Стратегії старанно оминають більш суттєву та ще більш складну у вирішенні проблему водно-обумовлених інфекцій.

Розроблення цієї Стратегії обумовлено незадовільним станом водних ресурсів, викликами та загрозами національній безпеці у сфері забезпечення водної безпеки держави, високим рівнем ризиків для водних об'єктів у зв'язку із значним забрудненням та виснаженістю, недостатністю адаптаційних можливостей водогосподарської галузі до негативних процесів зміни клімату, незадовільним технічним станом, зношеністю та недостатньою розгалуженістю систем централізованого водопостачання та/або водовідведення, застарілістю технологій для забезпечення населення України якісною питною водою.

У Стратегії планується забезпечення до 2030 року 100 відсотків доступу сільського і міського населення до безпечної економічно доступної питної води. Це дасть змогу отримати такі результати, як зменшення ризиків виникнення захворювань населення, пов'язаних із споживанням питної води неналежної якості [2].

Аналіз прогнозованих кліматичних змін басейну Дністра показав, що найбільш уразливими будуть наступні [3]:

Водопостачання. Зниження рівня підземних вод, пересихання колодязів і джерел – основних постачальників води в сільській місцевості. Можливий дефіцит доступних водних ресурсів у нижній частині басейну і погіршення якості води.

Населення. Ризик для життя, пов'язаний з екстремальними погодними і гідрологічними явищами. Загальна уразливість внаслідок низького рівня доходів населення, соціального розшарування, погіршення демографічної ситуації, зниження якості освіти.

Розрахунки за глобальним сценарієм A1B для басейну Дністра показують імовірне зниження до 2050 року середнього і мінімального стоку в середній та нижній течії Дністра. Це буде супроводжуватися погіршенням якості питної води, зокрема для населення м. Одеси. Ще до війни неналежна якість питної води обумовлювала близько 20 % захворюваності в Молдові, в тому числі на гострі кишкові та хронічні захворювання травної та імунної систем, сечокам'яну хворобу та флюороз [3].

За даними [4] у 2014 році серед 20 європейських країн Україна за показником забезпеченості водними ресурсами посідала 17 місце та 124 місце у списку 181 країн світу.

Згідно з міжнародною класифікацією більше половини території України характеризується катастрофічно низьким місцевим стоком. Особливо це стосується Півдня країни (Одеська, Миколаївська, Херсонська, Запорізька області). Це 0,14; 0,45; 0,22 і 0,32 тис. м³ на одну особу відповідно.

Ступінь змін водних ресурсів визначається за рекомендаціями ООН, згідно з якими зменшення середньої багаторічної величини річного стоку на 10 % пов'язується із наявністю значущих змін водних ресурсів; на 50% — з руйнацією водних ресурсів; на 70% — безповоротною руйнацією. Отже, водні ресурси Північно-Західного Причорномор'я підлягатимуть у майбутньому за різними сценаріями руйнації та безповоротній руйнації.

Цей приклад засвідчує, що однозначну відповідь на питання про майбутнє водних ресурсів України знайти не так вже й легко: різні сценарії, навіть за умови застосування однакових вихідних даних, можуть продемонструвати зовсім протилежні результати.

Використання водно-балансового моделювання водного стоку дозволило встановити [4], що з 2041 року можливе припинення місцевого поверхневого стоку в маловодні ріки в Херсонській, Одеській, Миколаївській, Дніпропетровській та Запорізькій областях.

У 2041–2060 рр. — період середньої водності — вона охоплюватиме території Херсонської, Одеської, Миколаївської та Запорізької областей, а в 2061–2080 рр. до неї приєднаються Дніпропетровська, Запорізька, Кіровоградська області та АР Крим.

Слід мати на увазі, що йдеться про зональні водні ресурси місцевого значення, так звані «кліматичний стік», який чутливий до потепління клімату і навіть в умовах сучасного клімату періодично припиняється в посушливі роки.

Однак, варто звернути увагу на ситуацію, пов'язану зі значним скороченням поверхневого стоку в окремих регіонах, адже до 2040 р. в деяких із них прогнозується значне зменшення поверхневого стоку в зв'язку з підвищенням температури повітря та збільшення випаровування. Наприклад, у Запорізькій області «кліматичний стік» може зменшитися в 10 разів, у Дніпропетровській у 6 разів, у Миколаївській в 3,6 рази, а в Криму — вдвічі.

Водопостачання вказаних регіонів не залежить від водних ресурсів місцевого стоку, але загальні тенденції потепління, що будуть супроводжуватися підвищенням температури повітря, величиною випаровування, зменшенням опадів є загрозливими для джерел водопостачання, зрошування (водосховища, ставки) та лінійної водогосподарської інфраструктури (канали, водогони). Можливі також значні втрати водних ресурсів під час їхнього зберігання та транспортування, виникнуть додаткові затрати енергії на функціонування водогосподарських споруд та вузлів.

Така ситуація загрожує різким погіршенням водопостачання міст і сіл регіону, обмежить розвиток аграрного сектора, погіршить санітарно-гігієнічні умови рекреаційних зон Причорномор'я. Особливо загрозливою є ситуація для комунального та промислового водопостачання міста Одеси, для якого р. Дністер є основним джерелом водопостачання.

В цей період варто забезпечити повномасштабну підтримку нормального функціонування інфраструктури водогосподарського комплексу Херсонської та Одеської областей, в яких очікується припинення місцевого стоку. Найкритичніша ситуація з водопостачанням (так званий водний стрес) настане, в першу чергу, в північній і центральній частинах Одеської області. Найбільший дефіцит води буде спостерігатися в Арцизькому, Татарбунарському, Кілійському районах Одеської області, де відсутні джерела прісної води. Вже зараз населення 170 сіл області користується привізною водою.

Основними адаптаційними заходами для водного господарства півдня України слід вважати раціональне використання наявних водних ресурсів та їх захист від забруднення. Слід визнати терміновим проведення рішучих заходів із метою подолання несанкціонованого відбору водних ресурсів із поверхневих і підземних джерел, заохочувати маловодні технології в регіоні.

Варто вводити нові альтернативні джерела водопостачання, не ігноруючи заходи з опріснення морської води чи перекидання водного стоку з інших регіонів, наприклад із басейна Дунаю. Окремо слід зазначити, що зменшення обсягів водних ресурсів вплине не лише на функціонування галузей економіки, але й може призвести до обмеження водопостачання населення.

Як показує даний аналіз кліматичних загроз для півдня України, загальна тенденція розвитку ситуації визнається як погіршення. Це особливо актуально, якщо врахувати «старі» проблеми водопостачання населення цього регіону, які не були вирішені до війни, а під час війни набули особливої гостроти.

Аналіз досліджень щодо взаємозв'язку якості питної води та інфекційною захворюваністю населення Одеси та Одеської області показав наступне.

Результати проведених досліджень [5] дозволяють свідчити, що у м. Одесі протягом 1970-2004 років провідна роль в етіології вірусного гепатиту А (ВГА) належала водному чиннику.

Виконано аналіз результатів вірусологічних досліджень якості води різних водних об'єктів Одеської області за 1994-2008 рр. [6]. Показано персистуючий характер вірусного забруднення водних об'єктів. Обґрунтовано недостатню ефективність існуючої системи водопідготовки на ВОС «Дністер» по відношенню до значимих вірусних контамінантів та високий ризик вторинної контамінації води вірусами у водорозподільчих мережах міста.

Вивчено питому вагу водного фактору в структурі інфекційної та неінфекційної захворюваності в Одеській області, в цілому, і популяції населення, що досліджувались, зокрема. Встановлено високу кореляційну залежність між контамінацією води водних об'єктів вірусом гепатиту А і захворюваністю населення вірусним гепатитом А, а також аналогічну залежність для питної води м. Одеси. Обґрунтовано значимість діоксиду хлору як

засобу знезаражування питної води, що забезпечує її епідемічну безпечність і не впливає на неінфекційну захворюваність [6].

Виконано комплексні дослідження біологічної (кишкові віруси, кишкові найпростіші, умовно-патогенна та патогенна мікрофлора, ціанобактерії) контамінації поверхневих водойм Українського Придунав'я [7]. Антропогенний характер забруднення води досліджених водойм умовно-патогенною і патогенною мікрофлорою та сприятливість для розмноження холерних вібріонів, легіонел, збудників туляремії та лептоспірозу свідчить, що регіон Українського Придунав'я є епідеміологічно неблагополучним. Проведено оцінку динаміки інфекційної та неінфекційної захворюваності населення регіону в контексті впливу водного фактору. Встановлено, що захворюваність у Придунайському регіоні (особливо в м. Ізмаїл та окремих районах, які варіюються в залежності від груп хвороб) вірогідно вище по всіх групах інфекційних захворювань та деяких групах неінфекційних захворювань різних категорій населення.

У роботі [8] оцінку щоденного ризику інфікування при використанні неочищеної води розраховували, використовуючи модель Бета-Пуассона, за якою ймовірність інфікування одним мікроорганізмом визначається бета-розподілом. Встановлена ймовірність зараження при щоденному вживанні очищеної та неочищеної питної води для трьох збудників – ротавірусу, *Cryptosporidium*, ентеротоксигенної *E. coli*. В ті дні, коли споживач повинен пити неочищену воду через збій постачання, ймовірність інфікування для ротавірусу становить 0,858 порівняно з 0,006 для очищеної води, для *Cryptosporidium* - 0,4 порівняно з 0,003, для ентеротоксигенної *E. coli* 0,12 порівняно з 0,000002. Тобто кратність ризику зараження складає 143, 133 та 60000 разів відповідно.

Висновки

1. Основними адаптаційними заходами до змін клімату для водного господарства південних областей (Одеської, Миколаївської, Херсонської, Запорізької) слід вважати раціональне використання наявних водних ресурсів та їх захист від забруднення. Варто вже зараз розпочати проведення рішучих заходів з метою подолання несанкціонованого відбору водних ресурсів із поверхневих і підземних джерел, заохочувати маловодні технології в регіоні.

2. Поверхневі та підземні водойми і питна вода в Одеській області, яка є однією із найбільш кризових у контексті водопостачання, слід розглядати як джерело перманентного епідеміологічного ризику.

3. Аналіз наукової літератури останніх років свідчить про вкрай негативну тенденцію до припинення наукових досліджень взаємозв'язку біологічної контамінації всіх водних об'єктів і захворюваністю населення. Зважаючи на глобальність поширення водно-обумовлених інфекцій [9], це є абсолютно неприпустимим. Особливо за умови наслідків війни для інфраструктури галузі водопостачання регіону у поєднанні із катастрофічними змінами клімату у найближчому майбутньому. Ця загрозлива ситуація вимагає термінових заходів уже сьогодні. Інакше слід очікувати на вкрай негативні наслідки для здоров'я населення.

Література:

1. Стратегія екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2021 р. № 1363-р. Режим доступу: <https://ips.ligazakon.net/document/KR211363>

2. Водна стратегія України на період до 2050 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 9 грудня 2022 р. № 1134-р.

3. Стратегічні напрями адаптації до зміни клімату в басейні Дністра. ENVSEC. ЄЕК ООН. ОБСЄ, 2015, ISBN: 978-92-9234-240-1, 72 с.
4. Сніжко С., Шевченко О., Дідовець Ю. Аналіз впливу кліматичних змін на водні ресурси України (повний звіт за результатами проекту). Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2021, 68 с.
5. Козішкурт О.В. Епідеміологічна характеристика та роль водного фактору в поширенні гепатиту А в м. Одесі: автореф. дис... канд. мед. наук: 14.02.02. АМН України. Ін-т епідеміології та інфекц. хвороб ім. Л.В. Громашевського. К., 2006. 21 с.
6. Мокієнко А. В. Еколого-гігієнічні основи безпечності води, що знезаражена діоксидом хлору. Дис. ... д. мед. н.: 14.02.01 ДУ «Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва АМН України». Київ, 2009. 348 с.
7. Ковальчук Л. Й. Гігієнічне обґрунтування системи медико-біологічної безпеки гирлової зони Українського Придунав'я: дис. ... доктора мед. наук : спец. 14.02.01 «Гігієна та професійна патологія». Харківський національний медичний університет МОЗ України. Харків, 2016. 387 с.
8. Hunter P.R., Zmirou-Navier D., Hartemann P. Estimating the impact on health of poor reliability of drinking water interventions in developing countries, *Sci Total Environ.*, V. 407(8), 2009, p. 2621-2624.
9. . Бабієнко В. В., Мокієнко А. В. Вода та інфекції. Патогени та їх інактивація. Одеса : Прес-кур'єр, 2023. 584 с.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.291339>

УДК 628.477

РЕЦИКЛІНГ ЯК МЕТОД РЕАЛІЗАЦІЇ ДЕРЖАВНОЇ ПОЛІТИКИ У СФЕРІ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ

Олена СОРОЧИНСЬКА, Віталіна ЛУК'ЯНОВА

Державний університет інфраструктури та технологій

вул. Кирилівська, 19, м. Київ 04071, Україна

e-mail: ellena06.84@ukr.net

Входження України до міжнародної спільноти, впровадження ринкових методів управління як економікою, так і окремими підприємствами і організаціями вимагає знання та дотримання сучасних єдиних норм і правил в галузі екологічної діяльності, впровадження екологічно орієнтованих методів управління. 9 липня 2023 року набув чинності новий Закон України «Про управління відходами», що кардинально змінює усю систему поводження з відходами [1]. На шляху прямування до Європейського союзу особливо важливо відповідати європейському законодавству, тому перед більшістю галузей України стоїть завдання інтегруватися та створити якісну систему управління на підприємствах що відповідатиме сучасним вимогам, зокрема і поводженню та утилізації відходів.

Проблема твердих побутових відходів на сьогодні є доволі актуальною як для України так і для усього світу, обсяги утворення яких постійно збільшуються. В Україні нині функціонує 460 міст, 885 селищ і 28388 сіл. Обсяги утворення твердих побутових відходів в Україні у 2018 році становили майже 11,86 млн т, що склало 280,5 кг на одного жителя. Послугами з вивезення відходів охоплено лише біля 78% населення України. Переважаючим методом поводження з відходами було захоронення їх на полігонах та звалищах. Так, за даними Держстату України у 2018 році було перероблено лише 0,14 % та спалено для отримання енергії 1,7 відсотка, а решту – розміщено на полігонах та звалищах. Тоді як у країнах Євросоюзу рівень переробки побутових відходів в середньому становить 66% [2, 3, 4].

В Україні на сьогодні налічується приблизно 5470 полігонів та звалищ, з них 5,6 % перевантажені, а 30 % не відповідають вимогам. За оцінками експертів, європейським вимогам не відповідають більше 99% полігонів. Накопичення відходів на полігонах і звалищах призводить до забруднення атмосфери, ґрунтів, підземних вод та поверхневих водойм, впливає на функціонування екосистем, завдає шкоди сільському господарству, а викиди газу впливають на зміну клімату. Через недосконалу систему поводження з відходами у приватному секторі щорічно виявляється 26,6 тисяч несанкціонованих звалищ, площею 0,75 тисяч га, з яких у 2018 році було ліквідовано 26 тисяч площею 0,68 тисяч га. Недосконалість системи роздільного збирання побутових відходів призводить до втрати мільйонів тон ресурсоцінних матеріалів, що містяться у відходах [6].

У той час, як у країнах Європи мають намір припинити захоронювати тверді побутові відходи на полігонах через 5-7 років, в більшості населених пунктів України інтенсивно захоронюють їх на полігонах. Угода про асоціацію між Україною та Європейським Союзом зумовлює необхідність впровадження європейських стандартів у сфері поводження з

побутовими відходами. Відповідно до цієї Угоди, Україна поступово впроваджує роздільний збір побутових відходів й зменшує обсяги відходів, що вивозяться на полігони.

Пріоритетними завданнями екологічно безпечного поводження з твердими побутовими відходами є впровадження ефективної системи роздільного збору, що дозволить на 25 – 30% скоротити обсяг відходів, які щоденно вивозяться на полігони [7].

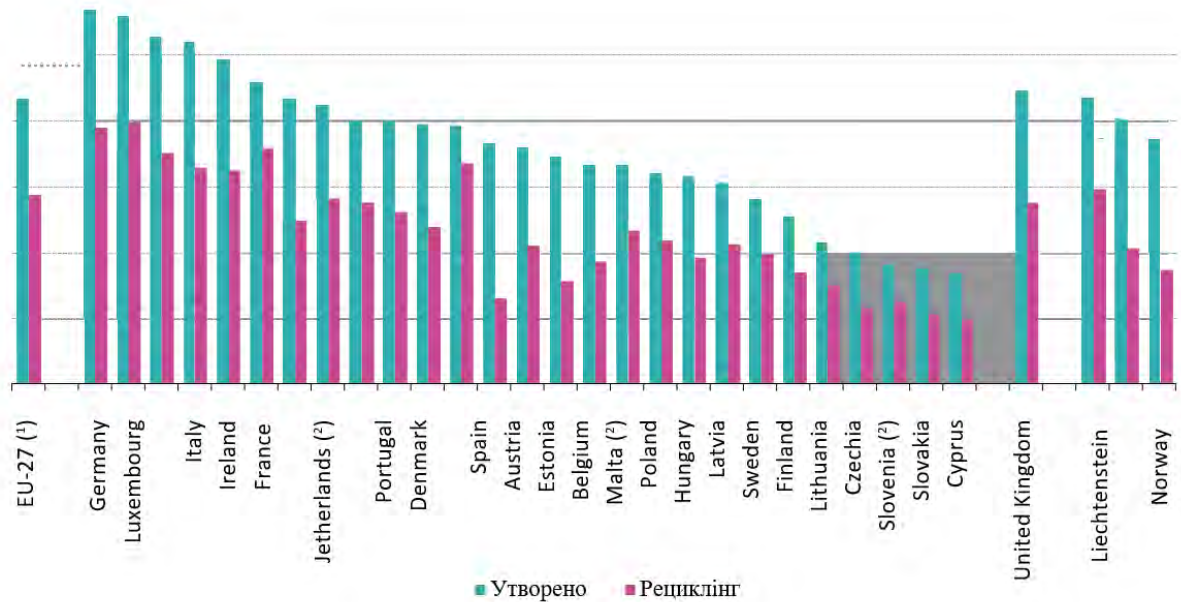


Рис. 1 Утворення та рециклінг відходів пакування у країнах Європи [5]

Одним із сучасних методів зменшення накопичування відходів на полігонах є рециклінг. Рециклінг твердих побутових відходів здатний розв'язати відразу декілька проблем, а саме: по-перше, зменшити кількість відходів, які забруднюють довкілля, по-друге, дати можливість знизити витрати первинної сировини і збільшити можливості компенсації затрат енергії.

Рециклінг - операція з відновлення, у результаті якої відходи переробляються у продукцію, матеріали або речовини для їх використання за первинною або іншою метою. Ця операція включає перероблення органічного матеріалу, але не включає виробництва енергії чи перетворення відходів у матеріали, що можуть бути використані як паливо або як матеріали для зворотного заповнення [1]. Рециклінг є ключовим елементом циркулярної економіки та одним із основних етапів поводження з відходами. Він лідирує серед найпростіших і найефективніших методів боротьби з відходами, що все більше засмічують планету. Є два основних варіанти рециклінгу, зокрема: використання відходів повторно за тим же призначенням, та повернення їх у виробничий цикл.

Для переробки за допомогою рециклінгу підходить все те, що створила людина і те, що не підлягає швидкому природному розкладанню. Насамперед мова йде про металеві банки, скляні тари, пластмасу. Однак це не все, що можна переробити за допомогою цієї системи. Інші види відходів зазвичай поділяють на кілька категорій: біологічні (деревина, папір, текстиль), технічні (металобрухт, бетон, цегла, скло, пластик, шини) та багато компонентні (комп'ютери, телефони, телевізори). Ще однією передумовою рециклінгу є сегрегація відходів.

Кожен вид відходів потребує свого підходу до переробки. Розрізняють два основні різновиди рециклінгу: матеріальний (механічний) і сировинний (хімічний). Матеріальний

(механічний) рециклінг – це процес, під час якого відходи перетворюються лише механічно, насамперед у результаті подрібнення, просіювання та змішування. Цей вид переробки використовує фізичні властивості речовини без істотного порушення його хімічної будови. Продукт рециклінгу можна використовувати для нового виробництва. Його якість залежить від хімічного складу і ступеня чистоти утилізованого матеріалу. При високій якості продукту рециклінгу можна замінити новий матеріал продуктом рециркуляції для виготовлення таких виробів. Коли якість продукту рециклінгу є середнім, він може бути застосований тільки для виробів, які зазвичай виготовляють з інших матеріалів. Сировинний (хімічний) рециклінг – це процес перетворення відходів, під час якого, використовуючи реактивність хімічної сполуки, здійснюються відповідні реакції, які провокують деградацію речовини до вихідних низькомолекулярних сполук. Це дозволяє використовувати продукт для виготовлення виробу за якістю створення первинного продукту [8].

Переробка відходів має як екологічні, так і економічні переваги. До екологічних переваг належать: економія місця на звалищах, оскільки відходи переробляються, а не захоронюються; зменшення шкідливих викидів в атмосферу, спричинених видобутком нових ресурсів і виробництвом сировини з нуля; економія енергії, оскільки не потрібно витратити гроші на транспортування сировини та збереження природних ресурсів.

Переробка відходів передбачає виробництво певних видів товарів, а також надання певних видів послуг. Крім виробництва продукції з перероблених матеріалів, переробка відходів передбачає також виробництво електроенергії, газу, палива та тепла як продуктів у великих обсягах. Суть цього методу полягає в цілеспрямованій переробці побутових відходів за допомогою спеціального обладнання та технологій. Впровадження цього методу допоможе вирішити проблему побутового опалення в багатьох українських містах.

Варто визнати, що досі в регіонах України з низькою ефективністю формується інфраструктура, яка забезпечує збір, транспортування, переробку відходів. Основною операцією, яка завершує життєвий цикл відходів, залишається їх розміщення в місцях видалення відходів. Тому держава, зокрема й її регіони, повинні виступати в ролі інвестора для низькоефективних, але необхідних для суспільства процесів рециклінгу твердих відходів, або створювати умови для їх успішної комерційної реалізації [9].

Зміна концептуального підходу до поводження з відходами, перехід від утилізації відходів до запобігання, вирішення питання скорочення утворення відходів, сортування, переробки, впровадження використання відходів як матеріального та енергетичного ресурсу є ключем до досягнення позитивних результатів у вирішенні проблеми відходів в Україні.

Література:

1. Закон України «Про управління відходами» від 20.06.2022 № 2320-IX.
2. Войціховська А., Кравченко О., Мельнь-Забарна О., Панькевич М. Кращі європейські практики управління відходами (посібник). - 2019.-Л.: Манускрипт. - 64 с.
3. Довга Т. М. Еколого–економічна оцінка рециклінгу твердих побутових відходів в Україні на шляху до сталого розвитку / Т. М. Довга // Формування ринкових відносин в Україні. - 2012. - № 11. - С. 57-62.
4. Packaging waste statistics [Електронний ресурс] // Eurostat – Режим доступу до ресурсу: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Packaging_waste_statistics#Recycling_and_recovery_targets_and_rates
5. Кращі європейські практики управління відходами (посібник) / А. Войціховська, О. Кравченко, О. Мельнь-Забарна, М. Панькевич, [за заг. ред. О. Кравченко] — Видавництво «Компанія “Манускрипт”» — Львів, 2019. — 64 с.

6. Іщенко В. А. Способи поводження з твердими побутовими відходами у містах України / В. А. Іщенко // Екологічна безпека та природокористування. -2015.-№2.-С.21-30.

7. Кривенко С. В. Проблеми вдосконалення системи управління сферою поводження з твердими побутовими відходами: регіональний аспект / С. В. Кривенко // Управління розвитком. - 2015. - № 2. - С. 12-19.

8. Авраменко О. В. Використання логістики в рециклінгу / О. В. Авраменко // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні проблеми управління підприємствами: теорія та практика». ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2017. – С. 153 – 156.

9. Писаренко, П. В., Самойлік, М. С., Диченко, О. Ю., Добровольська, Ю. В., & Губченко, О. М. (2019). Використання експертних методів у системі управління сферою поводження з твердими побутовими відходами регіону. *Scientific Progress & Innovations*, (4), 83-91. <https://doi.org/10.31210/visnyk2019.04.10>



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.292576>

ПОТЕНЦІАЛ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ВИРІШЕННІ ПРОБЛЕМ ЕКОЛОГІЇ ТА ВОДОКОРИСТУВАННЯ

Софія СТАВСЬКА

Ізраїльський університет технологій «Техніон»

м. Хайфа, Держава Ізраїль

e-mail: qwertyqer25@gmail.com

Останнім часом штучний інтелект (ШІ) набуває все більшого поширення в різних галузях науки і господарства. Неабияку роль він відіграє у вирішенні проблем охорони навколишнього природного середовища. Штучний інтелект стає ключовим інструментом у вирішенні екологічних проблем, завдяки своїм унікальним здатностям аналізу та обробці великих обсягів даних. Здатність ШІ взаємодіяти з складними екологічними системами дозволяє точно прогнозувати зміни в природному середовищі та розробляти стратегії для їх управління.

Використання алгоритмів машинного навчання у поєднанні з сучасними технологіями датчиків дозволяє ефективно моніторити стан водних ресурсів, регулювати використання земель, а також передбачати та запобігати природним лихам. Технології ШІ впроваджуються в сільське господарство, де вони допомагають у точному поливі та управлінні рослинністю, сприяючи ефективному використанню ресурсів та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище[1].

Завдяки автоматизованому аналізу величезних масивів даних, ШІ також може ефективно виявляти джерела забруднення та прогнозувати їхні наслідки. Це дозволяє приймати невідкладні заходи для збереження екосистем та забезпечення екологічної стійкості.

Однією з актуальних екологічних проблем сучасності є забруднення водних ресурсів, і в цьому контексті штучний інтелект може відігравати значущу роль у її вирішенні. Застосування технологій штучного інтелекту в області моніторингу та управління водними системами є важливим кроком у напрямку збереження водних екосистем та забезпечення доступу до чистої питної води.

Штучний інтелект може використовуватися для автоматизованого виявлення забруднень у воді, вчасного реагування на них та прогнозування їхнього впливу на водний басейн. Алгоритми машинного навчання дозволяють аналізувати великі обсяги даних про якість води, виявляти шаблони та навіть передбачати можливі загрози забруднення.

Додатково, ШІ може використовуватися для оптимізації систем водопостачання та водовідведення, що також сприяє зменшенню викидів забруднюючих речовин у водойми. Велика точність та швидкість аналізу даних, яку надає штучний інтелект, роблять його ідеальним інструментом для вирішення екологічних викликів, пов'язаних із забрудненням води[2].

Розвиток і впровадження технологій штучного інтелекту у водних системах є обіцяним кроком для створення стійкого та здорового екологічного середовища, де вода залишається джерелом життя та благополуччя для всіх.

Старіюча інфраструктура та природний знос можуть призводити до витоків у системах розподілу води. Ці витoki не лише викликають марнотратство, але й сприяють втратам води та збільшують витрати на ремонт.

Для полегшення роботи та оптимізації використання штучного інтелекту (ШІ) у системах розподілу води можна впровадити кілька ефективних практик:

- **Встановлення Датчиків та IoT-технологій:**
- **Датчики Якості Води:** Вони вимірюють різні параметри, такі як рівень рН, концентрація хімічних речовин, турбідність та інші показники якості води. Це дозволяє вчасно виявляти забруднення та зміни в хімічному складі води.
- **Датчики Тиску та Потoku:** Ці датчики вимірюють тиск і потік в системі розподілу води. Зміни в цих параметрах можуть вказувати на проблеми, такі як витoki чи обмеження в системі.
- **Акустичні Датчики:** Вони використовуються для виявлення звуків, які виникають внаслідок витоків. Аналіз акустичних сигналів допомагає точно визначити місце та розмір потенційного витoku.
- **Мережа Датчиків та IoT:**
- Сучасні системи використовують мережі датчиків, які забезпечують бездротовий зв'язок між датчиками та центральною системою моніторингу. Це дозволяє ефективно покривати великі території та забезпечує в реальному часі збір та аналіз даних.
- **Аналіз Даних:**
- Застосування алгоритмів машинного навчання та аналізу даних для ідентифікації аномалій та вивчення патернів, які можуть вказувати на витoki або зміни в якості води.
- **Система Попередження та Реагування:**
- Розробка систем попередження та автоматичного реагування, які надсилають повідомлення адміністраторам чи автоматично вмикають клапани для зменшення витрати води у випадку виявлення проблеми.
- **Інтеграція з Геопросторовою Інформацією (GIS):**
- Використання геопросторових даних для кращого визначення місцезнаходження витоків та оптимізації роботи системи.
- **Використання Аналітики та Прогнозування:**
- Розробка систем аналітики на основі ШІ для точного прогнозування попиту на воду.
- Використання алгоритмів машинного навчання для аналізу даних та виявлення патернів у роботі системи.
- **Автоматизована Система Управління:**
- Впровадження системи автоматизованого управління, яка в залежності від змін у системі може самостійно регулювати подачу води та виявляти витoki.
- Використання ШІ для оптимізації роботи системи, забезпечуючи більш ефективний розподіл ресурсів.
- **Системи Раннього Попередження:**
- Впровадження систем раннього попередження на основі ШІ для виявлення можливих проблем та уникнення аварійних ситуацій.
- Використання алгоритмів прогнозування для передбачення можливих витоків або інших проблем у системі.
- **Навчання та Підтримка Персоналу:**
- Підготовка персоналу з управління та підтримки систем на основі ШІ.
- Встановлення механізмів для постійного навчання та ознайомлення персоналу з новими технологіями[3].

Ці заходи можуть допомогти ефективніше використовувати ШІ у системах розподілу води, зменшуючи витрати та покращуючи загальну продуктивність системи.

У сфері екології, ШІ виявляється незамінним інструментом для аналізу великих обсягів даних, пов'язаних з екосистемами. Він допомагає прогнозувати зміни в природному середовищі, виявляти вплив антропогенних факторів та розробляти стратегії їхнього управління. ШІ також використовується для розробки ранніх систем попередження стихійних лих та виявлення екологічних криз.

Загалом, впровадження ШІ у системи збереження води та екології сприяє більш точному моніторингу, ефективнішому управлінню та створенню сталого та екологічно збалансованого оточення. Використання передових технологій ШІ відкриває нові можливості для протидії екологічним викликам та забезпечує більш стійкий підхід до управління водними ресурсами.

Література:

1. Авдонин Д.В. Искусственный интеллект в метеорологической отрасли. - Вестник науки, т.3, N7 (64), 2023 г.

2. Byfield A. AI Applications in Water Resource Engineering Opportunities and Challenges [<https://utilitiesone.com/ai-applications-in-water-resource-engineering-opportunities-and-challenges>] / Anthony Byfield. – 2023.

3. Kamyab H. The latest innovative avenues for the utilization of artificial Intelligence and big data analytics in water resource management [<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S259012302300693X>]

HYPERLINK "<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S259012302300693X>"

HYPERLINK "<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S259012302300693X>"X.] / H. Kamyab, T. Khademi, M. SaberiKamarposhti. – 2023.



КАТАСТРОФА НА КАХОВСЬКОМУ ВОДОСХОВИЩІ: ПРИЧИНИ ТА НАСЛІДКИ, ЯКІ НЕ ОБГОВОРЮЮТЬ

Дмитро СТЕФАНІШИН¹, Данило БЕНАТОВ²

¹Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

Чоколівський бульвар, 13, м. Київ 03186, Україна

e-mail: d.v.stefanyshyn@gmail.com

²Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

пр. Берестейський, 37, м. Київ 03056, Україна

e-mail: daniel@benatov.kiev.ua

Водосховища є невід'ємною частиною світової гідротехнічної інфраструктури та складають основу сучасного водного господарства більшості країн [1, 2]. В Україні водосховища та ставки (ставки – водосховища об'ємом не більше 1,0 млн. м³) – це найпоширеніші водогосподарські об'єкти. Всього в країні налічується 1103 водосховища із загальним об'ємом води близько 55,5 км³ [2, 3] та 50793 ставки із загальним об'ємом води майже 3,97 км³ [3, 4]. Як об'єкти комплексного призначення водосховища і ставки використовуються для комунального і технічного водопостачання, іригації, навігації, в якості охолоджувачів теплових і атомних електростанцій, в гідроенергетиці, рибному господарстві, рекреації, водному туризмі, при створенні орнітологічних заказників тощо [1-4]. Енергетика, важка і легка промисловість, водне господарство, комунальне господарство, сільське господарство, економіка країни в цілому значною мірою залежні від водосховищ, режиму рівнів води в них, стану напірних гідроспоруд на них.

Каховське водосховище було найбільшим в країні, його повний об'єм складав більше 18 км³, корисний – 6,8 км³. Це майже третина об'єму всіх штучних водойм на території України і майже чверть від корисного об'єму всіх штучних водойм країни (28,2 км³) [2, 3], який безпосередньо мав використовуватися у народному господарстві. Це означає, що в результаті руйнування Каховської греблі і спорожнення Каховського водосховища Україна одночасно і на довго, можливо назавжди, втратила майже четвертину операційних запасів прісної води.

З соціально-економічної точки зору Каховське водосховище забезпечувало розвиток індустрії і аграрного виробництва в межах кількох областей півдня країни включно і Криму, використовувалося в енергетиці (гідроенергетика, атомна і тепла генерація), іригації, комунальному і технічному водопостачанні, водному транспорті, рибному господарстві і рекреації. Сумарна встановлена потужність електрогенерації на базі Каховського водосховища на 2020 р. складала майже 16,9% від всієї встановленої потужності електрогенерації в країні. Державна компанія ПрАТ «Укргідроенерго» планувала розширення Каховської гідроелектростанції (ГЕС) (за аналогією розширення Дніпровської ГЕС) за рахунок побудови Каховської ГЕС-2 у складі діючих гідроспоруд Каховського гідровузла. Проведені нами дослідження доцільності будівництва Каховської ГЕС-2 показали, що існували всі належні умови для успішної реалізації цього проєкту [5]. В перспективі розглядалися також плани використання водосховища для виробництва «зеленого» водню, з будівництвом сонячних і вітрових електростанцій на його берегах. Практично миттєве

спорожнення Каховського водосховища, за кілька днів, може розглядатися водночас як соціально-економічна, екологічна, геологічна та географічна катастрофа. Аварії, з проривом греблі, на таких великих водосховищах, з затопленням більше 640 км² території, на якій проживало населення, в містах і селах, з викидом забруднень в море, в світі ще не відбувалися.

Поки існувало Каховське водосховище – існували гарні можливості для компромісу щодо заборони будівництва малих гідроелектростанцій (МГЕС) на вільно текучих річках в Україні та будівництва каскаду Верхньодністровських ГЕС. За оцінками [5] з усіх можливих варіантів нового гідроенергетичного будівництва, окрім ГАЕС (тобто варіантів введення потужностей гідрогенерації лише на нових ГЕС), найбільш доцільною (виправданою) альтернативою в контексті заявлених в Енергетичній стратегії України на період до 2035 р. та Програмі розвитку гідроенергетики на період до 2026 р. цілей виглядало будівництво Каховської ГЕС-2. Проведені нами комплексні дослідження надійності гідроспоруд Каховського гідровузла з прогнозуванням можливої аварії з проривом напірного фронту [6] показали, що всі сім гідроспоруд, які формували його напірний фронт, і напірний фронт гідровузла в цілому, були достатньо надійними в умовах природних впливів, в тому числі з врахуванням складних геологічних умов, можливого переповнення водосховища, і можливих сейсмічних впливів, що забезпечувало можливість нового будівництва.

Будівництво інших нових ГЕС, зокрема і розвиток малої гідроенергетики в країні, в межах другого етапу реконструкції ГЕС Дніпровського і Дністровського каскадів оцінювалося як ризиковане, таке, що не задовольнить загальносуспільний інтерес. Після катастрофи на Каховському водосховищі, як наслідок, посилилась загроза тотальної забудови річок країни численними МГЕС, на що вказує як активізація забудовників, які стали маніпулювати на темі децентралізації електроенергетики, так і більш лояльне ставлення в департаментах екології до відверто шкідливих для довкілля проектів МГЕС. При цьому гідропотенціал річок на території України для розвитку малої гідроенергетики мізерний [7] (весь невикористаний гідропотенціал за умови, що практично всі річки будуть перетворені в каскади МГЕС, міг би повністю перекритися побудовою Каховської ГЕС-2), вітчизняна мала гідроенергетика не є ефективним виробником електроенергії (середній коефіцієнт використання встановленої потужності знизився в останні роки до 20%), не може використовуватися в якості надійного регулятора або в якості аварійного резерву (як, наприклад, великі вітчизняні ГЕС і ГАЕС) і зловживає «зеленим» тарифом.

Відсутність Каховського водосховища може спонукати аграріїв південних областей країни до самостійних рішень щодо забезпечення водою, і ці рішення не завжди можуть бути екологічно безпечними. В періоди межені значна частина стоку Дніпра вниз за течією від Дніпровського водосховища може розбиратися місцевими водоспоживачами. Облаштування водогонів з подачею води з розташованих вище за течією водосховищ каскаду – це тимчасове рішення, яке не здатне задовольнити існуючі потреби у воді в регіоні, і можливі її потреби в майбутньому. Є також заклики до будівництва нових водосховищ та ставків на річках півдня України, які вже зазнали значного пресу гідротехнічного будівництва. Загалом, на півдні країни проживала велика кількість населення, як міського, так і сільського, і це населення потребуватиме доступу до води. Ґрунтові води, скоріше за все, в регіоні, на який мало значний вплив Каховське водосховище, це той додатковий ресурс, який це водосховище, опосередковано, надавало. Передбачити якою буде ситуація з підземними водами в цьому регіоні без водосховища – важко. Можливо, в майбутньому, нас чекає зворотна міграція сільського населення з півдня країни в центральні, північні або західні регіони, але це теж, в умовах змін клімату, виснаження ресурсів поверхневих і ґрунтових вод в регіонах, посилення антропогенного пресу, потребуватиме складних рішень, пов'язаних з водозабезпеченням.

Бути чи не бути відновленню Каховського водосховища – це надзвичайно складне питання – питання напрацювання і аналізу альтернатив, врахування різних ризиків, з ними пов'язаних, включно і ризиків втрачених можливостей, порівняння альтернатив і вибору оптимальних, пошуку компромісних рішень з врахуванням як існуючих реалій (до Каховського водосховища – багато чого не було, а зараз, те, що з'явилося і розвинулося завдяки водосховищу без нього вже не зможе нормально існувати допоки не буде знайдене прийнятне рішення), так і отриманого досвіду щодо перспектив катастрофічної залежності народного господарства країни і життєдіяльності людей вже від нових «комплексних» рішень, коли критична залежність від одного об'єкта водопостачання в кількох регіонах буде замінена критичною залежністю від великої кількості ненадійних джерел водопостачання. В будь-якому випадку на нас чекатиме необхідність пошуку компромісних рішень, які будуть складними і потребуватимуть глибокого аналізу і обґрунтування перед тим, як прийматися до реалізації.

Всі водосховища, що знаходяться на території України, несуть значну потенційну небезпеку для населення, економіки, довкілля. Ця небезпека пов'язана не лише з прямими фізичними впливами від гідродинамічних аварій зі швидким поширенням хвиль проривних паводків, затопленням і підтопленням територій, які в природних умовах не затоплювалися, загрозами життю і здоров'ю людей, масовою загибеллю водних організмів, тварин тощо, руйнуванням, ушкодженням й виведенням з ладу об'єктів інфраструктури, житла, знищенням посівів, забрудненням ґрунтів сільгоспугідь, поверхневих та ґрунтових вод, місцевих джерел водопостачання, можливістю поширення епідемій тощо. Ще один з уроків катастрофи на Каховській греблі полягає в тому, що в минулому в першу чергу звертали увагу на ефективність, а не на надійність і безпеку, що й призводило до рішень, в які закладалося комплексне використання водних ресурсів різними галузями тощо. Один з уроків катастрофи на Каховській греблі, яка безперечно є умисно створеною катастрофою, тому що все на це вказує, навіть прийняті при проектуванні гідроспоруд рішення, які «посприяли» підриву, і які слід правильно оцінити на майбутнє, це те, що суміщення функцій в одній гідроспоруді, а саме, пропуск витрат паводків – через водозливну греблю, в якій суміщено функції водоскиду і підпірної споруди, виробництво електроенергії на ГЕС, де будівля ГЕС водночас виконує і функції підпірної споруди і водоскиду – безперечно є оригінальними і економічно вигідними (ефективними) рішеннями. Але ці рішення не є надійними і безпечними, і можуть стати і своєрідним «подарунком» для терористів. Якби водоскидна споруда і будівля Каховської ГЕС функціонально не були ще й підпірними спорудами – тобто власне і греблями, то навіть їх повне знищення не призвело б до таких катастрофічних наслідків [8].

Література:

1. Valuing Water. The United Nations World Water Development Report 2021. UNESCO. Paris, France. <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2021/>.
2. Ukraine. Water resources. Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/NR/water/aquastat/countries_regions/Profile_segments/UKR-WR_eng.stm.
3. Stefanyshyn, D.V. (2021). Probability assessment of the Kyiv reservoir overflow. Environmental safety and natural resources, 40 (4), 73–99; DOI: 10.32347/2411-4049.2021.4.73-99.
4. Khilchevskiy, V., Grebin, V., Zabokrytska, M., Zhovnir, V., Bolbot, H. & Plichko, L. (2020). Hydrographic characteristic of ponds distribution in Ukraine – Basin and regional features. Journal of Water and Land Development. No. 46 (VII–IX), 140–145; DOI: 10.24425/jwld.2020.134206.
5. Стефанишин, Д.В. (2021). До питання обґрунтування доцільності будівництва Каховської гідроелектростанції-2. Гідроенергетика України, 1-2, 22–29.

6. Stefanyshyn, D., Benatov, D. (2020). Application of a logical-probabilistic method of failure and fault trees for predicting emergency situations at pressure hydraulic facilities (The case of Kakhovka hydroelectric complex). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4/2 (106), 55–69; DOI: 10.15587/1729-4061.2020.208467.

7. UNIDO, ICSHP (2022). *World Small Hydropower Development Report 2022*. United Nations Industrial Development Organization, Vienna, Austria; International Center on Small Hydro Power, Hangzhou, China. Dmytro Stefanyshyn. Ukraine, 72–82. https://www.unido.org/sites/default/files/files/2023-08/EASTERN_EUROPE_2022.pdf.

8. Трофимчук, О., Стефанишин, Д. (2023). Як ставитися до катастрофи на Каховській греблі? Екотехногенні наслідки руйнування гідротехнічних споруд. Прогнози та перспективи відновлення. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. КНУБА, Київ, 22-24.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.290902>

УДК 72

ECOARCHITECTURE AND CHILD HEALTH CARE

Catherine FEDORENKO, Tetyana OLIINYK

Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture

Str. Diedrichson, 4, Odesa 65029, Ukraine

e-mail: pk@ogasa.org.ua

Relevance of the research. Air pollution is one of the most widespread and complex forms of urban environmental impact. People and everything around them suffer from polluted air: vegetation, wildlife, architectural monuments, metal, building materials, fabrics, etc. This is one of the main problems of today's cities. This has been countered by such a trend in architecture as green architecture. Eco-building helps to solve such an environmental problem of megacities as environmental pollution. The relevance of environmental friendliness in the planning of pre-schools in cities is particularly important. The task of landscape organization of such territories is to improve sanitary and hygienic conditions in terms of air and site cleanliness, good insolation and ventilation, protection from wind, noise and dust, creation of favorable conditions for recreation, enrichment of the architectural exterior and interior of buildings (Fig. 1) [1].



Fig. 1. Landscape of the territory of the kindergarten

The proper organisation of life and education for children in a preschool institution is reliant on the overall architectural and planning solution of children's spaces, the organisation of the building's interior space, and the provision of hygienic and rational equipment. To ensure favourable conditions for the harmonious physical and spiritual development of children, the interior should be designed accordingly. The organization of educational processes is intricately connected to the architectural and planning solutions of the premises, as well as their equipment, lighting, and decorative finishes. This necessitates a comprehensive examination of the problem of environmental sustainability of preschool institutions' interiors.

The design of children's institutions is complicated by the presence of diverse chemical compounds in the air of the premises, which are emitted by furniture, building, and finishing materials, and pose a health risk [2]. Hence, safeguarding the children's health calls for the use of only eco-friendly materials indoors while refraining from incorporating hazardous substances in building materials.

Based on literature analysis, the subject of eco-friendly interiors and design with natural materials is gaining more global attention. By utilizing the phytoncidal and gas-absorbing capabilities of plants, upper respiratory tract illnesses are reduced whilst indoor air is purified from hazardous chemical impurities aimed towards children, creating an advantageous psycho-emotional atmosphere. Green walls, vertical gardens, and indoor plant walls have the potential to recreate natural habitats for children within indoor spaces.

Today, in the realm of ecodesign, we consider the scientifically-based and targeted introduction of plants for various functional purposes in interior and exterior design. Phytodesign is perceived as a means to enhance human life quality in modern architecture. Interior design techniques involving plants are categorized into three main groups. These groups are complex landscaping, which includes large compositions of natural elements on relatively extensive spaces. The fragmentary group is composed of compositions containing single or group plant arrangements of one or more species. Lastly, temporary landscaping, which is typically used for decorating space during events [3].

Vertical gardening has gained popularity in recent times through the use of phytowalls and vertical gardens [4, 5]. Phytodesign refers to the decoration of building exteriors and interior areas with climbing plants. The arrangement of vertical gardens should comply with specific guidelines and requirements related to microclimatic features, which is particularly significant for the climate of Odesa. Generally, tropical and subtropical plants are ideal for indoor spaces and have been traditional indoor plants in our country. For the exterior vertical walls, we utilise mountain plants with strong root systems that have adapted to poor soils.

The significance of landscape arrangement in children's institutional areas is attributed to the prolonged exposure of children to the outdoors. Incorporating plants in childcare facilities leads to favourable microclimatic and aesthetic environments, which are crucial for children's walks. In addition to its decorative purposes, landscaping contributes significantly to enhancing the general and sanitary-hygienic conditions of the facility. When discussing the benefits of green spaces, it is crucial to acknowledge the phytoncidal properties of plants, which are utilised in creating landscape features for their targeted phytotherapeutic effects. Furthermore, the green space within a kindergarten serves as the initial connection between a child and the natural world, leading to the development of an ecological worldview [6, 7].

Purpose: to create an eco-interior and phytodesign for a kindergarten.

Object of research: kindergarten project in Odesa.

Results and discussion. The kindergarten project is located near the Black Sea on the site of a former health complex (Fig. 2).



Fig. 2. Situation plan of a kindergarten

The significance of devising a plan for the phytodesign of a kindergarten in Odesa lies in promoting environmental consciousness, which serves as a significant architectural and interior element in modern times, thereby garnering attention.

The landscape of the area comprises of high trees that provide essential shading, decorative shrubs, vines, blossoming perennial, and annual plants (refer to Fig. 3). The play area has a hard-wearing lawn and the trees and shrubs emit a significant amount of oxygen, producing a unique microclimate.



Fig. 3. Elements of landscape design for a kindergarten

In order to establish hygienic and sanitary conditions, botanical elements such as plants and flowers must be integrated in rooms allocated for children. The kindergarten's design adopts contemporary approaches to interior landscaping, inclusive of vertical gardening, a phytowall, and fresh flowers contained in flowerpots (see Fig. 4). A phytowall denotes a vertical plant structure that integrates a mechanism for automatic watering, and is intended for the indoor enhancement of greenery.



Fig. 4. Phytowall in the interior of a kindergarten

Plants and flowers are used to adorn the interior and provide a beneficial microclimate. They also offer a way for children to learn about the world around them. Gazing at plant foliage alleviates eye strain and mental stress, enhances self-esteem, and bolsters self-confidence. In addition, secure vegetation has been incorporated in the exterior of the nursery to cultivate children's motor skills and overall development (Fig. 5).



Fig. 5. Plants in the interior of a kindergarten

Using large specimens of plants that are not proportionate to a child's size is not advisable in kindergarten landscaping. Instead, they should be utilised as a background. For easy maintenance,

the plants should be kept in separate pots. By doing so, any plant can be removed during composition classes for closer examination and then returned to its original location.

Plants ought to be positioned in areas that children cannot unintentionally knock them over, and it is advisable to allocate a designated area for plant care. When situating plants within a child's grasp, ensure that the containers and planters are exceedingly robust and fastened securely in place.

Placing plants on window sills is not advisable, as they may obstruct the light. Climbing and trailing plants can be situated in flower lamps, on shelves, while larger plants or groupings of several low-maintenance plants can be positioned in floor vases.

Plants that emit phytoncides are suitable for kindergartens. These substances are known as natural antibiotics since they eliminate harmful bacteria and viruses. As a result, the air quality in the room is enhanced. Essential oils comprising phytoncides soothe the nervous system, thus improving the child's sleep and positively influencing their immunity and mood. Additionally, phytoncides provide beneficial impacts on the respiratory system. Certain indoor plants can neutralise toxins emitted by interior elements such as chipboard, MDF, fibreboard, and plywood [8]. Chlorophytum, aloe, spathiphyllum, and dracaena plants are particularly adept at absorbing formaldehyde.

Several different indoor plants are highly effective at regulating humidity. It has been observed that the indoor rooms' humidity drops to a mere 35% during the heating season, which is inadequate for comfortable human breathing. Employing indoor plants helps to sustain a constant humidity level of 50%, which greatly enhances breathing comfort.

Considering the hygiene requirements, the design for the nursery utilised decorative foliage plants, dried flowers, canned moss and stabilised plants.

Conclusions. The selective use of plant environmental characteristics to enhance the environment in children's institutions is a preventive measure for improving health. This approach also addresses the concerns of aesthetic, ecological, and environmental education and upbringing for children.

A kindergarten project (Odesa) utilizing phytodesign elements with eco-architecture consideration was developed. The planned area of the kindergarten property has been properly planted with decorative plants that retain aesthetic value throughout the year. This contributes to the creation of a favourable microclimate by reducing air pollution, controlling dust accumulation, regulating humidity, and decreasing noise. To establish an indoor safe nature corner, a contemporary interior with a green wall was implemented. All plants, including indoor and outdoor ones, must be completely safe for children.

References

1. Interior greening. Methodology of the scientific approach. Scientific Bulletin. 2006. Issue 16. -253 p.
2. Electronic resource. <https://www.phytowall.ee/eng/#:~:text=Phytowall%20offers%20a%20wide%20orange,feel%20up%20to%2015%20years.>
3. Electronic resource. <https://fitodesign.ee/en/>
4. http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2018/1/part_2/1-2_2018.pdf.
5. Electronic resource. <https://ppt-online.org/276640>
6. Gorokhov V.A. Urban green building. 1991. - 403 c.
7. Plants at Work. An inspirational guide to greentterior design. Miriam Köpf. 2020. - 208 p.
8. Urban green building. Kharkiv National University of Urban Economy named after O.M. Beketov, 2018. 68 p.



Матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 7 грудня 2023 р.)

Handbook of the XXIII International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (December 7, 2023 Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.290958>

УКД 622.882:504.062.4

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРИПИНЕННЯ ДІЯЛЬНОСТІ КАР'ЄРІВ

Олександр ХОХОТВА, Олена КОВАЛЬОВА

Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

пр. Берестейський, 37, м. Київ 03056, Україна

e-mail: khokhotva@bigmir.net

З року в рік зростає обсяг видобування корисних копалин по всьому світу. За даними Організації об'єднаних націй з 1970 року видобуток ресурсів зріс більш ніж втричі; до 2060 року глобальне використання матеріалів може подвоїтися – з 92 до 190 млрд. тон. Зі зростанням видобування зростає і кількість відпрацьованих закритих шахт та кар'єрів, більшість з яких кинуті та занедбані. Для більшості країн доступних даних немає, в тому числі в Україні така статистика не ведеться [1].

Негативні вплив та наслідки від безвідповідального способу завершення видобувної діяльності будуть відчуватися значно, ніж тривала робота самого видобувного підприємства. Так, кар'єри та шахти, діяльність яких припинена без пом'якшення або ліквідації негативних чинників впливу, залишають після себе ряд екологічних наслідків.

1. Порушені землі – при розробці родовищ корисних копалин вилучаються значні площі продуктивних земель із земель сільськогосподарського та лісового призначення. В подальшому на цих землях спостерігаються незворотні зміни, такі як зниження родючості, дестабілізація ґрунтів, посилення ерозії тощо. Такі землі дуже рідко зможуть бути повернуті в первинний стан та використовуватись в іншій господарській діяльності.

2. Забруднені води. Вода є одним із ресурсів, якому найчастіше завдають шкоди покинуті шахти та кар'єри. З водою важкі метали, завислі речовини, нафтопродукти виносяться за межі власне кар'єрних робіт і знижують якість поверхневих і підземних вод. Крім хімічного забруднення вод, порушуються природні гідрогеологічні режими підземних і поверхневих водотоків, в результаті яких можуть відбуватись зневоднення великих територій, підтоплення значних площ, засолення ґрунтів, погіршення якості питних, ґрунтових і підземних вод.

3. Збільшена кількість забруднюючих речовин і відходів, що викидаються в навколишнє середовище – важких металів, сірки, азоту, вуглеводню, оксидів заліза, кремнію. Це призводить до погіршення якості повітря, води та ґрунту, завдаючи шкоди здоров'ю людей та представникам фауни.

4. Порушення локальних екосистем. Видобування часто знищує не лише рослинність, але й верхній шар ґрунту, необхідний для рекультиваци ділянки після припинення видобутку. Залишена територія є безплідною та непридатною для життя рослин і тварин. Оголений ґрунт продовжує розмиватися і виносяться з ділянки до сусідніх струмків і річок, закупорюючи русла, зменшуючи середовище проживання риби та перешкоджаючи природному потоку.

5. Відходи у вигляді промислового сміття, невидаленого обладнання та споруд, відвали розкривних та пустих порід. Викиди забруднювачів в атмосферу, зменшення площі родючих

земель для необхідності розміщення відвалів, шламосховищ, зіпсовані ландшафти та краєвиди – це далеко не вичерпний перелік шкідливих наслідків від видобування.

Сьогодні відповідальність за припинення видобувної діяльності та за шахти і кар'єри після їх закриття частково визначається в дозвільних документах на видобування. У минулому це питання часто залишалося невизначеним, а компанії не розраховували витрати на закриття шахт та кар'єрів та на заходи із запобігання негативним екологічним наслідкам. Проте сьогодні на практиці існує кілька механізмів управління припиненням діяльності шахт та кар'єрів, навіть тоді, коли відповідні закони не передбачають чітких обов'язків по припиненню діяльності. Так, концепція сталого розвитку визнає стадію припинення видобування центральною та такою, яка впливає на всі стадії життєвого циклу шахти або кар'єра. При цьому, окрім ліквідації або пом'якшення екологічних наслідків, обов'язково беруться до уваги соціальні аспекти та фізична та хімічна безпека.

Акцент і важливість сталого розвитку у видобувній галузі було визнано Всесвітньою комісією ООН з навколишнього середовища та розвитку ще в 1987. У 2002 році Організація Об'єднаних Націй започаткувала Всесвітній саміт зі сталого розвитку (WSSD), який розглядав концепцію сталої роботи та практик у видобуванні, а також визначив потребу в підвищенні обізнаності всередині видобувної промисловості. Всесвітній саміт зі сталого розвитку визнав важливість внеску видобування корисних копалин у сталий спосіб, а саме необхідність підтримки зусиль для належного розгляду екологічних, економічних, соціальних наслідків та впливу на здоров'я людини у видобуванні корисних копалин, мінералів і металів, протягом усього їх життєвого циклу [2]. Всесвітній саміт зі сталого розвитку визначив необхідність для країн, розвиток яких залежить від видобування корисних копалин, в подальшому розвитку принципів і практики сталого розвитку.

Сталий видобуток корисних копалин означає зменшення негативного впливу процесу видобутку та наслідків видобутку на навколишнє середовище, позитивні соціальні та управлінські наслідки. Сталі видобувні підприємства практикують відповідальне управління природним середовищем, задовольняючи потреби суспільства в ресурсах сьогодні, забезпечуючи також задоволення потреб майбутніх поколінь.

Щоб зробити видобування більш стійким і більше збалансувати попит на мінеральні ресурси з потребами в мінімізації та управлінні негативними соціальним та екологічним впливом, концепція сталого розвитку в гірничодобувній галузі потребує ефективнішого функціонування. Для цього важливо мати визначення принципів сталого розвитку, які є найбільш актуальними для видобутку корисних копалин. Протягом усього строку роботи шахти чи кар'єра та навіть і після скоординовані зусилля повинні бути зосереджені на захисті навколишнього середовища, захисті прав людини та отримання максимальної вигоди від видобування. Це вимагає дотримання таких принципів, як мінімізація виснаження невідновлюваних природних ресурсів, принципу «забруднювач платить», принципу обережності, ресурсоефективності та повної оцінки екологічного впливу, участі зацікавлених сторін, прозорості і підзвітності, а також багатостороннього партнерства в суспільних інтересах.

Цілями сталого видобування має бути [3, 4]:

1. Задоволення поточних потреби соціально-економічного розвитку за умови зберігання стабільного регіонального та глобального середовища.

2. Забезпечення збалансованої соціальної та екологічної спадщини для майбутніх поколінь, розуміючи, що розробка ресурсів може мати і короткочасний вплив на екосистеми, який можна досягти й без істотної довгострокової шкоди. Однак довгостроковою метою завжди має бути мінімальний вплив на навколишнє середовище та відновлення будь-яких

дисбалансів, де це можливо. У видобувній галузі неможливо уникнути певного впливу на довкілля (рельєф поверхні, землекористування, якість води, повітря тощо).

3. Завдяки плануванню та ретельній рекультивації, а також усуненню фізичних і хімічних небезпек можна розвинути різноманітну екосистему та землекористування для сталого використання після припинення гірничих робіт. Як правило, це можна зробити з меншими витратами, якщо робити це з самого початку та одночасно з розробкою родовища.

4. Видобуток корисних копалин приносить соціальну та економічну користь, забезпечуючи робочі місця та процвітання поблизу районів видобутку та, можливо, на значно більшій території. Однак довгострокова стабільність і добробут громади після припинення видобутку вимагають ретельного планування. Суспільство має оцінити чисті переваги розвитку гірничодобувної діяльності для стабільності та процвітання громади.

5. Існують сильні моральні та економічні стимули для гірничодобувної промисловості демонструвати соціально та екологічно стійку практику. Технологічні рішення доступні, а додаткові витрати на впровадження можуть бути невеликими.

Закриття шахти – це процес. Щоб досягти успіху, слід починати з раннього планування, включати поступове планування відновлення довкілля під час видобування і завершувати остаточним виведенням з експлуатації, відновленням та поверненням земельної ділянки. Закриття кар'єрів та шахт і процеси відновлення земельних ділянок в кінцевому підсумку визначають те, що залишиться після припинення діяльності для майбутніх поколінь. Якщо вони не виконуються сплановано та ефективно, протягом усього терміну дії об'єкт може залишатися небезпечним і джерелом забруднення протягом ще багатьох років. Загальна мета закриття кар'єрів в сталій спосіб полягає в тому, щоб запобігти або звести до мінімуму наступні негативні наслідки в довгостроковій перспективі, саме екологічні, фізичні, соціальні та економічні, та створити стабільну форму рельєфу, придатну для альтернативного подальшого використання землі.

Інтегроване закриття кар'єрів/шахт було розроблено у відповідь на раніше залишені, занедбані і кинуті ділянки видобутку надр і було створено для забезпечення кращих практик та процедур при припиненні діяльності кар'єрів/шахт. Комплексний підхід до планування закриття кар'єрів/шахт спрямований на досягнення цілей сталого розвитку, що забезпечує розгляд процесу закриття та кінцеве використання земельної ділянки на початкових етапах планування та розробки родовища. Планування закриття шахт має здійснюватися поступово протягом різних етапів життєвого циклу видобувної діяльності проекту та бути повністю інтегроване у звичайний бізнес компанії і в плануванні і в щоденній діяльності.

Розуміння подальшого використання земель після закриття кар'єру впливатиме не тільки на процес закриття, але і на процес видобутку в цілому: враховується розташування відвалів розкривних порід з метою формування запланованого рельєфу після закриття кар'єру,

Для планування рельєфу традиційно використовують нетоксичні відходи видобувної діяльності – розкривні та порожні породи.

Найбільші обсяги відходів утворюються в результаті видобутку або переробки корисних копалин і включають розкривні породи, гірські відходи та хвости. Ці потоки відходів можуть містити токсичні або шкідливі речовини, такі як небезпечні важкі метали та мінерали: азбест і сурма, миш'як, кадмій, хром, мідь, свинець, марганець, ртуть і талій. Відходи гірничодобувної діяльності можуть забруднювати поверхневі води, ґрунтові води та морську воду, а також джерела харчування. Використання землі для зберігання відходів разом із забрудненням ґрунту призводить до ерозії та втрати продуктивних земель. Закриття кар'єрів передбачає ліквідацію чи депонування всіх відходів, що можуть становити небезпеку для

довкілля, та здійснення гірничо-технічної рекультивації за допомогою інертних відходів видобувної галузі.

До того моменту, коли кар'єр досягає кінця свого продуктивного терміну експлуатації, базовий контекст до видобутку, ймовірно, буде суттєво змінений через фізичні зміни, що відбулись під час експлуатації. Ці зміни можуть включати такі дії, як відведення водотоків, перерозподіл води, скидання або відкачування підземних вод для технологічного використання та/або осушення гірничих ділянок. Порожнечі (такі як котловани) і відходи розкритих та пустих порід (такі як хвостосховища та відвали) можуть суттєво впливати як на схему потоку поверхневих і підземних вод, так і на їх якість як на ділянці видобутку, так і за її межами. Документально оформлена інформація повинна служити орієнтиром для розуміння змін протягом терміну експлуатації родовища для проектування робіт із закриття.

Багато гірничодобувних компаній працюють над стратегіями зменшення впливу ризиків, пов'язаних з водою (доступність, споживання, залежність).

Управління водними ресурсами перейшло від внутрішньо зосередженого оперативного підходу до більш цілісного, який враховує ширші потреби навколишнього водозбірного басейну, його екосистему, залежні громади та інших користувачів. Таким чином, ці питання повинні становити невід'ємну частину комунікації із зацікавленими сторонами та планування заходів щодо закриття.

Управління водними ресурсами зазвичай має фізичний компонент для управління рухом води, а також взаємопов'язаний хімічний компонент для управління якістю води [5].

Закриття діяльності з управління водними ресурсами, які безпосередньо пов'язані з фізичним рухом води, включають:

- будівництво інженерних споруд для спрямування потоку води над ділянкою або її відводу навколо майданчика, включаючи водозливні канали, схили, канави та інші споруди;
- модернізацію експлуатаційних структур;
- розвиток поверхневого дренажу елементи, які контролюють ерозію за допомогою форм, аналогічних природним дренажним елементам;
- відновлення дренажних елементів, що були наявні до видобутку, таких як струмки та водотоки, видалення тимчасових водорегулюючих споруд (водопропускні труби, придорожні канави, водовідвідні дамби), щоб відновити схеми водного потоку, які існували до видобутку;
- зміни в інфраструктурі нижче за течією з моменту початку видобутку.

Існує багато потенційних забруднювачів:

– Поживні речовини: використання стандартних вибухових речовин може залишити порожню породу із залишками азоту, що може вплинути на якість поверхневих вод. Їх може бути важко кількісно оцінити без даних про здійснення видобувної діяльності.

– Вилуговування неметалів: існує безліч неметалів, які можуть негативно впливати на якість води. Селен, ціанід і сульфати – це приклади неметалів, які можна зустріти у відходах гірничодобувної промисловості і, можливо, потребують вирішення під час управління водними ресурсами.

– Солі: підвищені концентрації солей у воді із забрудненням прісної води солоною водою можуть бути серйозною проблемою управління водними ресурсами. Деякі роботи з глибокого видобутку корисних копалин можуть вивести на поверхню солоні підземні води, і за цією водою може знадобитися контроль як під час роботи, так і під час закриття.

– Вуглеводні: видобуток копалин може призвести до виникнення зон забруднення вуглеводнями, що може вплинути на якість води.

Переважними стратегіями для запобігання проблемам забруднення вод є:

1. Обмеження впливу кисню на матеріал, що може окислюватись, щоб обмежити швидкість утворення кислоти. Це можна зробити шляхом занурення у воду (підводна утилізація) або влаштування покриття, яке обмежує потік кисню та міграцію води через систему.

2. Запобігання утворенню токсичних сполук, уникаючи контакту між реактивними матеріалами та водою.

3. Запобігання транспортуванню від джерела забруднюючих речовин до чутливих реципієнтів.

4. Нейтралізація кислих порід нейтральними або лужними матеріалами.

5. Очистка води:

- системи активного очищення включають механізовані системи та різноманітні процеси для очищення шахтної води, включаючи аерацію, нейтралізацію, осадження вмісту металу, видалення металів, хімічне осадження, мембранні процеси, іонообмін та біологічне видалення сульфатів.

- пасивні системи включають різні системи очищення, які використовують природні процеси для видалення забруднюючих речовин і працюють без живлення чи хімічних джерел. Анаеробні відновлювальні клітини, водно-болотні угіддя та реактивні канали є пасивними системами очищення.

Кінцевою стадією рекультивації порушених земель є біологічний етап рекультивації, або просто біологічна рекультивація, яка виконується після гірничотехнічної і включає заходи щодо відновлення родючості порушених земель (агротехнічні, фітомеліоративні та ін.), спрямовані на відтворення флори і фауни.

Біологічну рекультивацію здійснюють землекористувачі, яким передають землі після гірничотехнічної рекультивації за рахунок коштів підприємств, які проводили на землях гірничі роботи.

Біологічна рекультивація спрямована на повернення місць видобутку корисних копалин до економічно продуктивного використання після експлуатації. Спочатку це зазвичай означало повернення кар'єрів до сільськогосподарського або лісгосподарського використання шляхом заповнення їх відходами та покриття їх родючим верхнім шаром ґрунту. (Озера кар'єрів також можна використовувати для рекреаційних цілей, таких як риболовля, вітрильний спорт і спостереження за птахами, діяльність, яку можна поєднати зі збереженням біорізноманіття.)

Видобуток та первинна переробка корисних копалин супроводжується виділенням в атмосферне повітря значних обсягів забруднюючих речовин, що значно погіршують якість повітря в районі розташування видобувного підприємства.

Утворення пилу, ймовірно, продовжуватиметься під час заходів із закриття, таких як знесення та реабілітація. Завершення закриття майже завжди призводить до різкого зменшення або усунення багатьох потенційних джерел впливу на якість повітря, таких як вибухові роботи, рух вантажівок і переробка. Проблеми щодо якості повітря після закриття зазвичай пов'язані з утворенням пилу з хвостосховищ або інших ділянок дрібнозернистих відкладень, якщо вони не були оброблені відповідно до найкращих практик. Оскільки технології контролю утворення пилу після закриття кар'єру надійні та ефективні, зазвичай можна продемонструвати покращення якості повітря швидко після завершення закриття та обмежити тривалість моніторингу якості повітря після закриття.

Загальна мета закриття видобувної діяльності полягає в тому, щоб запобігти або звести до мінімуму несприятливі довгострокові екологічні, фізичні, соціальні та економічні наслідки, а також створити стабільну форму рельєфу, придатну для певного узгодженого наступного землекористування. Економічне обґрунтування планування завчасного та детального закриття виходить із включення стратегічного планування управління навколишнім середовищем в

процесі припинення у планування діяльності кар'єра. Це дає можливість максимізувати ефективність у розподілі експлуатаційних ресурсів і поводженні з матеріалами, мінімізувати сліди забруднень і використовувати цінні поверхневі та підземні води екологічно ефективним способом.

Література:

1. D.H. Garcia. Overview of international mine closure guidelines, URL https://dxi97tvbmhbca.cloudfront.net/upload/user/image/DGarcia_InternationalMineClosureGuidelines_200820191128185345790.pdf
2. B. Smith, Mining for Closure. Sustainable Mine Practices, Rehabilitation and Integrated Mine Closure Planning, URL https://autodocbox.com/68136686-Electric_Vehicle/Considerations-and-recommendations-in-mine-closure-policy-in-papua-new-guinea.html (дата звернення 13.11.2023).
3. J. Dubiński. Sustainable Development of Mining Mineral Resources, J. Sustain. Min., Vol. 12, No 1, pp. 1-6, 2013, doi: 10.7424/jsm130102.
4. Цілі сталого розвитку: Україна. Національна доповідь, Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, 174 с., 2017.
5. Integrated Mine Closure: Good Practice Guide, Integrated Mine Closure: Good Practice Guide, 137 p., 2019, URL https://www.icmm.com/website/publications/pdfs/environmental-stewardship/2019/guidance_integrated-mine-closure.pdf?cb=60008



ВЗАЄМОЗАЛЕЖНІСТЬ ПРИНЦИПІВ ВЕРХОВЕНСТВА ПРАВА ТА НАЛЕЖНОГО ВРЯДУВАННЯ НА ПРИКЛАДІ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ТВАРИННОГО СВІТУ

Софія ШУТЯК

Національний лісотехнічний університет України
вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів 79057, Україна
e-mail: Sofiya.shutiak@gmail.com

Серед принципів належного демократичного врядування на місцевому рівні верховенство права є одним із найпріоритетніших [1]. Водночас Порядок денний сталого розвитку до 2030 року [2] розглядає вдосконалення процесів управління як умову досягнення цілей сталого розвитку, а Місія Програми ООН з навколишнього середовища (UNEP) [11] свої зусилля спрямовує на підтримку підходів екологічно орієнтованого управління для реалізації концепції «планети здорових людей». Також, за визначенням EU Parliament Research Service [3], якість функціонування державних установ у сфері охорони природи на регіональному рівні має великий вплив на соціальний та економічний розвиток.

Незважаючи на чіткий взаємозв'язок між нормами права, засадами управління у сфері охорони диких тварин, критеріями економічного розвитку регіонів і питаннями захисту основних прав людини на безпечне навколишнє середовище, в Україні, на відміну від розвинених країн, ця тема вивчена недостатньо.

Ніксон Сіфуна у статті [4] вказує на важливість визнання того факту, що законодавство, відіграючи важливу роль у збереженні природи, часто не впливає на реальну дієвість виконавчої та судової гілок влади через їх певну інституційну неспроможність. Автор виділяє три критерії, що зумовлюють ефективність і дієвість законодавства щодо захисту тварин:

- врахування необхідності управління дикою природою;
- сприяння гілками влади виконанню норм закону та напрацювання належної правозастосувальної практики;
- врахування добробуту людини та участі місцевих громад у збереженні та управлінні дикою природою.

На думку автора [4], закон повинен передбачати участь місцевих громад не лише в управлінні дикою природою, а й у розподілі прибутків, отриманих від використання природних ресурсів, у т. ч. об'єктів тваринного світу, що належать до дикої природи.

Автори [5] наполягають на тому, що згідно з принципами законності як засадничої складової верховенства права питання діяльності органів публічної влади мають бути чітко врегульовані, бо рамкове регулювання їх діяльності, зокрема у сфері природокористування, призводить до надмірно широкої свободи дій, що часто стає причиною свавілля.

На думку Каракаша І.І. [6], відсутність у статті 13 Конституції України [7] окремого виділення об'єктів тваринного світу та їх віднесення до категорії «інші природні ресурси», є перепорою для організації належного управління, що своєю чергою не сприяє утвердженню верховенства права у цій сфері правових відносин.

Метою цього дослідження є аналіз правових теорій України у сфері природокористування для формування нових, дієвих та екологічно збалансованих норм права, що дозволять врахувати інтереси тварин.

Стаття 8 Основного закону в Україні передбачає принцип верховенства права. Це означає, що всі правовідносини в нашій державі мають відбуватися в межах права, на основі права, та з метою виконання норм права. У контексті поводження з дикими тваринами прослідковується постійне порушення принципу верховенства права. На наш погляд, це передусім зумовлено поганою взаємодією між Міндовкіллям, Держлісагентством і Держрибагентством, відсутністю належних управлінського та інституційного механізмів, що не дозволяє здійснювати охорону державою об'єктів тваринного світу, незалежно від форми права власності на них.

Науковці Кембриджського університету у статті [8] підкреслюють: з огляду на те, що суб'єктом права традиційно є людина або юридична особа, що у своїй діяльності керуються правовими нормами, відбувається невинуватене виключення тварин із правового поля. Якщо ми розглядаємо основну ідею верховенства права як недопущення свавілля влади, то теорії верховенства права неодмінно повинні враховувати права, 1. суб'єктів, які потенційно можуть стати жертвою таких діянь. Тварини теж можуть стати жертвами свавілля влади, а отже, нам потрібна нова теорія верховенства права, що охоплює також і їх права.

На думку авторів [9], порушення принципу верховенства права під час судового розгляду кримінальних проваджень за ст. 299 КК України підтверджується відмовами у здійсненні процесуальних дій, що своєю чергою призводить до неповноти судового процесу, наприклад, не дослідження обставин справи, з'ясування яких може мати істотне значення для ухвалення законного, обґрунтованого та справедливого судового рішення. Зокрема це відбувається через сприйняття тварин винятково як об'єктів злочину без належної суб'єктної складової.

Закон України "Про тваринний світ" [10] чітко визначає поняття користування тваринним світом, надаючи громадянам право безоплатного загального використання об'єктів тваринного світу для задоволення життєво необхідних потреб (естетичних, оздоровчих, рекреаційних тощо). Останнім часом спостерігається посилений інтерес громадян України до диких тварин з метою володіння такими тваринами. Мода прирівнює володіння дикою твариною до володіння предметами розкоші, а суспільна думка часто наділяє власників диких тварин омріяною статусністю. Закон дозволяє загальне використання об'єктів тваринного світу без їх вилучення з природного середовища (за винятком любительського та спортивного рибальства у водних об'єктах загального користування в межах встановлених законодавством обсягів безоплатного вилову). Також під цю норму підпадає використання корисних властивостей життєдіяльності тварин - природних санітарів середовища, наприклад, як запилювачів рослин, а також використання об'єктів тваринного світу в наукових, культурно-освітніх, виховних, естетичних та інших цілях, не заборонених законом. Забороняється знищення тварин, руйнування їхнього житла та інших споруд (нор, хаток, лігв, гнізд, мурашників, бобрових загат тощо), порушення середовища існування тварин і погіршення умов їх розмноження.

Відповідно до звіту ЮНЕП (2015) [11] визначено сім основних елементів екологічного верховенства права.

1. Справедливе, чітке та здійсненне екологічне законодавство. Екологічне верховенство права ґрунтується на законах, що є справедливими та недискримінаційними на етапах розробки, прийняття, застосування та впливу. Вони повинні бути легко зрозумілими та однозначними, ефективними у реалізації для конкретного інституційного, культурного та економічного контексту країни.

2. Доступ до інформації, участь громадськості у прийнятті рішень у сфері природокористування та вільний доступ до неупередженого правосуддя. Так доступ до екологічної інформації дозволяє громадськості виявляти порушення прав суб'єктів природокористування та визначати шляхи їх усунення. Участь громадськості у прийнятті екологічних рішень сприяє розробці справедливих і здійснених законів, а також покращує громадську підтримку і дотримання законів. Доступ до правосуддя допомагає захистити ці права, а також посилює правозастосування, забезпечуючи доступ громадськості до механізмів захисту своїх прав та вирішення спорів.

3. Підзвітність і добросовісність інституцій та осіб, які приймають рішення. Природоохоронні установи повинні демонструвати підзвітність, прозорість і добросовісність, щоб залучитись підтримкою громадськості та забезпечити дотримання норм законодавства з метою ефективного захисту довкілля.

4. Чіткий та скоординований розподіл повноважень і ролей як між інституціями, так і всередині них. Екологічне врядування передбачає наявність численних нормативних систем (законодавчих, звичаєвих, релігійних тощо), рівнів (місцевого, національного та міжнародного) і секторів (лісового, сільського господарства, управління відходами, водного господарства тощо), що часом призводить до інституційного дублювання, правових прогалин і колізій. Для ефективної імплементації норм права необхідні чіткий розподіл повноважень і відповідна міжсекторальна координація.

5. Доступне, справедливе, неупереджене, своєчасне та оперативне судочинство. Справедливі, неупереджені, своєчасні та гнучкі механізми вирішення спорів і правозастосування сприяють дотриманню екологічного законодавства, підтримці природоохоронних ініціатив і підвищенню довіри громадськості до судового процесу.

6. Забезпечення взаємозв'язку різних галузевих норм права. Екологічне верховенство права має синергетичний зв'язок з конституційним, цивільним та іншими правами. Здорове довкілля необхідне для реалізації прав на життя, власність і здоров'я, а також культурних, економічних і політичних прав. Конституційні, цивільні та інші права - як матеріальні, так і процесуальні - формують інструменти для посилення та забезпечення захисту довкілля.

7. Конкретні критерії для тлумачення норм екологічного законодавства. Чіткі та детальні вказівки щодо екологічного законодавства дають змогу органам виконавчої влади приймати узгоджені правила та практику правозастосування, а також сприяють дотриманню законодавства з боку громад і громадськості, на які воно поширюється.

З огляду на наведене можна припустити, що принцип верховенства права під час реалізації права власності на об'єкти тваринного світу в Україні має відповідати згаданим критеріям. Проте наш системний аналіз чинних норм законодавства, що регулює правовідносини щодо тварин, а також наявна практика із реалізації цих положень, свідчить про те, що верховенства права у сфері врегулювання відносин щодо диких тварин в Україні не досягнуто, зокрема тому, що в країні відсутнє належне публічне управління цими відносинами.

Прикладом цього є масове толерування в межах України браконьєрства. Маємо обмаль вироків щодо притягнення до відповідальності за нелегальне рибальство чи полювання. Водночас законодавство детально визначає, що за наявності дозволів і визначених місць реалізації цих прав передбачено такі види спеціального користування:

- мисливство;
- рибальство, включаючи добування водних безхребетних тварин;
- використання диких тварин з метою отримання продуктів їх життєдіяльності;
- добування (придбання) диких тварин з метою їх утримання і розведення у напіввільних умовах чи в неволі;

- використання об'єктів тваринного світу в наукових, культурно-освітніх, виховних та естетичних цілях у разі їх вилучення з природного середовища з метою отримання прибутку.

За спеціальне користування тваринами сплачується відповідний збір, встановлений Порядком [12].

Плата за спеціальне використання диких тварин не справляється з таких суб'єктів:

1) з наукових установ та організацій, окремих науковців України, які використовують диких тварин у наукових цілях, а також з іноземних юридичних і фізичних осіб, які залучаються для спільних наукових досліджень, погоджених з центральними органами державної виконавчої влади;

2) з державних зоологічних парків та інших установ і організацій, які використовують диких тварин у виховних цілях, а також з метою їх штучного утримання чи розведення;

3) з підприємств, установ, організацій та громадян, які у встановленому законодавством порядку здійснюють регулювання чисельності диких тварин з метою охорони здоров'я та безпеки населення, відвернення заподіяння шкоди навколишньому природному середовищу і народному господарству.

Тимчасові нормативи плати за спеціальне використання диких тварин (крім мисливських тварин, рибних запасів, видів тварин, занесених до Червоної книги України) встановлені у доларах США та коливаються від 5 центів (золотоочки, хемеробіди) до 300 доларів США (осоїд).

Існування дозвільної процедури щодо спеціального використання об'єктів тваринного світу є інструментом захисту державного права власності на тваринний світ як однієї з конституційних цінностей та захистом права власності народу України на природні цінності. Відсутність дієвих механізмів такого захисту є свідченням порушення права власності народу України на ці ресурси. Кожне комерційне використання тварин заради розваги, утримання у будинках відпочинку, ресторанах тощо є прикладом порушення права власності народу України на тваринний світ та є свідченням відсутності державного регулювання цих питань і порушенням принципу верховенства права.

Принцип верховенства права охоплює правову визначеність (чіткість, зрозумілість й однозначність правових норм, зокрема їх передбачуваності (прогнозованості), законність очікування та стабільності). Розглядаючи питання допустимого ступеня обмеження гарантованого Конституцією України права власності, Конституційний Суд України зазначав, що право власності не є абсолютним, тобто воно може бути обмежене, однак втручання у це право може здійснюватися лише на підставі закону з дотриманням принципу юридичної визначеності та принципу пропорційності, який вимагає досягнення розумного співвідношення між інтересами особи та суспільства; при обмеженні права власності в інтересах суспільства пропорційними можуть вважатися такі заходи, які є менш обтяжливими для прав і свобод приватних осіб з-поміж усіх доступних для застосування заходів. Будь-яке втручання у право власності має ґрунтуватися на законі, мати правомірну мету та бути домірним. Правомірність мети Закону – забезпечення захисту державою права власності як однієї з конституційних цінностей.

З огляду на це користувачі об'єктами тваринного світу в установленому законодавством порядку зобов'язані:

- додержуватися встановлених правил, норм, лімітів і строків використання об'єктів тваринного світу;

- використовувати тваринний світ у способи, що не допускають порушення цілісності природних угруповань і забезпечують збереження тварин, яких не дозволено використовувати;

- безперешкодно допускати до перевірки всіх об'єктів, де утримуються, перероблюються та реалізуються об'єкти тваринного світу, представників органів, що здійснюють державний контроль за охороною і використанням тваринного світу, своєчасно виконувати їх законні вимоги та розпорядження; своєчасно вносити збір за спеціальне використання об'єктів тваринного світу.

Проте ці зобов'язання не матимуть жодного значення за відсутності належної системи контролю їх дотримання, а для верховенства права необхідно не просто перерахувати діяння, за які настає відповідальність, а й передбачити чіткі алгоритми щодо реалізації покарання винних, які вчинили такі діяння.

Такі ілюстративні кейси, як справа ведмежатка [13], якого знайшли у травні 2023 року на межі НПП «Ужанський парк» (відкрито відповідну кримінальну справу Територіальним управлінням ДБР у місті Львові за ч. 2 статті 248 ККУ), або виявлення прикордонниками добутої браконьєрським шляхом білуги [14] свідчать про те, що у суспільстві не відпрацьовані алгоритми притягнення до відповідальності за злочини проти тварин, немає навичок і знань щодо розслідування такої категорії спорів. Для притягнення особи до відповідальності слід довести, що така особа усвідомлювала суспільно небезпечний характер свого діяння, передбачала його суспільно небезпечні наслідки у вигляді незаконного видобутку, наприклад, вилов риби, та бажала їх настання, посягала на суспільні відносини у сфері охорони й відтворення навколишнього природного середовища, раціонального використання природних ресурсів, діяла умисно та цілеспрямовано. Ба більше: є багато інших прикладів утримання диких тварин у неволі без відповідних дозволів та дотримання правомірної мети такого утримання.

Знаковою також є спроба продажу рисі на OLX, що була виявлена організацією URSA. ГО не вважала за необхідне попередити правоохоронні органи завчасно для належного затримання всієї злочинної групи, що теж свідчить про низькій рівень верховенства права щодо захисту прав тварин.

З огляду на це вважаємо за необхідне внести Державну прикордонну службу до Порядку взаємодії між органами прокуратури, Національної поліції України, Служби безпеки України, уповноваженими органами державного нагляду (контролю), державними спеціалізованими установами під час виявлення та здійснення досудового розслідування кримінальних правопорушень проти довкілля [15]. Також необхідно вести постійну просвітницьку роботу з цих питань. Доречно вдосконалити застосування основних елементів верховенства права у справах щодо захисту тварин, а саме:

- забезпечити справедливі, чіткі та придатні для застосування норми у законодавстві про тварин;
- покращити доступ до інформації, участь громадськості та доступ до правосуддя у цій категорії справ;
- посилити контроль за підзвітністю та доброчесністю інституцій та осіб, які приймають рішення щодо тварин;
- забезпечити чіткий розподіл та скоординовані повноваження щодо захисту тварин як між інституціями, так і всередині них;
- реалізувати доступне, справедливе, неупереджене, своєчасне та оперативне судочинство щодо захисту тварин;
- визнати на правовому рівні взаємозв'язок прав тварин і прав людини.

Література:

1. Бенчмаркінг доброго врядування: практичний посібник / За заг. ред. А. Гука. – К.: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2018. – 60 с.
2. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. URL: <https://www.undp.org/ukraine/publications/transforming-our-world-2030-agenda-sustainable-development>.
3. European Parliamentary Research Service. European Parliamentary Research Service. URL: <https://www.europarl.europa.eu/at-your-service/en/stay-informed/research-and-analysis>.
4. Sifuna N. The Use of Law in Wildlife Management. *Beijing Law Review*. 2021. Vol. 12, no. 03. P. 924–947. URL: <https://doi.org/10.4236/blr.2021.123048>
5. Публічне урядування, права людини і демократія: регіональний зріз євроінтеграції: монографія / [Т.О. Карабін, Я.В. Лазур, М.В. Менджул, Трачук П.А. та ін.]; за заг. ред. М.В. Савчина. – Ужгород: вид-во УжНУ «Говерла», 2015. – 320 с.
6. Каракаш І. Природні об'єкти та їх ресурси як народне надбання. Системи галузей права в умовах глобальних екологічних викликів: Матеріали Всеукр. науково-практ. конф., м. Київ, 27 листоп. 2020 р. Київ, 2020. С. 104–110.
7. Конституція України [Електронний ресурс] // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 1996. – № 30. – с. 141. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80>
8. Adenitire J. The Rule of Law for All Sentient Animals. *Canadian Journal of Law & Jurisprudence*. 2022. Vol. 35, no. 1. P. 1–30. URL: <https://doi.org/10.1017/cjlj.2021.17>
9. Василенко А. М. Утілення концепції прав тварин у міжнародному та національному праві : кваліфікаційна (магістерська) робота. Київ, 2022. 108 с.
10. Про тваринний світ : Закон України від 13.12.2001 р. № 2894-III : станом на 31 груд. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2894-14#Text>
11. United Nations Environment Programme. 2023. Environmental Rule of Law: Tracking Progress and Charting Future Directions. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/43943>
12. Про затвердження Інструкції про порядок сплати платежів за спеціальне використання диких тварин : Наказ М-ва охорони навколиш. природ. середовища та ядер. безпеки України від 09.04.1996 р. № 37/68. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0206-96#Text>
13. Загибель чи підозра загибелі червонокнижної тварини. Правовий алгоритм дій. WWF-Україна | WWF ukraine. URL: <https://wwf.ua/?10403441/wildlife-crime-legal-actionplan>
14. Українська правда Життя. На Одещині бракон'єри вбили червонокнижну білугу вагою 124 кг. ВІДЕО. Українська правда _Життя. URL: <https://life.pravda.com.ua/society/2023/07/17/255435/>.
15. Про затвердження Порядку взаємодії між органами прокуратури, Національної поліції України, Служби безпеки України, уповноваженими органами державного нагляду (контролю), державними спеціалізованими установами під час виявлення та здійснення досудового розслідування кримінальних правопорушень проти довкілля : Наказ; Офіс Генерального прокурора від 16.06.2022 № 94/363/150/226/356 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/v094_905-22 (дата звернення: 23.01.2024).

**КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ
ТА ТЕХНОЛОГІЇ РОСЛИННИХ ПОЛІМЕРІВ
Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського**

Для підготовки спеціалістів з проблем охорони навколишнього середовища в серпні 1988 р. на базі відділення целюлозно-паперового виробництва та лабораторії промислової екології хіміко-технологічного факультету Київського політехнічного інституту була створена кафедра технології целюлозно-паперового виробництва та промислової екології. Для поліпшення підготовки інженерів-екологів з питань контролю забруднення довкілля у вересні 1990 р. до неї приєднали також і кафедру аналітичної хімії.

Велику роботу у створенні кафедри і підготовці фахівців за новою спеціальністю «Промислова екологія та охорона навколишнього середовища» здійснив професор, доктор технічних наук О. П. Шутько, який з 1988 по 1996 рр. очолював кафедру.

З 1993 року на кафедрі відкрита аспірантура з технології целюлозно-паперового виробництва та промислової екології. У тому ж році з ініціативи кафедри була організована перша в Україні Вчена рада з присудження вчених ступенів доктора та кандидата наук (Д 1.02.01) за спеціальностями целюлозно-паперової технології та промислової екології.

Крім організації навчального процесу для спеціалістів-екологів, кафедра продовжує готувати хіміків-технологів целюлозно-паперового виробництва (денна та заочна форми навчання).

Основні напрями наукової діяльності кафедри:

- розробка нових видів реагентів для процесів водоочистки, водопідготовки та переробки відходів;
- розробка технологій одержання волокнистих напівфабрикатів із соломи та інших однорічних рослин.

У лютому 2000 р. кафедра увійшла до структури інженерно-хімічного факультету (ІХФ), а в листопаді 2002 р. була перейменована на кафедру екології та технології рослинних полімерів.

Кафедра активно співпрацює з підприємствами паперової галузі, галузевими та академічними інститутами. Всі випускники обох спеціальностей зазвичай отримують престижні вакансії на підприємствах і в наукових установах України.

При кафедрі працює аспірантура, а її випускники, як правило, продовжують наукову та педагогічну діяльність у стінах кафедри.

Завідувач кафедри – д-р тех. наук, проф. Гомеля Микола Дмитрович.

Контактна інформація:

пр. Берестейський 37, корпус №4, м. Київ 03056, Україна

E-mail: eco-paper@kpi.ua

Телефон: (+38044) 204-91-40

Факс: (+38044) 236-60-83

<http://www.eco-paper.kpi.ua>