



# **ЕКОЛОГІЯ. ДОВКІЛЛЯ. ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ – 2024**



**2024**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА  
ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»**

**ЕКОЛОГІЯ. ДОВКІЛЛЯ.  
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ – 2024**

**Колективна монографія**

**Полтава 2024**

## **РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:**

### **Відповідальний редактор**

**ІЛЛЯШ Оксана**, завідувачка кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», кандидат технічних наук, доцент.

**СТЕПОВА Олена**, професор кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», доктор технічних наук, професор.

### **Технічний редактор**

**СМОЛЯР Наталія**, доцент кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», кандидат біологічних наук, доцент.

### **Члени редакційної колегії**

**СТЕПОВА Олена**, професор кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», доктор технічних наук, професор.

**ГОЛІК Юрій**, завідувач кафедри теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики, професор Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», кандидат технічних наук, доцент.

**СМОЛЯР Наталія**, доцент кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», кандидат біологічних наук, доцент.

**ГАНОШЕНКО Олена**, доцент кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», кандидат технічних наук, доцент.

**БРЕДУН Віктор**, доцент кафедри прикладної екології та

природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», кандидат технічних наук.

**ЧЕПУРКО Юлія**, асистент кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», аспірантка.

**СЕРГА Тетяна**, асистент кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», аспірантка.

**ВНУКОВА Наталія**, завідувачка кафедри, професор кафедри екології Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, доктор технічних наук, професор.

**НЕКОС Алла**, завідувачка кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, доктор географічних наук, професор.

**ПЕТРУК Василь**, директор інституту екологічної безпеки та моніторингу довкілля Вінницького національного технічного університету, доктор технічних наук, професор, заслужений природоохоронець України.

**ТРОХИМЕНКО Ганна**, завідувачка кафедри екології та природоохоронних технологій Національного університету кораблебудування імені Адмірала Макарова, доктор технічних наук, професор.

**ЧУГАЙ Ангеліна**, завідувач кафедри екології та охорони довкілля Одеського державного екологічного університету, доктор технічних наук, професор.

**ШМАНДІЙ Володимир**, професор кафедри екології та біотехнології Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, доктор технічних наук, професор.

УДК 502/504+620.9](2.064)

**Рецензенти:**

**ПЛЯЦУК Леонід**, завідувач кафедри екології та природозахисних технологій Сумського державного університету, доктор технічних наук, професор

**СЕРБОВ Микола**, перший проректор Одеського державного екологічного університету, доктор економічних наук, професор

*Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (протокол №3 від 29.03.2024 року)*

**ЕКОЛОГІЯ. ДОВКІЛЛЯ. ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ – 2024:**  
колективна монографія / під ред. О.Е.Ілляш. Полтава :  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія  
Кондратюка». 2024. 229 с.

У колективній монографії представлені результати досліджень у сфері екології, захисту навколишнього природного середовища, зокрема оцінки наслідків для довкілля воєнних дій, пов'язаних із вторгненням РФ в Україну, з питань раціонального використання природних ресурсів, енергозбереження й розвитку альтернативної енергетики, а також із проблем збереження біорізноманіття та заповідної справи, організації екологічної освіти та просвіти.

Розраховано на науковців, викладачів, керівників й фахівців органів державного управління, екологів, аспірантів, студентів і всіх, хто цікавиться питаннями охорони довкілля, енерго- та ресурсозбереження, заповідної справи й екологічної освіти.

*Матеріали друкуються мовами оригіналів. За викладення, зміст і достовірність матеріалів відповідають автору.*

ISBN 978-617-8231-59-0

© Колектив авторів, 2024

**РОЗДІЛ І.  
УПРАВЛІННЯ  
ГЛОБАЛЬНОЮ ТА  
РЕГІОНАЛЬНОЮ  
ЕКОЛОГІЧНОЮ  
БЕЗПЕКОЮ**



**РЕАЛІЗАЦІЯ ЛОКАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ МОНІТОРИНГУ ЗА  
ЯКІСТЮ ПІДЗЕМНИХ ВОД ЯК ЕЛЕМЕНТ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ  
IMPLEMENTATION OF A LOCAL NETWORK FOR  
MONITORING THE QUALITY OF GROUNDWATER AS AN  
ELEMENT OF ENSUING ECOLOGICAL SAFETY**

**Гнова А.В.**, аспірантка, **Дерієнко Б.Г.**, аспірант,  
**Маланюк Н.І.**, аспірант, **Харламова О.В.**, доктор технічних наук,  
доцент, **Ригас Т.Є.** кандидат технічних наук, доцент  
**Нієнова А.В.**, postgraduate, **Derienko B.G.**, postgraduate,  
**Malaniuk N.I.**, postgraduate, **Kharlamova O.V.**, Doctor of Technical  
Science, associate professor, **Rigas T.E.**, PhD in Technical Sciences,  
associate professor

Кременчуцький національний університет  
ім. Михайла Остроградського, Україна  
Mykhailo Ostrohradsky Kremenchuk National University, Ukraine

**Анотація.** Забруднення підземних вод стало серйозною проблемою через потенційні загрози довкіллю та здоров'ю населення. Пріоритетним є підвищення ефективності системи управління водними ресурсами для запобігання, виявлення та ліквідації забруднення ґрунтових вод.

Із метою зниження рівня екологічної небезпеки Кременчуцького району досліджено проблему погіршення стану геологічного середовища в зоні впливу підприємств нафтохімічного комплексу. Доведена необхідність вдосконалення існуючої програми моніторингу для забезпечення екологічної безпеки, контролю джерел забруднення, покращення планування землекористування та зонування. Запропоновано застосування локальної мережі спостереження (ЛСМ) за якістю водних ресурсів, яка обладнана багаторівневою системою моніторингу. Доведена доцільність використання незалежних трубок вкладених або кластерних свердловин. Обґрунтована необхідність реалізації ЛСМ підземних вод задля вирішення проблеми недосконалості існуючої системи управління охороною водних ресурсів.

**Abstract.** Groundwater pollution has become a serious problem due to potential threats to the environment and public health. A priority is to

enhance the efficiency of water resource management systems to prevent, detect, and mitigate groundwater contamination.

In order to reduce the level of environmental risk in the Kremenchuk region, the issue of deterioration of the geological environment in the impact zone of the oil and chemical complex facilities has been investigated. The necessity of improving the existing monitoring program to ensure environmental safety, control pollution sources, improve land use planning, and zoning has been demonstrated. The application of a local monitoring network (LMN) for water resource quality equipped with a multi-level monitoring system is proposed. The feasibility of using independent tubes in embedded or cluster wells is substantiated. The need for the implementation of LMN for groundwater to address the imperfections of the existing water resource management system has been justified.

Підземні води – це важливий ресурс, який забезпечує фізіологічні, санітарно-гігієнічні, побутові та господарські потреби українців. Однак, їх забруднення стало серйозною проблемою через потенційні загрози довкіллю та здоров'ю населення. Деградація водних ресурсів відбувається з різних причин, включаючи промислову діяльність, сільське господарство, інтенсивні процеси урбанізації та порушення вимог щодо перевезення, зберігання, утилізації та захоронення небезпечних відходів [1]. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, близько 23% всіх смертей у світі пов'язані з напруженою екологічною ситуацією. Фізіологічний стан людини зазнає значної шкоди через забруднене повітря, воду та ґрунт. Зниження якості природних ресурсів призводить до захворювань серцево-судинної системи, хвороб дихальних шляхів та розвитку онкологічної патології. Важливо відзначити, що негативний вплив антропогенних загроз на здоров'я населення не рівномірно розподілений. Найбільш уразливими є діти, літні люди, бідні групи населення та мешканці віддалених регіонів. Вживання ними неякісної питної води призводить до високого рівня захворюваності та смертності. Тому, пріоритетним є підвищення ефективності системи управління водними ресурсами для запобігання, виявлення та ліквідації забруднення ґрунтових вод.

Техносфера створює постійну загрозу для екологічної безпеки. Одним із чинників, що сприяють глобальній деградації навколишнього природного середовища, є використання нафтопродуктів у господарській діяльності людини. Вуглеводневе забруднення виникає внаслідок різноманітних антропогенних факторів, включаючи морські бурові операції, витоки з трубопроводів, аварії на нафтоналивних платформах і танкерах.



Відповідно до звіту Oil Spill Intelligence Report, лише за 2020 рік в усьому світі було зареєстровано 1834 розливи нафти із загальним обсягом приблизно 4,4 мільйона барелів (або 690 тис. тонн) нафти [2]. Більшість цих розливів (59%) сталася в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні, потім у Європі (14%) та Африці (12%). За даними Міжнародної федерації власників танкерів по боротьбі із забрудненням (ITOPF), у період з 2017 по 2020 роки у всьому світі сталося 377 великих (понад 700 тонн) аварійних розливів нафти з танкерів, суховантажів та інших типів суден. Унаслідок цих інцидентів розлилося понад 3,05 мільйона барелів (2,6 млн. тонн) нафти [3]. Важливо зазначити, що ці цифри враховують лише зареєстровані розливи нафти, і щороку може відбуватися багато не задокументованих техногенних аварій. Крім того, повідомлений об'єм розлитих нафтопродуктів не завжди може бути точним через такі фактори, як неповна звітність, труднощі в оцінці масштабу розливу та навмисне заниження звітності.

Вуглеводневе забруднення призводить до погіршення загального стану акватичного середовища, завдаючи значної шкоди екосфері та здоров'ю населення. Поверхневий шар гідросфери вкрай важливий для продуктивності гідробіонтів, забруднення водних ресурсів нафтою та нафтопродуктами завдає більшої шкоди природі, ніж інші види техногенного впливу. Вони утворюють плівку, яка зменшує доступ кисню до води, знижуючи її випаровування на 60% [4]. Це може призвести до масової загибелі риб, а також скорочення їх популяції у майбутньому, що негативно позначається на рибному господарстві та промисловості, пов'язаній з ним. Тому пріоритетним є підвищення ефективності системи управління водними ресурсами для запобігання, виявлення та ліквідації забруднення ґрунтових вод.

Надзвичайно небезпечним джерелом екологічної небезпеки щодо забруднення водних ресурсів України є нафтопереробні підприємства, в районах розташування яких створюються так звані «техногенні поклади» вільних нафтопродуктів [5]. Забруднення поверхні та надр вуглеводнями потенційно має низку небезпечних та важко ліквідованих наслідків, таких як:

- проникнення поліютантів у підземні водні об'єкти, що використовуються для задоволення господарсько-питних потреб населення;

- знищення життя у екосистемах через потрапляння продуктів переробки нафти в навколишнє природне середовище;

- порушення екосистем, через загибель тварин, рослин та мікроорганізмів, які є частиною трофічного ланцюга та відіграють важливу роль у підтримці біорізноманіття;

- деградацію ґрунтового покриву, що унеможливить подальше ведення сільського господарства;
- створення вибухо- та пожежонебезпечної ситуацій на території підприємства та поза її межами.

Будучи центром урбанізації регіону, місто Кременчук здійснює значний антропогенний вплив на гідросферу. У структурі економіки міста домінуюче положення займає нафтопереробка, що сприяє зростанню техногенного пресингу на довкілля [6]. В якості основного об'єкту дослідження розглядався район розташування ставка-випарника, фільтраційні втрати з якого негативно впливають на якість водних ресурсів.

Кременчуцький район розташований у басейні річки Дніпро, його підземні води належать до Дніпровсько-Донецької водної системи. Вони використовуються для задоволення господарсько-питних потреб місцевих мешканців та підприємств. Ставок-випарник є найбільшим джерелом вуглеводневого забруднення водних ресурсів регіону, він споруджений на болоті Велике Вільне в 1,5 км від найближчої житлової забудови та у 3 км від річки Псла. Загальна кількість нафтопродуктів у підземних горизонтах виробничого майданчика об'єкту дослідження становить близько 60 тис. тонн [7]. Оскільки нафтопереробне виробництво тут виникло в 60-х роках минулого століття, є передумови для формування довготривалих вогнищ забруднення нафтопродуктами геологічного середовища. Проте реальний стан цього процесу недостатньо вивчений. Через забруднення підземних водоносних горизонтів у зоні впливу ставка-випарника, мешканці сіл Бондарі, Оспатівка та Василенки з 1990 року користуються привізною питною водою за кошти підприємства-забруднювача.

Існуюча програма моніторингу підземних вод, ґрунтуються на даних зі спостережних свердловин отриманих за допомогою хімічного аналізу відібраних зразків води. Це, однак, створює парадокс, оскільки фіксація наявності перевищень гранично допустимої концентрації (ГДК) у відібраній пробі води є встановленням факту, що якість ґрунтових вод не відповідає нормативним вимогам СанПіН 2.2.4-171-10 [8]. При цьому, забруднення підземних вод починається на поверхні землі, забруднюючі речовини проходять зону аерації і досягають рівня ґрунтових вод [9]. Застарілі методи моніторингу, недосконалість нормативно-правової бази і організаційної структури управління [10], є головними причинами низького рівня поінформованості та неефективності впроваджених водоохоронних стратегій.

Із метою отримання точних та оперативних даних про поширення вуглеводневого навантаження на довкілля, які необхідні для локалізації

наявних джерел екологічної небезпеки, та зниження його рівня, забезпечення екологічної безпеки виробничої діяльності, а також планування та регулювання надрокористування, вважаємо за доцільне реалізувати локальну мережу спостереження (ЛМС) за якістю геологічного середовища виробничого майданчика об'єкту дослідження. Реалізація ЛМС дозволяє отримувати інформацію про якість підземних вод у режимі реального часу та на ранніх стадіях ідентифікації забруднення [11]. Це дає змогу оперативно виявляти і контролювати джерела забруднення та негайно впровадити необхідні природоохоронні заходи. На основі ЛМС вирішується комплекс взаємозалежних завдань, таких як:

- визначення та контроль за концентрацією нафтопродуктів та інших шкідливих речовин у підземних водах, що дозволяють своєчасно вжити заходи щодо запобігання подальшому поширенню забруднення компонентів геологічного середовища;

- екологічний моніторинг змін якості води в реальному часі, що допоможе визначити місця витоку нафтопродуктів та оперативно відреагувати на них;

- контроль динаміки забруднення надр, у тому числі, поширення забруднення, що транспортується потоком ґрунтових вод, за межі території підприємства;

- запобігання виникненню екологічних катастроф та зниження ризиків для здоров'я населення та навколишнього середовища;

- моделювання процесів у геологічному середовищі, діагностику та прогнозування її стану для обґрунтування профілактичних та рекультиваційних заходів;

- створення бази даних та аналіз отриманої інформації для більш ефективного планування та прийняття рішень у галузі охорони навколишнього природного середовища.

ЛМС базується на спеціально оснащених стаціонарних пунктах, основою яких є свердловини та п'єзометри певної конструкції. Екологічний моніторинг стану гідросфери у зоні впливу ставка-випарника здійснюється шляхом систематичного та автоматизованого дослідження гідродинамічних і фізико-хімічних параметрів підземних вод. Для отримання даних у режимі реального часу ЛМС доцільно обладнати багаторівневою системою моніторингу, це забезпечить автоматичний збір даних про рівень ґрунтових вод, їх склад та температуру. Дані з цих приладів передаються до центральної системи моніторингу, де здійснюється їх аналіз та зберігання для подальшого використання при прийнятті рішень щодо забезпечення екологічної безпеки довкілля.

Багаторівнева система моніторингу у контексті наших досліджень включає комплекс обладнання, призначений для збирання та аналізу проб води з декількох п'езометрів, установлених на різних глибинах водоносних горизонтів та ґрунтів. Вона складається з таких компонентів:

- свердловина (вертикальний канал); створюється шляхом буріння і сягає глибини, де знаходиться цільової обрій (рисунок 1);
- перфоровані трубки, які встановлюються у свердловину на певну глибину та заповнюються інертним матеріалом, таким як пісок або гравій, для створення зони відбору проб капілярної води (рисунок 2). Трубки виготовлені з полімерних матеріалів, які не взаємодіють із відібраними зразками та не впливають на них. Відбір проб води здійснюється через конструктивні отвори, які розташовані по всій довжині трубки. Така конструкція дозволяє точно встановити вогнища забруднення нафтопродуктами. Вважаємо за доцільно використовувати комплекти незалежних трубок різного діаметру, для уникнення змішування зразків води відібраних з різних глибин зони насичення (рисунок 3);
- насоси, які використовуються для перекачування проб капілярної води з кожної трубки в окремий контейнер, де відбувається її аналіз;
- вимірювальні прилади; кожна труба обладнана датчиками, які вимірюють різні параметри води, таких як рівень води, температура, електрична провідність, рН, вміст розчиненого кисню, хімічний склад і т.д. За необхідністю можуть дооснащуватися додатковим обладнанням для аналізу певних забруднювачів;
- реєстратори даних (пристрої для збирання, зберігання та передачі інформації, що збирається від вимірювальних приладів). Це може бути як жорсткий диск, так і бездротовий передавач даних, який відправляє дані на локальну систему моніторингу, де відбувається дослідження та інтерпретація отриманих результатів.

По периметру ставка-випарника розташовуються багаторівневі системи моніторингу за алювіальним, межигірським та бучацьким водоносними горизонтами (рисунок 4). Перша точка призначена для контролю якості підземних вод у напрямі до річки Пела, її слід розташувати з західної сторони, у безпосередній близькості до приймальної карти. Другий кластер свердловин необхідно розмістити з південної сторони, для моніторингу підземних потоків зони активного водообміну в бік Єристівського кар'єру. Третій пункт моніторингу пропонується встановити зі східної сторони дамби ставка-випарника, безпосередньо перед відвалами розкритих порід. Четверту спостережну свердловину доцільно розташувати з північної сторони.

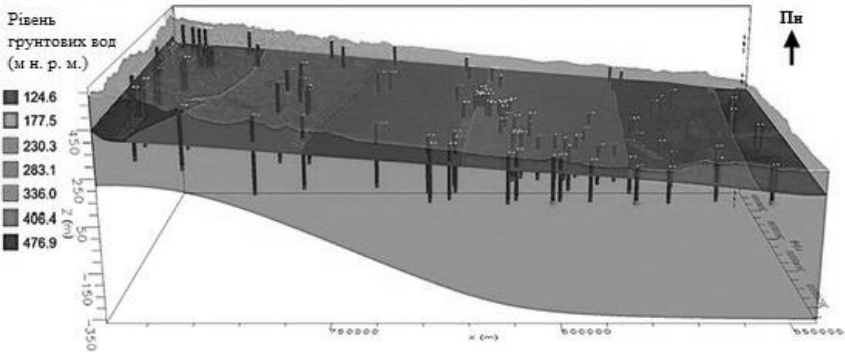


Рисунок 1 – Результати моделювання рівня ґрунтових вод та встановлення спостережних свердловин

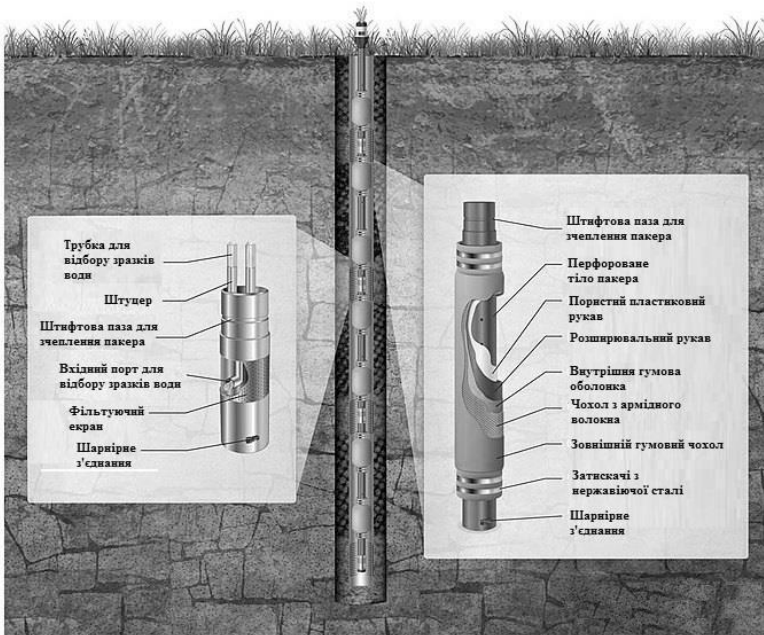


Рисунок 2 – Багаторівнева система Ватерлоо з модульними компонентами для створення герметичної обсадної колони різної довжини, пакерів та портів

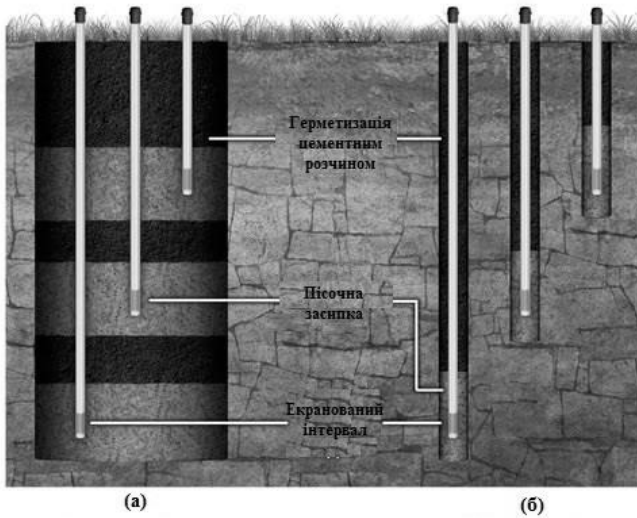


Рисунок 3 – Приклад установки незалежних трубок вкладених (а) та кластер них (б) свердловин



Рисунок 4 – Схема рекомендованого розташування багаторівневих систем моніторингу гідрологічного середовища навколо ставка-випарника: 1, 2, 3, 4 – точки моніторингу

**Висновки.** Основними системо утворюючими елементами державного комплексного (геоекологічного) моніторингу ми вважаємо створення територіальної системи комплексного моніторингу, що включають базові функціональні (відомчі) та локальні (на рівні підприємств) системи моніторингу.

Із метою оперативного виявлення і контролю джерел екологічної небезпеки запропонована реалізація локальної мережі спостережень з використанням багаторівневих систем екологічного моніторингу, що забезпечує проведення докладного аналізу та допомагає визначити динаміку поширення вуглеводневого навантаження на гідросферу. Крім того, стає можливим контроль не тільки у точках безпосередньої близькості до джерела забруднення, а й у віддалених місцях, що також є важливим аспектом зниження екологічної напруги у регіоні дослідження. З метою організації комплексного управління водними ресурсами рекомендовано об'єднати ЛМС в єдину інтегровану систему моніторингу водних ресурсів Кременчуцького району. Аналіз даних дає можливість відстежувати зміни концентрації забруднень у часі та просторі, а також з'ясувати ефективність впроваджених заходів із забезпечення екологічної.

### **Список використаних інформаційних джерел**

1. Володимир Шмандій, Віктор Андреев, Олена Харламова, Тетяна Ригас, Лілія Безденежних, Софія Юзефович. До питання створення та експлуатації річкових берегових гідроелектростанцій без будівництва гребель і накопичувальних водосховищ // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського, 2023, Випуск 1/2023 (138) . С.55–60.

2. Oil Tanker Spill Statistics 2022 URL <https://www.itopf.org/knowledge-resources/data-statistics/statistics> (дата звернення: 18.01.2024).

3. ITOPF attends NOSCA Clean Oceans Seminar 2023 URL <https://www.itopf.org/news-events/news/itopf-attends-nosca-clean-oceans-seminar-2023> (дата звернення: 18.01.2024).

4. Method for preparing an oxygen reduced film and package URL <https://patents.google.com/patent/US20080026116A1/en> (дата звернення: 21.01.2024).

5. Крайнюков О.М. Удосконалення системи моніторингу вуглеводневого забруднення території річкового басейну / О.М. Крайнюков // Екологічна безпека та збалансоване природокористування. Науково-технічний журнал ІФНТУНГ. № 1 (7). 2013. С. 137-138.

6. Ригас Т.С., Харламова О.В., Безденежних Л.А., Шмандій В.М. Моніторинг станів екологічної небезпеки, що формується у техногенно навантаженому комплексі // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. 2016. Вип. 5(100). Ч. 2. С.83-88.

7. Стратегія розвитку міста Кременчука на період до 2028 року. Кременчук : Кременчуцька міська рада, 2017. – С. 66–67.

8. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (СанПіН 2.2.4-171-10) URL <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (дата звернення: 28.03.2023).

9. Генова А.В., Харламова О.В. Удосконалення системи моніторингу підземних вод. Комплексне використання ресурсів довкілля : збірн. тез та доповід. ІХ Регіон. наук.-практ. конф. (Луцьк, 25 лист. 2022 р.) / Держ. вищ. навч. заклад «Донецький національний технічний університет». Луцьк : ДВНЗ «ДонНТУ», 2022. С. 10.

10. Шмандій В.М., Клименко М.О., Голік Ю.С., Прищеп А.М., Бахарєв В.С., Харламова О.В. Екологічна безпека : Підручник. Херсон : Олді-плюс, 2013.366 с.

11. Генова А.В., Харламова О.В. Створення інтегрованої системи моніторингу для ефективного управління підземними водами // Сталій розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. VIII Міжнародний молодіжний конгрес, 02-03 березня 2023, Україна, Львів : Збірник матеріалів. Львів : Національний університет «Львівська політехніка», 2023. С. 59.



**ОЦІНКА СУЧАСНОГО СТАНУ ТА РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ  
БЕЗПЕКИ РІЧКОВИХ ВОД У БАСЕЙНІ ПІВДЕННОГО БУГУ  
НА ТЕРИТОРІЇ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ  
ASSESSMENT OF THE CURRENT STATE AND LEVEL OF  
ECOLOGICAL SAFETY OF RIVER WATERS IN THE SOUTHERN  
BUG BASIN IN THE TERRITORY OF THE MYKOLAIV REGION**

**Магась Н.І.**, кандидат технічних наук, доцент  
**Magas N.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна  
Department of Ecology and Environmental Technologies  
Admiral Makarov National University of Shipbuilding  
Mykolaiv, Ukraine

**Анотація.** У роботі представлено результати дослідження рівня екологічної безпеки поверхневих вод в басейні річки Південний Буг на території Миколаївської області, які включають проведення оцінки рівня впливу водогосподарської діяльності на екологічний стан поверхневих вод та виявлення багаторічної тенденції змін якості води в окремих створах і в цілому в Південному Бузі в межах Миколаївської області. Визначено основні гідрографічні характеристики та особливості водного режиму, зроблено характеристику водогосподарської діяльності в басейні Південного Бугу, встановлено основні джерела та причини забруднення річкових вод. За результатами аналізу встановлено найбільш забруднені ділянки в басейні Південного Бугу на території Миколаївської області, визначено ступінь антропогенного навантаження у досліджуваних водних об'єктах за багаторічний період, запропоновано відповідні водоохоронні заходи.

**Summary.** This work deals with the issues of a study of the level of environmental safety of surface waters in the Southern Bug River basin in the Mykolaiv region, which includes an assessment of the level of impact of water management activities on the ecological status of surface waters and the identification of a long-term trend in water quality changes in individual streams and in the Southern Bug as a whole within the Mykolaiv region. The main hydrographic characteristics and peculiarities of the water regime were determined, water management activities in the Southern Bug basin were characterised, and the main sources and causes of river water pollution were

identified. Based on the results of the analysis, the most polluted areas in the Southern Bug basin in the Mykolaiv region are identified, the degree of anthropogenic load in the studied water bodies over a multi-year period is determined, and appropriate water protection measures are proposed.

**Вступ.** Україна належить до країн із недостатнім і нерівномірним забезпеченням водними ресурсами [1]. Тому, для ефективного господарювання і раціонального управління водними ресурсами необхідно здійснювати не тільки кількісну і якісну оцінку формування стоку, а й оцінку якості поверхневих вод та їхню придатність до використання. Не менш актуальним це питання є для Миколаївської області, яка територіально належить до басейну р. Південний Буг та складає 59,5% від його загальної площі [2, 3]. Площа басейну річки Південний Буг в межах області становить 14,8 тис. км<sup>2</sup>, довжина річки – 257 км. У басейні Південного Бугу на території Миколаївської області протікає 77 річок, у т.ч. великих – 1, середніх – 5, малих – 71 (з них 66 – довжиною більше 10 км). Загальна довжина річок в басейні становить 2340,39 км, густина річкової сітки – 0,16 км/км<sup>2</sup> [4]. Поверхневий стік басейну Південного Бугу в межах області є основним джерелом водоспоживання та водовикористання. Значний вплив на природний стік басейну Південного Бугу має господарська діяльність. Таким чином, вивчення стану використання водних ресурсів та екологічна оцінка якості води за комплексом гідрохімічних показників у басейні Південно Бугу є одним з актуальних завдань у даний час.

Метою роботи є оцінка сучасного стану та дослідження рівня екологічної безпеки поверхневих вод у басейні Південного Бугу на території Миколаївської області.

Основою для встановлення рівня екологічної безпеки в басейнах річок є проведення постійного моніторингу за змінами господарської діяльності, показниками стану та якості поверхневих вод.

Комплексні показники та критерії впливу господарської діяльності на водні ресурси окремих ділянок басейну р. Південний Буг було визначено за даними державної статистичної звітності 2-ТП (водгосп) [5] та стокових характеристик. Ступінь і характер водокористування оцінено у вигляді розрахунку частки забору поверхневих вод, а також частки скидів стічних вод (загальних та різної категорії якості) у річковому стоці.

Загальну оцінку рівня забрудненості водних об'єктів здійснювали за середньорічними та найгіршими значеннями по 36 показниках якості води, згідно з Методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями [6]. Вихідними даними

були результати лабораторії моніторингу вод та ґрунтів Регіонального офісу водних ресурсів у Миколаївській області у 9 створах спостереження в період з 2012 по 2022 роки:

– річка Південний Буг: питний водозабір сел. Побузьке (Кіровоградська обл.), с.Мигія, нижче міста Первомайск; с. Олексіївка (питний водозабір м. Південноукраїнськ), м. Вознесенськ (питний водозабір м. Вознесенськ); 136 км, у межах с.Олександрівка; 51 км, скид з КП «Прибузьке», м. Нова Одеса;

– річка Синюха: питний водозабір м. Первомайськ;

– річка Інгул: Софіївське водосховище (питний водозабір м. Новий Буг), с. Отрадне (питний водозабір м. Баштанка).

Для проведення оцінки впливу господарської діяльності на водні ресурси та екологічного стану поверхневих вод площі басейну Південного Бугу на території Миколаївської області було розділено на три ділянки:

– до м. Первомайськ (194 км від гирла);

– від м. Первомайськ до с. Олександрівка (132 км від гирла);

– нижче с. Олександрівка.

Згідно аналізу інформації про водогосподарську діяльність у басейні Південного Бугу, було встановлено, що водні ресурси є важливим стратегічним ресурсом для соціального та економічного розвитку Миколаївської області. Басейн Південного Бугу на території області характеризується високим рівнем господарської освоєності території. Тут розміщено чотири адміністративних райони, 9 міст, 17 селищ, 885 сільських населених пунктів, в яких проживають 1091,821 тис. чоловік (у тому числі 750,698 тис. міських і 341,123 тис. сільських жителів). Щільність населення 44 особи на 1 км<sup>2</sup> [7].

Басейн Південного Бугу є потужним аграрним регіоном України з високим рівнем промислового виробництва. Переважна його частина перебуває під впливом сільськогосподарського виробництва. Сільськогосподарські угіддя в загальній площі басейну становлять 81%, змінюючись на водозборах окремих річок (притоках Південного Бугу) в межах 74-90% [8, 9]. Найбільш освоєними є басейни річок степової зони області. В басейні р.Інгул на сільськогосподарські угіддя припадає 90%, р. Синюхи – 80-90%.

Розораність території коливається від 60 до 85%, а в окремих басейнах малих річок досягає 80%, що значно перевищує екологічну межу. Різких змін зазнали лісові угіддя. На значній площі вони знищені. Нині лісовкриті площі не перевищують 3-7% площі басейнів, що в 2-3 рази менше оптимального значення. Урбанізовані землі в басейні змінюються в межах 2-5%, а в середньому становлять 3-4% [10].

Господарська діяльність зумовила суттєве зменшення площ незайманих природних ландшафтів (ліси, болота, луки, пасовища, перелогові та заповідні землі). В результаті на всіх річках басейну Південного Бугу активізувались ерозійні процеси. Площа еродованих земель на окремих ділянках басейна перевищує 50-70% (р. Бакшала, Чертала, Мертвовід, Інгул). Щорічний змив ґрунту з 1 га досягає 1-30 тонн, що веде до втрат гумусу, зниження родючості ґрунтів погіршення якості води і водного режиму річок. Продукти ерозії потрапляють до річок, водосховищ та ставків, замулюють їх, підвищують рівні води [10].

Значна зарегульованість стоку річок басейну Південного Бугу водосховищами і ставками на території області призвела до зниження швидкості течії та спричинила акумуляцію у водних об'єктах відходів промислових підприємств, забруднених стічних вод із сільськогосподарських угідь та урбанізованих територій.

У цілому, за останні майже півтора десятиріччя, у басейні р. Південний Буг спостерігається чітка тенденція до зменшення забору та використання води, а також до зменшення обсягів скидів стічних вод і забруднюючих речовин.

На підставі даних державного обліку водокористування, найменший за величиною обсяг водозабору в області зафіксований у 2022 році – 95,693 млн. м<sup>3</sup>. Так, за осередненими даними річний забір поверхневої води [5] у басейні р.Південний Буг склав – 87,674 млн. м<sup>3</sup> води, що на 105,485 млн. м<sup>3</sup> (54,6%) менше порівняно з 2021 роком. При цьому, забір підземних вод зменшився до 8,019 млн. м<sup>3</sup> води, що на 3,629 млн. м<sup>3</sup> (31,2%) менше порівняно з 2021 роком, його частка в сумарному заборі води зменшилась майже на 3 % і становить 5,7 %. Загальний об'єм забору води в області за звітний період у порівнянні з даними 2021 року, зменшився на 109,114 млн м<sup>3</sup> (53,3%) (рис. 1).

Із загальної кількості забраної впродовж 2022 року води використано 94,978 млн. м<sup>3</sup>, або 99,3 % від забраної. В системі оборотного та повторно – послідовного водопостачання за звітний період використано 3458,383 млн. м<sup>3</sup>.

Водоспоживання для задоволення виробничих потреб 2022 року традиційно є найбільшим (рис. 2) Згаданий обсяг використання води на ці потреби становить 69,962 млн м<sup>3</sup> (73,6% від загальної кількості використаної води по області), що на 17,177 млн м<sup>3</sup> (19,7%) менше порівняно з відповідними показниками минулого року.

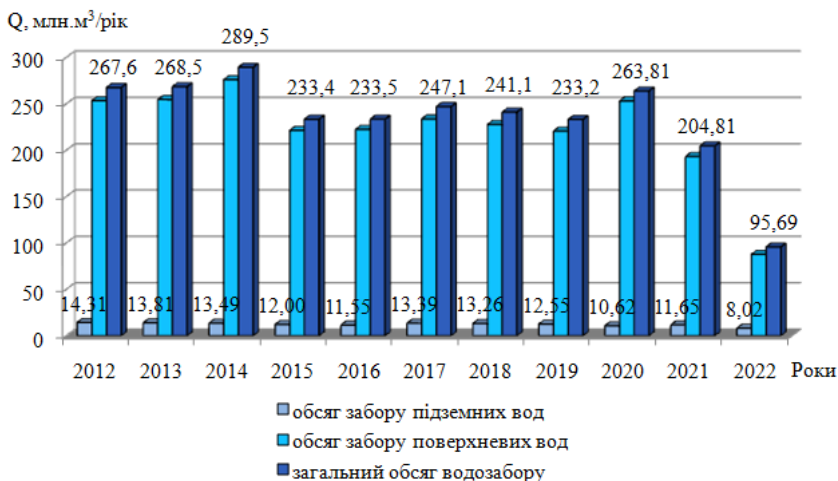


Рисунок 1 – Динаміка водозабору в басейні р. Південний Буг по Миколаївській області

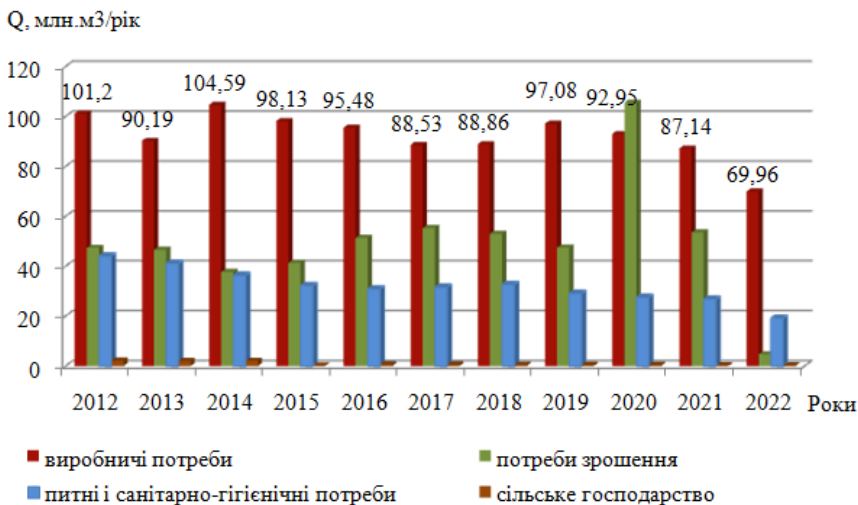


Рисунок 2 – Динаміка використання води у басейні Південного Бугу, млн. м<sup>3</sup>

Унаслідок проведення бойових дій на території області та тимчасової окупації військами російської федерації Снігурівської міської територіальної громади, де розташована головна насосна станція Інгулецької зрошувальної системи (найпотужніша зрошувальна система в області), 2022 року зрошення сільськогосподарських угідь майже не здійснювалось. За обсягами водоспоживання об'єм використання води для потреб зрошення 2022 року зменшився на 91,2% та склав 4,713 млн. м<sup>3</sup> (рис. 3).

На другому місці після енергетики 2022 року, за обсягами використання води, є житлово-комунальне господарство (рис. 3). На потреби цієї галузі в області використано 23,545 млн. м<sup>3</sup>, що у 1,5 разів менше у порівнянні з даними 2021 року. Таке зменшення водоспоживання у секторі житлово-комунального господарства обумовлено масовим виїздом населення з території Миколаївської області внаслідок військової агресії російської федерації.

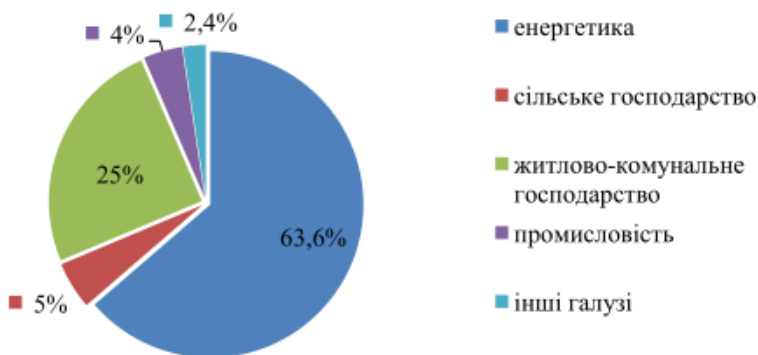


Рисунок 3 – Об'єми використання води 2022 року за галузями економіки у відсотках до загального об'єму використання вод в області

Централізованим водопостачанням із поверхневих джерел (річки Південний Буг, Синюха, Інгул) забезпечені п'ять міст області, серед яких, після руйнування внаслідок воєнних дій водогону Дніпро-Миколаїв, і обласний центр – м. Миколаїв.

Більшість сільських населених пунктів та райцентрів області для питних потреб користуються виключно підземними водами. Підземні води, які добуваються на території Миколаївської області, головним чином йдуть на задоволення господарсько-побутових та питних потреб населення.

Загальний обсяг водовідведення 2022 року склав 51,487 млн. м<sup>3</sup>, що на 25,134 млн. м<sup>3</sup> (32,8%) менше порівняно з даними 2021 року. Безпосередньо до поверхневих водних об'єктів 2022 року скинуто 48,078 млн. м<sup>3</sup> зворотних вод – рекордно низька величина скиду зворотних вод по області за останні 20 років. Основними за обсягом, у загальному складі зворотних вод, є нормативно (умовно) чисті води без очистки, їх частка складає 70,8% або 34,029 млн. м<sup>3</sup>.

Зворотні води згаданої категорії скидаються переважно підприємствами енергетики та машинобудівної галузі. Це – теплообмінні та продувочні води. Найбільший обсяг скиду нормативно (умовно) чистих без очищення зворотних вод в області здійснює ВП «Південноукраїнська АЕС» ДП «НАЕК «Енергоатом», до складу якого належать Олександрівська ГЕС та Ташлицька ГАЕС. Обсяг скидів зазначених підприємств 2022 року – 29,814 млн. м<sup>3</sup>, що складає 87,6% від загального об'єму скидів нормативно (умовно) чистих без очищення зворотних вод до поверхневих водних об'єктів області.

Частка забруднених стоків у загальному об'ємі скиду зворотних вод залишилась майже на рівні минулого року і дорівнює 27,6%. Основним джерелом скиду стоків даної категорії є підприємства комунальної сфери (табл. 1).

Основними користувачами поверхневих вод у межах ділянки до м. Первомайськ (194 км від гирла) станом на 2022 р., є підприємства сільського господарства та підприємства житлово-комунального господарства, серед яких найбільшими є комунальні підприємства міста Первомайськ. Підприємствами зазначеної галузі здійснюється більше 22% забору поверхневої води від загального на ділянці. Особливістю даної ділянки є те, що для задоволення потреб населення у питній воді житлово-комунальними підприємствами використовується більше поверхневої води (8,7 млн. м<sup>3</sup>), ніж води з підземних джерел (5,4 млн. м<sup>3</sup>).

Підприємства промисловості у межах даної ділянки здійснюють найменший забір поверхневої води у порівнянні з підприємствами інших галузей, що складає 13-16% від загальних по ділянці.

Забір поверхневих вод за останні 10 років зменшився майже у чотири рази, що також призвело до зменшення скидів стічних вод у 3,3 рази, що майже пропорційно показнику зменшення заборів поверхневої води.

Упродовж всього періоду дослідження на ділянці було скинуто 111,9 тис. м<sup>3</sup> стічних вод, що належали в основному до категорій нормативно чистих без очищення – 81 тис. м<sup>3</sup>, нормативно

очищених – 14,8 тис. м<sup>3</sup> та недостатньо очищених – 11,2 тис. м<sup>3</sup>. Найбільшими забруднювачами є промислові та житлово-комунальні підприємства.

Таблиця 1

Основні забруднювачі поверхневих вод в басейні Південного Бугу на території Миколаївської області

Назва водокористувача забруднювача	Наявність, потужність (м <sup>3</sup> /добу), ефективність використання очисних споруд	2022 рік		
		об'єм скидання зворотних вод, тис.м <sup>3</sup>	у тому числі об'єм забруднених зворотних вод, тис.м <sup>3</sup>	кількість забруднюючих речовин, що скидаються разом із зворотними водами, т
<b>р. Південний Буг</b>				
КП «Первомайський водоканал», м. Первомайськ	30,0 / 3,4*	1962,0	1230,0	589,510
КП «Прибузьке», м. Нова Одеса	200,0 / 63,01*	23,0	23,0	аналізи не відбирались
КП «Ольшанське», смт. Ольшанське	очисні споруди в аварійному у стані, дані щодо потужності відсутні	88,0	88,0	375,175
<b>р. Інгул</b>				
КП «Міськводо - канал» м. Баштанка	482,191/112,1*	0,034	-	-

\*Фактичне навантаження очисних споруд станом на 01.01.2023, м<sup>3</sup>/добу

Аналіз гідрологічного режиму річок дослідженої ділянки та характеру водогосподарської діяльності у її межах вказує тут на високий рівень антропогенної навантаженості.

Особливістю ділянки є і те, що основна водогосподарська діяльність у її межах здійснюється не по руслу р. Південний Буг, а у басейнах річок, які є притоками першого, другого і навіть третього порядків. Із русла річки Південний Буг у межах ділянки інтенсивно здійснюється забір води лише біля м. Первомайськ в об'ємі 2,6 млн. м<sup>3</sup>.

Основні обсяги забору поверхневої води здійснюються із басейнів річок Синюха, Чорний Ташлик, Кодима тощо. Відповідно і найбільші скиди відбуваються у їх басейнах.



За узагальненими показниками ділянку умовно можна віднести до бездефіцитної щодо забезпечення водними ресурсами.

Трохи краща ситуація спостерігається на ділянці від м. Первомайськ (194 км від гирла) до с. Олександрівка (132 км від гирла). Площа ділянки складає 2200 км<sup>2</sup>. Довжина ділянки по руслу р. Південний Буг – 62 км.

У межах даної ділянки розташовано 5 підприємств промислової галузі, найбільшим з яких є Південноукраїнська АЕС, яка здійснює майже 90% забору поверхневої води від загального на ділянці (станом на 2022 р. – 65 млн. м<sup>3</sup>) [3, 5].

Із решти промислових підприємств за обсягами забору поверхневої води необхідно виділити Олександрівську ГЕС, якою станом на 2022 р. на власні виробничі потреби використовується понад 1 млн м<sup>3</sup> води (1,4 % від загального на ділянці). У межах даної ділянки відсутні підприємства харчової промисловості.

Другою за обсягами водокористування є житлово-комунальна галузь, якою станом на 2022 р. забирається 6,2 млн. м<sup>3</sup> поверхневої води (8,6 % від загального по ділянці). Найбільшими підприємствами цієї галузі є житлово-комунальні підприємства м. Южноукраїнськ.

Поверхнева вода, яка забирається підприємствами сільського господарства, використовується лише на зрошення (0,35 млн. м<sup>3</sup>, або 0,5% від загального забору в межах району), що є особливістю даного району, на відміну від інших, де основного розвитку набули рибоставкові господарства.

Забір поверхневих вод за останні десять років майже не збільшився, і у 2022 р. становив 62 млн. м<sup>3</sup> (25,8% від загального по басейну). Така ж тенденція спостерігається і за показниками скидів стічних вод, у 2022 р. – 38,2 млн. м<sup>3</sup>, що складає близько 22% від загального по басейну.

Частка загального забору поверхневих вод від фактичного стоку р. Південний Буг у районі с. Олександрівка досягала 13,9%.

Щомісячні забори води, на відміну від інших ділянок, характеризуються практично рівномірним розподілом протягом року з переважанням у літньо-осінній період, що обумовлено виробничою необхідністю нормального функціонування Південноукраїнського енергокомплексу – єдиного великого водокористувача у межах ділянки.

Таким чином, на ділянці від м. Первомайськ до с. Олександрівка спостерігається практично сталий антропогенний вплив на водні ресурси басейну Південного Бугу, зокрема за рахунок

стабільної роботи Південноукраїнського енергокомплексу. При цьому, необхідно зазначити, що скиди стічних вод характеризуються категоріями нормативно чистих без очистки та нормативно очищених, а кратність їх розбавлення у сотні разів більша за кратність розбавлення стічних вод на попередній ділянці. Скиди забруднюючих речовин у стічних водах є не великими. Так, найбільшого значення стосовно усього басейну досягають скиди заліза (3,6%) та нітратів (2,2%). Скиди інших забруднювальних речовин не перевищували 1%, або були відсутні взагалі.

Таким чином, на даній території основними заходами поліпшення екологічної ситуації та зменшення антропогенного впливу є здійснення контролю за дотриманням режимів функціонування (регламентів) водних об'єктів енергетичного комплексу. Це стосується зокрема Олександрівського водосховища та Ташлицького водоймища-охолоджувача Південноукраїнської АЕС.

Площа третьої ділянки дослідження впливу водогосподарської діяльності, яка розміщена нижче с. Олександрівка (тобто ділянка від 132 км від гирла до самого гирла р. Південний Буг) складає 17500 км<sup>2</sup>, або майже 27,5% від загальної площі басейну Південного Бугу. Довжина ділянки по руслу р. Південний Буг – 132 км.

До основних користувачів поверхневої води у межах ділянки належать підприємства сільського господарства [3, 5]. Найбільші з них – управління зрошувальних систем (Миколаївське, Південно-Бузьке) та рибоставкові господарства. Через посушливі погодні умови у 2020 р. даною галуззю було здійснено найбільший забір води за останні десять років. У середньому, забір складає понад 74% поверхневої води від загального на ділянці і основна його частка була використана для потреб зрошення. Після початку воєнних дій на території області та неможливості обробки сільськогосподарських земель у повній мірі, показники забору води на зрошення суттєво зменшились.

Другими за обсягами використання поверхневої води є підприємства житлово-комунального господарства, серед яких найбільшими є житлово-комунальні підприємства міст Вознесенськ, Баштанка та «Новобузький водопровід» [3, 5]. Підприємствами зазначеної галузі здійснюється понад 14% (3,1 млн м<sup>3</sup>) забору поверхневої води від загального на ділянці.

Для забезпечення потреб населення у питній воді використовується підземна вода, обсяг забору якої складає 5,6 млн. м<sup>3</sup>, що у 1,8 разів перевищує обсяг забору поверхневих вод.

Підприємства промисловості у межах даної ділянки здійснюють найменший забір поверхневої води у порівнянні з іншими галузями, що складає близько 10% від загального по ділянці. Основна частка заборів води здійснюється підприємствами з виробництва будівельних матеріалів, машинобудування та легкої промисловості. Найбільші підприємства – ВАТ «Південьцемент», ЗАТ «Возко».

Найбільше зменшення заборів поверхневої води відбулося за рахунок зменшення використання води у сільському господарстві на потреби зрошення.

Скиди стічних вод у 2012 р. склали 23,6 млн. м<sup>3</sup> (13,2% від загального по басейну). За останні десять років спостерігається зменшення скидів стічних вод, що складає не більше 1% за рік. Найнижчі показники скидів були у 2022 році, що пояснюється не стабільною роботою підприємств промисловості та різким зменшенням кількості населення в області через воєнні дії.

Враховуючи, що місцевий стік у межах ділянки не відповідає критеріям якості для забезпечення потреб населення та підприємств промисловості у питній та технічній воді, дану ділянку можна віднести до проблемної з точки зору якісного стану її водних ресурсів.

Згідно результатів екологічної оцінки якості поверхневих вод, багаторічний просторовий розподіл середніх та найгірших значень інтегральних індексів забруднення засвідчив, що якість води безпосередньо Південного Бугу характеризувалася, в основному, в межах 3-4 категорій II-III класів якості (відповідно «добрі» за станом, «досить чисті» за ступенем чистоти та «задовільні» за станом, «слабко забруднені» за ступенем чистоти). Погіршення якості води річки за хімічним складом води спостерігалось у пунктах спостережень, які розташовані нижче населених пунктів.

Аналіз співвідношень індексів забруднення, свідчить, що найбільший внесок у сумарне забруднення переважної більшості досліджених річкових вод належить еколого-санітарним показникам та специфічним речовинам токсичної дії. Більші значення індексів забруднення компонентами сольового складу спостерігались в басейні р. Інгул (у межах третьої ділянки), у районі Софіївського водосховища, р. Синюха (друга та перша ділянки).

Надмірне навантаження на басейн Південного Бугу внесли великі об'єми та високі концентрації забруднюючих речовин, а саме: сульфати (максимальні значення спостерігались у р. Південний Буг у межах міста Первомайськ та у р.Інгул нижче м. Баштанка, і склало 378-

656 мг/дм<sup>3</sup>), хлориди (максимальне значення у р. Південний Буг у межах міста Первомайськ склало 306 мг/дм<sup>3</sup>, а також р.Інгул нижче м. Баштанка 2564 мг/дм<sup>3</sup>), азот амонійний (максимальне значення якого у р. Південний Буг досягало 1,90 мг/дм<sup>3</sup>), нітрити (максимальне значення склало 24 мкг/дм<sup>3</sup>), нітрати (максимальне значення склало 700 мкг/дм<sup>3</sup>), загальний фосфор (максимальне значення спостерігалось в Інгул і склало 310 мкг/дм<sup>3</sup>), нафтопродукти (максимальне значення склало 0,58 мг/дм<sup>3</sup>), СПАР (максимальне значення 100 мкг/дм<sup>3</sup>).

У цілому, за досліджуваний період для всього басейну Південного Бугу спостерігається покращення якості води за інтегральним екологічним індексом якості води. Так, за період із 2012 по 2022 роки (середньорічні значення) загальний екологічний індекс якості води для басейну Південного Бугу зменшився у середньому в 1,3 рази.

Найменші показники інтегрального екологічного індексу якості води в басейні Південного Бугу в 2022 р. (середньорічні значення) спостерігались у верхній течії р. Південний Буг до м. Первомайськ, і вода належала до II класу, 3 категорії – «добра» за станом, та «досить чиста» за ступенем чистоти. Серед приток, до зазначеної категорії якості можна віднести річку Кодима.

Таким чином, як показав аналіз результатів, визначення екологічного індексу, якість води в басейні Південного Бугу дещо покращилась, що зумовлено, в першу чергу, зменшенням антропогенного навантаження на кількісні та якісні показники водних ресурсів басейну. Відносна стабільність екологічної ситуації на території басейну Південного Бугу може суттєво погіршитись, якщо не вжити запобіжних заходів, у разі продовження зростання економіки з відповідним нарощуванням обсягів виробництва у енергетиці, сільському господарстві тощо.

За результатами дослідження можна зробити наступні висновки:

1. На території Миколаївської області спостерігається практично сталий антропогенний вплив на водні ресурси басейну Південного Бугу. Скиди стічних вод характеризуються категоріями нормативно чистих без очищення та нормативно очищених.

2. До основних користувачів поверхневої води належать підприємства сільського господарства та підприємства житлово-комунального господарства, серед яких найбільшими є житлово-комунальні підприємства міст Вознесенськ, Баштанка та Новий Буг.

3. До поверхневих вод у басейні р. Південний Буг постійно скидаються десятки тисяч кубометрів неочищених і недостатньо

очищених стічних вод, «багатих» бактеріями, фосфором, азотом, нафтопродуктами, металами і рідкими відходами підприємств.

4. У період із 2012 по 2022 роки ситуація по рівню забруднення поверхневих вод не була стабільною, постійно виникали пікові значення окремих забруднюючих речовин, а це негативно відображалось на якості води.

5. За результатами оцінки якості поверхневих вод встановлено, що води гирла річки Південний Буг відносяться переважно до чистих вод за ступенем їх чистоти та другим класом якості води. За середніми концентраціями у 83% досліджень – вода чиста і лише 17% – забруднена. За максимальними концентраціями: в районі населених пунктів 14% – вода чиста, 86% – вода забруднена.

6. Покращення екологічної ситуації зумовлене зменшенням загальних обсягів скидів стічних вод різної категорії якості і забруднюючих речовин, а також зменшенням забору і використання води, що відбулось упродовж останніх 10 років.

7. Незважаючи на значне зменшення антропогенного навантаження на басейн Південного Бугу на території Миколаївської області, загальна гідроекологічна ситуація залишається напруженою, зокрема за рахунок збільшення скидів неочищених стічних вод. Отримані результати дають можливість зробити висновок про підвищений рівень екологічної небезпеки поверхневих вод у басейні Південного Бугу. Така ситуація свідчить про необхідність регулювання використання річкового стоку, постійного вивчення і контролю за якістю поверхневих вод, кількістю скинутих забруднюючих речовин, а також впровадження додаткових водоохоронних заходів із метою зниження навантаження на поверхневі води.

8. Покращення екологічної ситуації в басейні Південного Бугу можливе шляхом оптимального поєднання інтересів водокористувачів із урахуванням оцінки сучасного стану водних ресурсів, прогнозування їх зміни у часі та самовідновного потенціалу, запровадження водозберігаючих технологій у різних галузях економіки, будівництво нових очисних споруд чи вдосконалення системи очищення стічних вод на підприємствах комунальної сфери тощо.

Отримані результати дослідження можуть бути використані для розробки регіональних природоохоронних програм із метою зниження рівня забруднення поверхневих вод, а також пропозицій щодо оптимізації мережі моніторингу за станом річок.

### Список використаних інформаційних джерел

1. Про Концепцію розвитку водного господарства України. Постанова ВРУ від 14.01.2000 № 1390-XIV. Офіційний вісник України. 2000 р., № 5.
2. Магась Н. І. Оцінка рівня екологічної безпеки та якості води в нижній частині басейну річки Південний Буг як джерела централізованого питного водопостачання. Збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження» Полтава : НУПП, 2022. С. 171–173.
3. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Миколаївській області у 2022 році. *Управління екології та природних ресурсів Миколаївської обласної державної адміністрації*. Миколаїв, 2023. 232 с.
4. Водний фонд Миколаївської області. Довідкове видання. Миколаїв, 2018. 178 с.
5. Звіт про використання води за формою 2ТП\_водгосп (річна). Регіональний офіс водних ресурсів у Миколаївській області URL: [https://mk-vodres.davr.gov.ua/basseynova\\_rada](https://mk-vodres.davr.gov.ua/basseynova_rada)
6. Гриценко А.В., Васенко О.Г., Верніченко Г.А. та ін. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Харків : УкрНДІЕП, 2012. 37 с.
7. Демографічна ситуація у Миколаївській області. Експрес-випуск (уніфікований) Головного управління статистики у Миколаївській області. 2022.  
URL:[http://db.ukrcensus.gov.ua/MULT/Dialog/statfile\\_c\\_files/pasport.files/pasport/48\\_uk.htm#02](http://db.ukrcensus.gov.ua/MULT/Dialog/statfile_c_files/pasport.files/pasport/48_uk.htm#02)
8. Вишневський В.І. Річки і водойми України. Стан і використання : Монографія. К. : Віпол, 2000. 277 с.
9. Хільчевський В.К. Водні ресурси та якість річкових вод Басейну Південного Бугу. Київ, Ніка-Центр, 2009. 183 с.
10. Магась Н. І., Трохименко Г.Г. Оцінка сучасного антропогенного навантаження на басейн річки Південний Буг. Науковий журнал «Екологічна безпека»: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. Кременчук : КрНУ, 2013. Випуск 2/2013 (16). С. 48–52.
11. Водне господарство України: сучасний стан та перспективи розвитку / С. І. Дорогунцов, М. А. Хвесик, І. Л. Головинський, Н. М. Радкевич, І. М. Кирпач; Рада по вивч. продукт. сил України НАН України. К., 2002. 55 с.

**УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНИМ ПРОЄКТОМ ЗАДЛЯ  
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ КРЕМЕНЧУЦЬКОЇ  
СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЗОНИ  
MANAGEMENT OF THE ECLOGICAL PROJECT OF ENSURING  
SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE KREMENCHUTSK  
SOCIO-ECONOMIC ZONE**

**Петряшев І.І.**, аспірант, **Маланюк Н.І.**, аспірант,  
**Сажка А.Ю.**, магістр, **Харламова О.В.**, доктор технічних наук,  
доцент, **Шмандій В.М.**, доктор технічних наук, професор  
**Petryashev I. I.**, postgraduate, **Malaniuk N.I.**, postgraduate,  
**Sazhka A.Yu.**, magistr, **Kharlamova O.V.**, Doctor of Technical Sciences,  
associate professor, **Shmandiy V.M.**, Doctor of Technical Science,  
professor

Кременчуцький національний університет  
ім. Михайла Остроградського, Україна  
Mykhailo Ostrohradsky Kremenchuk National University, Ukraine

**Анотація.** Забезпечення сталого розвитку регіонів України є одним із пріоритетних аспектів державної політики. Місто Кременчук є індустріальним центром Полтавської області, який формує власну соціально-економічну зону (СЕЗ), тому проблема визначення та поліпшення стану екологічної безпеки є досить актуальним питанням. У результаті досліджень, виявлені і систематизовані чинники екологічної небезпеки Кременчуцької СЕЗ та визначені індикатори сталого розвитку регіону. Розроблено рекомендації щодо підвищення рівня екологічної безпеки. Наукова новизна одержаних результатів полягає у встановленні динаміки змін сукупності показників у різних сферах розвитку регіону; уточнено причинно-наслідкові зв'язки між змінами у даних показниках; проаналізовані зміни станів соціальної, екологічної та економічної сфер розвитку в продовж певного часового періоду.

**Abstract.** Ensuring the sustainable development of Ukraine's regions is one of the priority aspects of state policy. The city of Kremenchuk is the industrial center of the Poltava region, which forms its own socio-economic zone (SEZ), therefore the problem of determining and improving the state of environmental safety is a very relevant issue for this region. As a result of the research, we identified and systematized the factors of ecological danger in

the Kremenchug SEZ and determined the indicators of sustainable development of the region. Recommendations for increasing the level of environmental safety have been developed. The scientific novelty of the obtained results consists in determining the dynamics of changes in a set of indicators in various areas of the region's development; the cause-and-effect relationships between changes in these indicators have been clarified; an analysis of changes in social, ecological and economic spheres of development over a certain period of time was carried out.

Сталий розвиток характеризується необхідністю встановлення балансу між задоволенням сучасних потреб людства і захистом інтересів майбутніх поколінь, зокрема їх потребу в безпечному і здоровому довкіллі. Як сформулювала визначення сталого розвитку в своїй доповіді Комісія Брундтланд, це «розвиток, який задовольняє потреби нинішнього покоління без шкоди для можливості майбутніх поколінь задовольняти свої власні потреби»

Концепція сталого розвитку ґрунтується на п'яти головних принципах:

1. Людство повинно надати розвитку сталого і довготривалого характеру, для того щоб він відповідав потребам людей, що живуть зараз, не втрачаючи при цьому можливості майбутнім поколінням задовольняти свої потреби.

2. Обмеження, які існують в галузі експлуатації природних ресурсів, відносні. Вони пов'язані з сучасним рівнем техніки та соціальної організації, а також із здатністю біосфери до самовідновлення.

3. Необхідно задовольнити елементарні потреби всіх людей і всім надати можливість реалізувати свої надії на благополучне життя.

4. Необхідно узгодити стан життя тих, хто користується надмірними засобами з екологічними можливостями планети.

5. Розміри і темпи росту населення повинні бути узгоджені з виробничим потенціалом глобальної екосистеми Землі, що змінюється.

Як приклади впровадження концепції сталого розвитку розглянемо наступне:

– будівництво має супроводжуватися відповідним зростанням зелених насаджень, щоб не погіршувати стан довкілля;

– зростання виробництва зерна не повинно супроводжуватися погіршенням стану ґрунту;

– видобування корисних копалин має супроводжуватися створенням підприємств, що не залежать від цього видобутку, щоб після



вичерпання майбутні покоління (а часто й сучасні) не мали економічних проблем;

– у приватному сенсі – заробітна плата повинна компенсувати витрати на відновлення здоров'я, погіршене через виконання роботи.

У якості об'єкта дослідження розглянемо Кременчук, який є промисловим центром Полтавської області. Значна кількість потужних промислових підприємств, в сукупності з постійно зростаючою кількістю автомобільного транспорту, (як транзитного так і внутрішньо-міського) значною мірою негативно впливають на екологічний стан міста. Перелік проблемних питань для Кременчука зазвичай мало змінюються з часом, а їх гострота поступово зростає, причому така ситуація спостерігається не лише у сфері екології, а також у економічній та соціальній сферах.

Таким чином, оцінка соціо-економіко-екологічного стану Кременчуцької СЕЗ, а також визначення найпроблемніших питань у зазначених вище сферах, які гальмують розвиток регіону, є актуальною задачею.

На території Кременчуцької СЕЗ нараховується понад 86 промислових підприємств, 58 будівельних організацій різних форм власності та більш ніж 16 тис. суб'єктів підприємницької діяльності. Структура промисловості охоплює такі галузі: нафтопереробну й нафтохімічну, машинобудування й обробку металів, харчову, легку та будівельну промисловості .

Нами були визначено певну сукупність базових показників (БП) рівня економічного розвитку, а також зібрано інформацію щодо їх зміни (у динаміці). Наприклад: обсяг реалізованої промислової продукції (товарів, послуг) без ПДВ та акцизу (рис. 1), сальдо зовнішньоторговельного обороту товарів (рис. 2).

У результаті аналізу базових економічних показників Кременчуцької СЕЗ ми дійшли до певних висновків, зокрема:

1) у період з 2017-го по 2018-й роки значно зріс обсяг реалізованої промислової продукції, але починаючи з 2018-го року спостерігається значний спад. Так, даний показник у 2021-му році був меншим за показник 2017-го року;

2) сальдо зовнішньоторговельного обороту товарів з 2017-го по 2020-й роки стабільно спадало.

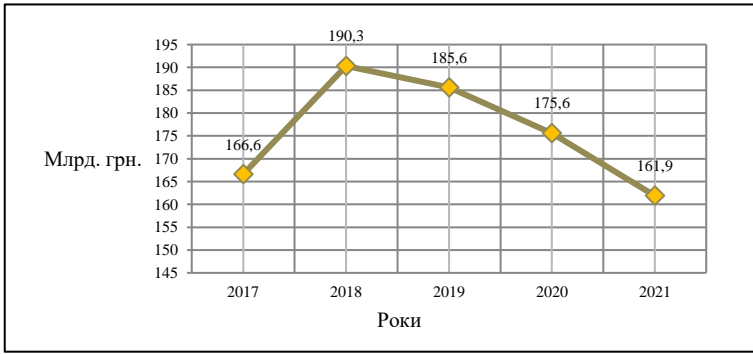


Рисунок 1 – Обсяг реалізованої промислової продукції (товарів, послуг) без ПДВ та акцизу, млрд. грн.

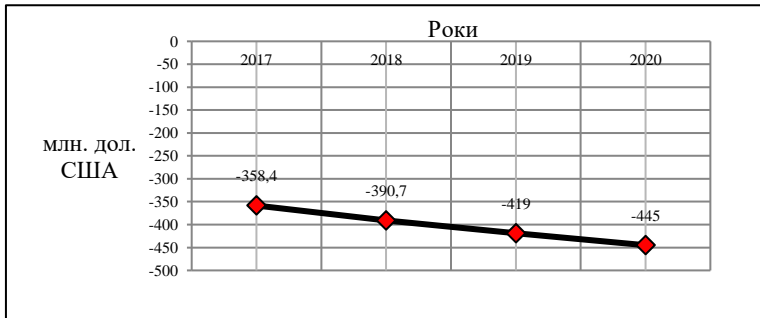


Рисунок 2 – Сальдо зовнішньоторговельного обороту товарів, млн. дол. США

За результатами проведених розрахунків з використанням уніфікованої шкали оцінювання (табл. 1) встановлено, що група агрегованих показників економічного розвитку знаходяться у критичному стані.

Таблиця 1

Уніфікована шкала оцінювання

Числове значення показника $p$	Стан показника
$X_p < 0$	Критичний
$0 < X_p < 1$	Задовільний
$X_p > 1$	Еталонний

Соціальна інфраструктура Кременчуцької СЕЗ складається зі сфер, які забезпечують відповідні умови життєдіяльності людей.

При оцінці соціальної сфери основна увага приділялась:

- демографічним показникам;
- медичним показникам;
- показникам соціального захисту та зайнятості населення;

– культурно-освітнім показникам.

Інформацію щодо стану деяких з цих показників у часовому аспекті наведено на рис. 3-5.

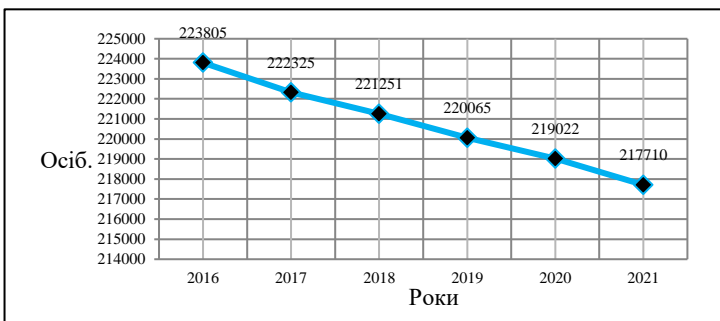


Рисунок 3 – Чисельність населення за роками

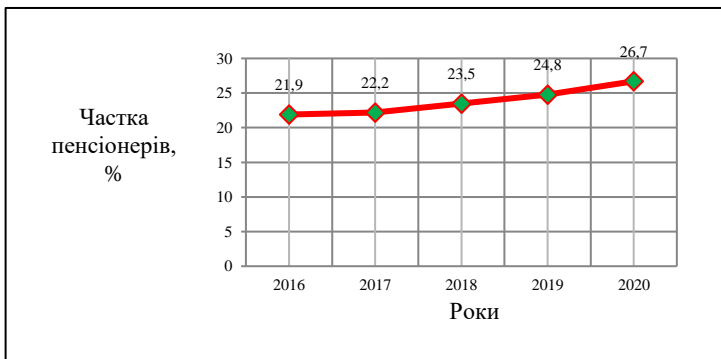


Рисунок 4 – Частка пенсіонерів (у % від загальної кількості населення)

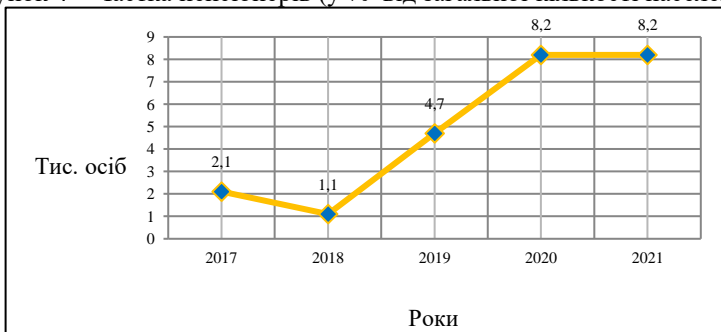


Рисунок 5 – Кількість зареєстрованих безробітних за роками

За результатами аналізу БП соціального розвитку регіону встановлено, що:

1) показник чисельності населення стабільно зменшується на протязі всього періоду досліджень;

2) показник природного приросту утримувався стабільно від'ємним на протязі досліджуваного періоду;

3) показник частки пенсіонерів, стабільно зростав на протязі всього досліджуваного періоду, що підтверджує пропроцес «старіння населення»;

4) за весь досліджуваний період, а саме за 2017-го по 2020-й роки показник захворюваності на 1 тисячу населення характеризується загострим спадом;

5) показник загальної чисельності лікарів, на період із 2018-го по 2020-й роки характеризується стабільним спадом. Із 2020 по 2021 роки стан дещо покращилась, утім різниця з мінімальним показником у 2020-му році незначна;

6) стабільним ростом характеризується показник соціального захисту найбільш незахищених верств населення;

7) показник кількості зареєстрованих безробітних із 2017-го по 2020-й роки характеризується стабільним та вагомим збільшенням.

Встановлено, що межі коливання значень агрегованих показників становлять від 0 до 1. Таким чином, згідно уніфікованої шкали оцінювання агреговані показники знаходяться у таких станах: «демографічна ситуація» – «критичний»; «освіта» – «еталонний»; «здоров'я та медицина» – «задовільний»; «культура» – «критичний»; «спорт» – «еталонний»; «соціальний захист» – «еталонний»; «працевлаштування» – «критичний».

У якості БП екологічного стану регіону були обрані:

– показники впливу регіону на довкілля;

– показники утворення та накопичення відходів (рис. 6-7).

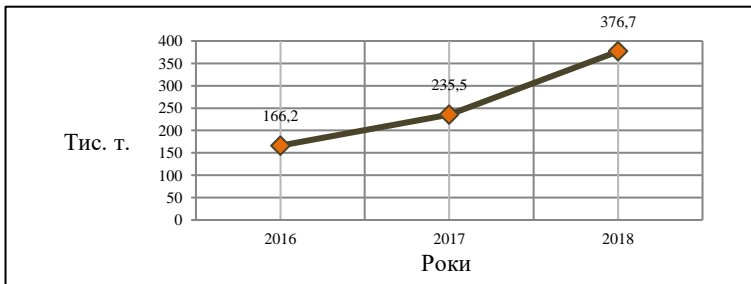
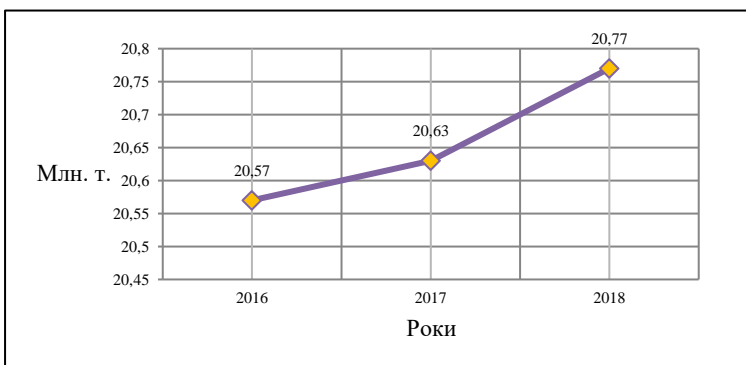


Рисунок 6 – Утворені відходи за роками



Рисуюнок 7 – Загальний обсяг накопичених відходів за роками

Аналіз БП екологічного стану регіону дозволив зробити такі висновки:

1) показник обсягу викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел стабільно зменшувався впродовж всього досліджуваного періоду;

2) показник скидання зворотних вод у поверхневі водні об'єкти на протязі з 2016-го по 2017-й років зростав, а у період з 2017-го по 2018-й роки – навпроти спадав;

3) показник утворюваних відходів характеризується значним та стабільним ростом на протязі всього досліджуваного періоду;

4) показник утилізованих відходів характеризується значним та стабільним збільшенням впродовж всього досліджуваного періоду.

5) показник загального обсягу накопичених відходів демонструє хоч і стабільне, проте незначне збільшення на протязі всього досліджуваного періоду.

За результатами розрахунків, межі коливання значень агрегованих показників становлять, від 0 до 1. Таким чином, згідно уніфікованої шкали оцінювання, агреговані показники перебувають у наступних станах:

«забруднення атмосферного повітря» – «еталонний»;

«забруднення водного середовища» – «еталонний»;

«відходи» – «критичний».

Резюмуючи, констатуємо, що до найважливіших проблем регіону слід віднести:

– стабільно значне зменшення обсягу реалізованої промислової продукції (товарів, послуг);

- стабільно значне зниження сальдо зовнішньо торговельного обороту товарів;
- стабільне зменшення чисельності населення;
- від’ємний природний приріст населення;
- стабільно зростаюча частка пенсіонерів;
- стабільне збільшення кількості зареєстрованих безробітних;
- зростаюча кількість утворюваних та накопичених відходів.

Після встановлення основних проблемних питань, характерних для даного регіону, запропоновано рекомендації щод поліпшення ситуації:

- надання переваги вітчизняній продукції на тендерах, конкурсах та ін.;
- надання робочих місць, збільшення заробітної плати, надання переваги молодим працівниками та спеціалістам, забезпечення працевлаштування студентів-випускників тощо;
- збільшити штрафи, або ж навпаки – пільги, для підприємств, які, відповідно, стабільно збільшують або намагаються зменшити кількість власних утворюваних відходів чи впровадити безвідходне виробництво. До того ж, продукції таких підприємств, повинні підлягати «санкціям», або ж навпроти, бути прорекламовані за кошти міста, в нагороду за їх екологічність;
- розширення екологічної свідомості громадян.

**Висновки.** Ми вважаємо, що достатньо важливо розуміти причинно-наслідкові зв’язки між різними сферами розвитку. Особливо, коли йдеться про підвищення рівня екологічної безпеки. Так, розуміючи яким чином різні сфери взаємодіють між собою, можна зрозуміти, наприклад, від яких показників та у якій сфері залежать відповідні показники екологічної безпеки, що по суті, є важілем впливу. Тобто, змінюючи значення відповідних показників в одній сфері, ми автоматично змінюємо значення відповідних залежних показників у іншій сфері.

Управління екологічним проектом забезпечення сталого розвитку здійснено для Кременчуцької соціально-економічної зони. Систематизовані чинники екологічної небезпеки, визначені індикатори сталого розвитку регіону. Розроблено рекомендації щодо підвищення рівня екологічної безпеки

Практичне значення одержаних результатів полягає у визначенні та поясненні причинно-наслідкових взаємозв’язків між певними показниками у соціальній, екологічній та економічній сферах, визначенні проблемних питань, які потребують уваги та розроблення рекомендацій щодо їх вирішення.

### **Список використаних інформаційних джерел:**

1. Петряшев І.І., Харламова О.В. Морозова Д.М., Белоконь К.В. Стратегія поліпшення стану екологічної небезпеки міста Кременчука на основі визначення пріоритетних соціо-еколого-економічних проблем, інформаційне джерело:

[https://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2022/jan/26205/tezivii\\_molodizhniyekokongres2022.pdf](https://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2022/jan/26205/tezivii_molodizhniyekokongres2022.pdf)

2. Тітова А.О., Безденежних Л.А., Харламова О. В., Бігдан С.А. Оптимізація системи управління твердими побутовими відходами у кременчуцькій територіальній громаді. Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського», №3/2021(128). С.51–56.

3. Шмандій В.М., Харламова О. В., Солошич І.О., Ригас Т.Є. Управління екологічними проектами в умовах дії антропо-генних чинників формування небезпеки. Науково-технічний журнал «Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування». м. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2021. Вип. 2 (24). С. 42–48.

4. Екологічний паспорт міста Кременчук, інформаційне джерело: [http://pleddg.org.ua/wp-content/uploads/2019/11/Ecopasport\\_mista\\_Kremenchuka.pdf](http://pleddg.org.ua/wp-content/uploads/2019/11/Ecopasport_mista_Kremenchuka.pdf)

5. Програма економічного і соціального розвитку міста Кременчука, інформаційне джерело: [https://kremen.gov.ua/index.php?view=single-str&dep-id=36&page\\_id=270](https://kremen.gov.ua/index.php?view=single-str&dep-id=36&page_id=270)

6. Звіт про стратегічну екологічну оцінку програми охорони довкілля Кременчуцької міської територіальної громади на період 2021-2025 роки («ДОВКІЛЛЯ – 2025»), інформаційне джерело: [https://kremen.gov.ua/index.php?view=single-str&dep-id=18&page\\_id\\_two=1617](https://kremen.gov.ua/index.php?view=single-str&dep-id=18&page_id_two=1617)

7. Головне управління статистики у Полтавській області, інформаційне джерело: <http://www.pl.ukrstat.gov.ua>

**ПЕРЕДУМОВИ ЗАБРУДНЕННЯ ДІОКСИНАМИ ТА ІНШИМИ  
ХЛОРООРГАНІЧНИМИ РЕЧОВИНАМИ ПИТНИХ ВОД  
ОКРЕМИХ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ  
PREREQUISITES FOR DIOXIN AND OTHER  
ORGANOCHLORINE CONTAMINATION OF DRINKING WATER  
IN CERTAIN REGIONS OF UKRAINE**

**Сафранов Т.А.**, доктор геолого-мінералогічних наук, професор,  
професор кафедри екології та охорони довкілля  
**Safranov T.A.**, Dr. Sc. (Geol.-Min.), Prof., Professor of the Department of  
Environmental Science and Environmental Protection

Одеський державний екологічний університет,  
Odessa State Environmental University

**Анотація.** Серед органічних забруднювачів екологічно небезпечними є хлорорганічні сполуки, більшість із яких є небезпечними для здоров'я людини через виражену токсичну, канцерогенну та мутагенну дію, але найбільш екологічно небезпечними є діоксини. Відсутність лабораторій із сучасним обладнанням для виявлення діоксинів у регіонах України вимагає обґрунтування непрямих ознак їх можливої присутності у питній воді. У процесі хлорування вод, що містять гумінові та фульвокислоти, феноли природного (в тому числі ті, що утворюються при евтрофікації поверхневих водойм) та антропогенного походження, утворюються хлорфеноли та інші попередники діоксинів. Наявність цих сполук у водоймах господарсько-питного призначення та водопровідній воді, а також використання хлору для знезараження 90% питної води в регіонах України є передумовами для утворення діоксинів. Навіть якщо хлорування питної води буде замінено іншими методами знезараження, а діоксини не будуть утворюватися в процесі водопідготовки, можливість їх потрапляння в питну воду залишається. Причина в тому, що зазвичай відсутній етап очищення питної води на активованому вугіллі. Відповідно, органічна складова природної води майже безперешкодно проходить через піщані фільтри, в тому числі і її токсична частина, що містить діоксини, тобто проблема забруднення питної води діоксинами залишатиметься актуальною.

**Ключові слова:** питна вода, хлорування води, хлорорганічні сполуки, діоксини.



**Abstract.** Among organic pollutants, organochlorine compounds are ecologically dangerous, most of which are dangerous to human health due to their pronounced toxic, carcinogenic, and mutagenic effects, but dioxins are the most ecologically dangerous. The lack of laboratories with modern equipment for the detection of dioxins in the regions of Ukraine requires the substantiation of indirect signs of their possible presence in drinking water. In the process of chlorination of waters containing humic and fulvic acids, phenols of natural (including those formed during eutrophication of surface water bodies) and anthropogenic origin, chlorophenols and other precursors of dioxins are formed. The presence of these compounds in water bodies for economic and drinking purposes and tap water and the use of chlorine to disinfect 90% of drinking water in the regions of Ukraine are prerequisites for the generation of dioxins. Even if drinking water chlorination will be replaced by other methods of disinfection, and dioxins will not be generated in the process of water preparation, the possibility of their getting into drinking water remains. The reason is that there is usually no stage of purification of drinking water on activated carbon. Accordingly, the organic component of natural water passes almost unhindered through sand filters, including its toxic part containing dioxins, that is, the problem of drinking water contamination with dioxins will remain relevant.

**Keywords:** drinking water, water chlorination, organochlorine compounds, dioxins.

**Вступ.** Відомо, що природні води є складними хімічними розчинами, які містять мінеральні речовини у вигляді іонів, молекул та комплексів, органічні речовини – в молекулярних сполуках і колоїдах, а також водорозчинні гази, диспергуванні домішки, бактерії та віруси, які визначають їх придатність для питних цілей. Склад природних вод зумовлює їх якість. За даними ВООЗ, 80 % хвороб є результатом споживання неякісних (забруднених) питних вод, тобто зі зміненими їх природними властивостями внаслідок природних, але частіше всього, антропогенних факторів (зокрема, скидання неочищених або недостатньо очищених комунально-побутових і промислових стічних вод тощо).

Серед органічних поллютантів екологічну небезпеку мають хлорорганічні сполуки (ХОС), більшість з яких небезпечні для здоров'я людини за рахунок вираженого токсичного, канцерогенного та мутагенного ефекту. За даними ВООЗ серед продуктів хлорування води потенційно небезпечними для здоров'я населення є: тригалогенметани – ТГМ ( $CHCl_3$  – хлороформ або трихлорметан,  $CHBrCl_2$  – бромдихлорметан,  $CHBr_2Cl$  – дибромхлорметан та ін.),

галооцтові кислоти, галоацетонітрили, галогенуванні альдегіди, кетони та фуранони. Небезпечними речовинами, що утворюються при хлоруванні води, також є: 1,2-дихлоретан, тетрахлорвуглець, 1,1-дихлоретилен, дихлорбромметан, дибромхлорметан, 2,4,6-трихлорфенол, трихлоретилен, 2-хлорфенол, тетрахлоретилен, дихлорацетонітрил, хлорпіридин, дихлорметан, поліхлорировані біфеніли (ПХБ). Але найбільш екологічно небезпечними ХОС є діоксини – хлоровані вуглеводневі сполуки, які включають 75 поліхлорованих дибензо-*n*-діоксинів (ПХДД) і 135 поліхлорованих дибензофуранів (ПХДФ) (рис. 1)

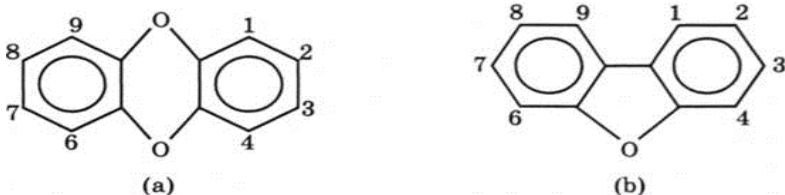


Рисунок 1 – Формули поліхлорованих дибензо-*n*-діоксину (а) і дибензофуранів (б) із зазначеними восьма положеннями, в яких можуть знаходитися атоми хлору

Існує багато інформації щодо вмісту різноманітних хлорорганічних сполук у питних водах України, але практично немає даних щодо вмісту в них діоксинів. Оскільки визначення діоксинів – це дорога хіміко-аналітична процедура, яку можуть здійснювати лише окремі лабораторії, то доцільно використання непрямих методів їх оцінки у питних водах України. Науковою новизною роботи є обґрунтування можливих шляхів знаходження діоксинів у поверхневій джерела питного водопостачання, а також підходів до можливої наявності цих хімічних сполук у питних водах окремих регіонів України. З урахуванням надзвичайної екологічної небезпеки діоксинів у питних водах окремих регіонів України оцінка передумов забруднення цими екотоксикантами є актуальною проблемою.

Метою дослідження є обґрунтування передумов забруднення діоксинами та іншими хлорорганічними сполуками питних вод окремих регіонів України.

Варто зазначити, що поліхлоровані дибензодіоксини – це велика група гетероциклічних поліхлорованих сполук, в основі яких знаходяться два ароматичних кільця, зв'язаних між собою двома кисневими містками. Поліхлоровані дибензофурани мають подібну ПХДД структуру, але відрізняються від них присутністю одного

кисневого містка між двома ароматичними кільцями. Деякі ПХБ називаються «діоксиноподібними сполуками», але їх іноді також відносять до діоксинів.

Основними джерелами забруднення довкілля діоксинами виступають: виробництво будівельних матеріалів; виробництво хлорорганічних пестицидів; деревообробна і целюлозно-паперова промисловість; хімічна і нафтохімічна промисловість; чорна і кольорова металургія; електроенергетика; сміттєспалювальні заводи. Надходячи в атмосферу з аерозольними викидами, вони повітряними потоками розносяться на величезні території і випадають з опадами на водозбірну площу, а з поверхневим стоком із водозбірної площі вони надходять у водотоки та водоймища. Вагомий внесок у забруднення поверхневих водних об'єктів має і скидання в них недоочищених та неочищених промислових стоків [1].

Існують свідчення того, що діоксини можуть утворюватися в природному середовищі при високих температурах, наприклад, при виверженні вулканів та під час лісових та степових пожеж. Однак, ці природні джерела досить незначні в порівнянні з утворенням та викидами діоксинів, що утворилися в процесі промислового виробництва та інших форм техногенезу.

Діоксини є твердими мікрокристалічними речовинами, що мають високу температуру плавлення (понад 300 °С), дуже низьку леткість, погано розчиняються у воді, а тому вони можуть міститися тільки в колоїдних домішках та, відповідно, виконувати роль транспорту в ґрунтах та донних відкладах. Відмінною рисою діоксинів є їх надзвичайно висока стійкість до біохімічного розкладання. Вони здатні зберігатися в довкіллі протягом десятків років і переноситься харчовими ланцюгами. Для діоксинів характерна убіквітарність, тобто присутність у повітрі, воді, донних відкладах, ґрунтах, живих організмах, продуктах харчування тощо.

Слід відмітити, що 90 % діоксинів потрапляють в організм людини з питною водою та їжею. При наявності їх у питній воді вони надають сильний канцерогенний ефект, руйнують ендокринну систему, згубно впливають на розвиток ембріона (передусім, його нервових структур), викликають імунodefіцит, підвищення чутливості до інфекційних захворювань.

Наприклад, у США діоксини входять до переліку показників вищого рівня ризику та згідно стандартів якості питної води, встановлених Агенцією із захисту довкілля (ЕРА), їх вміст (по 2.3.7.8-ТХДД) не повинен перевищувати 0,00000003 ( $3 \cdot 10^{-8}$ ) мг/дм<sup>3</sup>. У діючому нормативі України – Державних санітарних нормах та

правилах [2] немає окремої норми для діоксинів, а наводиться лише гранично-допустима концентрація (ГДК) окремих хлороорганічних сполук (ХОС) – тригалогенметанів – не більше 0,001 мг/дм<sup>3</sup>.

За даними ВООЗ, концентрація діоксинів у питній воді, зазвичай, не перевищує 0,1 – 0,5 нг/дм<sup>3</sup>. Відповідно, людина, випиваючи 2 дм<sup>3</sup> води на день, буде отримувати добову дозу в 0,01 – 0,02 нг/кг, а місячну в 0,2 – 0,6 нг/кг (при масі тіла 50 – 100 кг). Системних досліджень питних вод в Україні немає, передусім, через складність їх аналітичного визначення, а поодинокі експерименти – сильно розрізнені.

Сучасні методики виявлення діоксинів вимагають високоєфективного очищення зразків від багатьох фонових речовин, екстракційного вилучення діоксинів із проби, високоєфективного хроматографічного розділення та мас-спектрометричного детектування на хромато-мас-спектрометрі, що дає змогу визначати їх у повітрі, воді, ґрунті, рослинах, продуктах і промислових товарах, тканинах людини на рівні 10 – 12 – 10 – 15 г та менше [3]. Складність виявлення діоксинів полягає у тому, що вони, як правило, з'являються у вигляді мікродомішок, а їх накопичування проходить непомітно, однак, стабільно, без істотних перешкод [4]. На сьогоднішній день основними методами визначення вмісту діоксинів залишаються газо-рідинна хроматографія і хромато-мас-спектрометрія, але в якості головного інструменту вивчення механізмів хлорування водних органічних субстратів виступає хромато-мас-спектрометрія, як найбільш інформативний, чутливий та селективний метод. Отже, для якісного аналізу вмісту діоксинів з роздільним визначенням окремих груп цих сполук необхідні сучасні хроматографи і мас-спектрометри з високою роздільною здатністю, а вартість аналізу однієї проби досить висока і вимагає багато часу, що обмежує можливості їх моніторингу. У таких умовах доцільно обґрунтувати передумови можливого забруднення питних вод діоксинами і діоксиноподібними сполуками, що можуть потрапляти у поверхневі джерела питного водопостачання з різних джерел, зокрема, з викидами у повітряний басейн від спалювання відходів та інших видів згоряння, з вимиванням з ґрунтового покриву, при скиданні стічних вод хімічних та інших виробництв [5]. «Фонове забруднення» поверхневих вод, (наприклад ПХБ) складає від декількох нг до 500 нг/дм<sup>3</sup>; при цьому вміст ПХБ у донних відкладах вище у порівнянні зі вмістом у воді. У водному середовищі адсорбція є визначальною стадією акумуляції ПХБ; при цьому більш дисперсні частинки адсорбують більше ПХБ, ніж крупні частинки. У поверхневих

водах ПХБ адсорбуються завислими частинками і осідають на дно, де накопичуються в гідробіонтах.

Як правило, вміст діоксинів і діоксиноподібних сполук у природних водах нижче межі їх виявлення, проте їх знаходять у тонкодисперсних частках донних відкладів. Оскільки діоксини містяться у воді, в основному, у сорбованому стані на колоїдах і частинках ґрунту та, меншою мірою, в істинному розчині, їхня рухливість визначається рухливістю частинок-кур'єрів. Незважаючи на погану розчинність у воді діоксинів і діоксиноподібних сполук, вони осаджуються із атмосферного повітря на поверхню водних об'єктів та адсорбуються на зважених частинках у воді. Крім того, забруднення води та донних відкладів може відбуватись і за рахунок надходження забруднених стоків або змивання у воду забруднених ґрунтів чи промислових відходів [6].

Однак, ПХДД і ПХДФ можуть утворюватися безпосередньо у питній воді. Істотним чинником новоутворення діоксинів у водовідводних комунікаціях є процес знезараження питної води шляхом обробки молекулярним хлором [7]. Слід зазначити, що одна з найважливіших стадій водопідготовки – знезараження, яка є найефективнішим способом профілактики захворювань, що передаються неякісною водою. Відомо декілька методів знезараження питної води. Найбільш популярним методом є хлорування за допомогою молекулярного хлору ( $Cl_2$ ) і гіпохлориту натрію ( $NaClO$ ). Дезінфікуюча дія гіпохлориту натрію заснована на тому, що при розчиненні у воді утворюється хлорноватиста кислота, яка має окислюючий та дезінфікуючий вплив ( $NaClO + H_2O \rightarrow NaOH + HClO$ ). Однак, незважаючи на ефективність, порівняно невисоку вартість та стабільність, найважливішим їх недоліком є утворення досить великих кількостей тригалогенметанів (ТГМ) та галооцтових кислот [8], тому використання молекулярного хлору залишається основним методом знезараження питних вод в регіонах України. Понад 80 % населення України забезпечені питною водою за рахунок поверхневих річкових водозаборів, для знезараження води, зазвичай, застосовується скраплений хлор. Для знезараження питних вод на 90 % України застосовується хлор в якості дезінфектора питних вод [9].

Зазвичай, домінуюча частина водорозчинних органічних сполук (до 80 %) припадає на гумінові речовини – темно-коричневі сполуки, що складають 50-90 % органічної речовини торфу, сапропелю, вугілля та неживої матерії ґрунтових та водних екосистем. Вони формуються у ґрунтовому шарі в процесі біохімічного розкладання рослин. Серед гумінових речовин виділяють високомолекулярні сполуки складної

будови, тобто гумінові кислоти, а також фульвові кислоти, в яких міститься менша кількість вуглецю. За хімічною структурою гумінові кислоти – це високомолекулярні гідрооксикарбонові ароматичні кислоти (часто містять також карбонільні й метоксильні групи), які утворюють солі гумати. Фульвові кислоти – це суміш слабких органічних кислот аліфатичного і ароматичного ряду, які розчиняються у воді при всіх  $pH$  (кислі, нейтральні та лужні); їх склад і форма дещо змінні. Поверхневі води різних природно-кліматичних зон характеризуються різним співвідношенням гумінових і фульвових кислот, що визначаються специфікою ґрунтового покриву, звідки вони змиваються у річкові води. Наприклад, у водах річки Прип'ять вміст фульвових кислот складає  $60 \text{ мг/дм}^3$ , у водах річки Десна –  $15 \text{ мг/дм}^3$ , у водах Кілійського рукава Дунаю –  $18 \text{ мг/дм}^3$ . Фульвові кислоти домінують у складі гумінових речовин, тоді, як гумінові кислоти складають лише від 2 до 20 % складу гумінових речовин [10].

Наявність у водах джерел питного водопостачання гумінових і фульвових кислот істотно ускладнює технологію знезаражування питної води хлором і препаратами, що містять активний хлор. У процесі хлорування утворюються хлорорганічні низькомолекулярні сполуки, токсичні у мікродозах внаслідок постійного використання такої питної води. Гумінові речовини спричиняють специфічний жовтуватий відтінок і неприємний смак води. Ще в 1974 р. Рук (*J. J. Rook*) [11] припустив, що наявність ХОС у питній воді пов'язане із присутністю природних органічних сполук – гумінових і фульвових кислот, що підтверджено експериментально. При взаємодії гумінових і фульвових кислот, що містяться у водах річок, з хлором утворюються побічні токсичні ХОС, більшість з яких небезпечні для здоров'я людини за рахунок вираженого токсичного, канцерогенного та мутагенного ефекту, тобто основними чинниками утворення ХОС є підвищений вміст гумінових і фульвових кислот [12]. Отже, гумінові й фульвові кислоти є природними джерелами фенолів і в процесі хлорування перетворюються на хлорфеноли та інші попередники діоксинів. За даними ВООЗ [13] 19 речовин – продуктів хлорування води, насамперед, хлорфеноли та діоксини, є потенційно небезпечними для здоров'я населення.

Будучи високоактивним елементом, хлор вступає у різноманітні хімічні реакції з усіма речовинами, органічними та неорганічними. А води, що знезаражені хлором, наповнені наймовірною кількістю органічних речовин і залишків хімічних елементів, які потрапили у водний об'єкт (нафтопродукти, феноли та інше). Реагуючи з цими речовинами, хлор утворює ХОС. Звичайно, концентрація ХОС незначна

і не здатна завдати несумісної з життям шкоди, але поступово накопичуючись, вони отруюють організм людини. Наприклад, у водопровідній воді м. Одеса виявлено перевищення гігієнічного нормативу ТГМ: трихлорметан (хлороформ) – у 16,0 % зразків води; тетрахлорвуглець – у 28,0 % зразків води; трихлоретилен – у 72,0 % зразків води [14]. Майже 96 % населення м. Нікополь споживає хлоровану питну воду насосно-фільтрувальної станції, на виході з якої до розподільної мережі протягом 2010 – 2016 рр. зафіксовано високе забруднення води ХОС (1,7 ГДК). За результатами моніторингових досліджень, в Україні вміст трихлорметану у питній воді водопровідної мережі міст Дніпровського басейну (зокрема, Києва, Дніпра, Запоріжжя, Нікополя) складає 0,03-0,2 мг/дм<sup>3</sup>, а в окремі періоди (період цвітіння водойм тощо) значно підвищується [9]. Аналіз даних моніторингу питної води щодо вмісту у ній трихлорметану, свідчить про те, що їх високі концентрації визначаються, наприклад, у питній воді Іванівського групового водопроводу (Херсонська область). Так, концентрація трихлорметану у питній воді з розподільної мережі складає 160-190 мкг/дм<sup>3</sup>. У низці населених пунктів України (Київ, Кропивницький, Черкаси та ін.) впровадження на водопровідних станціях для обробки вихідної води хлорування з преамонізацією (для запобігання неприємних хлорфенольних запахів за 2-3 хв. до подачі хлору в знезаражувану воду вводять аміак або аміачну воду) замість «чистого» хлорування, це дозволяє знизити рівень трихлорметану у питній воді до безпечних рівнів.

Із ХОС найчастіше у питних водах регіонів України визначають ТГМ, зокрема, трихлорметан. Чутливими до дії цієї сполуки питної води є печінка, органи травлення, центральна нервова, кровотворна та сечовивідна системи. Підвищений вміст трихлорметану відзначався у Кіровоградській, Черкаській, Запорізькій, Дніпропетровській, Миколаївській, Херсонській, Полтавській та інших областях, що забезпечуються хлорованою питною водою із поверхневих джерел, переважно, Дніпровського басейну. На зазначеній території для очистки та знезараження води для централізованого водопостачання використовували, переважно, хлор-газ у великих дозах (від 2-5 мг/дм<sup>3</sup> до 10-12 мг/дм<sup>3</sup>), що через значне забруднення вихідної води органічними домішками призвело до утворення токсичного трихлорметану, найчастіше у понаднормативній кількості. Наприклад, населення міст Кіровоградської області, яке споживає дніпровську воду, що після хлорування містить надлишок трихлорметану (значення ГДК перевищує в 2-3 рази) піддається ризику онкологічних захворювань.

У населених пунктах Українського Придунав'я використовуються вкрай застарілі технології хлорування води. У технологічних лініях не передбачено коагулювання, а тільки фільтрацію, а це створює додаткові ризики утворення побічних продуктів у вигляді ТГМ, зокрема, трихлорметану (хлороформу). При цьому необхідно врахувати дію таких чинників: 1) високі концентрації синьо-зелених водоростей (ціанобактерій) у воді озер влітку зумовлює утворення ціанотоксинів, які за своєю природою є органопептидами, алкалоїдами, ліпополісахаридами, здатними утворювати токсичні орґано-мінеральні комплекси, а при реагуванні з хлором можуть утворювати більш токсичні сполуки; 2) при хлоруванні синьо-зелених водоростей генотоксичними є проміжні продукти хлорування, а не ТГМ та галооцтові кислоти; 3) гумінові і фульвові кислоти, що знаходяться у водах, є природними джерелами фенолів, які у процесі хлорування перетворюються на ХОС; 4) хлор може вступати в реакції також з фенолами антропогенного походження, а також із залишками хлорорґанічних пестицидів. При вмісті у водах озер трихлорметану (хлороформу) на рівні 120-180 мкг/дм<sup>3</sup> (2-3 ГДК) ризик виникнення додаткових випадків онкологічних захворювань є високим і становить  $1,8-2,4 \cdot 10^{-4}$  [15].

Незалежно від доз активного хлору, вміст трихлорметану (хлороформу) при хлоруванні вод озер Українського Придунав'я перевищує нормативне значення (табл. 1). Дані моніторингу щодо вмісту ТГМ у питних хлорованих водах населених пунктів України можуть бути використані для розрахунку реального їх впливу на людей та ризику для здоров'я населення [16].

Результати наведених вище досліджень визначили актуальність даної проблеми – забруднення водопровідної питної води токсичними ХОС для багатьох населених пунктів України [19]. Можливо, що серед цих ХОС при хлоруванні вод утворюються, але не визначаються хлорфеноли і діоксини.

Таблиця 1

Вміст трихлорметану (хлороформу) у водах озер Українського Придунав'я при різних дозах активного хлору [15]

Вміст трихлорметану (хлороформу) в мкг/дм <sup>3</sup> при різних дозах активного хлору:				
	1 мг/дм <sup>3</sup>	3 мг/дм <sup>3</sup>	5 мг/дм <sup>3</sup>	7 мг/дм <sup>3</sup>
Оз. Кагул	124 ± 13	421 ± 23	735 ± 32	896 ± 44
Оз. Ялпуг	113 ± 9	396 ± 11	396 ± 11	817 ± 41
Оз. Катлабух	189 ± 10	486 ± 21	935 ± 43	1237 ± 67

\*Примітка. ГДК трихлорметану (хлороформу) у водопровідній воді ≤ 0,60 мг/дм<sup>3</sup>.



Отже, на процес утворення ХОС впливають кількісний і якісний склад води джерела водопостачання, а також природа їх походження (природні чи антропогенні). Як зазначалось вище, до природних органічних речовин у поверхневих водах відносяться гумінові і фульвові кислоти, а також білки, аміноцукри та інші, а до антропогенних – феноли, пестициди тощо. Гумінові кислоти знаходяться у розчинному, колоїдному та зваженому станах, співвідношення між якими залежить від хімічного складу води, величини *pH* та інших чинників. Їх визначають такі показники питної води як кольоровість, перманганатна і біхроматна окиснюваність [18].

Стосовно утворення діоксинів при кип'ятінні, то окремими дослідниками вважається, що для цього процесу відсутні певні підстави тому, що для утворення діоксинів потрібні такі умови: наявність у воді розчинених органічних сполук (природних або штучних), вільного хлору та високої температури (570-1300 °C). Тому діоксини потрапляють у воду не на стадії кип'ятіння (100 °C), а на стадії її знезараження активним хлором і при наявності у воді органічних сполук, наприклад, гумінових та фульвових кислот. На думку інших дослідників, для кип'ятіння достатньо 1-2 хв., бо за більш тривалого часу (при процесі) кип'ятіння залишки хлору взаємодіють з органічними сполуками у воді. Слід зазначити, що сполуки хлору при вмісті кисню у воді, незалежно від їх властивостей, розкладаються з утворенням діоксинів, а їх гарантоване руйнування можливо лише при температурі понад 1250 °C, тобто при кип'ятінні водопровідної води формування цих екологічно-небезпечних сполук ймовірно, а якщо вони є у воді від самого початку, то нагрівання до 100 °C не зможе їх нівелювати. Крім того, при кип'ятінні водопровідної води зростає концентрація фенолів та хлорфенолів (наприклад, при 15-хвилинному кип'ятінні води концентрація фенолів зростає в 3,5 разів). Вважається, що хлорфеноли у питних водах утворюються не тільки в результаті хлорування фенолів, але і при хлоруванні гумінових і фульвових кислот, що займають домінуючу частину водорозчинних органічних речовин (наприклад, у водах Дніпровських водосховищ, на які припадає 65-90 % складу органічних речовин). Якщо природні гумінові та фульвові кислоти екологічно безпечні, то при взаємодії з хлором вони утворюють токсичні сполуки.

У процесі хлорування питної води утворюються сполуки, здатні трансформуватися в діоксини. Наприклад, гумінові та фульвові кислоти, що знаходяться у воді, є природними джерелами фенолів. Вони у процесі хлорування перетворюються на ПХБ та інші хлорфеноли ( $HOOC_6H_{5-n}Cl_n$ ;  $n = 1-5$ ). Хлорфеноли належать до групи пріоритетних

поллютантів, перерахованих ЕРА США в Законі про чисту воду і Директиві 2455/2001/ЄС, так як більшість з них токсичні та погано піддаються біохімічному розкладанню (в анаеробних умовах період їх напіврозпаду сягає 3,5 місяці). Утворення хлорфенолів при хлоруванні води, що містить органічні домішки, може фіксуватися і органолептично, оскільки хлорфеноли мають характерний неприємний запах. Як виявилось, знезаражування води молекулярним хлором за звичайних температурних умов навіть без спеціального підбору каталізаторів (наприклад, заліза) призводить до утворення небезпечно великої кількості діоксинів. Отже, знезаражування води молекулярним хлором є істотною причиною забруднення питної води діоксинами – ПХДФ і ПХДД (Л.А. Федоров, 1993).

У той же час, потенційна загроза забруднення питних вод діоксинами опосередковано може бути оцінена, наприклад, шляхом визначення фенолів – попередників діоксинів. Крім того, феноли – це група небезпечних промислових органічних речовин, а тому для промислових регіонів України це необхідно враховувати. Бо відомо, що, основним джерелом централізованого водопостачання є поверхневі води, а існуючі системи водопідготовки мають дуже низьку ефективність очищення від цих забруднюючих речовин. Тому доцільно використовувати непрямі методи їх можливої присутності у питних водах регіонів України.

За рівнем токсичності феноли займають третє місце після важких металів і нафтопродуктів. Крім того, при їх концентрації 50 мкг/дм<sup>3</sup> у питних водах погіршуються деякі її органолептичні властивості (смак, запах).

Феноли – це клас органічних сполук, у молекулах яких присутня гідроксильна група (-ОН), приєднана до ароматичних вуглеводнів. Найпростішим прикладом є фенол (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>ОН). Ці органічні сполуки широко використовуються як сировина і є одним із основних відходів підприємств коксохімічної, нафтохімічної, текстильної, фармацевтичної, целюлозно-паперової, кам'яновугільної та металургійної промисловості. Феноли застосовуються для виготовлення лаків, фарб, фенол-формальдегідних смол, пластмас, шкіри, гуми, інсектицидів та гербіцидів. У поверхневі водні об'єкти феноли надходять, в основному, зі стоками промислових підприємств. Похідні фенолу широко використовуються практично у всіх галузях промисловості: у виробництві лаків та фарб, синтетичних смол, пластифікаторів, поверхнево-активних та дубильних речовин, отрутохімікатів, стабілізаторів, антисептиків та ін. Хлорпохідні фенолу – високотоксичні речовини, що мають добре виражений

«аптечний» запах. Проте, головна їх небезпека полягає у тому, що при конденсації двох будь-яких молекул поліхлорфенолів можливе утворення надзвичайно токсичних діоксинів.

Феноли, що надходять у поверхневі води, за походженням можна розділити на три групи: 1) біогенні феноли, що синтезуються у процесі життєдіяльності гідробіонтів; 2) продукти вторинного забруднення у результаті деструкції органічної речовини; 3) компоненти промислових стічних вод. Джерела надходження фенолів у водойми визначають їх якісне різноманіття [1].

У природних водах феноли звичайно знаходяться у розчинному стані у вигляді фенолятів, фенолят-іонів та вільних фенолів. Вони здатні до конденсації і полімеризації, утворюючи складні сполуки. Навіть їх низькі концентрації впливають на органолептичні властивості (смак, запах) вод на іхтіофауну та інші гідробіонти. ЕРА США визначило, що вміст фенолів концентрацією 2 мг/дм<sup>3</sup> у питній воді протягом усього життя не спричинить жодних негативних наслідків. Концентрація фенолу в фасованій питній воді не повинна перевищувати 0,001 мг/дм<sup>3</sup>.

Феноли природного походження є необхідним компонентом біосистем, обов'язковим учасником і продуктом метаболізму рослинних та тваринних організмів, не становлять жодної небезпеки. Відомо, що феноли природного походження розповсюджені у поверхневих водах (наприклад, низькомолекулярні феноли утворюються із гумінових та фульвових кислот при їх мікробіологічній або гідролітичній деструкції). Проте під час хлорування води (як на першій стадії підготовки питної води, так і на завершальному її етапі), внаслідок взаємодії хлору з органічними речовинами, в основному, з гуміновими та фульвовими кислотами, утворюється багато хлорпохідних з високою токсичністю, канцерогенною та мутагенною активністю [19].

Крім того, джерелами фенолів можуть бути продукти метаболізму синьо-зелених водоростей у період їх масового розвитку. У незабруднених або слабо забруднених річкових водах вміст фенолів не перевищує 20 мкг/дм<sup>3</sup>, але перевищення природного фону може бути показником забруднення водного об'єкту. У такому разі, вміст фенолів може досягати десятків і навіть сотень мкг/дм<sup>3</sup>. Нагадаємо, що у водопровідній воді вміст летких фенолів не повинен перевищувати 0,001 мг/дм<sup>3</sup> [2].

Згідно з екологічними паспортами регіонів, лідерами скидів фенолів у водні об'єкти є підприємства Запорізької, Донецької та Луганської областей, які щороку скидають у води від 100,55 до 22 т фенолів; скиди фенолів у Харківській, Дніпропетровській та Черкаській областях – від 204,44 до 31 кг. Феноли є типовими поллютантами

практично для всіх річкових вод. Наприклад, у басейні Сіверського Донця критичний рівень забруднення мають річки Казенний Торець, Бахмут та Уди, а у межах басейну Дніпра найбільш забруднені річки Самара, Вовча, Ірша, Ірпінь, Удава, Сейм. Забруднені фенолами також Київське та Канівське водосховища. Ситуація в Дунаї, Дністрі та Південному Бузі краща, води характеризуються як слабко і помірно забруднені фенолами. Проте, окремо варто згадати річку Інгул, яка має одні з максимальних показників забруднення органічними речовинами. Отже, практично всі річки та великі водосховища забруднені фенолами. Наприклад, внаслідок скиду фенолмістких комунально-побутових і промислових стоків у Кременчуцьке водосховище концентрація фенолів у 4 рази перевищує значення ГДК. Крім того, феноли утворюються при біохімічному розкладанні синьо-зелених водоростей, а тому підвищений вміст фенолів спостерігається у місцях їх скупчення. Хлорування фенолмістких вод приводить до генерування хлорфенолів.

Середня концентрація фенолів у воді річки Дністер в період літньо-осінніх паводків становить  $0,002 \text{ мг/дм}^3$ . Діапазон коливань і абсолютні концентрації фенолів у воді приток Дністра змінюються від  $0,001$  до  $0,007 \text{ мг/дм}^3$ . Під час зимової межени середня концентрація фенолів у воді річки Дністер не змінюється і становить  $0,002 \text{ мг/дм}^3$ , але діапазон коливань дещо збільшується від  $0$  до  $0,006 \text{ мг/дм}^3$  [20]. Отже, є всі підстави щодо наявності фенолів у річковій воді нижче злиття Турунчука і Дністра, де розташований водозабір Одеської промислово-міської агломерації. Крім того, водно-болотні угіддя межиріччя Дністра і Турунчука можуть бути джерелом гумінових і фульвових кислот в річкових водах. Річкова вода після фільтрів надходить у резервуари чистої води, де піддається знезараженню рідким хлором, що реагує з гуміновими речовинами і фенолами, а тому, априорі, можна говорити про утворення ХОС (зокрема й діоксинів). Потім по магістральним водогонам вода подається на помпові станції Одеси, де відбувається додаткове знезараження гіпохлоритом натрію, що також призводить до утворення окремих ХОС [8].

Уміст фенолів у водах окремих річкових басейнів України наведений у табл. 2 [21]. Як бачимо, вміст фенолів у річкових водах, як правило, перевищує значення ГДК для поверхневих водних об'єктів як об'єктів господарсько-питного призначення.

Протягом року в басейн Дніпра надходить  $50,14$ -  $67,2$  т фенолів, Дністра –  $1,62$  т, Дунаю (у межах України) –  $0,36$ - $0,47$  т, Сіверського Донця –  $10,39$ - $12,9$  т [22].

Таблиця 2

## Вміст фенолів у водах окремих річкових басейнів України [21]

Басейни річок	Середні значення за рік, мг/дм <sup>3</sup>	Максимальні значення за рік, мг/дм <sup>3</sup>
Південний Буг	0,001 – 0,004	0,001 – 0,005
Притоки Південного Бугу	0,001 – 0,005	0,001 – 0,008
Дніпро	0,001	0,001 – 0,002
Притоки Дніпра	0,001 – 0,006	0,001 – 0,008
Річки Приазов'я	0,001 – 0,003	0,001 – 0,005

\*Примітка. ГДК летких феноли у водопровідній воді  $\leq 0,001$  мг/дм<sup>3</sup>.

У 2020 р. набули чинності доповнення до державних санітарних норм питної води [2], які встановлюють максимальну концентрацію фенолів у водопровідній воді на рівні 0,001 мг/дм<sup>3</sup> та 0,0005 мг/дм<sup>3</sup> у фасованій воді. ГДК хлорфенолів ( $HO\text{C}_6H_{5-n}Cl_n$ ) повинна бути меншою ніж 0,0003 мг/дм<sup>3</sup> як для водопровідної, так і для фасованої води. Враховуючи нормативний документ ВООЗ, мінімальна межа концентрації хлорфенолів для виявлення запаху становить 0,002 мг/дм<sup>3</sup>, тобто його поява сигналізує про щонайменше шестиразове перевищення ГДК. Для децентралізованих джерел води, тобто колодязів, природних джерел, каптажів ці показники зовсім не нормуються. Втім, ґрунтові води за вмістом фенолів, звичайно, не відповідають нормативним вимогам до питної води.

Щодо вмісту фенолів у водопровідних питних водах окремих регіонів України є лише одиничні дані. За даними [23] у пробах водопровідної води Одеси виявлено значний вміст фенолів, галогензаміщених сполук (в окремих випадках до 3 ГДК) та нафтопродуктів; відзначено наявність високої концентрації гексахлорциклогексану (2,5 ГДК), ДДТ та його метаболітів. З наявністю цих поллютантів у питній водопровідній воді Одеси, можливо, багато в чому пов'язана несприятлива медико-демографічна ситуація в місті, для населення якого характерні онкологічні та гематологічні захворювання, розлади ендокринної системи, серцево-судинні та шлункові хвороби. На фоні понаднормативного вмісту органічних речовин у воді досліджуваних питних водозаборів р. Дніпро виявлено антропогенне забруднення леткими фенолами: < 0,001-0,0012 мг/дм<sup>3</sup> (КП «Водоканал», м. Запоріжжя, ДВС-1, блок очисних споруд №1; < 0,001-0,0015 мг/дм<sup>3</sup> (КП «Водоканал», м. Запоріжжя, ДВС-1, блок очисних споруд № 2 (норма  $\leq 0,001$  мг/дм<sup>3</sup>) [24]. У водопровідній воді Черкас концентрація летких фенолів < 0,001 мг/дм<sup>3</sup>, тобто не перевищує норму.

У результаті хлорування питної води, яка містить феноли, утворюються стійкі хлорфеноли, які навіть при дуже низьких

концентраціях ( $0,1 \text{ мкг/дм}^3$ ) надають воді характерний присмак і запах. Трансформація вихідних фенолів у хлорпохідні, що відбувається на стадії знезаражування питної води активним хлором – це наступна небезпечна проблема. І хоча достатньо жорсткі вимоги до вмісту окремих хлорфенолів у водопровідній воді ( $\leq 0,0003 \text{ мг/дм}^3$ ) [2] зумовлені їх органолептичними властивостями, необхідно урахувати їх мутагенні і канцерогенні властивості. Хлорфеноли є дуже небезпечними поллютантами, що пов'язано з токсичністю самих фенолів, так і утворенням діоксинів при конденсації двох молекул хлорфенолів [19]. Головна небезпека поліхлорфенолів для довкілля і здоров'я людини полягає у тому, що при конденсації двох молекул поліхлорфенолів, можливо, утворення ПХДД і ПХДФ – надзвичайно токсичних ксенобіотиків. Наприклад, 2,4,6-трихлорфенол, 2,4-дихлорфенол, 2,6-дихлорфенол, 4-хлорфенол та 2,4,5-трихлорфенол утворюються при хлоруванні фенолів в процесі знезаражування питних вод і є попередниками ПХДД.

За різними даними, ГДК по вмісту хлорфенолів у питних водах перевищено у Дніпропетровській, Запорізькій, Кіровоградській, Миколаївській, Полтавській, Херсонській та Черкаській областях.

У залежності від частоти та об'ємів надходження фенолів до поверхневих вод, а також темпів його деструкції, концентрації фенолів в них можуть бути різними. У чистих природних водах його вміст складає близько  $0,01\text{-}2,0 \text{ мкг/дм}^3$ , у той час як води річок, забруднених промисловими стоками, можуть містити більше  $40 \text{ мг/дм}^3$  [25]. У поверхневих водах як джерелах питного водопостачання, вміст фенолів нормується  $< 1 \text{ мкг/дм}^3$  для I класу якості води і  $< 50 \text{ мкг/дм}^3$  для IV класу [26].

Згідно з дослідженнями різних авторів [27], феноли і їх похідні можуть здійснювати негативний вплив на водні об'єкти навіть при концентрації нижче за  $0,1 \text{ мг/дм}^3$ .

Феноли та інші речовини природного або штучного походження, які потрапляють у водні джерела, можуть перетворюватися в ПХДД та ПХДФ такими шляхами:

1) прямих синтез ПХДД і ПХДФ у процесі хлорування домішок дібензофурану та дібензо-пара-діоксинів молекулярним хлором;

2) хлорування фенолів техногенного походження та природних гумінових і фульвових кислот з наступним перетворенням утворюючих хлорфенолів у ПХДД;

3) у процесі додаткового хлорування, тобто перетворення ПХДД і ПХДФ в нові гомологи та ізомери з більшою кількістю атомів хлору.

Аварійні розливи та безконтрольне скидання нафтопродуктів під час бойових дій у річкові води можуть бути причиною збільшення концентрації фенолів. Варто зазначити, що під час контакту води з нафтою (нафтопродуктами) у водну фазу потрапляють феноли. Насичення відбувається за 5 хв. у динамічних або за 14 днів у статичних умовах. Чим вище об'ємне співвідношення нафта (нафтопродукти) : вода, тим більше фенолів потрапляє у водну фазу. За об'ємного співвідношення 1 : 2000 досягається верхня межа переходу фенолів у воду, з 1 мл нафти (нафтопродуктів) вилучається до 16 мкг фенолу [28]. Природно, що хлорування фенол-містких вод може спровокувати утворення діоксинів та інших ХОС у питних водах.

Потужним джерелом забруднення довкілля може бути фенольний завод у с. Новгородське на Донеччині, де у накопичувачах міститься майже 300 т хімічних відходів (водні розчини, що містять фенол та інші сполуки), а також понад 350 т карбонатного шламу та фенол-лужного розчину на відстійниках площею 50 тис. м<sup>2</sup>. Із урахуванням бойових дій на території цієї частини України може бути масштабна аварія на цьому підприємстві та його відстійниках, яка надовго залишить істотну частину Донбасу без питної води, а наслідки екологічної катастрофи суттєво вплинуть на забруднення річок басейну Сіверського Дінця та інших поверхневих водних об'єктів.

Вважається, що основним джерелом хлорфенолів у питних водах є процеси хлорування фенолів, але дуже важливим джерелом хлорфенолів можуть бути хлоровані гумусові кислоти; утворення хлорзаміщених гумусових кислот відбувається на стадії дезінфекції питної води хлором.

Води основних відкритих джерел водопостачання України (річки Дніпро з його водосховищами, Дністер, Західний і Південний Буг, Дунай та ін.) містить значну кількість органічних речовин природного походження. Понад 80 % цих речовин складають солі гумінових та фульвових кислот. Під час підготовки питної води, внаслідок взаємодії розчинених речовин з реагентами, особливо при використанні хлору для знезараження води, відбуваються численні реакції, що спричиняють утворення нових екологічно-небезпечних сполук. Забруднення поверхневих вод органічними речовинами зростає внаслідок скидання стічних вод, у яких навіть після повного біологічного очищення залишаються різні органічні сполуки. У складі органічних речовин 18-22 % складають гумусові сполуки, 6,5-10 % – нафтопродукти, інші речовини – аніонні поверхнево-активні речовини, вуглеводні, протеїни, таніни та ін.

Швидкість реакції хлорування фенолу в реальних умовах водопідготовки дуже мала при низькій концентрації фенолу і хлору, і хлорфеноли не утворюються, а тому основним джерелом хлорфенолів у питних водах можуть бути хлорування гумінових і фульвових кислот з наступною деструкцією, в результаті якої утворюються хлорфеноли.

Крім того, діоксини потрапляють у питну воду в результаті не тільки хлорування вод, які містять феноли, гумінові і фульвові кислоти, але і з «кур'єрами», тобто зі зваженими частинками коагулянтів.

Основний шлях появи ПХДД та ПХДФ – це їх утворення, безпосередньо, у питній воді. Ще у 1980 р. в результаті досліджень в США вказувалося, що серйозним джерелом новоутворення діоксинів у водопроводі може стати знезараження питної води молекулярним хлором. Тоді було показано, як саме, під дією хлору перетворюються на хлорфеноли гумінові і фульвові кислоти, що знаходяться у воді, тобто природні джерела фенольних речовин, а хлорфеноли, що виникають таким шляхом, дійсно були знайдені у водопровідній воді. Надалі стало відомо ще багато нових подібних фактів. У воді, забрудненій фенолами, після її обробки хлором виявили хлоровані феноксифеноли – попередники діоксинів. Все це поки що не дозволяло говорити про перетворення хлорфенолів на діоксини в реальних водопровідних системах. Однак, у 1988-1989 рр. було опубліковано дані шведських учених, отримані у лабораторних умовах та безпосередньо на станціях водопідготовки. Як виявилось, хлорування води за нормальної температури, навіть у некаталітичних умовах, викликає утворення небезпечно великих кількостей ПХДФ і ПХДР. Таким чином, була експериментально показана реальність конденсації хлорфенолів у діоксини у водопровідній воді. Причому, при хлоруванні води утворюються переважно не ПХДД, а ПХДФ. Серед ПХДФ, що утворюються при хлоруванні, знайдені чималі кількості високотоксичних сполук. Сам набір ПХДФ, що утворюються, та їх кількісні співвідношення виявилися настільки специфічними, що дозволяють говорити про певний «образ» цієї суміші, який характерний саме для хлорування води і зовсім відмінний від того, що спостерігається в скиданнях інших виробництв, наприклад, від целюлозно-паперового підприємства. Ось і виходить, що там, де знезараження води хлором – ключовий елемент водопідготовки, виникнення ПХДД і особливо ПХДФ, тобто зараження питної води діоксинами, неминуче.

Найважливіше еколого-токсикологічне значення для водних екосистем мають токсини синьо-зелених водоростей. Масовий розвиток синьо-зелених водоростей викликає, так зване, «цвітіння» водойм,



забарвлюючи воду у синьо-зелений або коричневий колір. В Україні «цвітіння водойм» є досить складною проблемою за рахунок сприятливих кліматичних умов для масового розвитку синьо-зелених водоростей та наявності значної кількості водних об'єктів господарсько-питного призначення. Крім цього, дана проблема загострилася після створення водосховищ, оскільки утворилася значна кількість мілководій, які мають малопроточний режим та малі глибини, що сприяє доброму прогріванню води і масовому розвитку синьо-зелених водоростей. У воді водойм, де спостерігається «цвітіння», накопичуються токсичні речовини (продукти життєдіяльності водоростей та супроводжуючих їх бактерій) і велика кількість органічних речовин, що виступає поживним середовищем для бактерій, у т.ч. і патогенних. Недостача кисню призводить до заморів іхтіофауни та інших аеробних гідробіонтів, а також гальмує процеси самоочищення і мінералізації органічних речовин. Все це сприяє накопиченню в воді все більшої кількості різноманітних шкідливих речовин, більшість з яких є небезпечними для людини (токсини, канцерогени, алергени). При бродінні та розкладанні водоростей у воді накопичується, феноли та інші токсичні сполуки. Прижиттєві та посмертні виділення синьо-зелених водоростей виступають найсильнішими отрутами, які поєднуються під загальною назвою ціанотоксини. Вони добре розчинні у воді, безбарвні, не мають запаху, досить стійкі (термічно не руйнуються), що сприяє їхньому накопиченню у воді та передачі по трофічних ланцюгах. У більшості синьо-зелених водоростей активне утворення токсинів відбувається за  $pH$  середовища 8,5-10,0 і температури води в 25-28°C. Токсини водоростей зберігають свою активність у водному середовищі протягом 20-ти діб [19].

При підвищенні концентрації біомаси синьо-зелених водоростей до 100 мг/дм<sup>3</sup> сухої речовини падає киснева продуктивність клітин, посилюються процеси розкладання, і у водному середовищі накопичуються органічні речовини та продукти їхнього розпаду. У воді з'являються феноли у концентрації, що перевищує ГДК до 200 разів. Наприклад, влітку 2009 р., коли були зафіксовані аномально високі температури води і підвищенні концентрації біогенних речовин, в Нижньому Дністрі спостерігалися процеси евтрофікації річкової води, що не тільки ускладняло функціонування водоочисної станції «Дністер», але могло бути причиною потрапляння у водопровідну систему вод з підвищеним вмістом фенолів та гумусових і фульвових кислот, при хлоруванні яких могли утворюватися не тільки хлорфеноли, але й інші ХОС. Влітку 2006-2018 рр. вміст такого показника евтрофікації як хлорофіл у водах Нижнього Дністра коливався в

діапазоні від 2,0 мкг/дм<sup>3</sup> до 156,8 мкг/дм<sup>3</sup>, що відповідно класифікації OECD охоплює такі категорії трофності води: мезотрофні (2,5-8,0 мкг/дм<sup>3</sup>); евотрофні (8,0-25,0 мкг/дм<sup>3</sup>); гіпертрофні (> 25,0 мкг/дм<sup>3</sup>). Забруднення біогенними речовинами, зокрема сполуками азоту та фосфору, стимулювало евтрофікацію річкових вод. Так, у 2017 р. до Дністра всіма суб'єктами господарювання було відведено: азоту амонійного – 1,457 тис. т; азоту нітратного – 2,819 тис. т; азоту нітритного – 0,051 тис. т; ортофосфатів – 0,591 тис. т. При цьому основними джерелами надходження є неочищені комунально-побутові та промислові стічні води (Транскордонний діагностичний аналіз басейну річки Дністер, 2019).

Слід зазначити, що встановлені залежності між концентрацією хлороформу у питній воді та інтенсивністю розвитку не тільки синьо-зелених водоростей, але і діатомових водоростей (на прикладі водозабору «Відсічне» р. Тетерів, КП «Житомирводоканал») [29].

У результаті проведених досліджень можна зробити такі висновки.

1. Відсутність у регіонах України лабораторій із сучасним обладнанням для виявлення діоксинів зумовлює обґрунтування непрямих ознак їх можливої наявності в питних водах.

2. У процесі хлорування вод, які містять гумінові і фульвові кислоти, феноли природного (зокрема, утворених при евтрофікації поверхневих водних об'єктів) та антропогенного походження утворюють хлорфеноли та інші попередники діоксинів. Наявність цих сполук у водних об'єктах господарсько-питного призначення і водопровідній воді та застосування хлору для знезараження 90 % питних вод регіонів України є передумовами генерації діоксинів та інших хлорорганічних сполук.

3. Навіть, якщо хлорування питної води буде замінено іншими способами знезараження, і діоксини не будуть генеруватися в процесі водопідготовки, можливість їх потрапляння в питну воду зберігається. Причина полягає у тому, що зазвичай відсутня стадія очищення питної води на активованому вугіллі. Відповідно, органічна складова природної води практично безперешкодно проходить через піщані фільтри, включаючи її токсичну частину, що містить діоксини, тобто проблема забруднення питних вод діоксинами залишиться актуальною.

### **Список використаних інформаційних джерел**

1. Дудник С.В., Євтушенко М.Ю. Водна токсикологія: основні теоретичні положення та їхнє практичне застосування: монографія. Київ : Вид-во Українського фітосоціологічного центру, 2013. 297 с.

2. ДСанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. [Чинний від 2010-05-12]. Вид. офіц. Київ, 2010. 33 с. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=27272](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=27272) (дата звернення: 21.11.2023).
3. Mizera A. Zanieczyszczenia organiczne zagrożeniem stabilności biologicznej hydrosfery. *AURA*. 2003. № 8. Р. 4–6.
4. Мазурак О.Т., Шкумбатьок Р.С., Лозовицька Т.М., Хруник С.Я. Дослідження механізмів забруднення біосфери діоксинами. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2011. Вип. 21.12. С. 122 – 127.
5. Lana Barhum. Dioxins: What They Are and How to Avoid Them. URL: <https://www.verywellhealth.com/dioxins-5215785/>. (Accessed: 22.11.2023).
6. Хижняк С.В., Войціцький В.М., Корнієнко В.І. Поліхлоровані біфеніли у навколишньому середовищі та методи їх визначення. URL: <http://baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/download/274/7505/15630-1?inline=1/> (дата звернення: 21.11.2023).
7. Бабієнко В.В., Мокієнко А.В. Знезараження води: курс лекцій. Одеса: Прес-кур'єр, 2022. 276 с.
8. Детенчук Е.А., Лебедев А.Т. Трансформация органических соединений при обеззараживании питьевой воды. *Аналитика*. 2020. Т. 10. № 6. С. 454–462.
9. Зайцев В.В. Вплив хлорорганічних сполук питної водопровідної води на стан здоров'я населення міста Нікополя. *Збірник наукових праць співробітників НМАПО ім. П.Л. Шурика*. 2017. Вип. 27. С. 424–432.
10. Линник П.Н., Иванечко Я.С., Линник Р.П., Жежеря В.А. Особенности исследования гумусовых речовин в природных поверхностных водах. *Хімія і технологія води*. 2013. Т. 35. № 6. С. 533–550.
11. Rook J.J. Formation of Haloforms during Chlorination of Natural Waters. *Environmental Science*. 1977. 11 (5). Р. 478–482.
12. Прокопов В.О., Чичковська Г.В., Зоріна В.О. Хлорорганічні сполуки у питній воді: фактори та умови їх утворення. *Довкілля та здоров'я*. 2004. № 2 (29). С. 70–73.
13. Guidelines for drinking water quality. The 3rd ed. Vol. 1. Recommendations. World Health Organization. Geneva, 2004. 495 p.
14. Петренко Н.Ф., Василькевич М.О. Дослідження ефективності видалення тригалогенметанів за допомогою водоочисних пристроїв з різними технологіями очистки. *Актуальні проблеми транспортної медицини*. 2009. № 4 (18). С. 88–94.

15. Ковальчук Л.Й., Мокієнко А.В., Петренко Н.Ф. Гігієнічна оцінка наслідків хлорування води поверхневих водойм українського Придніав'я. *Вісник наукових досліджень*. 2015. № 3. С. 89–91.

16. Прокопов В.О., Чичковська Г.В., Бардик Ю.В., Зоріна О.В. Вміст хлороформу у питній воді населених пунктів України. URL: <http://www.health.gov.ua/Publ/conf.nsf/165dc8dd0ddb56dc2256d8f00264254/285f11db00e647b7c2256d95002feadc?OpenDocument> (дата звернення: 21.11.2023).

17. Прокопов В.О., Липовецька О.Б., Зоріна О.В., Куліш Т.В., Соболь В.А. Проблема хлорорганічних сполук у воді у працях українських науковців (огляд літератури та власних досліджень). URL: <http://www.dovkil-zdorov.kiev.ua/env/96-0065.pdf> (дата звернення: 21.11.2023).

18. Загороднюк Ю.В., Омельчук С.Т., Загороднюк К.Ю., Василенко М.І. Закономірності утворення хлорорганічних сполук у процесі очищення і транспортування питної води (на прикладі водоочисних споруд міста Нікополь). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zakonomirnosti-utvorennya-hlororganichnih-spoluk-u-protseh-ochischennya-ta-transportuvannya-pitnoyi-vodi-na-prikladi-vodochisnih/viewer> (дата звернення: 25.11.2023).

19. Hyde R.A., Rodman D.J., Fech B.J. Monitoring techniques for the organic quality of water. *Inst. Water Eng. Sci.* 1984. Vol. 38, № 11. P. 25–38.

20. Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України / За ред. Хільчевського В.К. та Стащука В.А. Київ: Ніка-центр, 2013. 256 с.

21. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2020 році. URL: <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/data/ukr-zabrud-viz-1/oglyad-stanu-zabrudnennya-2020-sayt.pdf> (дата звернення: 21.11.2023).

22. Тимошенко М.М., Когановський О.М., Шульженко О.Ф. Фактори генетичного ризику при використанні питної води. URL: <https://cleanwater.org.ua/factory-henetychnoho-ryzyku-pry-vukorystanni-pytnoji-vody/> (дата звернення: 21.11.2023).

23. Псахис Б.І. Питна вода для Одеського регіону. *Тези Міжнародної конференції «Еколого-економічні проблеми Дністра*. Одеса, 2010.

24. Зоріна О.В., Протас С.В. Гігієнічна оцінка якості водопровідних питних вод за санітарно-хімічними показниками та

удосконалення науково-методологічних підходів до їх оцінки з урахуванням вимог європейського законодавства. *Scientific Journal «Science Rise: Biological Science»*. 2018. № 4 (13). С. 4–11.

25. Кравченко Г.М. Фотохімічна деструкція фенолу у гумусовмісних водах. Дис. на здобуття наукового ступеню кандидата хімічних наук. 21.06.01 – екологічна безпека. НАНУ. Інститут колоїдної хімії та хімії води. Київ, 2017. 164 с.

26. ДСТУ 4808:2007 Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=53159](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=53159) (дата звернення: 21.11.2023).

27. Романюк О.І., Шевчик Л.З., Жак Т.В., Боруцька Ю.З., Сахнюк І.І., Ощиповський І.В., Жак О.В. Закономірності забруднення природних вод фенолами в районах нафтовидобутку. URL: <http://www.ecoj.dea.kiev.ua/archives/2019/2/16.pdf> (дата звернення: 21.11.2023).

28. Mahajan S.P. Pollution Control in Processes Industries. New Delhi: Tata McGraw-Hill, 1994. 273 p.

29. Данилова І.В. Вплив процесів «цвітіння» води за участю діатомових водоростей на вміст хлороформу у питній воді. *Вісник ЖНАЕУ*. 2016. № 2 (56). Т. 1. С. 305–311.

**РУЙНУВАННЯ КАХОВСЬКОЇ ГРЕБЛІ: МОДЕЛЮВАННЯ  
ГОЛОВНИХ ЕФЕКТІВ, ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ  
DESTRUCTION OF THE KAKHOVKA DAM: MODELING OF  
MAIN EFFECTS, ECOLOGICAL CONSEQUENCES**

**Чорногор Л. Ф.**, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри космічної радіофізики, **Некос А. Н.**, доктор географічних наук, професор, завідувачка кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти, **Тітенко Г. В.**, кандидат географічних наук, доцент, директор навчально-наукового інституту екології,  
**Чорногор Л. Л.**, студент

**Chernogor L. F.**, DSc (Physics and Mathematics), Prof., Head of the Department of Space Radio Physics, **Nekos A. N.**, DSc (Geography), Prof., Head of the Department of Environmental Safety and Environmental Education, **Titenko G. V.**, PhD (Geography), Head of Karazin Institute of Environmental Sciences **Chornohor L. L.**, Student

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Україна  
V. N. Karazin Kharkiv National University of Karazin Institute of  
Environmental Sciences, Ukraine

**Анотація.** Для якісної та кількісної характеристики наслідків руйнування Каховської греблі та затоплення значних територій актуальним завданням є розробка математичних моделей часових варіацій параметрів потоку води при катастрофічному скиді з Каховського водосховища та аналіз можливих екологічних наслідків. Метою роботи є опис розроблених авторами математичних моделей часових варіацій параметрів потоку води з Каховського водосховища та очікуваних екологічних наслідків. Використане авторами фізичне та математичне моделювання головних параметрів потоку води з Каховського водосховища та системний аналіз екологічних наслідків затоплення значних територій показали, що екологічні наслідки були катастрофічними. Встановлено, затоплення та підтоплення продовжувалися не менше десяти діб. За цей час висота стовпа води у водосховищі зменшилася більше ніж на порядок, швидкість потоку – у чотири рази, об'єм води – приблизно у 45 разів, витрати води – практично на два порядку, а потужність потоку та потенціальна енергія води у Каховському водосховищі – майже на три порядку. Всього

підтоплено 650 км<sup>2</sup>. Екологічні наслідки катастрофи проявилися у затопленні та підтопленні значних територій, загибелі людей і тварин, забрудненні Дніпра, Дніпро-Бузького лиману, Північно-Західного шельфу Чорного моря, руйнуванні системи водозабезпечення низки міст і населених пунктів, руйнуванні систем іригації, виникненні санітарно-епідеміологічної проблеми тощо. Екологічні наслідки поділено на короткочасні, середньої тривалості та довготривалі.

**Ключові слова:** Каховське водосховище, витрата води, швидкість витікання, маса води, енергетичні характеристики водного потоку, математичні моделі.

**Abstract.** To qualitatively and quantitatively characterize the consequences of the destruction of the Kakhovka dam and the flooding of large areas, an urgent task is to develop mathematical models of time variations in water flow parameters during a catastrophic release from the Kakhovka reservoir and to analyze possible environmental consequences. The purpose of the paper is to describe the mathematical models of time variations in water flow parameters from the Kakhovka reservoir developed by the authors and the expected environmental consequences. The physical and mathematical modeling of the main parameters of water flow from the Kakhovka reservoir and a systems analysis of the environmental consequences of flooding large areas, used by the authors, showed that the environmental consequences were catastrophic. It was established that the flooding and subflooding continued for at least ten days. During this time, the height of the water column in the reservoir decreased by more than an order of magnitude, the flow speed by four times, the volume of water by approximately 45 times, the water flow by almost two orders of magnitude, and the flow power and potential energy of water in the Kakhovka reservoir by almost three orders. In total, 650 km<sup>2</sup> were subflooded. The environmental consequences of the disaster manifested themselves in the flooding and subflooding of large areas, death of people and animals, pollution of the Dnieper, Dnieper-Bug estuary, North-Western shelf of the Black Sea, destruction of the water supply system for a number of cities and towns, destruction of irrigation systems, the emergence of a sanitary and epidemiological problem, etc. Environmental consequences are divided into short-term, medium-term and long-term.

**Keywords:** Kakhovka reservoir, water outflow, outflow rate, water mass, energy characteristics of water flow, mathematical models.

Як відомо, на Дніпрі побудовано каскад водосховищ. Каховське водосховище є найнижчим за течією Дніпра [1]. Каховське водосховище мало велику гідроенергетичну, рибогосподарську та водогосподарську

цінність для України. З водосховища здійснювалася подача води в низку каналів, до яких належать Каховський, Північно-Кримський і Дніпро – Кривий Ріг.

У ніч із 05 на 06 червня 2023 р. о 02:35 та о 02:54 за київським часом унаслідок військових дій була зруйнована гребля Каховської ГЕС [2-7]. Руйнуванню передував штучний землетрус з магнітудою  $M \approx 1-2$ , що свідчило про потужність вибуху з енерговиділенням 0.5–15 т ТНТ (тринітротолуола). Зруйновано 14 із 28 прольотів греблі. Це призвело до різкого та швидкого підйому рівня води нижче греблі, падіння рівня води у водосховищі (рис. 1). Потужний потік води викликав затоплення значних територій, забудівель, орних земель, лісів, луків, водно-болотних угідь (рисунок). Загибло більше 75 людей, велика кількість свійської худоби, диких тварин і насаджень. Нанесено непоправну шкоду природним і штучним екосистемам на території площею понад 358 км<sup>2</sup>. Загальна площа водного дзеркала водосховища сягала 650 км<sup>2</sup> [5].

Наслідками підриву Каховської ГЕС присвячено низку робіт [2-7]. У роботах [2-5] описано результати затоплення та підтоплення значних територій. Показано, що рівень води піднімався не тільки у Дніпрі та Інгульці, а навіть у Чорному морі. Так в Одеському морському порту рівень води збільшився на 5-10 см. У роботах [6, 7] обговорюються екологічні наслідки руйнування Каховської ГЕС. Встановлено, що сильне забруднення води спостерігалося у Дніпрі, Дніпро-Бузькому лимані, частині Чорного моря (аж до гирла Дунаю) [3, 6]. Значно погіршився санітарно-епідемічний стан околиць зон затоплення.

Насьогодні актуальним завданням науковців є оцінка основних параметрів потоку води із Каховського водосховища, побудова простих аналітичних моделей часових варіацій параметрів потоку води, проведення числових розрахунків і опис очікуваних екологічних наслідків і тих, що вже спостерігалися.

Метою роботи є опис розроблених авторами математичних моделей часових варіацій параметрів потоку води з Каховського водосховища внаслідок техногенної катастрофи та аналіз основних екологічних наслідків.



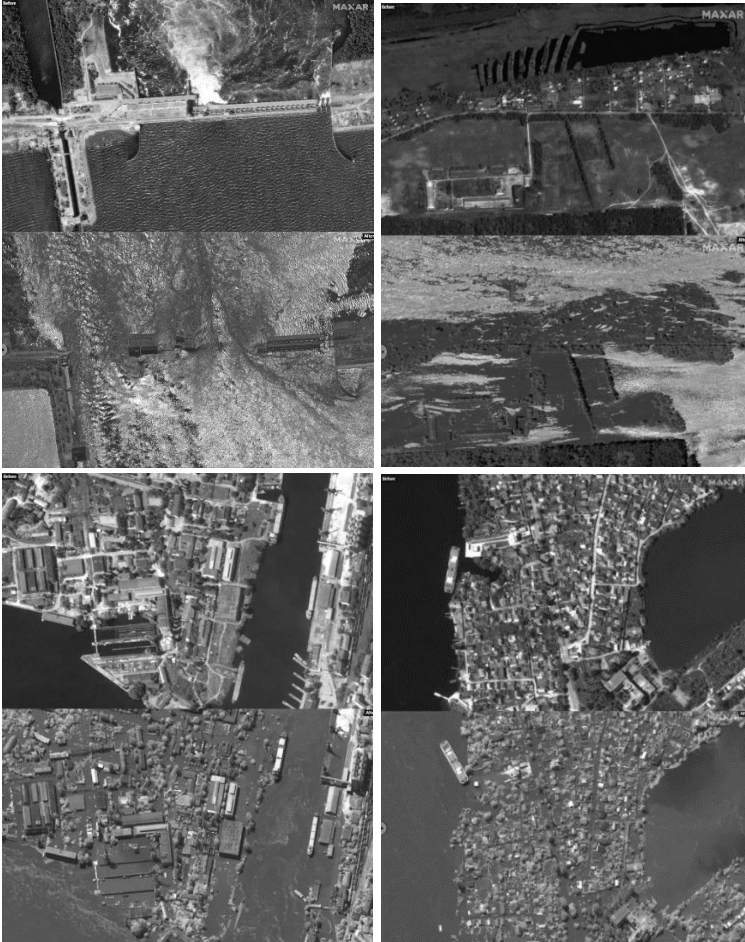


Рисунок 1 – Світлини околиць Каховської греблі до (зверху) та після руйнування, зроблені на борту супутника MAXAR [https://www.unian.ua/society/do-i-pislya-v-merezhi-z-yavilisy-a-foto-naslidkiv-pidrivu-kahovskoj-i-ges-12284994.html].

Каховське водосховище дислоковано за течією Дніпра в Запорізькій і Херсонській областях. Запущено в експлуатацію в 1956 р. Водосховище обладнане греблею Каховської ГЕС. Географічні координати греблі:  $46^{\circ}46'34''$  пн. ш.,  $33^{\circ}22'37''$  сх. д. Проектна довжина водосховища  $L_1 \approx 230$  км, ширина  $L_2$  сягала 25 км, а у середньому вона

складала близько 5 км на перших 120 км, а далі на 120 км близько 13 км. Площа водного дзеркала  $S_0 \approx 2155 \text{ км}^2$ . Початкова висота стовпа води  $h_0 = 16 \text{ м}$ . Маса води  $m_0 \approx 1.8 \cdot 10^{13} \text{ кг}$ , а її об'єм  $V_0 \approx 18.19 \text{ км}^3$ , корисний об'єм –  $6.8 \text{ км}^3$ . Середня глибина Каховського водосховища  $H_0 = V_0/S_0 \approx 9 \text{ м}$ , а максимальна –  $24 \text{ м}$ .

Потенціальна енергія маси води за греблю

$$E_p \approx \frac{1}{2} m_0 g h_0,$$

де  $g \approx 9.8 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння. При цьому  $E_p \approx 1.4 \cdot 10^{15} \text{ Дж}$ . Така енергія відповідає  $337 \text{ кт ТНТ}$ . Вона в  $28$  разів перевищує енергію вибуху ядерної бомби, кинуті на місто Хіросіма у  $1945 \text{ р}$ .

Величезний запас енергії, що містить будь-яке водосховище, свідчить про потенціальну небезпеку у випадку руйнування греблі.

Після підриву Каховської греблі потужний потік води висотою в  $14\text{--}15 \text{ м}$  ринув униз за течією, затоплюючи околиці водосховища та русла Дніпра. Найбільша висота потоку води при цьому була близько  $9\text{--}10 \text{ м}$ . За інтервал часу  $\Delta t = 1$  год висота стовпа води у водосховища зменшилася на  $\Delta h = 0.15 \text{ м}$ . При цьому середня витрата води складала

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\rho \Delta V}{\Delta t} \approx \rho S_0 \frac{\Delta h}{\Delta t} \approx 90 \text{ кт/с},$$

а  $\Delta V/\Delta t = 9 \cdot 10^4 \text{ м}^3/\text{с}$ . Тут  $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$  – густина води.

Цю витрату води доцільно порівняти з аналогічним параметром для низки річок світу, що розташовані на різних континентах (табл. 1). Дані, наведені у таблиці 1, показують, що витрати води більші лише у річки Амазонки. Витрати води після руйнування Каховської греблі також доцільно порівняти з таким же параметром для найбільших водоспадів світу (табл. 2). Наведені цифри свідчать, що витрати води після катастрофи на Каховській греблі в декілька разів перевищували витрати води для найбільших водоспадів. Площа затоплення збільшилася на  $358 \text{ км}^2$ , тоді як до катастрофи вона складала  $136 \text{ км}^2$ .

Загальна площа затоплень сягала  $494 \text{ км}^2$ .

Початкову швидкість потоку води можна розрахувати за формулою

$$v_0 \approx \sqrt{g h_0}$$

за  $h_0 \approx 16 \text{ м}$  складала  $v_0 \approx 12.7 \text{ м/с}$ . Потужність цього потоку представляється наступним співвідношенням:

$$P_0 = \frac{1}{2} v_0^2 \frac{\Delta m}{\Delta t} \approx 0.73 \cdot 10^{10} \text{ Вт} = 7.3 \text{ ГВт}.$$

Таблиця 1

Характеристика параметрів річок світу

Річка	Довжина, км	Площа басейну, км <sup>2</sup>	Середня витрата води, м <sup>3</sup> /с
Амазонка	6992	$6.9 \cdot 10^6$	$2.19 \cdot 10^5$
Конго	4371	$3.7 \cdot 10^6$	$4.18 \cdot 10^4$
Янцзи	6380	$1.8 \cdot 10^6$	$3.19 \cdot 10^4$
Брахмапутра	2948	$6.5 \cdot 10^5$	$1.92 \cdot 10^4$
Лена	4420	$2.5 \cdot 10^6$	$1.64 \cdot 10^4$
Меконг	4023	$8.1 \cdot 10^5$	$1.60 \cdot 10^4$
Ганг	2510	$9.1 \cdot 10^5$	$1.43 \cdot 10^4$
Амур	4352	$1.9 \cdot 10^6$	$1.28 \cdot 10^4$
Волга	3530	$1.4 \cdot 10^6$	$8.06 \cdot 10^3$
Дунай	2860	$8.2 \cdot 10^5$	$6.43 \cdot 10^3$
Дніпро	2201	$5 \cdot 10^4$	$1.67 \cdot 10^3$
Дністер	1362	$7.2 \cdot 10^4$	$3.10 \cdot 10^2$

Таблиця 2

Характеристика параметрів водоспадів світу

Назва водоспаду	Витрати води, м <sup>3</sup> /с	Висота водоспаду, м	Ширина водоспаду, м	Місце розташування (річка)
Інга	$2.6 \cdot 10^4$	21	914	Конго
Бойома	$1.7 \cdot 10^4$	5	1372	Конго
Кхон	$1.2 \cdot 10^4$	21	10783	Меконг
Пара	$3.5 \cdot 10^3$	64	5608	Каура
Ігуасу	$1.7 \cdot 10^3$	64	2682	Ігуасу
Вікторія	1088	105	1707	Замбезі
Лакофорсен	700	17	300	Вефона
Шод'єр	500	35	240	Шод'єр
Кабарега	300	43	15	Білий Ніл
Русумо	210	15	40	

Для порівняння додамо, що електрична потужність Каховської ГЕС складала всього 0.335 ГВт.

Для числового моделювання параметрів потоку води у якості вихідних візьмемо рівняння для витрати маси  $m$  та швидкості  $v$  води:

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = -\rho S_1 v, \quad (1)$$

$$m = \rho \int dV = \rho \int_0^{L_m} dL \int_0^h l(h) dh, \quad (2)$$

$$v \approx \sqrt{gh}, \quad (3)$$

де  $t$  – час, що відлічується від моменту руйнування дамби,  $S_1(t)$  – площа перерізу потоку води,  $dV$  – елементарний об'єм води у водосховищі шириною  $l$  та довжиною  $L_m$ .

Можна показати, що параметри  $l(h)$  і  $L(h)$  змінюються набагато повільніше за  $h$ . Тоді можна обмежитися одномірною (1D-) моделлю. З (2) випливає, що

$$\begin{aligned} V(h) &\approx V_0 \frac{h}{h_0}, \\ S_1(h) &\approx S_{10} \frac{h}{h_0}, \\ m(h) &\approx m_0 \frac{h}{h_0}. \end{aligned} \quad (4)$$

Зі співвідношення (1) з урахуванням (3) та (4) отримуємо:

$$\frac{d h}{d t h_0} = -\frac{2}{t_0} \left(\frac{h}{h_0}\right)^{3/2}, \quad h(0) = h_0, \quad (5)$$

де

$$t_0 = \frac{2V_0}{S_{10}v_0} \quad (6)$$

є характерний час витікання води з водосховища. Розв'язок рівняння (5) має вигляд:

$$h(t) = \frac{h_0}{(1 + t/t_0)^2}. \quad (7)$$

Тоді

$$V(t) = \frac{V_0}{(1 + t/t_0)^2}, \quad (8)$$

$$m(t) = \frac{m_0}{(1 + t/t_0)^2}, \quad (9)$$

$$v(t) = \frac{v_0}{1 + t/t_0}, \quad (10)$$

$$\frac{d m}{d t} = \frac{\rho S_{10} v_0}{(1 + t/t_{ch})^3}. \quad (11)$$

Дефіцит маси води у водосховищі представляється наступною формулою:

$$\Delta m = m_0 - m = m_0 \left[ 1 - \frac{1}{(1 + t/t_0)^2} \right]. \quad (12)$$

На початку катастрофи рівень води у водосховищі зменшувався приблизно на  $\Delta h = 15$  см за  $\Delta t \approx 1$  год. За  $h_0 = 16$  м маємо  $v_0 \approx 12.7$  м/с. Тоді з (1) отримуємо, що

$$S_{10} = \frac{1}{\rho v_0} \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{S_0 \Delta h}{v_0 \Delta t}.$$

Звідси  $S_{10} \approx 7.1 \cdot 10^3 \text{ м}^2$  – початкова площа витoku води. Із (6) отримуємо, що  $t_0 \approx 4 \cdot 10^5 \text{ с} \approx 4.6 \text{ діб}$ .

Результати числового моделювання головних параметрів витoku води з ложа Каховського водосховища з використанням співвідношень (7)–(12) наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Характеристика головних параметрів потоку води з ложа Каховського водосховища

Параметр потоку води	Кількість діб										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Висота стовпа води, м	16	10.8	7.8	5.9	4.6	3.7	3	2.5	2.4	1.8	1.6
Швидкість потоку води, м/с	12.7	10.3	8.8	7.3	6.7	6	5.4	5	4.5	4.2	4
Відносна маса води	1	0.67	0.49	0.37	0.29	0.23	0.19	0.16	0.13	0.11	0.1
Дефіцит маси води, Гт	0	5.94	9.18	11.34	12.78	13.86	14.58	15.12	15.66	16.02	16.2
Витрати води, кт/с	90	49.4	30.9	20.3	14.1	9.9	7.5	5.8	4.2	3.3	2.8
Потужність потоку води, ГВт	7.3	3.73	1.68	0.83	0.45	0.25	0.155	0.1	0.061	0.04	0.031
Потенціальна енергія води, ТДж	1400	643	335	192	117	75.4	49.6	34.4	24.3	17.8	14.1

Дані табл. 3 показують динаміку параметрів води, що витікала з Каховського водосховища. За 10 діб перепад рівня води зменшився приблизно у 10 разів, швидкість витікання води – більш ніж утричі, маса води у водосховищі скоротилася на 90% або на 16.2 Гт. Витрати води зменшилися від 90 до 2.8 кт/с, тобто більше ніж у 32 рази. Об'ємні витрати води  $dV/dt \approx 2.8 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{с}$  стали сумірними з витратами води Дніпром ( $1.7 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{с}$ ). Затоплення прилеглих територій суттєво сповільнилося або припинилося. Якщо на початку катастрофи рівень води в околицях водосховища (район Нової Каховки) піднявся на 9–10 м, то за 10 діб збільшення рівня води складало декілька дециметрів. Потужність витoku води скоротилася від 7.3 до  $\sim 0.031$  ГВт, тобто більше ніж у 243 рази. Потенціальна енергія маси води у водосховищі зменшилася від  $\sim 1400$  до  $\sim 14$  ТДж, тобто на два порядки.

Результати числового моделювання важливо порівняти з результатами натурних спостережень. Останніх, на жаль, дуже мало. Дані вимірювань рівня води у водосховищі біля створу в м. Нікополь наведено у роботах [3, 4] (табл. 4).

Таблиця 4

Часова залежність чого рівня води у Каховському водосховищі у створі м. Нікополь

$t$ , доби	0	1	2	3	4	5
$h$ , м	16.8	14.8	13.3	12	10.7	9.7

Результати, наведені у табл. 4, показують, що значення  $h$  зменшуються більш повільно, ніж у описаній вище моделі (див. (3)).

Дані із табл. 4 можна апроксимувати наступною емпіричною залежністю

$$h = h_0 e^{-t/t_0}, \quad t_0 \approx 9.1 \pm 0.3 \text{ діб.}$$

Тоді початкове значення

$$\left(\frac{dh}{dt}\right)_0 \approx -\frac{h_0}{t_0} \approx -7.3 \text{ см/год.}$$

Як і очікувалося, у верхній частині водосховища швидкість падіння рівня води приблизно удвічі менша за цю швидкість біля греблі ( $\sim 15$  см/год). Характерний час  $t_0$ , навпаки, удвічі більший (9.1 проти 4.6 доби).

Руйнування Каховської греблі можна характеризувати як техногенну екологічну катастрофу, і що, безумовно, призвело до важких негативних наслідків:

- затоплення великої площі унікальної заплави Дніпра;
- забруднення вод Дніпро-Бузького лиману;
- забруднення вод Північно-Західного шельфу Чорного моря;
- осушення ложа Каховського водосховища, загибель 0.5 Мт двостулкових моллюсків;
- виникнення проблеми з охолодженням спецобладнання Запорізької АЕС;
- руйнування системи водозабезпечення міст Кривий Ріг і Марганець, інших населених пунктів Нікопольського району, де проживає близько 1 млн. мешканців;
- руйнування 31 системи іригації в Дніпропетровській, Запорізькій і Херсонській областях;
- зменшення площі орних земель на 584 км<sup>2</sup>;
- склалася загроза існування особливо цінним екосистемам та об'єктам природно-заповідного фонду (Нижньодніпровський

національний парк, Чорноморський біосферний заповідник, Кінбурнська коса);

- зміни мікрокліматичних особливостей місцевості, збільшення посушливості;

- втрата значного родючого шару орних південно-українських ґрунтів, можливий початок процесу опустелювання;

- суттєве зменшення біорізноманіття південних регіонів;

- невіправні втрати рибного господарства.

Всього було затоплено 28 населених пунктів з населенням 38 тис. мешканців. Безпосередньо у зоні лиха опинилося близько 16 тис. людей. Загинуло більше 75 людей, велика кількість домашньої худоби та диких тварин. Зокрема, загинули тварини зоопарку «Казкова діброва» (м. Нова Каховка).

За даними ESA WorldCover затоплено 670 га територій, де знаходилися будівлі, дороги та інші об'єкти господарювання. Майже половина цієї площі належить м. Херсон. Також затоплено 390 га орних земель, 800 га лісів, 4500 га луків і 26000 га водно-болотних угідь. Всього затоплено близько 650 км<sup>2</sup> землі. Від повені найбільше постраждали такі населені пункти як Нова Каховка, Олешки, Гола Пристань, Херсон, Білогірдове та декілька десятків сіл. У Дніпро та зрештою у Чорне море винесло сміття, вміст каналізаційних скидів, трупи тварин, рештки скотомогильників, кладовищ і поховань тощо.

Площа водного дзеркала зменшилася від 2091 км<sup>2</sup> спочатку до 1099 км<sup>2</sup>, а потім наприкінці червня практично до нуля [3]. Оголення ложа водосховища призвело до мінімум двох екологічних проблем. Перша із них пов'язана з розкладанням тіл загиблих моллюсків масою в 0.5 Мт, яке триватиме від декількох років до десятиліть і більше. Друга проблема стосується донних відкладень водосховища, що містять значну масу різних забруднюючих речовин, у тому числі, й важких металів і радіоактивних елементів [8]. Після висихання дна водойми ці речовини потрапляють в атмосферу та зрештою в харчовий ланцюжок.

Ще одна екологічна проблема пов'язана з евтрофікацією, завдяки якій синьо-зелені водорості влітку стрімко розмножуються. Потраплення органічних речовин у Дніпро-Бузький лиман і зрештою у Чорне море погрожує виникненням у перспективі серйозних екологічних проблем.

За даними українського уряду вартість наслідків катастрофи складає близько 14 млрд. доларів США, із них 6,4 млрд. припадає на втрачені екосистемні послуги.

Таким чином, виконане числове моделювання показало, що потенціальна енергія маси води у Каховському водосховищі була

еквівалентна 337 кт ТНТ або енергії 23 ядерних бомб. Руйнування Каховської греблі не могло не призвести до дуже значних соціально-економічних втрат і екологічних наслідків. Після вибуху потік води потужністю близько 7.3 ГВт ринув униз за течією, затоплюючи прилеглі території. Додатково було затоплено 508 км<sup>2</sup> земель [5]. Підтоплення стабілізувалося приблизно за 10 діб. Загинуло більше 75 людей, велика кількість худоби, значними були втрати рибних ресурсів. У р. Дніпро та Чорне море потрапили значні маси сміття, бруду, каналізаційних скидів, трупів, решток скотомогильників і поховань. Виникла небезпека епідемії. Суттєво постраждали системи водозабезпечення міст і населених пунктів, системи іригації, системи охолодження Запорізької АЕС, суттєво зменшилося біорізноманіття у регіоні.

Крім екологічних наслідків короткої (~10 діб) та середньої (декілька місяців) тривалостей, виникли довготривалі (~10 років і більше) наслідки. Вони пов'язані з оголенням і висиханням дна колишнього водосховища, надходження в атмосферу, а потім у харчові ланцюги речовин із донних відкладень. Без зрошення залишилися 5840 км<sup>2</sup> земель, яким загрожує опустелювання. Очікуються пилові бурі, зміни місцевого клімату.

Таким чином, руйнування Каховської греблі призвело до значної екологічної катастрофи і врешті решт вказало на характерні ознаки екоциду. Вважається, що руйнування Каховської греблі спричинило найбільшу техногенну катастрофу в Європі за десятиліття.

### **Список використаних інформаційних джерел**

1. Федоненко О. В., Єсіпова Н. Б., Шарамок Т. С., Маренков О. М. Гідроекологічний стан Каховського водосховища. *Питання біоіндикації та екології*. 2010. Вип. 15, № 2. С. 214–222. DOI: 10.31548/zemleustriy2023.03.09 (дата звернення: 11.01.2024).

2. Khilchevskiy V., Grebin V., Dubniak S., Zabokrytska M., Bolbot H. Large and small reservoirs of Ukraine. *Journal of Water and Land Development*. 2022. № 52. P. 101–107. DOI: 10.24425/jwld.2022.140379 (date of access: 06.01.2024).

3. Vyshnevskiy V., Shevchuk S., Komorin V., Oleynik Y., Gleick P. The destruction of the Kakhovka dam and its consequences. *Water International*. 2023. Vol. 48, no. 5. P. 631–647. DOI: 10.1080/02508060.2023.2247679 (date of access: 08.01.2024).

4. Gleick P., Vyshnevskiy V., Shevchuk S. Rivers and water systems as weapons and casualties of the Russia-Ukraine war. *Earth's Future*. 2023. Vol. 11, no. 10. id:e2023EF003910. DOI: 10.1029/2023EF003910 (date of access: 08.01.2024).



5. Дорош Й. М., Ібатуллін Ш. І., Дорош О. С., Сакаль О. В., Дорош А. Й. Застосування геоінформаційних технологій при визначенні площ підтоплених земель унаслідок руйнування дамби Каховської ГЕС. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2023. № 3. С. 98–109. DOI: 10.31548/zemleustriy2023.03.09 (дата звернення: 11.01.2024).

6. Саніна І. В., Люта Н. Г. Екологічні наслідки підриву греблі Каховської ГЕС і шляхи вдосконалення водопостачання населення. *Мінеральні ресурси України*. 2023. № 2. С. 50–55. DOI: 10.31996/mru.2023.2.50-55 (дата звернення: 08.01.2024).

7. Підрив Каховської ГЕС: чотири категорії наслідків та план подальших дій. *Економічна правда*. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/06/14/701156/> (дата звернення: 08.01.2024).

8. Linnik P. M., Zubenko I. B. Role of bottom sediments in the secondary pollution of aquatic environments by heavy-metal compounds. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*. 2000. Vol. 5, no. 1. P. 11–21. DOI: 10.1046/j.1440-1770.2000.00094.x (date of access: 06.01.2024).

**ОЦІНКА ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ НА СКЛАДОВІ  
ДОВКІЛЛЯ РЕГІОНІВ ЗАХІДНОЇ УКРАЇНИ  
ASSESSMENT OF TECHNOGENIC IMPACT ON  
ENVIRONMENTAL COMPONENTS IN WESTERN UKRAINE**

**Чугай А.В.**, доктор технічних наук, професор, завідувачка  
кафедри екології та охорони довкілля, **Недострелов М.В.**, аспірант,  
**Сотніченко О.В.**, магістрант

**Chugai A.V.**, Doctor of Science (Technical), Professor, Head of the  
Department of Environmental Science and Environmental Protection,  
**Nedostrelov M.V.**, Student, **Sotnichenko O.V.**, Master Student

Одеський державний екологічний університет  
Odessa State Environmental University

**Анотація.** На даний час значного впливу зазнають всі природні складові внаслідок військових дій. Тому важливим питанням є оцінка техногенного навантаження на довкілля. В якості вихідних даних в роботі використані матеріали Регіональних доповідей та Екологічних паспортів окремих областей Західної України щодо показників техногенного впливу за 2017-2021 рр. За станом повітряного басейну територія Західної України у довоєнний період була розподілена на 3 групи. За показниками ефективності водокористування територія Західної України була розподілена на дві групи, а за значенням  $M_{BO}$  виділено чотири групи. За значенням показника  $M_{TC}$  за даними про утворення та накопичення відходів територія дослідження була розподілена на також на чотири групи. За результатами комплексного аналізу рівня техногенного навантаження на складові довкілля регіонів Західної України до регіонів із більш низькими показниками техногенного навантаження віднесено Волинську, Закарпатську, Тернопільську і Хмельницьку області. До регіонів із максимальними показниками навантаження віднесено Львівську область.

**Ключові слова:** стан довкілля, техногенне навантаження, довоєнний період, регіони Західної України.

**Abstract.** Currently, all natural components are significantly affected by military operations. Therefore, an important issue is the assessment of the technogenic load on the environment. As a starting point, the paper uses the materials of Regional Reports and Environmental Passports of certain regions of Western Ukraine on indicators of anthropogenic impact for 2017-2021.

According to the state of the air basin, the territory of Western Ukraine in the pre-war period was divided into 3 groups. In terms of water use efficiency, the territory of Western Ukraine was divided into 2 groups, and 4 groups were allocated according to the value of the  $M_{WO}$ . The study area was also divided into 4 groups according to the value of the  $M_{GE}$  indicator based on data on waste generation and accumulation. Based on the results of a comprehensive analysis of the level of anthropogenic pressure on the environment in the regions of Western Ukraine, Volyn, Zakarpattia, Ternopil, and Khmelnytskyi regions were classified as having lower indicators of anthropogenic pressure. The regions with the highest levels of pollution include Lviv Oblast.

**Keywords:** state of the environment, technogenic load, pre-war period, regions of Western Ukraine.

Техногенний вплив на довкілля в регіонах України в останні роки постійно зростає. На даний час значного впливу зазнають всі природні складові внаслідок військових дій.

Регіони Західної України в цілому не відносяться до переліку областей із високим рівнем антропогенного навантаження. Але вже другий рік в окремих областях відбуваються техногенні катастрофи, спричинені військовою агресією РФ.

Так, метою дослідження є оцінка техногенного впливу на складові довкілля регіонів Західної України у довоєнний період.

У сучасному розумінні терміну до Західної України віднесено 8 українських областей – Львівська, Тернопільська, Івано-Франківська, Волинська, Рівненська, Хмельницька, Чернівецька та Закарпатська [1].

Переважаючими джерелами викидів забруднюючих речовин (ЗР) є пересувні. Серед стаціонарних джерел забруднення основними є підприємства добувної і переробної промисловості, постачання електроенергії, лісове господарство.

Головною водоспоживаючою галуззю є в основному житлово-комунальне господарство. Максимальні показники водозабору та водовідведення серед західних регіонів відзначаються у Львівській області. Значні обсяги використання вод зафіксовано у Івано-Франківській, Рівненській і Хмельницькій областях.

Практично у всіх областях максимальну кількість відходів, що утворюються, складають відходи IV класу небезпеки. Значна кількість утворених відходів накопичується і зберігається на території підприємств або у місцях організованого складування і зберігання.

Оцінку стану довкілля регіонів Західної України виконано за даними показників техногенного впливу у довоєнний період (2017-2021 рр.). Стан повітряного басейну визначався на основі розрахунку

інтегрального показника стану атмосферного повітря  $P_{атм}$  [2, 3]. Слід відзначити, що у переважній частині областей були відсутні дані про викиди ЗР від пересувних джерел. Тому нами було застосовано метод інтерполяції з урахуванням відомостей за попередні роки. Також в окремих регіонах у зв'язку із введенням військового стану на території України з 24 лютого 2022 року були взагалі відсутні відомості про надходження ЗР у природні середовища. В цьому випадку розрахунок не проводився. На рис. 1 наведено результати розрахунку.

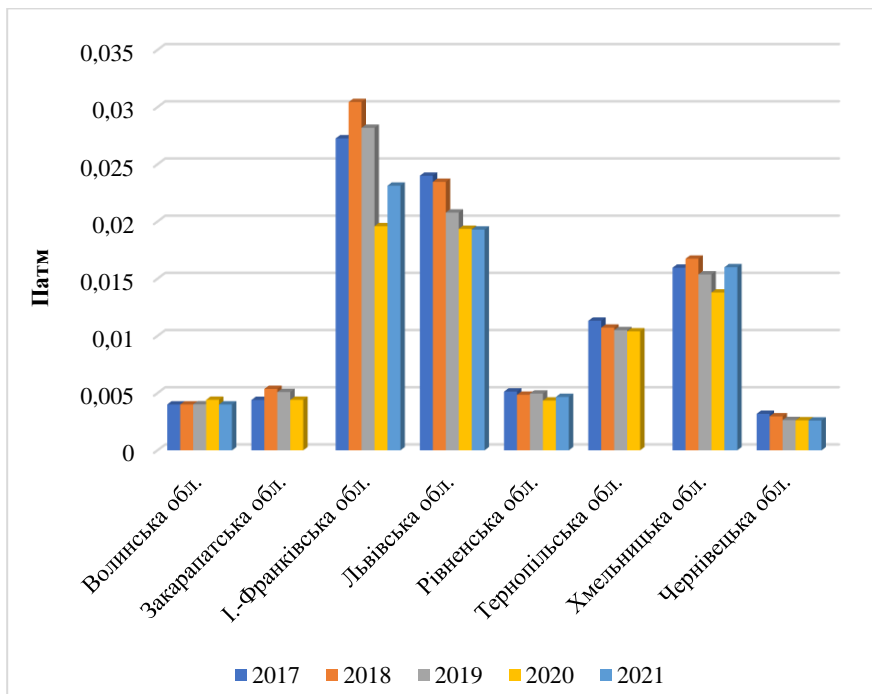


Рисунок 1 – Значення показника  $P_{атм}$  для регіонів Західної України (2017-2021 рр.)

Як видно з представленого рисунку, мінімальні значення показника  $P_{атм}$  відзначались у Чернівецькій області, максимальні – в Івано-Франківській. Отримані значення були осереднені за період дослідження, що дозволило районувати територію західної України за значенням показника  $P_{атм}$  (рис. 2).

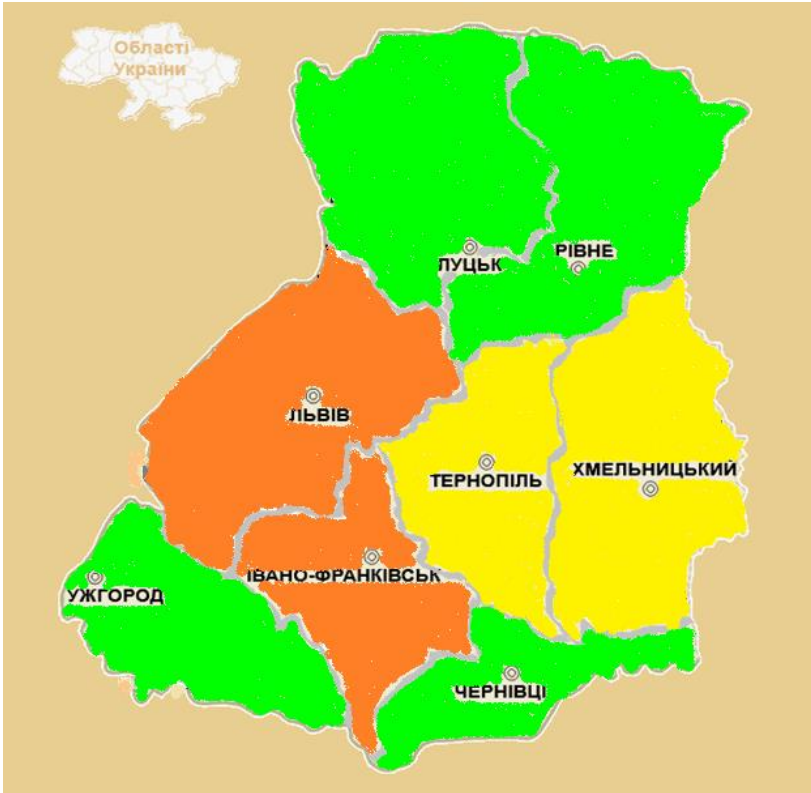


Рисунок 2 – Районування території Західної України за станом повітряного басейну у довоєнний період

\*карта регіонів Західної України за даними [5]

Фактично територія за станом повітряного басейну у довоєнний період була розподілена на три групи. До I-ої групи з мінімальними показниками навантаження на повітряний басейн увійшли Волинська, Закарпатська, Рівненська та Чернівецька області. До II-ої групи з показниками середнього навантаження Тернопільська і Хмельницька області. До III-ої групи з максимальними показниками впливу було віднесено Івано-Франківську і Львівську області [4].

Оцінку навантаження на водні об'єкти території Західної України виконано на основі розрахунку коефіцієнтів ефективності водоспоживання та водовідведення, а також комплексної

характеристики [6]. Слід відзначити, що фактично у всіх областях показники були відносно стабільними за період дослідження.

Отримані результати також були осереднені, що стало основою для районування території Західної України за показниками ефективності водокористування (рис. 3). Фактично територія Західної України була розподілена на дві групи. До I-ої групи з найкращими умовами увійшли Волинська, Івано-Франківська, Рівненська, Тернопільська і Хмельницька області, до II-ої групи з менш кращими умовами – Закарпатська, Львівська і Чернівецька області. Проте в цілому ефективність водокористування в регіонах Західної України можна вважати задовільними у довоєнний період.

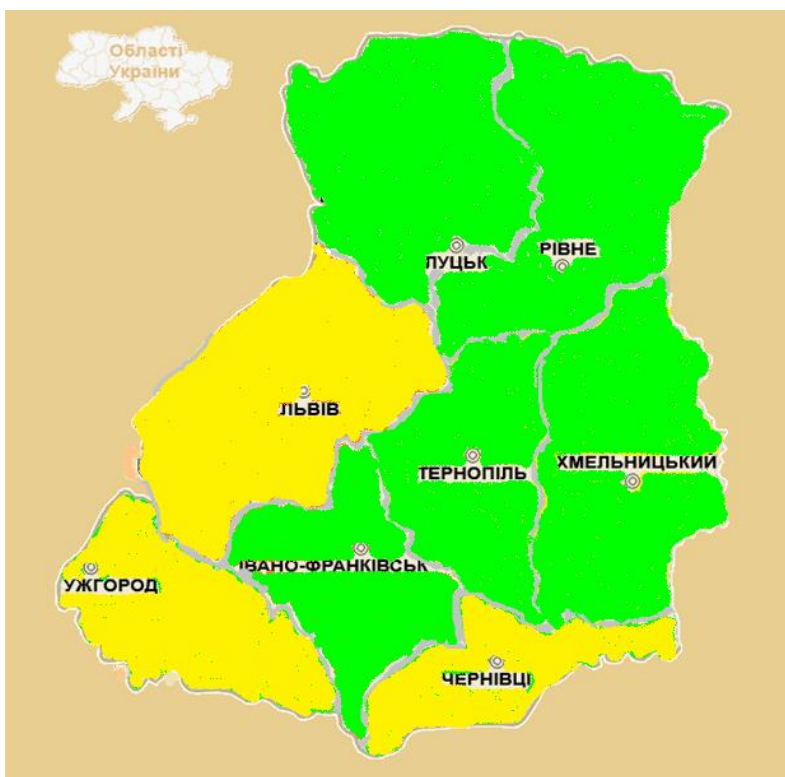


Рисунок 3 – Районування території Західної України за ефективністю умов водокористування у довоєнний період

\*карта регіонів Західної України за даними [5]

Розраховані коефіцієнти ефективності водокористування не дають повної уяви про рівень техногенного впливу на водні об'єкти. Тому для більш детальної оцінки нами було розраховано модуль техногенного навантаження на водні об'єкти  $M_{BO}$  [6]. Результати розрахунків наведено на рис. 4. Як видно з наведеного рисунку, максимальні показники навантаження серед усіх областей відзначаються у Львівській області. Також у Волинській, Тернопільській і Чернівецькій областях відзначалось незначне зменшення навантаження на водні об'єкти в останні роки.

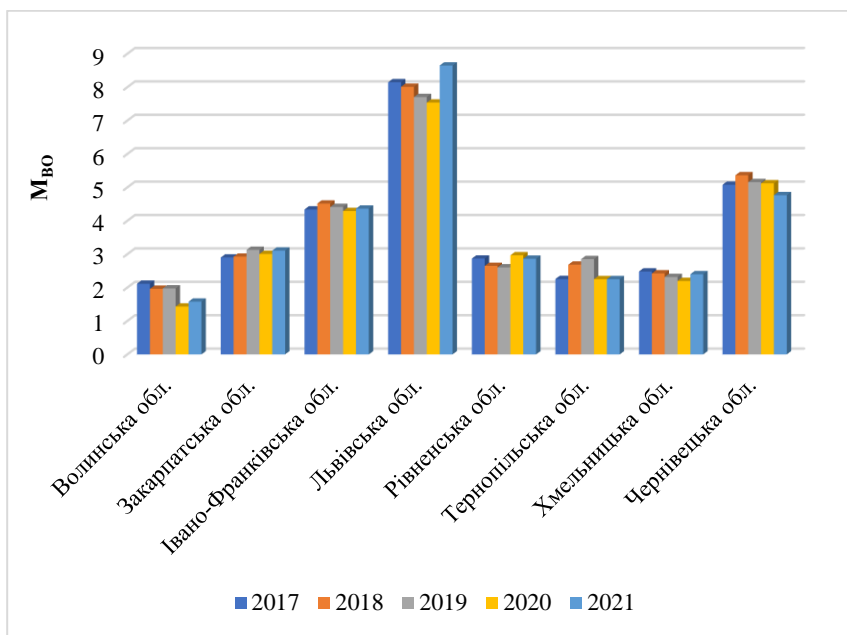


Рисунок 4 – Значення  $M_{BO}$  для регіонів Західної України (2017-2021 рр.)

Отримані осереднені показники дозволили районувати територію Західної України за рівнем техногенного навантаження на водні об'єкти (рис. 5), що дійсно дозволило деталізувати районування території дослідження.

Як видно з представленої картини, на відміну від районування за показниками ефективності водокористування територія Західної

України була умовно розподілена на чотири групи. До I-ої групи з мінімальними показниками навантаження увійшла лише одна область – Волинська. Вона належить і до областей з найкращими умовами ефективності водокористування (рис. 3.). До II-ої групи з середніми показниками навантаження увійшли Закарпатська, Рівненська, Тернопільська і Хмельницька області. За даними рис. 3 вказані регіони, за виключенням Закарпатської області, також віднесено до областей із кращими показниками ефективності водокористування. До III-ої групи з підвищеними показниками навантаження увійшли Івано-Франківська і Чернівецька області. При цьому Івано-Франківська область була вище віднесена до регіонів із найкращими умовами водокористування. IV групу складає лише одна область – Львівська. На нашу думку отримані результати за значенням  $M_{BO}$  більш об'єктивно характеризують рівень техногенного впливу на водні об'єкти Західної України.

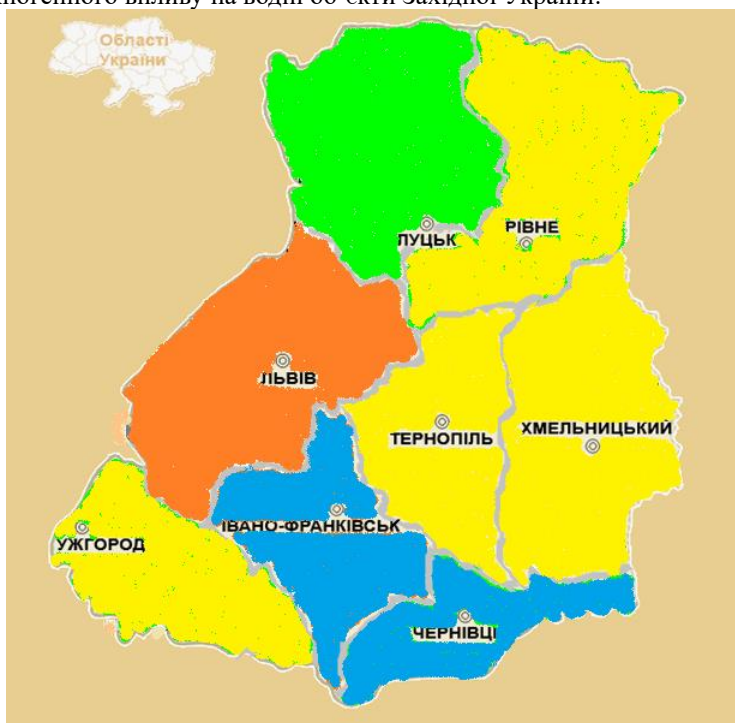


Рисунок 5 – Районування території Західної України за значенням  $M_{BO}$  у довоєнний період

\*карта регіонів Західної України за даними [5]



Було розглянуто показники накопичення та утворення відходів в регіонах Західної України. Слід зазначити, що у переважній більшості областей були відсутні дані за 2021 р. у зв'язку із введенням військового стану. Тому розрахунок проведено за період 2017-2020 рр. На рис. 6-7 наведено показники утворення і накопичення відходів по окремим областям Західної України.

Із наведених рисунків видно, що максимальна кількість відходів утворювалась у двох областях – Львівській та Івано-Франківській (рис. 6). Мінімальні обсяги відходів утворювались у Закарпатській та Чернівецькій областях. У Львівській і Рівненській областях відзначено збільшення утворення відходів у 2020 р., а у Тернопільській – суттєве зменшення. Відносно показників накопичення відходів (рис. 7), то їх значення у переважній більшості перевищували показники накопичення на 1-2 порядки. Виключення складають лише Закарпатська і Тернопільська область, де показники накопичення відповідали показниками утворення або були значно нижче. У Івано-Франківській області обсяг накопичених відходів у 2020 р. значно зменшився порівняно з іншими роками (на порядок).

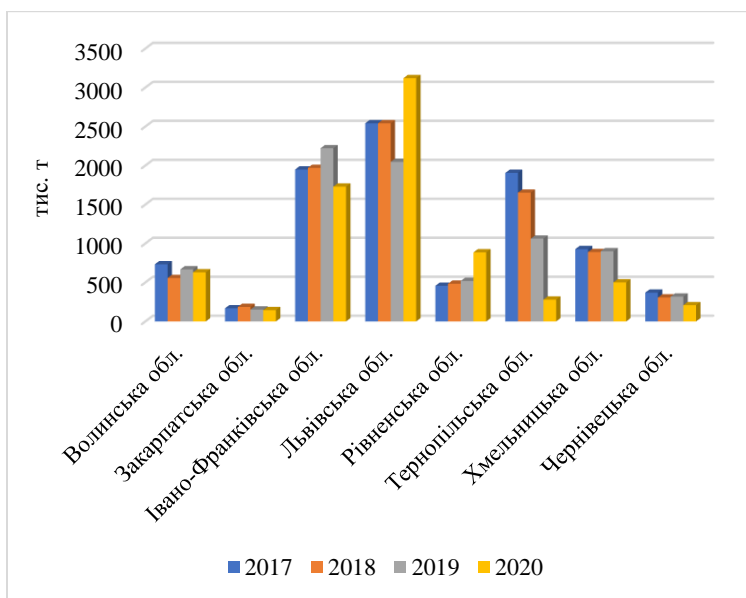


Рисунок 6 – Утворення відходів в регіонах Західної України у 2017-2020 рр.

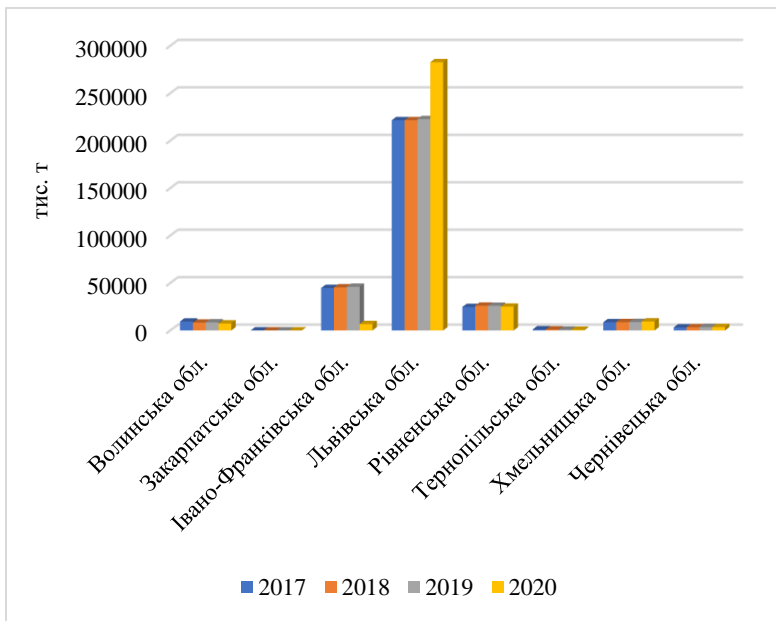


Рисунок 7 – Накопичення відходів в регіонах Західної України у 2017-2020 рр.

Було розраховано модулі техногенного навантаження на геологічне середовище  $M_{TC}$  за показниками утворення і накопичення відходів (рис. 8-9) [6]. Аналіз представлених рисунків показує, що максимальні значення  $M_{TC}$  за обсягами утворення відходів (рис. 8) відзначались у Львівській, Івано-Франківській і Тернопільській областях. Хоча остання не характеризувалась значними показниками утворення. Мінімальні значення відзначено лише у Закарпатській області. Чернівецька область при незначних обсягах утворення характеризувалась середніми показниками навантаження. За показниками накопичення відходів (рис. 9) максимальний рівень навантаження відзначено для Львівської області. Він перевищує відповідні показники для інших областей на 1 і більше порядків.

Фактично аналогічні показники отримані при розрахунку сумарного показника  $M_{TC}$  за даними про утворення і накопичення відходів (рис. 10). Так, в регіонах Західної України рівень техногенного навантаження на ґрунтово-геологічне середовище в даному випадку визначається переважно показниками накопичення відходів.

Значення показника  $M_{ГС}$  за даними по утворення та накопичення відходів були осереднені за період дослідження. За отриманими осередненими даними було виконано районування території Західної України (рис. 11). Так, територія дослідження була розподілена на чотири групи. До I-ої групи з мінімальним навантаженням увійшла лише Закарпатська область, до II-ої групи з помірними показниками навантаження – Волинська, Тернопільська, Хмельницька і Чернівецька області, до III-ої групи з підвищеним рівнем навантаження – Івано-Франківська і Рівненська області. IV-ту групу також складала лише одна область – Львівська.

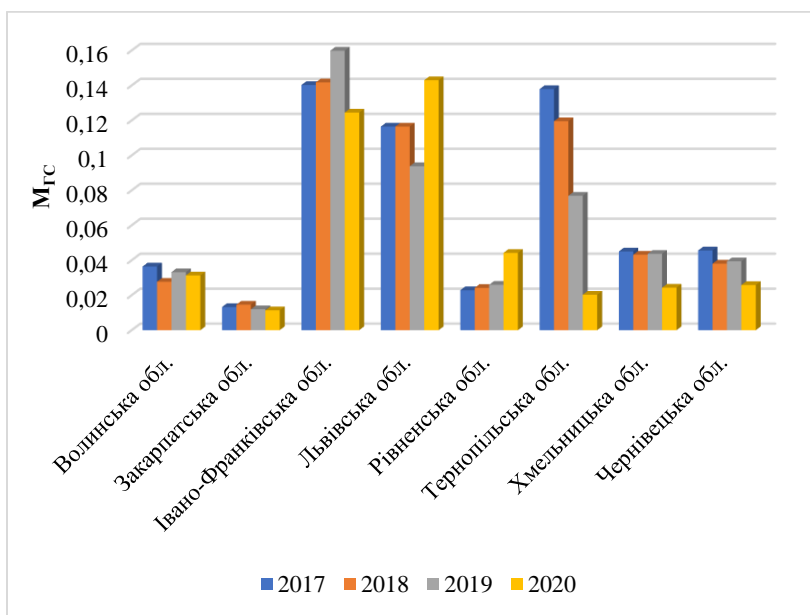


Рисунок 8 – Значення  $M_{ГС}$  для регіонів Західної України за показниками утворення відходів (2017-2020 рр.)

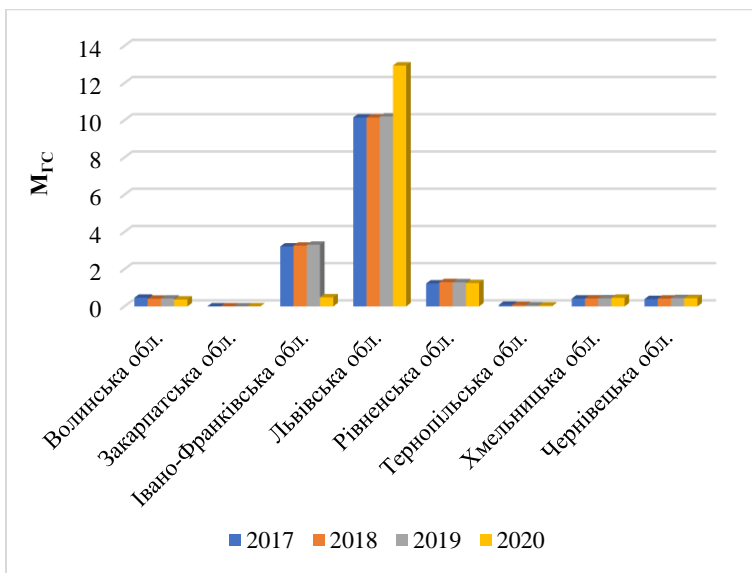


Рисунок 9 – Значення  $M_{ГС}$  для регіонів Західної України за показниками накопичення відходів (2017-2020 рр.)

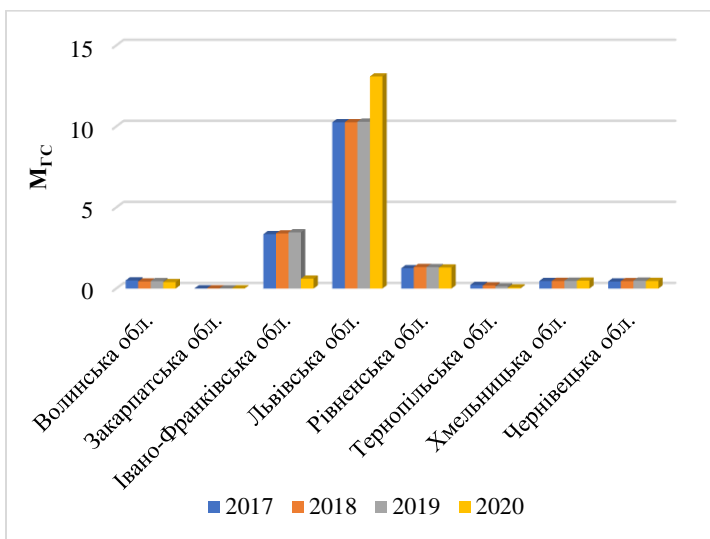


Рисунок 10 – Значення  $M_{ГС}$  для регіонів Західної України за показниками утворення і накопичення відходів (2017-2020 рр.)

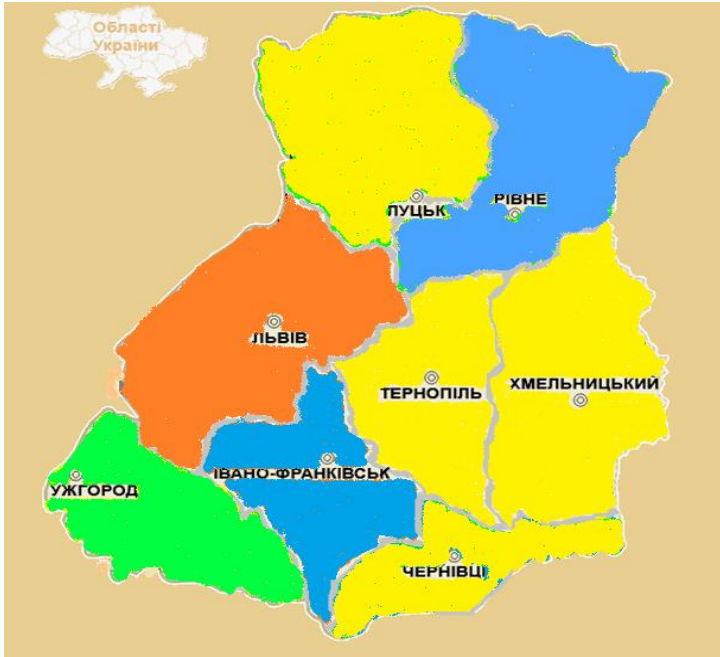


Рисунок 11 – Районування території Західної України за значенням  $M_{TC}$  у довоєнний період

\*карта регіонів Західної України за даними [5]

Було проведено комплексний аналіз рівня техногенного навантаження на складові довілля регіонів Західної України за всіма розрахованими показниками (табл. 1).

Аналіз представленої таблиці показує, що до регіонів із більш низькими показниками техногенного навантаження (низький і середній рівень) за період дослідження можна віднести Волинську, Закарпатську, Тернопільську і Хмельницьку області. До регіонів із максимальними показниками навантаження у більшості випадків відноситься Львівська область. Також Івано-Франківська область у переважній більшості характеризується підвищеним і високим рівнями техногенного впливу на довілля.

Отримані дані характеризують стан довілля у довоєнний період. На жаль, вторгнення російської федерації на територію України 24 лютого 2022 року й триваючі до сих пір військові дії суттєво впливають на стан довілля. Оцінки наслідків цього вторгнення можна буде

виконати лише після закінчення військових дій на території України, в тому числі з урахуванням характеристик стану довкілля у довоєнний період.

Таблиця 1

Комплексна оцінка рівнів техногенного навантаження на складові довкілля регіонів Західної України

Область	Повітряний басейн, <i>П<sub>атм</sub></i>	Водні об'єкти		Геологічне середовище (відходи), <i>МГС</i>
		<i>К</i>	<i>Мво</i>	
Волинська	низький	низький	середній	низький
Закарпатська	низький	середній	низький	середній
Івано-Франківська	високий	низький	підвищений	підвищений
Львівська	високий	середній	високий	високий
Рівненська	низький	низький	низький	підвищений
Тернопільська	середній	низький	низький	низький
Хмельницька	середній	низький	низький	низький
Чернівецька	низький	середній	підвищений	низький

### Список використаних інформаційних джерел

1. Західна Україна. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D1%85%D1%96%D0%B4%D0%BD%D0%B0\\_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B0](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D1%85%D1%96%D0%B4%D0%BD%D0%B0_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B0) (дата звернення: 29.07.2023).

2. Хлобистов С.В., Жарова Л.В., Кобзар О.М. Екологічна безпека стратегічного потенціалу динаміки розвитку продуктивних сил регіонів України. *Механізм регулювання економіки*. 2008. № 3. Т. 2. С. 206–214.

3. Теліженко О.М., Древаль О.Ю., Павленко О.О., Хлобистов С.В., Жарова Л.В. Визначення інтегральних показників якості атмосферного повітря на основі розрахунку приведеного навантаження на комплекс реципієнтів для окремих квадратів сітки ЕМЕР. *Вісник СумДУ. Серія: Економіка*. 2008. № 1. С. 58–67.

4. Сотніченко О.В., Чугай А.В. Районування Західних регіонів України за станом техногенного навантаження на повітряний басейн у довоєнний період. *Матеріали Всеукраїнської наукової конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених «Екологічна безпека та раціональне природокористування»*. Житомир : ДУ «Житомирська політехніка», 2023. С. 170.

5. Мапи міст Західної України. URL: [http://ukrmap.org.ua/Zapadnaja\\_ukr.htm](http://ukrmap.org.ua/Zapadnaja_ukr.htm) (дата звернення: 22.10.2023).

6. Чугай А.В., Сафранов Т.А. Методи оцінки техногенного впливу на довкілля. Навчальний посібник. Одеса: Букаєв Вадим Вікторович, 2021. 118 с.

# РОЗДІЛ II. ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ



**ПЕРСПЕКТИВИ ОТРИМАННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОЇ  
ПРОДУКЦІЇ З ФОСФОГІПСУ  
OPPORTUNITY TO OBTAIN AN ENVIRONMENTALLY  
FRIENDLY PRODUCT OF PHOSPHORGYPSUM**

<sup>1</sup>**Крот О.П.**, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики,

<sup>2</sup>**Пуховой О.В.**, аспірант

<sup>1</sup>**Krot O.P.**, Doctor of Technical Sciences, Docent, Professor of the Department of heat and gas supply, ventilation and heat energy

<sup>2</sup>**Pukhvoi O.V.**, graduate student

<sup>1</sup>Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Україна

<sup>2</sup>Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Україна

<sup>1</sup>National University «Yuri Kondr aspirant atyuk Poltava Polytechnic», Ukraine

<sup>2</sup>O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, of the Department of urban ecology engineering, Ukraine

**Анотація.** В Україні спостерігається накопичення значного обсягу промислових та побутових відходів, які акумулюються на спеціальних місцях – полігонах чи відвалах. Ці місця для вивантаження відходів стають джерелами некерованого забруднення навколишнього середовища, негативно впливаючи на неї протягом тривалого часу. Прикладом одного з найбільш масових видів твердих відходів, що утворюються у процесі виробництва мінеральних добрив, є фосфогіпс. Найбільш рентабельним використанням фосфогіпсу є перетворення його на напівводяний (будівельний) гіпс шляхом випалу в тонко дисперсному стані. Запропонована нова технологія є важливим і актуальним завданням як з енергетичної, так і з екологічної точок зору. Розробка більш ефективного способу утилізації тепла відхідних газів сміттєспалювальних печей дозволить більш раціонально використовувати теплову енергію, що виділяється при спалюванні відходів. Така установка має кілька важливих переваг, а саме: значно інтенсифікуються процеси тепло- і масообміну, що пов'язано зі збільшенням поверхні контакту фаз і коефіцієнтів тепло- і масообміну;



безперервний введення і виведення твердої фази; простота і компактність конструкції, можливість автоматизації процесу.

**Abstract.** In Ukraine, there is an accumulation of a significant volume of industrial and household waste, which is accumulated in special places - landfills or dumps. These waste disposal sites become sources of uncontrolled pollution of the environment, causing negative impacts on the environment over a long period of time. An example of one of the most widespread types of solid waste generated during the production of mineral fertilizers is phosphogypsum. The most cost-effective use of phosphogypsum is to convert it into semi-water (building) gypsum by firing it in a finely dispersed state.

The proposed new technology is an important and urgent task from both the energy and environmental points of view. The development of a more effective way of heat utilization of waste gases of waste incinerators will allow more rational use of thermal energy released during waste incineration. Such an installation has several important advantages, namely: heat and mass exchange processes are significantly intensified, which is associated with an increase in the contact surface of phases and coefficients of heat and mass exchange; continuous input and output of the solid phase; simplicity and compact design, the possibility of automating the process.

В Україні накопичилася велика кількість промислових та побутових відходів. Відходи складуються на полігонах чи відвалах. Місця поховання відходів є джерелом безконтрольного забруднення навколишнього середовища, які негативно впливають протягом тривалого часу. Одним із найбільш багатотонних твердих відходів виробництва мінеральних добрив є фосфогіпс. Фосфогіпс – побічний продукт, що утворюється при виробництві фосфорної кислоти з апатитових і фосфоритових руд:



В Україні є чотири різновиди фосфогіпсу: відвальний фосфогіпс з апатитового концентрату з терміном зберігання (10-30) років (рис.1), відвальний фосфогіпс з фосфоритів з терміном зберігання менше десяти років, сформований у найближчий час фосфогіпс із фосфоритів і відвальний фосфогіпс з урановмісних фосфоритів.

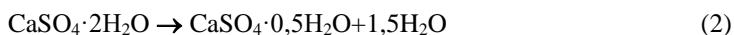
Фосфогіпс у своєму складі містить понад 90 % кристалів  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , але також містить домішки, такі як фосфати, фториди та сульфати, радіонукліди, які зустрічаються в природі, важкі метали та інші мікроелементи. Все це призводить до негативного впливу на довкілля при зберіганні фосфогіпсу у відвалах [1].

Біодоступність радіонуклідів оцінювали [2] у бразильських виробників фосфорної кислоти. Результати показують, що хоча всі ці елементи збагачені у зразках фосфогіпсу, вони не пов'язані з самим  $\text{CaSO}_4$  і тому не становлять загрози для навколишнього водного середовища. Тому радіоактивність фосфогіпсу слід вимірювати та враховувати у кожному конкретному випадку. При виробництві фосфорної кислоти з апатитового концентрату на 1 т корисного продукту одержують  $4 \div 6$  т відходів, що містять гіпс. Питання переробки гіпсовмісних відходів є особливо актуальним.



Рисунок 1 – Відвальний фосфогіпс

При цьому фосфогіпс може служити сировиною для виробництва будівельного гіпсу:



Існують різні напрями використання фосфогіпсу: використання фосфогіпсу при виробництві будівельних матеріалів [3, 4]; застосування у будівництві автомобільних доріг [5, 6]; утилізація як добрива у сільському господарстві [7].

Найбільш рентабельним використанням фосфогіпсу є перетворення його на напівводяний (будівельний) гіпс шляхом випалу в тонко дисперсному стані. Основна проблема переробки фосфогіпсу в напівводяний гіпс, на думку авторів, полягає не стільки в екологічній небезпеці домішок, що входять у фосфогіпс відвальний, скільки в його тонко дисперсності, наявності в ньому фізичної вологи, а також у відмінності кристалічної структури в порівнянні з використовуваним

двох водяним гіпсом. Вологість фосфогіпсу у відвалах висока і змінна, змінюється від 20 до 40% в залежності від пори року і кількості опадів, що випадають. Вологість природного гіпсового каменю зазвичай не перевищує 5-8%. Цим пояснюється менша енергоємність і більша стабільність процесу виробництва будівельного гіпсу саме з викопного природного двоугідрату.

Проблема зниження енергоємності виробництва має першорядне значення не тільки в плані енергетичної незалежності, але і з точки зору забезпечення конкурентоспроможності продукції як на зовнішньому, так і на внутрішньому ринках. Виробництво гіпсу вимагає вдосконалення технологічного процесу термічної обробки з метою зменшення затрат енергетичних ресурсів з урахуванням екологічних проблем. Однак енергоємність гіпсових в'язків на підприємствах вище аналогічних показників іноземних держав, тому необхідно шукати шляхи зниження витрат енергії на термічну обробку гіпсових в'язків. І в умовах постійно зростаючих цін на паливні ресурси вирішення проблем енергозбереження набуває все більшої актуальності. Теоретична енергетична потреба хімічних реакцій у процесі одержання гіпсових в'язучих, в середньому, в чотири рази менша в порівнянні з отриманням цементного клінкеру, але фактичні витрати теплової енергії в промислових умовах виявляються на одному рівні, а іноді і перевищують витрати на отримання цементного клінкеру. Розробка комплексу, що дозволяє переробляти вологий і високоадгезійний фосфогіпс, використовуючи тепло згоряння альтернативного палива.

При тепловій обробці фосфогіпсу розрізняють такі стадії процесу: підведення теплоти до поверхні частинок або шматків вихідного матеріалу, випаровування фізичної вологи, нагрівання матеріалу до температури дегідратації та хімічна реакція гіпсу дегідратації. Аналіз наукових досліджень [9] з утилізації фосфогіпсу для отримання з нього будівельного гіпсу та інших будівельних матеріалів та виробів розкриває проблему енергоємності цих технологій [10].

Для того щоб почався процес дегідратації гіпсу, що лежить в основі технології отримання всіх гіпсових в'язучих речовин, необхідно до вихідного гіпсу підвести теплоту і передати її. Випаровування фізичної вологи починається вже при незначному нагріванні, одночасно, починаючи з 60-70 °С, від молекул відщеплюється кристалізаційна вода. За цих температур процес протікає дуже повільно. Інтенсивна дегідратація починається при температурах матеріалу 97-105 °С. У стандартній заводській технології для одержання напівгідрату підтримується температура 120-170 °С. Подальше підвищення температури до 210 °С призводить до появи зневоднених напівгідратів.

Як сировина для виробництва гіпсових в'язучих в експериментальних дослідженнях використовувався відхід хімічної промисловості – фосфогіпс з відвалів заводу мінеральних добрив із фосфоритової сировини. Фосфогіпс є тонкодисперсний порошок (рис.2), частково скомкований, легко набирає вологу.



Рисунок 2 – Фосфогіпс для експериментів

У роботі вперше запропоновано спосіб утилізації теплоти, що утворюється в процесі термічного знешкодження відходів, в якому одержувана тепла енергія використовується для термічної обробки промислового відходу – фосфогіпсу.

Нами запропоновано використовувати тепло відхідних газів перед тканинним фільтром для термічної обробки гіпсу (фосфогіпсу). Перед подачею матеріалу в установку для обпалу теплоносії повинен мати певну строго визначену температуру. Теплова енергія, яка необхідна для обпалу, приходить з газами, що відходять з сушильної ділянки і продуктами згоряння палива, у даному випадку згоряння ТБВ. Для зниження температури продуктів згоряння палива необхідно їх змішати з повітрям. Цю частку повітря визначають при розв'язанні рівняння змішування газів.

Розглянемо основні стадії процесу теплової обробки фосфогіпсу, а саме: підведення теплоти до поверхні частинок або шматків початкового матеріалу, випаровування фізичної вологи, нагрівання матеріалу до температури дегідратації і хімічна реакція дегідратації гіпсу. Для того щоб почався процес дегідратації гіпсу, що лежить в основі технології отримання всіх гіпсових в'язучих речовин, необхідно до початкового гіпсу підвести теплоту і передати її. Випаровування фізичної вологи починається вже при незначному нагріванні. Одночасно, починаючи з 60-70 °С, від молекул відщеплюється кристалізаційна вода. При цих температурах процес протікає дуже повільно. Інтенсивна дегідратація починається при температурах матеріалу 97-105 °С, кінцевим продуктом в цьому випадку є напівгідрат сульфату кальцію. Подальше підвищення температури до 210 °С призводить до появи зневоднених напівгідратів. За даними різних авторів розчинний ангідрид утворюється при температурах 220- 450 °С. При підвищенні температури до 450 °С і більше розчинні ангідриди переходять у нерозчинні.

На рис. 3 представлена діаграма термічної обробки фосфогіпсу, на якій видно усі стадії обпалу фосфогіпсу. У технологічних лініях із використанням гіпсоварочних котлів сировинний матеріал піддається помелу та сушінню в шахтному млині-сушарці, потім завантажується в гіпсоварочний котел періодичної або безперервної дії. В котлі гіпс нагрівається до температури дегідратації і дегідратується. З котла матеріал направляється в бункер томління, де він витримується при сталій температурі від трьох до п'яти годин для поліпшення якості в'язучого.

Новим є те, що з метою підвищення ефективності використання теплоти згорання твердих побутових відходів потік газів установки підхоплює фосфогіпсову сировину і за час руху вгору по шахті матеріал сприймає тепло газів та піддається обпалу у зваженому стані. Потім газовий потік разом з гіпсовим в'язучим спрямовується в циклон, де відбувається відділення гіпсового в'язучого від газів. Гази безпосередньо контактують з матеріалом, якому передають тепло. Поверхня контакту має велику площу тому, що матеріал дрібнодисперсний і частинки матеріалу маленькі. Для реакції перетворення у такому дисперсному стані кілька секунд часу контакту з гарячим газом є достатнім.

Наведено приклад теплоутилізуючого комплексу продуктивністю 1000 кг/год (за ТПВ) (рис. 4).

Запропонована нова технологія, є важливим і актуальним завданням як з енергетичної, так і з екологічної точок зору.

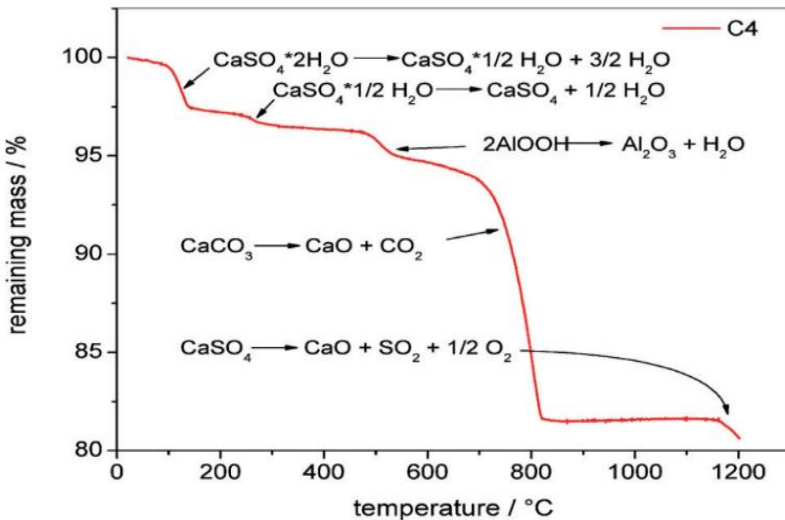


Рисунок 3 – Діаграма термічної обробки фосфогіпсу [8]

Розробка більш ефективного способу утилізації тепла відхідних газів сміттєспалювальних печей дозволить більш раціонально використовувати теплову енергію, що виділяється при спалюванні відходів. Така установка має кілька важливих переваг, а саме: значно інтенсифікуються процеси тепло- і масообміну, що пов'язано зі збільшенням поверхні контакту фаз і коефіцієнтів тепло- і масообміну; безперервний введення і виведення твердої фази; простота і компактність конструкції, можливість автоматизації процесу.

Закон збереження масистосується, в тому числі й систем термічного знешкодження відходів. Отже, сума всіх вхідних потоків дорівнює сумі всіх вихідних потоків, а саме:

– загальні масові потоки (кг/год);

– будь-який окремий елемент, що надходить до установки і залишає її, виражений або в одиницях маси (кг/год), або в кількості молей (моль/год). В горючих відходах основними елементами є: вуглець (С, 12), водень (Н, 1), кисень (О, 16), сірка (S, 32), азот (N, 14) та хлор (Cl, 35,5).

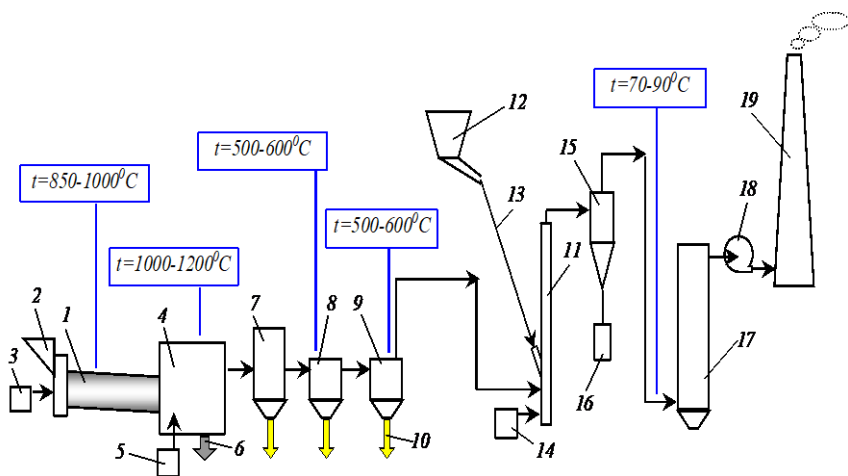


Рисунок 4 – Комплексна технологія переробки ТПВ та фосфогіпсу: 1 – обертається піч; 2 – завантажувальний пристрій; 3 – паливник печі паливна; 4 – камера допалювання; 5 – паливник паливної камери дожганія; 6 – шлак; 7 – теплоутилізатор; 8 – інерційно-вихровий коаксіальний пиловловлювач; 9 – каталітичний реактор; 10 – зола виносу; 11 – шахта випалу; 12 – бункер фосфогіпсу; 13 – трубопровід матеріалу; 14 – догрівач газу (при необхідності); 15 – циклон сушки; 16 – бункер готового продукту; 17 – рукавний фільтр; 18 – димосос; 19 – димова труба

Вхідні потоки зазвичай: ТПВ, додаткове паливо для розігріву відходів та первинний і вторинний повітря для горіння. Для підвищення ефективності очищення газів, що утворюються в процесі термічної обробки відходів, можна додавати лужний розчин або гашене вапно, вапняк, аміак для основних органічних забруднювачів (очищення від димових газів). Типовими вихідними потоками є: шлак, зола виносу, залишки газу нейтралізації і очищений газ, що скидається в атмосферне повітря.

Традиційне розташування підприємств виробництв будівельних матеріалів та підприємств збору, переробки та утилізації сміття на віддаленні від житла зумовлює можливість розглядання суміщення цих виробництв. Тепло, одержуване від спалювання сміття, може бути використано для термообробки при виробництві будівельних матеріалів.

На рис. 5 наведено можливу структуру потоків тепла та ресурсів для розрахунку теплового балансу обпалу фосфогіпсу з отриманням напівводного гіпсу. У цьому випадку гарячий газ з температурою до 1200<sup>0</sup>С, отриманий в установці для спалювання, віддає частину тепла у теплоутилізаторі, охолоджуючись до температури 500-600<sup>0</sup>С. Після цього до газу підмішується атмосферне повітря, газ охолоджується до 400<sup>0</sup>С.

Тепловий баланс сумісної технології термічного знешкодження побутових і промислових відходів.

Прихід тепла з газами, що приходять із камери змішувача топки:

$$q_1 = V_{газу} \cdot C_{г} \cdot t_{г}, \text{кДж/кг} \quad (1)$$

де  $V_{газу}$  – об'єм газу, м<sup>3</sup> на 1 кг фосфогіпсу;

$C_{г}; t_{г}$  – відповідно теплоємність і температура газів.

$$q_1 = V_{газу} \cdot 1,366 \cdot 400 = 546,4 \cdot V_{газу}. \quad (2)$$

Прихід тепла з сировиною (двохводяним гіпсом), який надходить на термообробку.

$$q_2 = (G_c \cdot C_c + G_W^{физ} \cdot C_{H_2O}) \cdot t_c, \text{кДж/кг} \quad (3)$$

де  $G_c$  – відносна витрата сухої сировини з урахуванням безповоротного уносу (на 1 кг продукту), кг/кг;

$C_c$  – питома теплоємність сухої сировини, кДж/(кг·<sup>0</sup>С);  $C_c = 1,09 \text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ .

$G_W^{физ}$  – відносний вихід фізично зв'язаної вологи (на 1 кг продукту), кг/кг;

$G_W^{физ} = 0,012 \text{кг}/\text{кг}$  (тобто відносна вологість початкового продукту 1,2%).

$C_{H_2O}$  – питома теплоємність води при нормальних умовах, кДж/(кг·<sup>0</sup>С).

$$C_{H_2O} = 4,18 \text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$G_c = a_{унос} \frac{M_{CaSO_4 \cdot 2H_2O}}{M_{CaSO_4 \cdot 1,5H_2O}} = 1,02 \frac{172,14}{145,14} = 1,21, \text{кг}/\text{кг}; M_{CaSO_4 \cdot 2H_2O}$$



$a_{унос}$  – коефіцієнт уносу пилу з газами, що відходять в частинках від маси сировини; якщо  $a_{унос} = 1,02$ , то 2% матеріалу несеться у вигляді пилу.

$t_c$  – температура сировини, °C; наприклад,  $t_c = 20^\circ\text{C}$ .  
 $q_2 = (1,21 \cdot 1,09 + 0,012 \cdot 4,18) \cdot 20 = 27,381$  кДж/кг.

$W_c$  – початкова вологість сировини, %.

Сумарний прихід тепла:

$$\sum q_{прих} = q_1 + q_2, \text{ кДж/кг.} \quad (4)$$

*Витрата тепла* (кДж/кг)

1) Витрати на випаровування вологи

$$Q_1 = G_W^{физ} (I_{II} + C_{II} \cdot t_{II}), \quad (5)$$

де  $I_{II}$ ,  $C_{II}$ ,  $t_{II}$  – відповідно ентальпія, теплоємність і температура пара.

$I_{II} = 2491,3$  кДж/кг пари – ентальпія пари;  $C_{II}$  – теплоємність водяних парів при температурі пароутворення  $1,9$  кДж/(кг·°C);  $t_{II}$  – температура пароутворення ( $110^\circ\text{C}$ ) (температура пароутворення умовно прийнята більш ніж  $100^\circ\text{C}$  умовно; завдяки цьому не буде необхідності вводити ще одну складову – на перегрів пара від  $100^\circ\text{C}$  до  $110^\circ\text{C}$  – саме з такою температурою відводяться відпрацьовані гази з установки).

$G_W^{физ}$  – відносний вихід фізично зв'язаної вологи (на 1 кг продукту), кг/кг;

$G_W^{физ} = 0,012$  (тобто відносна вологість надходить продукту 1,2%).

$$Q_1 = G_W^{физ} (I_{II} + C_{II} \cdot t_{II}) = 0,012 \cdot (2491,3 + 1,9 \cdot 110) = 32,4 \text{ кДж/кг.} \quad (6)$$

2) Витрати тепла з матеріалом, що відходить

$$Q_2 = 1 \cdot C_{гінсу} \cdot t_{гінсу} \text{ на виході}$$

(7)

“1” тому, що зміни вологості тут не відбувається.

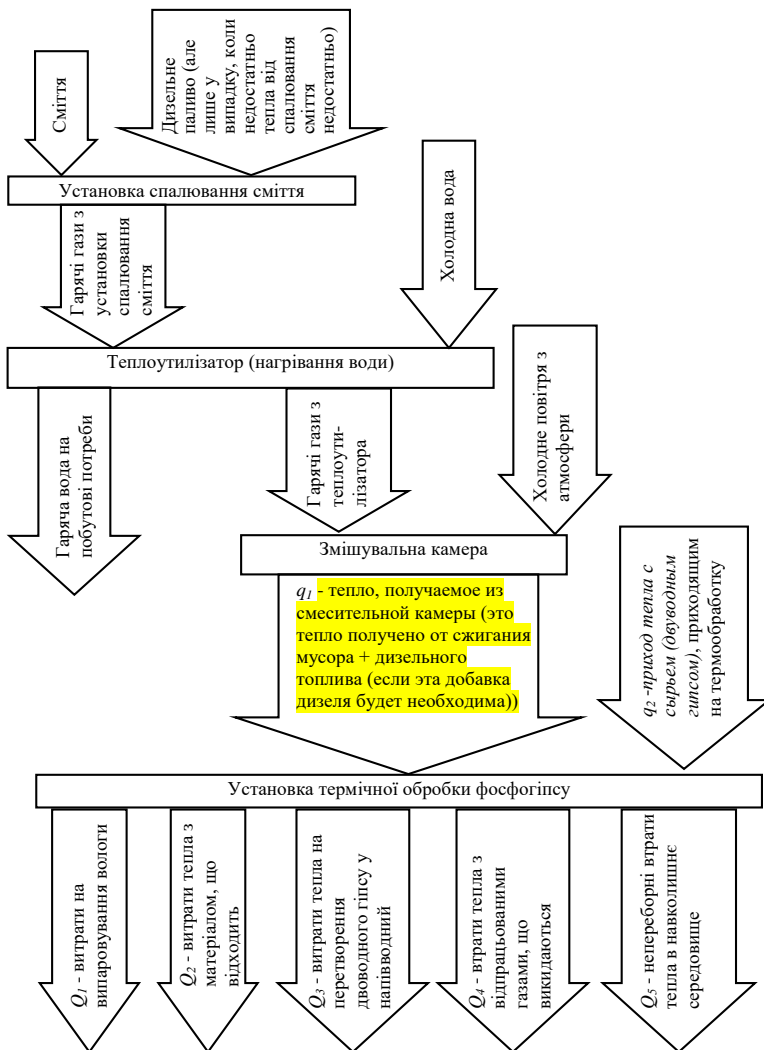


Рисунок 5 – Структура потоків для розрахунку теплового балансу об'єкту фосфогіпсу

$$C_{\text{гіпсу}} = 1,09 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}).$$

$$t_{\text{гіпсу на виході}} = 110^\circ\text{C}.$$

$$Q_2 = 1 \cdot 1,09 \cdot 110 = 119,9 \text{ кДж}/\text{кг}.$$

3) Витрати тепла на перетворення двоводного гіпсу у напівводний.

Тепловий ефект дегідратації гіпсу  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  до  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ :

$$Q_3 = \frac{\Delta H_{298}}{M_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}} \quad (8)$$

Визначаємо ентальпію реакції при 298 К:

- на моль речовини:

$$\Delta H_{298} = \Sigma H_{298}^{\circ} \text{ продуктів} - \Sigma H_{298}^{\circ} \text{ вихідних речовин} \quad (9)$$

Значення теплоти утворення приведені в табл. 1.

Дегідратація двоводяного гіпсу до напівводяного гіпсу проходить за реакцією  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} + 1,5\text{H}_2\text{O}$

Розраховуємо ентальпію реакції на моль:

$$\Delta H_{298} = 376 + 1,5 \cdot 57,8 - 483 = -20,3 \text{ ккал/моль (або } -85 \text{ кДж/моль)}.$$

Таблиця 1

Теплота утворення з елементів

Формула сполуки	Стан	Теплота утворення з елементів - $\Delta H_{298}^{\circ}$ ккал/моль (кДж/моль)
$\text{H}_2\text{O}$	газ	57,8 ккал/моль (242 кДж/моль)
$\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	тверд.	376 ккал/моль (1573 кДж/моль)
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	тверд.	483 ккал/моль (2022 кДж/моль)
$\text{CaSO}_4 - \beta$ - розчинний ангідрит	тверд.	334 ккал/моль (1397 кДж/моль)

**Молекулярна маса:**

$$M_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 40,08 + 32,064 + 4 \cdot 15,999 + 2(2 \cdot 1 + 15,999) = 172,14$$

а.е.м.

Відповідно, молярна маса 172,14 г/моль.

172,14 = 145,14 + 27 (баланс реакції за молекулярними масами).

$$Q_3 = \frac{20,3 \frac{\text{ккал}}{\text{моль}}}{172,14 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 0,118 \frac{\text{ккал}}{\text{г}} \text{ (або 118 ккал/кг (494 кДж/кг))}.$$

Вихід хімічно зв'язаної вологи:

$$G_W^{xim} = \frac{M_{1,5H_2O}}{M_{CaSO_4 \cdot 1,5H_2O}}, \text{ кг/кг.}$$

**Молекулярна маса речовин:**

$M_{CaSO_4 \cdot 1,5H_2O} = 145,14$  а.е.м. (Відповідно, молярна маса 145,14 г/моль).

$M_{1,5H_2O} = 27$  а.е.м. (Відповідно, молярна маса 27 г/моль).

$$G_W^{xim} = \frac{27}{145,14} = 0,186, \text{ кг/кг (це є витрати маси при}$$

прокалюванні).

Загальний вихід водяних парів:

- за масою:

$$G_{\text{водяних парів}} = G_W^{fiz} + G_W^{xim}, \text{ кг/кг.} \quad (10)$$

$$G_{\text{водяних парів}} = 0,012 + 0,186 = 0,198, \text{ кг/кг.}$$

- за об'ємом:

$$V_{\text{водяних парів}} = \frac{G_{\text{водяних парів}}}{\rho_{\text{водяних парів}}}, \text{ м}^3/\text{кг.} \quad (11)$$

$$\rho_{\text{водяних парів}} = 0,825, \text{ кг/м}^3 \text{ (при температурі } 110^\circ\text{C)}.$$

$$V_{\text{водяних парів}} = \frac{0,198}{0,825} = 0,24, \text{ м}^3/\text{кг.}$$

4) Втрати тепла з відпрацьованими газами, що викидаються.

$$Q_4 = V_{\text{газу}} \cdot C_{\text{відх газів}} \cdot t_{\text{відх газів}} + V_{\text{водяних парів}} \cdot C_{\Pi} \cdot t_{\Pi}, \quad (12)$$

де  $C_{\text{відх газів}}$  – приблизна питома теплоємність газів, що

відходять, кДж/(кг·°C);  $C_{\text{відх газів}} = 1,24$  кДж/(кг·°C).

$$t_{II} = 110^{\circ}\text{C}.$$

$C_{II}$  – теплоємність водяних парів при температурі пароутворення  $1,9 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;

$$Q_4 = V_{газу} \cdot 1,24 \cdot 110 + 0,24 \cdot 1,9 \cdot 110 = V_{газу} \cdot 136,4 + 50,16 \text{ кДж}/\text{кг}.$$

5) Нереалізовані технологією втрати тепла в навколишнє середовище (через теплопровідності стінок установки, наприклад):

$$Q_5 = (0,05 \div 0,1) \cdot q_1, \text{ кДж}/\text{кг}.$$

$$Q_5 = 0,1 \cdot 546,4 \cdot V_{газу} = 54,64 \cdot V_{газу}.$$

Загальна витрата тепла має вигляд:

$$\sum Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5, \text{ кДж}/\text{кг}. \quad (13)$$

Розраховуємо для комплексу термічного знешкодження відходів:

$$\begin{aligned} \sum Q &= 32,4 + 119,9 + 494 + V_{газу} \cdot 136,4 + 50,16 + 54,64 \cdot V_{газу} = \\ &= 696,46 + 191,04 \cdot V_{газу} \end{aligned}$$

$$\sum q_{прих} = q_1 + q_2 = 546,4 \cdot V_{газу} + 27,381$$

$$\sum q_{прих} = \sum Q$$

$$546,4 \cdot V_{газу} + 27,381 = 696,46 + 191,04 \cdot V_{газу}$$

$$355,36 \cdot V_{газу} = 669,079$$

$$V_{газу} = 1,883 \frac{\text{М}^3}{\text{кг}} - \text{питома витрата газу з температурою}$$

$400^{\circ}\text{C}$ , що приходить з камери змішування.

Таким чином, питомі витрати тепла на 1 кг одержуваного гіпсу:

$$q_1 = V_{газу} \cdot C_e \cdot t_e, \text{ кДж}/\text{кг}$$

$$q_1 = 546,4 \cdot V_{газу} = 546,4 \cdot 1,883 = 1029 \text{ кДж}/\text{кг}.$$

### Список використаних інформаційних джерел

1. Tayibi H., Choura M., Lo'pez F.A., Alguacil F.J. and Lo'pez-Delgado A., «Environmental impact and management of phosphogypsum», *Journal of Environmental Management*, Vol. 90, (2009), pp. 2377-2386, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.03.007>.
2. Santos A.J.G., Mazzilli B.P, Fávoro D.I.T., Silva P.S.C. «Partition-ing of radionuclides and trace elements in phosphogypsum and its source materials based on sequential extraction methods», *Journal of environmental radioactivity*, Vol.87, Is.1, (2006), pp.52–61, <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2005.10.008>.
3. Gorakh S. Bandgar, Madhav B. Kumthekar, Amarsinh B. Landage, «A Review of Effective Utilization of Waste Phosphogypsum as a Building Material», *International Journal of Engineering Research*, Vol.5, Is.1, (2016), pp:277-280, <http://dx.doi.org/10.17950/ijer/v5is1/065>.
4. Mohammad A. Aliedeh and Nabeel A. Jarrah, «Application of full factorial design to optimize phosphogypsum beneficiation process (P2O5 Reduction) by using sulfuric and nitric acid solu-tions», *Sixth Jordanian International Chemical Engineering Con-ference*, Amman, Jordan, (2012), pp:1-10, available online: <http://www.jeaconf.org/>.
5. Paige-Green, P., Gerber, S. «An Evaluation of the Use of By-product Phosphogypsum as a Pavement Material for Roads», *South African Transport Conference «Action In Transport for the New Millenium»*, (2000), Conference papers.
6. Stanisław Folek, Barbara Walawska, Bożena Wilczek and Jolanta Miśkiewicz, «Use of phosphogypsum in road construction», *Polish Journal of Chemical Technology*, Vol.13, Is.2, (2011), pp:18–22, <https://doi.org/10.2478/v10026-011-0018-5>.
7. C. Papastefanou, S. Stoulos, A. Ioannidou, M. Manolopoulou, «The application of phosphogypsum in agriculture and the radiological impact», *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol.89, Is.2, (2006), pp:188–198, <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2006.05.005>.
8. Frankovic M. N., Ukrainczyk N., Leakovic S., Juraj Sipusic. *Waste Phosphogypsum – Toward Sustainable Reuse in Calcium Sulfoaluminate Cement Based Building Materials*. *Chemical and biochemical engineering quarterly*. 2013. Vol.27. №.2. P. 219–226.

**УНІКАЛЬНІСТЬ КРЕМЕНЧУЦЬКОГО ВОДОСХОВИЩА ТА  
ЙОГО ЗНАЧЕННЯ У ВОДОГОСПОДАРСЬКОМУ КОМПЛЕКСІ  
УКРАЇНИ**  
**THE UNIQUENESS OF THE KREMENCHUK RESERVOIR AND  
ITS IMPORTANCE IN THE WATER MANAGEMENT COMPLEX  
OF UKRAINE**

**Степова О.В.**, доктор технічних наук, професор,  
**Шара С.Ю.**, аспірантка  
**Stepova O.V.**, Doctor of Technical Sciences, Proff.  
**Shara S.Y.**, Student of Applied

Національний університет «Полтавська політехніка  
імені Юрія Кондратюка», Україна  
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine

**Анотація.** У роботі визначена унікальність річки Дніпро в межах України визначена зарегульованістю стоку та високою стійкістю до природних і штучних забруднювачів вод.

Підкреслена особлива значимість і необхідність збереження каскаду водосховищ з можливістю водоакумуляції 40 м<sup>3</sup> прісної води, що дає можливість споживати більше 10 км<sup>3</sup> в Україні.

Досліджено, що особливу екологічну і водорегулівну стійкість формує Кременчуцьке водосховище об'ємом 13,5 км<sup>3</sup>, його унікальність для водогосподарського комплексу визначає необхідність, його ревіталізації і особливих технологій охорони вод, та реконструкції озерної частини, ревіталізації приток, та проведення особливих водоохоронних заходів упродовж 50 років.

Підкреслено необхідність зміни еколого-моніторингової парадигми та інституціональної правової парадигми охорони вод Дніпра і раціонального використання унікально-важливого Кременчуцького водосховища.

**Ключові слова:** Кременчуцьке водосховище, екологія, захист та охорона вод, шкідливі впливи, ревіталізація.

**Abstracts.** The paper defines the uniqueness of the Dnipro River within Ukraine as regulated flow and high resistance to natural and artificial water pollutants.

The special significance and necessity of preserving the cascade of reservoirs with a water storage capacity of 40 m<sup>3</sup> of fresh water, which makes

it possible to consume more than 10 km<sup>3</sup> in Ukraine, is emphasized.

It has been investigated that the Kremenchuk reservoir with a volume of 13.5 km<sup>3</sup> has a special ecological and water regulation stability, its uniqueness for the water management complex determines the need for its revitalization and special water protection technologies, as well as the reconstruction of the lake part, the revitalization of tributaries, and special water protection measures for 50 years.

The author emphasizes the need to change the environmental and monitoring paradigm and the institutional legal paradigm for the protection of the Dnipro's waters and the rational use of the uniquely important Kremenchuk reservoir.

**Key words:** Kremenchuk Reservoir, ecology, water protection and conservation, harmful effects, revitalization.

**Вступ.** Річки України, це як «кровоносні судини» людини, які між «скороченнями серця» повеннями і меженими забезпечують життя екосистеми.

Річка Дніпро на протязі 871 км тече в 6 штучних водоймах, – водосховищах, які побудовані в радянські часи і акумулюють 40 км<sup>3</sup> прісної води і є унікальними водними об'єктами. Особливо унікальне Кременчуцьке водосховище, що акумулює 13,5 км<sup>3</sup> води і є по суті найціннішим у каскаді, забезпечуючи весь водорегульвний цикл Дніпровського каскаду.

В умовах війни і військової агресії водна безпека виходить на перший план серед інших чинників національної безпеки, що і зумовлює необхідність наукового вивчення можливостей оздоровлення і ревіталізації Кременчуцького водосховища, враховуючи світовий та європейський досвід ревіталізації озер і водосховищ.

Мета – проаналізувати значимість і унікальність Кременчуцького водосховища, необхідність збереження та ревіталізації.

Головна унікальність Дніпра на теренах України – це штучна зарегульованість стоку з будівництвом Київського, Канівського, Кременчуцького, Кам'янського, Дніпровського та Каховського водосховищ, що порушили екологічну рівновагу Дніпра, змінили умови водообміну і сповільнили течію. Але указане дозволило акумулювати більше 40 км<sup>3</sup> прісної води з корисним об'ємом 18,7 км<sup>3</sup> та забезпечило економіко-соціальний, демографічний і індустріальний розвиток України, створюючи умови підвищення продовольчої безпеки, а головне підвищили екологічну стійкість Дніпра та дозволяють витримати антропогенне навантаження останніх десятиліть, не перетворивши Дніпро у «стічну канаву» [1].



У історичному природньому сенсі для Дніпра і Кременчуцького водосховища найбільш характерною специфічною ознакою є підвищений вміст у воді заліза і марганцю природнього походження, та підвищена природня концентрація у воді органічних сполук (гумусових), тобто маємо унікальне природнє забруднення води. Серед екологів України впродовж десятиліть, проходить наукова дискусія, щодо долі водосховищ, ми бачимо наслідки екологічних і соціально-екологічних негараздів.

Ми не можемо ігнорувати факт, що ліквідація водосховищ прогнозно призведе до зменшення річного використання вод Дніпра народно-господарським комплексом з 10,4 км<sup>3</sup> до 4,7 км<sup>3</sup>, або майже у 2,3 рази [2].

Частково ми залишимо без води м. Київ, адже рівень водозаборів із Десни і Дніпра, що працюють відповідно на відмітці 89,3 м до Балтійського нуля, розміщується на 10 метрів вище природного водотоку річки.

Зупиняються водозабори ТЕЦ, міст Світловодська і Черкас. Залишаються без води канали, що постачають воду містам і підприємствам на схід, південь України та у Крим, зупинимо більше 40 водозаборів потужністю 150 м<sup>3</sup>/с і більше 35 сільськогосподарських водозаборів потужністю 53 м<sup>3</sup>/с.

У світі багато-численні приклади ревіталізації озер і водосховищ, дозволяють мати позитивний прогноз існування водосховищ Дніпра.

Наприклад, поетапне скорочення забруднення озера Ері тільки фосфатами: 1972 р. – 31 тис. т., 1980 р. – 16 тис. т., 2012 р. – 6 тис. т. кардинально поліпшили екологічний стан й повернули його до життя.

Екологічний ефект від спуску водосховищ Дніпра буде відсутній, а прогнозовані сумарні збитки складуть сотні мільярдів гривнів і не тільки економіці України, а і природі.

Ліквідація водосховищ рівнозначна «вимиканню» в людини кровоносної системи. Водосховища Дніпра дозволяють водній системі витримувати величезне антропогенне навантаження, що формується в результаті життєдіяльності міст, промисловості і сільського господарства.

Низька якість очистки стічних вод визначає головних забруднювачів річки Дніпро: ПАТ АК «Київводоканал», ПАТ «Дніпровський Меткомбінат», ПАТ «Запоріжсталь», КП «Дніпроводоканал», ТОВ ВКФ «Найс», МКП «Миколаїв водоканал», що формують, навіть у водосховищах Дніпра, канцерогенне середовище.

Повернення Дніпра в річище збільшить рівень органічного забруднення біля м. Київ в 3-4 рази, а біля міста Дніпро майже в десять

разів і перетворить річку в стічну канаву із рівнем забруднення води до 40 міліграм на 1 літр.

Висока розораність басейну річки Дніпро в лісостеповій частині сягає 70%, (в басейнах річок Полісся – 30%), середня розораність басейну складає – 58%, що не дозволяє забезпечити саморегульвні функції самоочистки стічних вод басейну річки Дніпро, що також суттєво збільшує тиск на екосистему водосховищ. Забудова берегів погіршує водообмін підземних і наземних водотоків, що негативно впливає на температурний режим і якість вод.

Якщо Канівське і Кам'янське водосховища носять характер проміжних, забезпечують судноплавство і загальну підтримку екосистеми, то Кременчуцьке виступає головним водорегулятором і формує загальний водоакumuлюючий баланс прісної води і для каналів, і для водоспоживання, і для наповнення Каховського, Дніпровського і Кам'янського водосховища в серпні-вересні.

Розміщення Кременчуцького водосховища на річці Дніпро в місці, де заплава Дніпра має ширину до 28 км, визначила розміщення озерної частини на рівнинній території, площею 225 тис. га, (довжиною 149 км) акумуляцією об'єму води 13,5 км<sup>3</sup> [3].

Морфологічні, морфометричні та гідрологічні характеристики Кременчуцького водосховища відзначають особливі процеси розвитку водосховища, поділ на частини та умови існування.

Верхня і середня частини водосховища розташовані в межах Дніпровського заплавно-борового району північно-лісостепової області, Сулинська затока і нижня частина водосховища відносяться до Оболонсько-Градизького району південно-лісостепової області.

Лівий берег Дніпра в середній частині водосховища вищий за правий, що і визначає унікально-високі береги, які сягають 30-40 м і з лівого, і з правого берега.

Економія на власне водосховищах, при будівництві, привела до великої абразії берегів і переробки до 300 метрів вглиб лівобережжя на багатьох ділянках. Береги урвисті і ерозійні процеси під кручами, де не проведено берегоукріплення, прогресують постійно з 1958 року по 1-3 метри в рік.

Береги в більшості піщані, і при береговій лінії довжиною 800 км водосховище за 60 років поглинуло тисячі гектарів земель в т.ч. 800 орних, і в свою чергу обміліло, в багатьох ділянках дна на 1,5-2 метри.

Площі мілин щорічно зростають і за рахунок наносів річками, що впадають у водосховище та відумерлими рештками рослинних організмів. Найбільші наноси, в паводок, формує річка Сула, яка не зарегульована, і формує в середній частині водосховища своєрідну

дельту.

Через велику площу мілководь на водосховищі маємо великі перепади середніх температур води у липні і лютому.

Водосховище замерзає взимку і товщина льоду сягає до 80 см. При значному зимовому спрацюванні рівень води понижується на 4-5 метри, що дає негативні наслідки для рибицтва, в поєднанні з замуленням зимувальних ям.

Затоплення долини середнього Дніпра змінило географію заплави були затоплені великі території і численні історично відомі острови, а частина були розмиті в результаті відсутності берегоукріплення.

Більшість нині існуючих островів знаходиться у Сулинській затоці та у верхній частині водосховища.

Із-за постійного виносу частинок порід річкою Сула, особливо весною, в середині озерної частини замулення водосховища, проходить більшими темпами ніж на інших ділянках та водосховищах каскаду річки Дніпро.

Кременчуцьке водосховище має розвинуту водну рослинність. На мілководдях поширені очерет, рогіз вузьколистий, біле латаття, кушир темно-зелений та інші. Влітку масовий розвиток фітопланктону, рослинних організмів, синьо-зелених водоростей у товщі водної маси (одноклітинні водорості), особливо концентрується на поверхні, формуючи масу товщиною 20-30 см [7].

Розбалансована евтрофікація водосховища призводить до вибухового розвитку одноклітинних водоростей («цвітіння води»), дефіциту кисню, загибелі рослинності, риб та тварин [8].

Фітопланктон асимілює сонячну радіацію в процесі фотосинтезу та збагачує воду біогенними елементами (евтрофікація), але одночасно знищує продуктивність водосховища.

Евтрофікація методологічно вказує на «старіння водойм», де процеси природної ентропії викликають ліквідацію природного об'єкту і його трансформацію із водойми в болото з озерами.

Відносно швидке старіння Кременчуцького водосховища викликано також забрудненням стічними водами та внесенням добрив і біохімікатів на полях, тепловим забрудненням, а не тільки замуленням.

Кременчуцьке море, молоде за віком (60 років), і належить до мезотрофної водойми (середньо-евтрофікованої).

На водосховищі створено такі об'єкти природно-заповідного фонду: Канівський природний заповідник, національний природний парк «Ниеньосульський» та більше десяти заказників, але давно назріла особлива цілісна екологічна охорона озерних частин водосховищ і

басейнової частини, головних приток Дніпра [9].

У водосховище впадають багато річок, так з лівого берега: Горіхівка, Сулій, Золотоношка, Кавнай, Ковалівка, Баталей, Сула, Крива Руда.

При наповненні водосховища затоплено 212 сіл і місто Новогеоргіївськ, так у селі Вереміївка у трьох сільських радах, Городська, Вереміївська і Темченковська проживало до 18 тисяч жителів.

Кременчуцьке водосховище, розміщуючись у центрі України, займає стратегічну ключову позицію екологічного стабілізатора і водоакумулюючого об'єкту для послідуючого перерозподілу прісної питної води на сході і на півдні України, зниження концентрації шкідливих речовин у водах Дніпра та саморегулювання і самоочищення водного середовища, та підтримку екологічного балансу України.

Унікальність Кременчуцького водосховища закладена в його назві – море, велике водосховище, що акумулює 13,5 км<sup>3</sup> прісних вод.

Як штучний об'єкт Кременчуцьке водосховище маючи високу буферність не спроможне повністю самоочищатися, саморегулюватися і самовідновлюватися, і прямо деградує, а процеси повернення штучного об'єкту в стан природнього хаосу поступово перетворює водосховище в болотно-озерну місцевість. Зменшуючи антропогенне навантаження на водосховище, держава і суспільні інститути повинні переглянути методи і норми очистки забруднених вод, скоротити і ліквідувати джерела забруднення і забезпечити ревіталізацію та повернення річок, водних джерел, потічків і ставків, та водосховищ у первинний стан та у стан, придатний до раціонального і довгострокового використання.

В Україні об'єм стічних вод оцінюється в 20 км<sup>3</sup>, в тім числі 6 км<sup>3</sup> – неочищених і недостатньо очищених. Також забруднення відбувається в результаті попадання у воду різних шкідливих домішок неорганічних (солі, кислоти, луги) і органічних (пестициди, органічні сполуки, нафтопродукти) [10].

Отруйні хімічні сполуки Арсену, Меркурію, Купруму, Плюмбуму, Флуору споживаються фітопланктоном, і в кожному послідуючому харчовому ланцюжку їх концентрація зростає і стає згубною для живих організмів (кумулятивний ефект) [5].

Хімічні сполуки і метали в ході окислення у воді поглинають кисень. Хімічне замулення вражає живі організми на дні водойм, що забезпечують повне або часткове самоочищення.

В Україні, де є недостатньо велика кількість заборонених речовин в промисловості, побуті та в сільському господарстві. В

результаті виявлено більше 1000 сполук – забруднювачів, тільки у Кременчуцькому водосховищі [6].

Адже починаючи від безамбарних методів проведення бурових робіт у нафто-добувній і газодобувній промисловості, технології ставків-випарників у нафтопереробній промисловості формують стійкі площі забруднень, як поверхневих, так і підгрунтових вод, що поступово мігрують у водосховище.

Раціональне використання води для зрошення новітніми методами поливу, та повернення до богарного, і перехід на органічне та комбіноване розумне землеробство дозволить знижити рівень тиску з боку сільськогосподарських товаровиробників.

Імплементуючи Європейські обмеження, та відмова в Україні від використання особливо токсичних хімічних речовин і органічних сполук, що використовуються в боротьбі із шкідниками, використання фосфатів у побутовій хімії, інших забруднювачів, та очистка стічних вод гідромеханічними, хімічними, фізико-хімічними і біологічними способами суттєво знизить хімічне забруднення вод Дніпра.

Хімічне забруднення води в водосховищах сприяє фізичному, коли вода втрачає прозорість, має неприємний запах, радіоактивні речовини і високі температури, високу мінералізацію і зольність дозволить знизити рівень тиску з боку міських водоканалів.

Водосховища Дніпра і притоки піддаються тепловому забрудненню, коли стічні води попадають в водойми, маючи підвищену температуру. Указане тепло змінює термічний і біохімічний та біологічний режим водойми і формує явища не характерні для природних водойм. Найбільшими тепловими забруднювачами є АЕС, що допускають скиди вод температурою до +45°C.

Унікальна роль Кременчуцького водосховища вимагає і адекватного відношення суспільства і держави до Кременчуцького штучно створеного моря в частині підтримки, ревіталізації, недопущення забруднення та реконструкції.

Кременчуцьке водосховище є ядром водорегулювання на річці Дніпро, без існування водосховища існування Каховського, Дніпровського, Кам'янського та інших водосховищ втрачає сенс. Каховське водосховище має об'єм водоакумуляції 18,3 км<sup>3</sup>, а Кременчуцьке – 13,5 км<sup>3</sup>, Каховське, розміщуючись біля гирла Дніпра, акумулює воду для цілей водопостачання Півдня, Криму і степів України, і за умови вирівнювання й водорегулювання стоку Кременчуцьким водосховищем. Високе, набагато вище прогнозованого випаровування води на Каховському і Дніпровському водосховищах, до будівництва Кременчуцького гідровузла, приводила до пониження

рівня води біля, а Каховське море міліло і не забезпечувало водою в серпні-вересні достатні потреби народного господарства Криму і півдня України.

Реконструкція Кременчуцького водосховища не повинна допустити зменшення об'єму водоаккумуляції, але повинно суттєво сприяти поліпшенню якості води і екологічних характеристик водойми.

Реконструкція повинна проводитись для цілей ревіталізації та підтримки екосистеми в режимі сталого розвитку.

Унікальність Кременчуцького водосховища визначена значною кількістю факторів, що корегують із його якісними характеристиками і станом. Тому моделювання, ревіталізації на прикладі ставка чи малого водосховища, як прогнозне, не повністю актуальне.

Потрібна набагато складніша прогнозна модель і більш різнобічні інтегровані показники екологічного стану водойми ніж ті, які є діючим інструментом у водному господарстві України.

**Висновки і пропозиції.** Природня унікальність і значимість річки Дніпро для України і східної Європи, з будівництвом 6 водосховищ і перетворення річища в межах України в шість штучних озер із водоаккумуляцією 40 км<sup>3</sup> прісної води, переросла в стратегічно унікальний ресурс, що забезпечує водно-екологічну, продовольчу і військово-економічну безпеку України.

Втрата гідроспруд Дніпра і водосховищ призведе до еколого-економічного колапсу України, і на прикладі Каховського гідровузла стане загрозою національній безпеці країни.

В умовах війни необхідна зміна еколого-моніторингової парадигми та інституціональної правової парадигми охорони вод Дніпра й раціонального використання водосховищ, особливо найбільшого унікального водосховища, – Кременчуцького, де акумулюється 13,5 км<sup>3</sup> прісної води.

Водорегулююча функція Кременчуцького гідровузла найбільш значима для повноцінного споживання води в Україні і потребує ревіталізації шляхом реконструкції, оновлення, зміни інституціональних, технологічних, гідротехнічних, експлуатаційних та інших механізмів на основі глибоких наукових досліджень, прогнозів і вимагає правових програмних рішень і реалізації конкретних технічних проєктів.

### **Список використаних інформаційних джерел**

1. Заєць Р.А., Бержин О.А., Швиденко А.В., Черненко О.М. Екологічна безпека водних об'єктів Черкаської області складова національної безпеки // Науково-технічний журнал. №2 (14). 2016 рік.

2. Хільчевський В.К. Сучасна характеристика поверхневих водних об'єктів України: водотоки та водойми // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2021. №1 (59) С. 17–27.
3. Водний фонд України: Штучні водойми – водосховища і ставки: Довідник ; За ред. В.К. Хільчевського, В.В. Гребеня. К. : Інтерпреса, 2014. 164 с.
4. Гончарук В. Національна екологічна безпека та екологічна паспортизація водних об'єктів / В. Гончарук, Г. Білявський, М. Ковальов, Г. Рубцов // Вісн. НАН України 2009. №5. С. 22–29.
5. Томільцева А.І., Зуб Л.М. Вплив водосховищ малих ГЕС на гідрологічні особливості річок лісостепової зони України // Гідроенергетика України, 1-2/2017, ISSN 1812-9277.
6. Архипова М.М. Багаторічні тенденції і закономірності часових змін якісних параметрів природньо-технологічної безпеки гідроекосистеми // Науково-технічний журнал. №1 (11). 2015 рік.
7. Хільчевський В.К. Глобальні проблеми водних ресурсів у XXI ст. Водні ресурси України // Лекція. 21 листопада 2021 р.
8. Шостак О.О. Евтрофікація водойм, як глобальна екологічна проблема / Студентський вісник НУВГП. 1(17). С. 49–52.
9. Струк Олена. Зелений Дніпро / /Режим доступу: <https://texty.org.ua>
10. Гриб О.М. Антропогенний вплив на водні екосистеми : конспект лекцій. Одеса, ОДЕКУ, 2018. 194 с.

# РОЗДІЛ ІІІ. УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ





**ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ ТВЕРДИХ  
ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ  
STUDY OF THE COMPONENT COMPOSITION OF MUNICIPAL  
SOLID WASTE**

**Ілляш О.Е.**, кандидат технічних наук, доцент, **Чепурко Ю.В.**, асистент, **Серга Т.М.**, асистент, **Бредун В.І.**, кандидат технічних наук, доцент, **Смоляр Н.О.**, кандидат біологічних наук, доцент

**Ilyash O.E.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, **Chepurko I.V.**, assistant, **Serha T.M.**, assistant, **Bredun V.I.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, **Smoliar N.O.**, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Національний університет «Полтавська політехніка  
імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна  
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»,  
Poltava, Ukraine

**Анотація.** Дане дослідження виконане на відповідність положенням Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року, одним із пріоритетів якої є створення ефективних систем управління побутовими відходами на регіональному та місцевих рівнях, що передбачає необхідність збору даних й визначення кількісного та якісного (компонентного) складу побутових відходів. Відповідно дане дослідження орієнтовне на проведення аналізу даних щодо складу твердих побутових відходів (далі – ТПВ) у населених пунктах України й Полтавської області різних типів для здійснення на другому етапі досліджень удосконалення методологічного підходу щодо визначення морфології ТПВ. Головним результатом першого етапу даного дослідження є проведена систематизація даних щодо компонентного (морфологічного) складу ТПВі з виділенням прогнозованих причин змін вмісту компонентів побутових відходів в їх загальній масі. Дані результати є основою для вивчення й застосування європейського підходу у даній сфері й проведення подальших натурних досліджень складу ТПВ із застосуванням українського та австрійського методологічного підходу.

**Abstract.** This study was carried out in accordance with the provisions of the National Waste Management Strategy in Ukraine until

2030, one of the priorities of which is the creation of effective household waste management systems at the regional and local levels, which implies the need to collect data and determine the quantitative and qualitative (component) composition of household waste. Accordingly, this study is focused on analysing data on the composition of municipal solid waste (MSW) in different types of Ukrainian settlements in order to improve the methodological approach to determining the morphology of MSW in the second stage of research. The main result of the first stage of this study is the systematisation of data on the component (morphological) composition of MSW for different types of Ukrainian settlements, with the identification of the predicted causes of changes in the content of household waste components in their total mass. These results are the basis for studying and applying the European approach in this area and conducting further field studies of the composition of MSW using the Ukrainian and Austrian methodological approach.

**Вступ.** Воєнні реалії, в яких знаходиться Україна, сьогодні вимагають першочергового вирішення питань національної безпеки, складовими якої є енергетична та екологічна безпека. В цьому контексті питання раціонального використання відходів як потенційного ресурсу набувають все більшої актуальності. Національною стратегією управління відходами в Україні до 2030 року [1] акцентовано, що обсяги утворення побутових відходів та динаміка їх утворення мають стабільне збільшення, а враховуючи, що переважною технологією в Україні залишається розміщення побутових відходів на сміттєзвалищах, більша частина з яких є несанкціонованими, то надважливого значення набувають процеси відновлення відходів із метою використання їх ресурсного потенціалу та зменшення їх негативного впливу на навколишнє середовище.

Одним із факторів, що визначає ефективність системи управління побутовими відходами, є наявність даних щодо їх якісного (компонентного) складу, які дозволяють обрати оптимальні рішення щодо необхідної інфраструктури для системи збирання, перевезення та подальшого відновлення побутових відходів [1, 2]. Відповідно кінцевою метою даного дослідження є удосконалення існуючого в Україні методологічного підходу щодо визначення складу ТПВ із використанням європейського і австрійського досвіду в даній сфері.

Метою даного етапу досліджень є збір, систематизація даних щодо компонентного складу твердих побутових відходів та аналіз причин коливань вмісту у загальній масі окремих компонентів відходів.

Головними завдання даного етапу досліджень є такі:

- систематизація даних щодо складу ТПВ для населених пунктів України різного типу;
- систематизація наявних даних щодо морфологічного складу твердих побутових відходів для окремих населених пунктів Полтавської області;
- порівняльний аналіз зібраних даних щодо компонентного складу твердих побутових відходів;
- встановлення прогнозованих причин коливань вмісту окремих компонентів ТПВ у їх загальній масі.

Об'єкт дослідження – склад твердих побутових відходів.

Дане дослідження здійснюється в рамках науково-дослідної роботи за темою «Дослідження складу твердих побутових відходів та їх ресурсного потенціалу», що виконується кафедрою прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» в межах спільного українсько-австрійського науково-дослідного проекту, загальний передбачений термін якого 2023-2025 роки і який реалізується на виконання наказу Міністерства освіти і науки України від 01.06.2023 № 667 «Про затвердження плану заходів з реалізації міжнародних наукових та науково-технічних програм і проектів на 2023 рік» та наказу Міністерства освіти і науки України від 07.07.2023 № 826 «Про фінансування спільних українсько-австрійських науково-дослідних проектів у 2023 році»

До того ж, дане дослідження пов'язане із роботою фахівців кафедри прикладної екології та природокористування та кафедри теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» над науково-практичними тематиками у сфері управління відходами та альтернативної енергетики.

Основний зміст дослідження. Проблематика, пов'язана зі утворенням, збиранням, обробленням й захороненням побутових відходів, має аналогічну специфіку практично для всіх областей України. Відповідно на сьогодні однією з основних причин екологічно небезпечної ситуації в регіонах України є недосконала система збирання й транспортування побутових відходів, причому, перш за все, на територіях громад [3].

Потреба у розбудові ефективної системи управління побутовими відходами (ПВ), зокрема вибору необхідної інфраструктури для їх збирання й оброблення, потребує наявності даних щодо кількісного та якісного (морфологічного чи компонентного) складу побутових відходів із виявленням переважаючих видів вторинної сировини.

Відповідно в рамках даного дослідження було проведено збирання, узагальнення та аналіз результатів існуючих досліджень якісного (морфологічного) складу побутових відходів, що утворюються в обласних центрах України: Вінниця, Чернігів, Львів, Дніпро, Хмельницький, Полтава, Житомир.

Збирання та узагальнення наявних даних щодо морфологічного складу побутових відходів здійснювалось із урахуванням положень «Методичних рекомендацій з визначення морфологічного складу твердих побутових відходів», затверджених Наказом Міністерства з питань житлово-комунального господарства України від 16.02.2010 №39 [4]. Згідно даної методики, морфологічний склад ТПВ визначався за 11 компонентами.

Вихідні дані для проведеного аналізу морфологічного складу побутових відходів міст України, приймалися з оприлюднених проєктів Регіональних планів управління відходами на період до 2030 року, та схем санітарного очищення міст Полтавської, Вінницької, Чернігівської, Дніпропетровської, Хмельницької областей [5, 6, 7, 8, 9].

Дані щодо морфологічного складу побутових відходів для м. Львів приймалися на основі результатів проведених досліджень в рамках проєкту «Дослідження нових впливів на довкілля в умовах епідемії COVID-19 в Україні», що реалізований ГО «Нуль відходів Львів» у партнерстві з ГО «Еколтава» та Дослідницькою агенцією Fama за експертної підтримки міжнародної організації Zero Waste Europe. Він упроваджується в межах Ініціативи з розвитку екологічної політики й адвокації в Україні, що здійснює Міжнародний фонд «Відродження» за фінансової підтримки Посольства Швеції в Україні [10].

Дані щодо морфологічного складу побутових відходів для м. Житомир приймалися на основі проведених досліджень у період 2009 - 2015 роки, результати яких були опубліковані автором Коцюбою І. Г. [11].

Узагальнені дані щодо морфологічного складу побутових відходів міст України наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

## Морфологічний склад побутових відходів, характерний для міст України

Назва компоненту проби	Найменування населеного пункту							Узагальнено по Україні
	м. Вінниця <sup>1</sup>	м. Житомир <sup>2</sup>	м. Чернігів <sup>3</sup>	м. Львів <sup>4</sup>	м. Дніпро <sup>5</sup>	м. Хмельницький <sup>6</sup>	м. Полтава <sup>7</sup>	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Відсоток від загальної маси, %								
Органічні та харчові відходи	41,39	33,33	35,7	65,1	39,36	27,02	49,7	27,02-65,1
Папір і картон	7,2	14,27	8,6	Вторинна сировина 14,2	5,74	2,5/2,53	2,8	2,5-14,27
Полімери (пластик, пластмаси)	9,4	22,99	10,3		8,97	10,35	29,4	9,4-29,4
Скло	9,8	7,44	9,1		8	14,29	6,3	6,3-14,29
Чорні метали	2,1	2,91	1,7		1,01	0,34	1,3	0,34-1,3
Кольорові метали					0,18	0,9	0	0,18-2,91
Текстиль	-	0,34	1,1		4,03	10,19	4,8	0,34-10,19
Дерево	-	-	0,4		2,53	4,86	0	0,4-4,86
Небезпечні відходи	0,66	-	-	-	0,07	1,48	1,2	0,07-1,48



Морфологічний (компонентний) склад побутових відходів м. Вінниця визначено для семи фракцій [9]:

– органічні відходи (харчові, сільськогосподарські відходи, відходи садівництва), які складають 41,39% від загального обсягу, та є найбільшою за об'ємом фракцією (таблиця 1).

– папір і картон – 7,2 %;

– полімери (пластик, пластмаси) – 9,4%;

– скло (посуд, контейнери, світильники, пляшки, тощо) – 9,8%;

– чорні та кольорові метали – 2,1%;

– небезпечні відходи (батареї, сухі та електролітичні акумулятори, тара від розчинників, фарб, ртутні лампи, телевізійні кінескопи) – 0,66%;

– залишок побутових відходів після вилучення компонентів – 29,49% - друга за обсягами фракція після органічних відходів.

Відповідно фракції, що традиційно відносять до вторинної сировини (скло, полімери, папір і картон, чорні й кольорові метали) за обсягами утворення в побутових відходах м. Вінниця займають 28,5% від загальної маси, що підтверджує перспективність подальшого розвитку системи роздільного збирання в місті.

Аналіз морфологічного складу побутових відходів м. Житомир, виконаний на основі даних експериментальних досліджень, що були проведені у 2009, 2013, 2015 роках на території міського санкціонованого звалища, дозволив виділити такі фракції [11] (таблиця 1):

– органічні відходи (харчові, сільськогосподарські відходи, відходи садівництва) складають 33,33% від загального обсягу та є найбільшою за об'ємом фракцією, що становить третину від загального обсягу;

– зелені відходи, що утворюються в процесі благоустрою озелених прибудинкових територій та зелених насаджень загального користування й обліковуються окремо – 7,64%.

– папір і картон – 14,27 %;

– полімери (пластик, пластмаси) – 22,99%;

– скло (посуд, контейнери, світильники, пляшки, тощо) – 7,44%;

– чорні та кольорові метали – 2,91%;

– небезпечні відходи – 0%;

– текстиль – 0,34%;

– кістки, шкіра, гума – 0,47%;

– залишок побутових відходів після вилучення компонентів – 10,62%;

Зауважимо, що така фракція як «небезпечні відходи (батареї, сухі та електролітичні акумулятори, тара від розчинників, фарб, ртутні лампи, телевізійні кінескопи)» – відсутня в морфологічному складі побутових відходів, які досліджувались на Житомирському міському сміттєзвалищі, що може пояснюватись: недостатньою вибіркою відходів, яка бралася для дослідження, або, що більш вірогідно, наявністю в місті пунктів приймання небезпечних відходів, що мінімізує їх надходження в загальну масу сміття.

Узагальнені дані (табл. 1) показують, що за деякими показниками, вміст ресурсоцінних компонентів в загальній масі ПВ для м. Житомир в разі відрізняються від показників для м. Вінниці, а саме: папір та картон складає 14,27% (м. Вінниця – 7,2%), полімери – 22,99% (м. Вінниця – 9,4%, майже в 2,5 рази менше). Процентний показник фракції скла й чорних та кольорових металів у відходах м. Вінниця та м. Житомир близькі за своїми значеннями. Зазначимо також, що обсяг залишку ПВ після вилучення компонентів майже у три рази відрізняється (м. Вінниця – 29,49%, м. Житомир – 10,62%), що свідчить про ретельність проведення досліджень.

Аналіз морфологічного складу побутових відходів м. Чернігів, виконаний на основі даних «Схеми санітарного очищення міста Чернігів», розробленої у 2014 році, дозволив виділити наступне [6] (таблиця 1):

- органічні відходи (харчові, сільськогосподарські відходи, відходи садівництва) складають 35,7% від загального обсягу й є найбільшою за об'ємом фракцією;

- папір і картон – 8,6 %;

- полімери (пластик, пластмаси) – 10,3%;

- скло (посуд, контейнери, світильники, пляшки, тощо) – 9,1%;

- чорні та кольорові метали – 1,7%;

- текстиль – 1,1%;

- дерево – 0,4%;

- кістки, шкіра, гума – 1,1%;

- залишок побутових відходів після вилучення компонентів – 32,0%.

Чітко прослідковується схожість кількісного та якісного складу ПВ міст Чернігів [6] та Вінниця [9], за виключенням фракцій «текстиль», «дерево» й «кістки, шкіра, гума».

Аналіз морфологічного складу ПВ м. Львів, виконаний на основі результатів досліджень проекту «Дослідження нових впливів на довкілля в умовах епідемії COVID-19 в Україні» [10], дозволив виділити наступне (табл. 1):



– були об'єднані в одну фракцію усі вторинні ресурсозіні компоненти (папір і картон, полімери, скло, чорні й кольорові метали, текстиль та дерево), загальний показник якої склав 14,2% й свідчить про достатньо вже розвинену систему роздільного контейнерного збирання побутових відходів у місті й відповідно низький вміст цих ресурсозінінних компонент в залишковій масі побутових відходів;

– левову частку побутових відходів м. Львів склали органічні відходи (харчові, сільськогосподарські відходи, відходи садівництва) – 65,1%, що може пояснюватись туристичною специфікою міста та відповідно розвиненою інфраструктурою закладів громадського харчування.

Аналіз морфологічного складу побутових відходів м. Дніпро, виконаний на основі проведених вимірювань Українським науководослідним інститутом із розробки та впровадження комунальних програм та проектів (2017 р.) в рамках «Дослідження характеристик побутових відходів, що утворюються в житлових будинках м. Дніпра» [7]. Компонентний склад ПВ м. Дніпро представлено такими фракціями:

– органічні відходи (харчові, сільськогосподарські відходи, відходи садівництва) складають 39,36% від загального обсягу відходів та є найбільшою за об'ємом фракцією;

– папір і картон – 5,74 %;

– полімери (пластик, пластмаси) – 8,97%;

– скло (посуд, контейнери, світильники, пляшки, тощо) – 8,0%;

– чорні метали – 1,01%;

– кольорові метали – 0,18%;

– текстиль – 4,03%;

– дерево – 2,53%;

– небезпечні відходи – 0,07%;

– кістки, шкіра, гума – 2,21%;

– несортований залишок побутових відходів після вилучення компонентів – 10,75%;

– упаковка комбінована – 2,44%;

– вуличний змет, каміння – 14,72%.

Загалом морфологічний склад ПВ м. Дніпро представлено 13 фракціями, серед яких такі як «упаковка комбінована», «вуличний змет та каміння» не відокремлювалися із загального обсягу відходів в результатах інших досліджень. Крім того, слід відмітити розділення фракції «метали» на чорні (1,01%) та кольорові (0,18%) як окремі компоненти.

Аналіз морфологічного складу побутових відходів м. Хмельницький, виконаний на основі даних «Регіонального плану

управління відходами у Хмельницькій області на період до 2030 року» дозволив виділити такі компоненти ПВ [8]:

– органічні відходи (харчові, сільськогосподарські відходи, відходи садівництва), які складають 27,2% від загального обсягу, і є найнижчим кількісним показником даної фракції серед інших міст України, які було узагальнено в таблиці 1;

– папір і картон – 2,5 %;

– полімери (пластик, пластмаси) – 10,35%;

– скло (посуд, контейнери, світильники, пляшки, тощо) – 14,29%;

– чорні метали – 0,34%;

– кольорові метали – 0,9%;

– текстиль – 10,19%;

– дерево – 4,86%;

– небезпечні відходи – 1,48%;

– несортований залишок побутових відходів після вилучення компонентів – 6,09%;

– зелені відходи – 7,84%;

– будівельні відходи – 11,66%.

Проаналізовані дані компонентів ПВ для м. Хмельницький свідчать про значні їх відмінності відносно аналогічних показників для інших міст:

– компоненти скло та текстиль мають найвищі показники 14,29% і 10,19%;

– компонент скло взагалі «випереджає» загальний показник вторинної сировини у м. Львів (14,2%);

– фракція картон і папір (2,5%) навпаки характеризується найнижчим значенням серед компонентів ПВ досліджуваних міст.

Позитивним моментом у дослідженні морфологічного складу ПВ м. Хмельницький є низьке значення показника несортованого залишку, що говорить про високу ретельність при проведенні досліджень. Також у дослідженнях ПВ м. Хмельницький виділено фракцію зелені відходи, що теж свідчить про налагоджену систему відокремленого збирання й обліку даних відходів.

Аналіз результатів експериментальних досліджень компонентного складу ПВ м. Полтава, проведений ГО «Еколтава» у листопаді 2022 року показав наступне [10]:

– органічні відходи (харчові, сільськогосподарські відходи, відходи садівництва) складають 49,7% та є найбільшою за об'ємом фракцією, що становить половину від загального обсягу ПВ;

– папір і картон – 2,8 %;

– полімери (пластик, пластмаси) – 29,4%;

- скло (посуд, контейнери, світильники, пляшки, тощо) – 6,3%;
- чорні метали – 1,3%;
- кольорові метали – 0%;
- текстиль – 4,8%;
- дерево – 0%;
- небезпечні відходи (батареї, сухі та електролітичні акумулятори, тара від розчинників, фарб, ртутні лампи, телевізійні кінескопи) – 1,2%;
- кістки, шкіра, гума – 1,6%;
- залишок побутових відходів після вилучення компонентів – 2,9%.

Отже, результати визначення морфологічного складу ТПВ м. Полтава за багатьма показниками різняться від аналогічних показників інших міст України, а саме:

- полімери становлять майже 30% від загального обсягу відходів та їх кількісне значення є найвищим серед міст, щодо яких проводився аналіз;

- скло складає тільки 6,3% і є найнижчим значенням серед аналогічних показників для інших міст України;

- залишок побутових відходів після вилучення має найнижче значення, що говорить про найбільшу ретельність роботи ГО «Еколтава».

Узагальнений аналіз даних щодо дослідження морфологічного складу ПВ міст Вінниця, Житомир, Чернігів, Львів, Дніпро, Хмельницький та Полтава дав змогу зробити такі узагальнення:

- органічні відходи (харчові, сільськогосподарські відходи, відходи садівництва) становлять значну частку від загального обсягу відходів, яка коливається в межах від 27,02% у Хмельницькому до 65,1% у Львові. В середньому обсяг органічних відходів становить більше 40% від загальної маси побутових відходів та є компонентом, що має найвищу вологість;

- відходи паперу та картону, вміст яких у загальній масі ПВ коливається в межах від 2,5% (м. Хмельницький) до 14,27% (м. Житомир) в значній мірі залежать від типу благоустрою житлової забудови міста і характерним є її значний показник в багатоповерхових будинках, та низький рівень відходів паперу та картону притаманний одноповерховій забудові приватного сектору, де цей ресурс використовується в будинках із пічним опаленням;

- відходи полімерів: найвищий відсоток у загальній масі ПВ спостерігається у дослідженнях в м. Полтава (29,4%), тоді як найнижчий – 8,7 % у м. Дніпро;

– відходи скла: їх вміст у загальній масі ПВ знаходиться в межах від 6,3% (м. Полтава) до 14,29% (м. Хмельницький);

– такі компоненти відходів як текстиль (0,34% (м. Житомир) – 10,19% (м. Хмельницький)), деревина (0,4 % (м. Чернігів) – 4,86% (м. Хмельницький)), шкіра, гума, кістки (0,47% (м. Житомир) – 2,21% (м. Дніпро) складають незначний відсоток у порівнянні з вищезазначеними, але текстиль й деревина є цінними енергетичними ресурсами;

– особливу увагу також необхідно звернути на такий компонент як «зелені відходи», що утворюються в процесі благоустрою озелених прибудинкових територій та зелених насаджень загального користування, й потребують окремого збирання та обліку. Дослідження, проведені при розробленні проекту «Регіонального плану управління відходами у Полтавській області на період до 2030 року» дали змогу оцінити потенційні обсяги утворення зелених відходів [5, 12, 13] від кожної територіальної громади регіону й встановити їх вагомий потенціал у загальній масі відходів. Даний вид відходу має енергетичну цінність при використанні його як біомаси для забезпечення потреб теплоенергетики або сільського господарства. Тому створення системи відокремленого збирання й вивезення з територій населених пунктів «зелених відходів» є достатньо важливою складовою управління побутовими відходами на місцевих рівнях. Нажаль, на сьогодні у більшості громад в Україні ці відходи окремо не обліковуються, тому їх відсотковий вміст є частиною органічних відходів як відходів садівництва;

– необхідно зазначити, що в основному зміна складу ПВ за сезонами року виражається у збільшенні вмісту харчових відходів у літньо-осінній період та у зростанні кількості паперу та полімерних матеріалів як відходів упакувань напоїв;

– найбільш нестабільним показником є вміст скла;

– важливими зовнішніми факторами, що впливають на склад ПВ є кліматичні умови, рівень життя населення і рівень розвитку ринку вторинної сировини на території конкретного населеного пункту (муніципалітету);

– морфологічний склад відходів також залежить від специфіки джерел їх утворення, тобто залежить від того, на якій конкретній території збираються відходи (місто, сільська/приміська місцевість, змішана зона).

До того ж, важливими факторами нестабільності, що впливають на морфологічний склад побутових відходів населених пунктів і

повинні враховуватись при створенні системи управління побутовими відходами на місцевому рівні, є наступні:

1) сезонна залежність утворення органічних відходів і відходів садівництва, що складають значний відсоток від загальної маси побутових відходів, та відсутність застосування сталої практики їх компостування;

2) виражена соціально-економічна нестабільність бізнес сектору, який є значимим утворювачем обсягів відходів (до 10-30%);

3) специфіка роздрібної торгівлі товарами, яка передбачає використання різноманітних пакувальних матеріалів і напівфабрикатів у повсякденному житті більшості жителів, призводить до зростання вмісту частки відходів паперу й полімерів, а це відповідно викликає збільшення об'ємів утворення ПВ, що накладає специфічні вимоги до системи збирання й вивезення відходів з територій населених пунктів.

Другим кроком даних досліджень було збір та систематизація наявних даних щодо морфологічного складу твердих побутових відходів для окремих населених пунктів Полтавської області. Результати проведеної систематизації згідно положень «Методичних рекомендацій з визначення морфологічного складу твердих побутових відходів», затверджених Наказом Міністерства з питань житлово-комунального господарства України від 16.02.2010 № 39 [4] представлено в таблицях 2-4.

Дані щодо складу ТПВ для окремих населених пунктів сільської місцевості Полтавської області наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Морфологічний склад побутових відходів окремих населених пунктів сільської місцевості  
Полтавської області

Назва компоненту проби	Найменування населеного пункту				
	с. Харсіки Чорнухинської громади <sup>1</sup> (дослідження)	с. Яцини Пирятинської громади <sup>2</sup> (дослідження)	с. Олександрівка Гребінківської громади <sup>3</sup> (дослідження)	с. Криниця, Васильки, Гаївщина та Христанівка Лохвицької громади <sup>4</sup>	с. Попівка та Малі Будища Опішнянської громади <sup>5</sup>
Відсоток від загальної маси, %					
Харчові відходи (овочі, фрукти, відходи садівництва тощо)	16,3	26	28,6	19,3	19,3
Папір і картон	9,7	3,8	18,8	1,4	1,4
Полімери (пластик, пластмаси)	22,7	7,7	23,3	7	7
Скло	13,7	2,2	10,3	24	24
Чорні метали	5	- <sup>6</sup>	-	3,8	3,8
Кольорові метали	-	-	1,3		
Текстиль	10,1	6,7	2,9	2,1	2,1
Дерево	18,2	0	0	1,6	1,6
Небезпечні відходи	-	7,6	-	0,7	0,7
Кістки, шкіра, гума	-	3,4	-	3,1	3,1
Залишок ТПВ після вилучення компонентів (дрібне будівельне сміття, каміння, вуличний змет тощо)	4,2	42,4	14,7	37	37
Загальна маса проби ТПВ	100	100	100	100	100

Пояснення до таблиці та коментар до відповідних інформаційних джерел, що були використані в даній роботі:

1 – результати дослідження (експрес-аналізу) морфологічного складу ТПВ, проведені на звалищі біля с. Харсіки Чорнухинської громади 17 серпня 2022 року [14].

2 – результати дослідження (експрес-аналізу) морфологічного складу ТПВ, проведених на звалищі біля с. Яцини Пірятинської громади 21 серпня 2022 року [15].

3 – результати дослідження (експрес-аналізу) морфологічного складу ТПВ, проведені на звалищі с. Олександрівка Гребінківської громади 14 серпня 2022 року [16].

4 – дані щодо потенційних обсягів утворення основних компонентів змішаної маси ТПВ для сільських населених пунктів Лохвицької ТГ (згідно даних «Схема санітарної очистки для м. Лохвиця та сіл Криниці, Васильки, Христанівка, Гаївщина Лохвицького району Полтавської області» [17]).

5 – дані щодо потенційних обсягів утворення основних компонентів змішаної маси ТПВ для сіл Попівка та Малі Будища (згідно даних «Схема санітарного очищення для сел. Опішня, с. Попівка та с. Малі Будища Опішнянської територіальної громади Полтавської області» [18]).

6 – дослідження щодо відповідних компонентів побутових відходів в рамках експрес-аналізів [14], [16] не проводилося.

Отримані результати аналізу демонструють наступне.

Харчові відходи (овочі, фрукти, відходи садівництва тощо) складають значну частку від загального обсягу відходів, що коливається в межах від 16,3% (с. Харсіки Чорнухинської громади) до 28,6% (с. Олександрівка Гребінківської громади). У середньому обсяг органічних відходів становить здебільшого 30% від загальної маси утворених відходів. Таке зростання пов'язано із великим вмістом овочів і фруктів в раціоні харчування населення в літній сезон, коли проводилися дослідження.

Компоненти побутових відходів такі як папір та картон мають суттєву різницю утворення в окремих досліджуваних селах Полтавської області. Вміст у загальній масі ТПВ коливається в межах від 1,4% (села Лохвицької та Опішнянської громади) до 18,8% (с. Олександрівка Гребінківської громади). Низький рівень відходів паперу та картону притаманний одноповерховій забудові приватного сектору, де цей ресурс використовується в господарських цілях, зокрема з метою обігріву будівель. Вищий рівень утворення відходів паперу характерний для багатоквартирних забудов.

Найвищий відсоток у загальній масі ТПВ відходів полімерів спостерігається у дослідженнях в с. Олександрівка Гребінківської громади (23,3%), тоді як найнижчий – 7% у селах Лохвицької та Опішнянської громади. Значне коливання відсотку полімерів у загальній масі відходів обумовлено, по-перше, переважним вибором більш зручних й доступних полімерних пакувальних матеріалів різноманітної продовольчої продукції, а по-друге, відсутністю на територіях окремих громад й населених пунктів контейнерів для роздільного збирання полімерної тари.

У загальній масі ТПВ відходи скла знаходяться в межах від 2,2% (с. Яцини Пирятинської громади) до 2 % (села Лохвицької та Опішнянської громад). Значні обсяги відходів скла у загальній масі ТПВ зумовлене відсутністю пунктів прийому скляної тари в громадах та/або недостатністю встановлених контейнерів для роздільного збирання відходів скла.

Чорні та кольорові метали в досліджуваній пробі майже не спостерігалися, оскільки їх переважно відділяють і здають на металобрухт.

Відходи деревини: 1,6% (села Лохвицької та Опішнянської громад) та 18,2% (с. Харсіки Чорнухинської громади) мають значну розбіжність, що потенційно може бути пов'язаним із утворення відходів деревини при обслуговуванні лісосмуг та зелених насаджень загального користування на територіях відповідних громад.

Такі компоненти відходів як текстиль, шкіра, гума, кістки складають незначний відсоток у порівнянні з вище зазначеними компонентами:

- текстиль – 2,1% (села Лохвицької та Опішнянської громад) та 10,1 % (с. Харсіки Чорнухинської громади);
- шкіра, гума, кістки – 3,1 % (села Лохвицької та Опішнянської громад) та 3,4 % (с. Яцини Пирятинської громади).

Значний обсяг утворення небезпечних відходів (7,6%) у с. Яцини Пирятинської громади порівняно з іншими селами спричинено відсутністю пунктів прийому таких відходів.

Великий відсоток від загальної маси проби ПВ становить залишок побутових відходів після вилучення компонентів 42,4% (с. Яцини Пирятинської громади), найменший – 4,2% (с. Харсіки Чорнухинської громади).

Окремо здійснена систематизація результатів проведених досліджень для населених пунктів селищного типу, що наведено в таблиці 3.



Таблиця 3

Морфологічний склад побутових відходів окремих населених пунктів селищного типу Полтавської області

Назва компоненту проби	Найменування населеного пункту			
	смт. Новооржицьке Новооржицької громади (дослідження) <sup>1</sup>	смт. Опішня Опішнянської громади <sup>2</sup>	смт. Семенівка Семенівської громади <sup>3</sup>	смт. Котельва Котельвської громади (дослідження) <sup>4</sup>
	Відсоток від загальної маси, %			
Харчові відходи (овочі, фрукти, відходи садівництва тощо)	11,6	24	24	34,53
Папір і картон	14	8	8	4,94
Полімери (пластик, пластмаси)	15,1	13	13	12,14
Скло	9,5	18	18	7,93
Чорні метали	4,9	0,95	0,95	3,16
Кольорові метали	- <sup>5</sup>			0,24
Текстиль	6,9	3,5	3,5	3,97
Дерево	12	1,15	1,15	0,16
Небезпечні відходи (батарейки, сухі та електролітичні акумулятори, тара від розчинників, фарб, ртутні лампи, телевізійні кінескопи тощо)	-	0,55	0,55	0,01
Кістки, шкіра, гума	18,1	3,1	3,1	0,73
Залишок ТПВ після вилучення компонентів (дрібне будівельне сміття, каміння, вуличний змет тощо)	7,2	27,75	27,75	32,19
Загальна маса проби ТПВ	100	100	100	100

Пояснення до таблиці та коментар до відповідних інформаційних джерел, що були використані в даній роботі:

1 – результати дослідження (експрес-аналізу) морфологічного складу ТПВ, проведені на звалищі смт Новооржицьке Новооржицької громади 12 серпня 2022 року [19].

2 – дані розрахунку потенційних обсягів утворення основних компонентів змішаної маси ТПВ для смт. Опішня (згідно даних «Схема санітарного очищення для смт Опішня, с. Попівка та с. Малі Будища Опішнянської територіальної громади Полтавської області» [18]).

3 – дані розрахунку потенційних обсягів утворення основних компонентів змішаної маси ТПВ для смт. Семенівка (згідно даних «Схема санітарної очистки смт. Семенівка Семенівського району Полтавської області» [20]).

4 – результати дослідження морфологічного складу побутових відходів смт. Котельва, проведені в рамках першого етапу натурних досліджень у рамках НДР на тему «Дослідження складу твердих побутових відходів та їх ресурсного потенціалу», яка здійснювалася кафедрою прикладної екології та природокористування на виконання договору № М/41-2023 від 23.08.2023 між Міністерством освіти і науки та Національним університетом «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

5 – дослідження щодо відповідних компонентів побутових відходів у рамках експрес-аналізів [19] не проводилося.

Отримані результати аналізу демонструють наступне.

Харчові відходи (овочі, фрукти, відходи садівництва тощо) складають значну частку від загального обсягу відходів, що коливається в межах від 11,6% (сmt. Новооржицьке Новооржицької громади) до 34,53% (сmt. Котельва Котелевської громади). Значний рівень показника пов'язаний із традиціями харчування, що притаманні населенню даних громад.

Вміст паперу та картону у загальній масі ТПВ коливається в межах від 4,94 % (сmt. Котельва Котелевської громади) до 14 % (сmt. Новооржицьке Новооржицької громади). Низький рівень відходів паперу та картону притаманний одноповерховій забудові приватного сектору, де цей ресурс використовується в господарській цілях, зокрема з метою обігріву будівель. Вищий рівень утворення відходів паперу характерний для багатоквартирних забудов.

При експрес-аналізі відсоток відходів полімерів дорівнює 15,1 % в сmt. Новооржицьке Новооржицької громади, а в сmt. Котельва Котелевської громади – 12,14 %. Достатньо високий відсоток полімерів у загальній масі відходів обумовлено, по-перше, переважним вибором

більш зручних й доступних полімерних пакувальних матеріалів різноманітної продовольчої продукції, а по-друге, відсутністю або недостатньою організацією на територіях окремих громад і населених пунктів контейнерів для роздільного збирання полімерної тари.

У загальній масі ТПВ відходи скла знаходяться в межах від 7,93% (сmt. Котельва Котелевської громади) до 18% (селища Опішня та Семенівка). Значні обсяги відходів скла у загальній масі ТПВ зумовлене відсутністю пунктів прийому скляної тари в громадах та/або недостатністю встановлених контейнерів для роздільного збирання відходів скла.

У селищах Опішня та Семенівка вміст чорних та кольорових металів становить 0,95%, для селища Котельва вміст чорних становить 3,16%, а кольорових металів – 0,24%. При експрес-аналізі компонентів побутових відходів, що проводився для селища Новооржицьке вміст кольорових металів не встановлювався, а вміст чорних металів становить 4,9 %.

Відходи деревини: 0,16% (сmt. Котельва Котелевської громади) та 12% (сmt. Новооржицьке Новооржицької громади) мають значну розбіжність, що потенційно може бути пов'язаним із утворення відходів деревини при обслуговуванні лісосмуг та зелених насаджень загального користування на територіях відповідних громад.

Такі компоненти відходів як текстиль, шкіра, гума, кістки складають незначний відсоток у порівнянні з вище зазначеними компонентами: текстиль – 3,5 % (селища Опішня та Семенівка) та 6,9% (сmt. Новооржицьке Новооржицької громади), шкіра, гума, кістки – 0,73% (сmt. Котельва Котелевської громади) та 18,1% (сmt. Новооржицьке Новооржицької громади).

Спостерігається незначний обсяг утворення небезпечних відходів (0,55%) у селищах Опішня та Семенівка, що пояснюється поступовим налагодженням системи приймання небезпечних відходів від населення (пункти приймання в громадських місцях) та їх передача через послугу обласного «Екобусу» на спеціалізоване підприємство.

Великий відсоток від загальної маси проби ТПВ становить залишок побутових відходів після вилучення компонентів 32,19% (сmt. Котельва Котелевської громади), найменший – 7,2% (сmt. Новооржицьке Новооржицької громади).

Окремо здійснена систематизація результатів проведених досліджень для населених пунктів міського типу, що наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

## Морфологічний склад побутових відходів окремих населених пунктів міського типу Полтавської області

Назва компоненту проби	Найменування населеного пункту						
	м. Миргород <sup>1</sup>		м. Лохвиця <sup>2</sup>	м. Хорол <sup>3</sup> (дослідження)		м. Полтава <sup>4</sup>	
	БПЖ	ПЖ		Відсоток за узагальненими результатами досліджень, %	Відсоток згідно Субрегіональної стратегії, %	(дослідження листопад 2022 рік)	(дослідження серпень 2023 рік)
	Відсоток від загальної маси, %						
Харчові відходи (овочі, фрукти, відходи садівництва тощо)	29	19	24	32,76	19	49,7	49,7
Папір і картон	9	7	8	11	7	2,8	2,8
Полімери (пластик, пластмаси)	13	13	13	12,06	13	29,4	29,4
Скло	15	21	18	6	21	6,3	6,3
Чорні метали	0,8	1,1	0,95	-	1,1	1,3	1,3
Кольорові метали				1,55		-	0,8
Текстиль	3,5	3,5	3,5	3,6	3,5	4,8	4,8
Дерево	0,4	1,9	1,15	0,75	1,9	-	-
Небезпечні відходи (батареї, сухі та електролітичні акумулятори, тара від розчинників, фарб, ртутні лампи,	0,5	0,6	0,55	-	0,6	1,2	1,2



Пояснення до таблиці та коментар до відповідних інформаційних джерел, що були використані в даній роботі:

1 – на підставі проєкту «Комплексної програми поводження з твердими побутовими відходами у Полтавській області на 2022-2030 роки» [21].

2 – розрахунку потенційних обсягів утворення основних компонентів змішаної маси ТПВ для м. Лохвиця (згідно даних «Схема санітарного очищення населених пунктів Котелевської селищної територіальної громади», [22]).

3 – результати натурних досліджень морфологічного складу ТПВ у м. Хорол (згідно даних «Звітні матеріали за результатами проведених робіт із «Розрахунку норм утворення та визначення морфологічного складу твердих побутових відходів для м. Хорол Полтавської області, проведення обстеження фактичного стану міського звалища ТПВ із визначенням потенціалу його експлуатації») [23].

4 – результати дослідження морфологічного складу побутових відходів (згідно даних «Дослідження нових впливів пандемії COVID-19 на генерування твердих побутових відходів», ГО «Еколтава» [10]).

Достатньо велику частку від загального обсягу відходів складають харчові відходи (овочі, фрукти, відходи садівництва тощо), що коливається в межах від 19% (міста Миргород та Хорол) до 49,7% (м. Полтава). Для міст Миргород та Хорол даний показник порівняно з м. Полтава невисокий, оскільки відсоток утворення характерний для приватної забудови, тому більшість органічних решток може використовуватись при індивідуальному компостуванні. Для м. Полтава обсяг харчових відходів високий, що спричинено споживанням у період дослідження (серпень-листопад) сезонних овочів та фруктів, а також вивезення мешканцями так званих «зелених відходів».

Вміст паперу та картону у загальній масі ТПВ коливається в межах від 2,8% (м. Полтава) до 11% (м. Хорол). Високий рівень утворення відходів паперу та картону характерний для багатоквартирних забудов.

При дослідженні відходів полімерів міст відсоток від загальної маси ТПВ дорівнює 12,0% для м. Хорол та 29,4% – м. Полтава. Високий відсоток полімерів обумовлений переважним використанням доступних полімерних пакувальних матеріалів різноманітної продовольчої продукції, що напряму залежить від соціального статусу населення.

У загальній масі ПВ відходи скла знаходяться в межах від 6% (м. Хорол) до 21 % (міста Миргород та Хорол). Значні обсяги відходів скла у загальній масі ТПВ зумовлене недостатністю пунктів приймання

скляної тари в містах та/або недостатністю встановлених контейнерів для роздільного збирання.

Такі компоненти відходів як чорні та кольорові метали (0,8% (міста Миргород та Полтава) та 1,55% (м. Хорол), а також дерево (0,4% (м. Миргород) і 1,9% (м. Хорол)) та текстиль (3,5% (міста Миргород, Хорол, Лохвиця) й 4,8% (м. Полтава) складають незначний відсоток у порівнянні з вищезазначеними, оскільки відходи металів переважно відокремлюються та здаються на металобрухт, а дерево й текстиль у приватному секторі може спалюватися у холодний період для власних опалювальних потреб.

Для м. Миргород обсяг утворення небезпечних відходів становить 0,5%, а для м. Полтава – 1,2%, тобто вміст даних відходів у загальній масі ТПВ не значний, що пояснюється поступовим налагодженням системи приймання небезпечних відходів від населення (пункти приймання в громадських місцях) та їх збирання через послугу обласного «Екобусу».

Великий відсоток від загальної маси проби ТПВ становить залишок побутових відходів після вилучення компонентів 31,16 % (м. Хорол), найменший – 2,9 % (м. Полтава).

Отже, аналіз зібраних даних щодо морфологічного складу побутових відходів різних населених пунктів Полтавської області свідчить про значний діапазон коливань практично за усіма компонентами побутових відходів, що може пояснюватися:

- по-перше – епізодичним й несистемним проведенням досліджень у даних населених пунктах (в основному це разові дослідження або експрес-аналізи);

- по-друге – доступністю лише розрахункових даних для окремих населених пунктів (міст Миргород, Лохвиця, селищ Опішня, Семенівка та ін.);

- по-третє – проведенням систематизації даних, які були отримані в рамках виконаних досліджень в різні сезони року, що логічно й призводить до збільшення діапазону коливань значень вмісту окремих компонентів, особливо харчових відходів, пластику, паперу та картону;

- по-четверте – не врахуванням типу системи збирання твердих побутових відходів у населеному пункті й відповідно відсутністю обґрунтування репрезентативності контейнерних майданчиків, на яких проводились дослідження із визначення морфології ТПВ;

- по-п'яте – відсутністю врахування специфіки району проведення досліджень, а саме: чи є поблизу досліджуваних ділянок пункти приймання вторинної сировини, чи організовані окремі

контейнери для певних фракцій вторсировини (скло, пластик, папір), чи є організовані площадки для відокремленого збирання «зелених» відходів (садівництва) та ремонтно-будівельних відходів.

Таким чином, отримані результати досліджень свідчать про актуальність перегляду й удосконалення методологічного підходу до визначення компонентного (морфологічного) складу твердих побутових відходів, який на даний час регламентований Наказом Міністерства з питань житлово-комунального господарства від 16.02.2010 №39 «Про затвердження Методичних рекомендацій з визначення морфологічного складу твердих побутових відходів» [4], передусім, з точки зору визначення чітких правил щодо підготовки до процедури визначення морфологічного складу ТПВ.

### **Список використаних інформаційних джерел**

1. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р «Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року». Доступно: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80/page>

2. Закон України «Про управління відходами» (Документ 2320-IX). Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text>

3. Субрегіональна стратегія поводження з твердими побутовими відходами для Полтавської області, проект «Реформа управління на сході України» «Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) Gmbh», представлено для Полтавської обласної державної адміністрації, GFA Consulting Group, січень 2016. 83 с.

4. Наказ Міністерства з питань житлово-комунального господарства від 16.02.2010 №39 «Про затвердження Методичних рекомендацій з визначення морфологічного складу твердих побутових відходів». Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0039662-10#Text>

5. Проект «Регіональний план управління відходами у Полтавській області до 2030 року». Доступно: <https://www.adm-pl.gov.ua/advert/oprilyudnennya-dlya-obgovorennya-proektu-regionalnij-plan-upravlinnya-vidhodami-u-poltavskij-y>

6. Схема санітарного очищення м. Чернігів / Київ 2014 р. с. 488. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://chernigiv-rada.gov.ua/files/fayli/VK/Dodatok%201.pdf>

7. Регіональний план управління відходами у Дніпропетровській області до 2030 року. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://dniprorada.gov.ua/upload/editor/regionalnij\\_plan\\_upravlinnya\\_vidhodami\\_u\\_dnipropetrovskij\\_oblasti\\_do\\_2030\\_roku-stisla\\_versiya.pdf](https://dniprorada.gov.ua/upload/editor/regionalnij_plan_upravlinnya_vidhodami_u_dnipropetrovskij_oblasti_do_2030_roku-stisla_versiya.pdf)



8. Проект «Регіональний план управління відходами у Хмельницькій області до 2030 року» [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.adm-km.gov.ua/wp-content/uploads/2020.pdf>
9. Регіональний план управління відходами у Вінницькій області до 2030 року. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.vin.gov.ua/upr-ter/33784-rehionalnyi-plan-upravlinnia-vidkhodamy-u-vynnytskii-oblasti-2>
10. Дослідження нових впливів пандемії COVID-19 на генерування твердих побутових відходів / ГО «ЕКОЛТАВА», 2022. Режим доступу: <https://www.ekoltava.org/zrealizovani-proyekty>
11. Коцюба І. Г. (2017). Дослідження морфологічного складу твердих побутових відходів міста Житомира. Екологічні науки. 3–4 (18–19), 19-23 (in Ukrainian).
12. Голік, Ю. С., Ілляш, О. Е., Монастирський, О. М., Чепурко, Ю. В., Серга, Т. М. (2023). Оцінка енергоресурсного потенціалу територіальних громад Полтавської області як складової енергетичної безпеки. The 3rd International scientific and practical conference «Scientific research in the modern world» (January 12-14, 2023) Perfect Publishing, Toronto, Canada, 205–215.
13. Ілляш, О. Е., Голік, Ю. С. (2023). Дослідження ресурсного потенціалу побутових відходів у Полтавській області. Проблеми охорони праці в Україні, 39(1-2), 47–54 (in Ukrainian).
14. Аналітичні матеріали щодо стану експлуатації сміттєзвалищ на території Чорнухинської територіальної громади / Глобальний проект «Підтримка ініціативи з експорту технологій захисту довкілля», ГО «Інститут розвитку територіальних громад Полтавщини. Полтава, 2022.
15. Аналітичні матеріали щодо стану експлуатації сміттєзвалищ на території Пирятинської територіальної громади / Глобальний проект «Підтримка ініціативи з експорту технологій захисту довкілля», ГО «Інститут розвитку територіальних громад Полтавщини. Полтава, 2022.
16. Аналітичні матеріали щодо стану експлуатації сміттєзвалищ на території Гребінківської територіальної громади / Глобальний проект «Підтримка ініціативи з експорту технологій захисту довкілля», ГО «Інститут розвитку територіальних громад Полтавщини. Полтава, 2022
17. Схема санітарної очистки для м. Лохвиця та сіл Криниця, Васильки, Христанівка, Гаївщина Лохвицького району Полтавської області / Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Договір № 0062/19 від 14.03.2019. Полтава, 2019.
18. Схема санітарного очищення для смт Опішня, с. Попівка та с. Малі Будища Опішнянської територіальної громади Полтавської

області / Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Договір № 0012/23 від 06.03.2023. Полтава, 2023.

19. Аналітичні матеріали щодо стану експлуатації сміттєзвалищ на території Новооржицької територіальної громади / Глобальний проєкт «Підтримка ініціативи з експорту технологій захисту довкілля», ГО «Інститут розвитку територіальних громад Полтавщини. Полтава, 2022.

20. Схема санітарної очистки смт. Семенівка Семенівського району Полтавської області / Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Договір № 0150/19 від 02.05.2019. Полтава, 2019.

21. Комплексна програма поводження з твердими побутовими відходами у Полтавській області на 2022-2030 роки. – Полтава, 2022. – 268с. (проєкт). – Режим доступу: <https://www.adm-pl.gov.ua/advert/oprilyudnennya-dlya-obgovorennya-proektu>

22. Схема санітарного очищення населених пунктів Котелевської селищної територіальної громади / Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Договір № 0033/23 від 25.05.2023. Полтава, 2023.

23. Звітні матеріали за результатами проведених робіт з «Розрахунку норм утворення та визначення морфологічного складу твердих побутових відходів для м. Хорол Полтавської області, проведення обстеження фактичного стану міського звалища ТПВ з визначенням потенціалу його експлуатації» / Науково-технічний центр Полтавського відділення Інженерної академії України. Полтава, 2018.

**ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ІНВЕСТИЦІЙНОЇ  
ДІЯЛЬНОСТІ ІННОВАЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ  
ІЗ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ  
STUDY OF THE INVESTMENT ACTIVITY MANAGEMENT  
SYSTEM OF INNOVATIVE WASTE PROCESSING PROJECTS**

<sup>1</sup>Маркіна Л.М., доктор технічних наук, професор,

<sup>2</sup>Яцишин А.В., старший науковий співробітник, доктор  
технічних наук, <sup>1</sup>Власенко О.В., науковий співробітник,

<sup>1</sup>Ковтунов О.В., аспірант

<sup>1</sup>Markina L.M., Professor, Doctor of Technical Sciences,

<sup>2</sup>Iatsyshyn A.V., Senior Researcher, Doctor of Technical Sciences,

<sup>1</sup>Vlasenko O.V., Researcher, <sup>1</sup>Kovtunov O.V., postgraduate

<sup>1</sup>Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління,  
вул. Митрополита В. Липківського, м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Центр інформаційно-аналітичного та технічного забезпечення  
моніторингу об'єктів атомної енергетики Національної академії наук  
України, м. Київ, Україна

<sup>1</sup>State Environmental Academy of Postgraduate Education and  
Management, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Center for Information, Analytical and Technical Support for Monitoring  
of Nuclear Energy Facilities of the National Academy of Sciences of  
Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Анотація.** Досліджено шляхи екологічного розвитку системи управління в сфері поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ), організацію діяльності та узагальнення теоретичних підходів до екологічного розвитку у сфері поводження з ТПВ в Україні. Визначено групи загроз для бізнесу, що містять в собі екологічну складову. Розглянуто теоретичні засади, особливості та проблеми управління якістю інноваційних проєктів з переробки відходів. Визначено складові та підсистеми управління інноваціями на підприємстві. Розглянуті фази управління якістю переробки відходів, зовнішні та внутрішні чинники інноваційного підприємства, які впливають на якість інноваційного проєкту. Сформовано модель системи управління якістю, яка визначає організаційно-економічний механізм управління проєктів переробки.

**Ключові слова:** еколого-економічні проблеми, екологічна безпека, інноваційні проекти, переробка відходів, ефективність проекту, принципи оцінки ефективності проекту, тверді побутові відходи.

**Abstract.** The ways of ecological development of the management system in the field of municipal solid waste management, organization of activities and generalization of theoretical approaches to ecological development in the field of municipal solid waste management in Ukraine are investigated. The author identifies groups of threats to business that include an environmental component. The theoretical foundations, features and problems of quality management of innovative waste processing projects are considered. The components and subsystems of innovation management at the enterprise are defined. The phases of quality management of waste processing, external and internal factors of an innovative enterprise that affect the quality of an innovative project are considered. A model of the quality management system has been formed, which defines the organizational and economic mechanism for managing recycling projects.

**Key words:** ecological and economic problems, environmental safety, innovative projects, waste processing, project efficiency, principles of project efficiency assessment, solid household waste.

**Вступ.** Здатність людства використовувати науку, технології та інновації для протистояння кризам трансформаційними способами та здатність науково-технічних ініціатив працювати на благо суспільства стала очевидною під час пандемії, а потім і повномасштабного вторгнення. В умовах війни, руйнувань, постійної екологічної небезпеки, нестабільності соціально-економічної ситуації, динамічності ринку, стрімкого розвитку техніки і технологій, особливої уваги заслуговує процес управління інноваційними проектами. Проблема обґрунтування ефективності екологічних інноваційних проектів у сучасних умовах невизначеності і ризику, як на етапах проектування, так і на етапах реалізації.

Основним напрямом інновацій є діяльність, пов'язана з рішенням еколого-економічних проблем, управлінням кліматичними змінами, зниженням викидів парникових газів, ресурсо- та енергозбереженням.

Питанням забезпечення еколого-економічної безпеки, екологізації виробництва, удосконаленням економічного механізму управління ТПВ, зниженням збитків від відходів руйнувань, інвестиційного забезпечення системи поводження з побутовими відходами та проблемам техногенної безпеки присвячені дослідження О. Веклич, М. Долішнього, Л. Мельника, І. Сотник, Я. Шевчука, Б. Данилишина, С. Дорогунцова, Є. Єфімова, А. Качинського,

І. Огородника, І. Підкамінного, В. Потапова, Г. Серова, М. Хилько, Є. Яковлева та ін. [1, 3, 9, 13]. Невирішені питання системи управління та ризиків при впровадженні інноваційних технологій, є частиною загальної проблеми забезпечення національної безпеки та потребують удосконалення.

На сьогоднішній день в Україні ступінь техногенного навантаження на довкілля набагато перевищує показники екологічної безпеки країн світу. При цьому частка потенційно небезпечних для довкілля виробництв складає майже 40% у загальному промисловому виробництві [2].

Серед ключових причин екологічних проблем в Україні виділяють такі аспекти, як недооцінка пріоритетності екологічних завдань, критично високий ступінь зношеності основних засобів на багатьох промислових підприємствах, відсутність чіткої та збалансованої стратегії розвитку системи державного управління в галузі екологізації виробництва, а також недостатній рівень державного моніторингу стану навколишнього середовища та контролю за виконанням природоохоронного законодавства [8].

У період післявоєнного відновлення на підприємствах повинна скорочуватися частка природоексплуатуючих проєктів, в результаті здійснення яких відбувається техногенне забруднення навколишнього середовища, і, відповідно, збільшується частка природозахисних проєктів, що здійснюються з урахуванням збереження і збільшення природно-ресурсного потенціалу [1, 5, 19]. При цьому оптимізація і інноваційна спрямованість природоохоронних заходів підвищують ефективність підприємницької діяльності [4].

Важливо звернути увагу на виокремлені тенденції інтеграції екологічних аспектів у економіку країн Європи:

- Збільшення популярності циркулярної економіки, що включає вторинну переробку відходів з подальшим їх використанням у виробництві.

- Максимальне продовження терміну збереження цінності продукції та матеріалів, з яких вона виготовлена. Це включає ремонт вживаних предметів, засобів та речей, а також їх повторну реалізацію на ринку за меншою ціною.

- Поширення сервісної моделі обслуговування клієнтів, де покупець не придбає сам продукт, а отримає послугу з його використання. Перевага надається виробництву високоякісних товарів для багаторазового використання за відповідну плату.

- Фокус на декаплінгу, що представляє економічний феномен. Це означає розробку та впровадження комплексу ефективних заходів та

нових технологій, при яких тиск на довкілля може зменшитися навіть при швидкому економічному зростанні та використанні ресурсів [23].

Загрози для бізнесу, що містять в собі екологічну складову, можна розподілити на три основні групи [2]:

1) Стан довкілля (екологія зовнішнього середовища): Вивчення впливу людської діяльності на природу та взаємодії між живими організмами та їхнім зовнішнім оточенням.

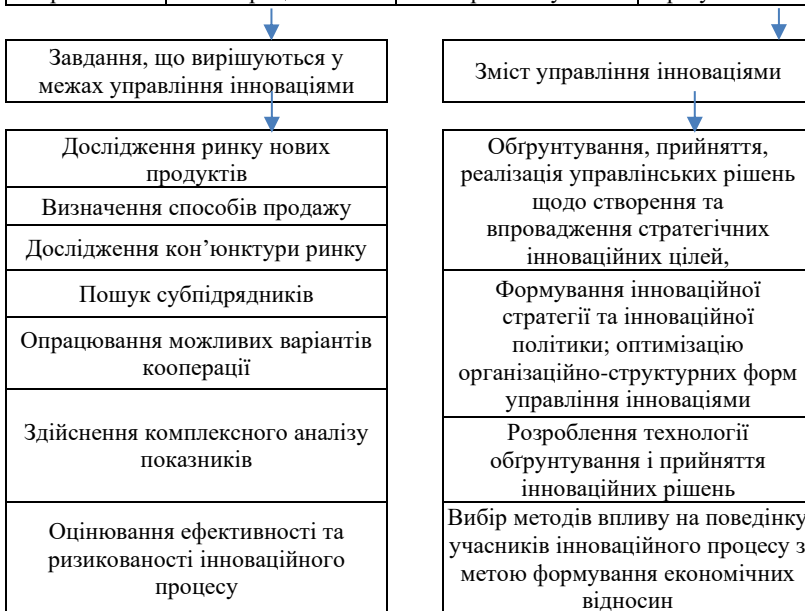
2) Екологічна якість виробленої продукції: Оцінка рівня впливу виробництва на довкілля, яка враховує ефективність використання ресурсів та інші аспекти, спрямовані на зменшення негативного впливу на природу.

3) Екологічна безпека процесу виробництва: Аналіз відповідності технологічних процесів екологічним нормам та вимогам для мінімізації негативного впливу на довкілля під час виробництва товарів або послуг.

Таблиця 1

Управління інноваційними процесами переробного виробництва

Основні функції управління інноваційними процесами виробництва			
Визначення інноваційних цілей		Прогнозування ризиків	Планування діяльності
Координація рішень	Організація процесів	Стимулювання розвитку	Контроль результатів



Міжнародний досвід [16, 17] вказує на тісний зв'язок між досягненням необхідного рівня економічної стабільності підприємства та його стійкого розвитку, зокрема у сфері управління ресурсами. Водночас, створення системи економічної стійкості підприємства стає неможливим без врахування гармонії соціальних, економічних і екологічних інтересів населення, владних органів та підприємств.

Заходи для протидії негативним явищам і загрозам у сфері екології для підприємства предствлені на рисунку 1.



Рисунок 1 – Заходи протидії негативним проявам і загрозам підприємства в області екології

Прикладом реалізації такого підходу, є розробка і впровадження нових інноваційних технологій у сфері переробки відходів і їх вторинного використання, що є економічно вигідним, так як залучення в господарський оборот вторинних ресурсів в якості ресурсної бази виробництва дозволить суттєво знизити економічні витрати виробництва, одночасно вирішуються завдання відновлення довкілля, економії природних ресурсів, енергії, збереження природної сировини

Розвиток і застосування інноваційних технологій в даній сфері є загальносвітовою спрямованістю, в той же час багато інновацій вимагають коректного управління і можуть використовуватися з урахуванням конкретних вирішуваних еколого-економічних, соціальних, технологічних і інших завдань в рамках методів проектного управління.

Багато вчених та дослідників вкладають свої зусилля для вивчення даної проблеми, оскільки кожне сучасне підприємство має потребу в інноваціях. Отже, у роботах таких авторів, як Новіков В. С., Платонов В. В., Ільєнков С. Д., Хрутьба В. О., Ягудін С. Ю., Гузов В. В., Львов А. С. та ін., можна виявити аналіз, актуальність, потенціал і наукові підходи стосовно визначення ефективності інноваційних екологічних проектів [20, 21, 22].



Рисунок 2 – Складові управління інноваціями





Рисунок 3 – Основні підсистеми управління інноваціями на підприємстві

Довгий час проблеми зберігання та утилізації відходів розглядалися не в першу чергу, однак останнім часом, вони все більше вивчаються не тільки як джерело негативного впливу на навколишнє середовище і людину, але і як джерело постійно поновлюваних матеріально-сировинних і паливно-енергетичних ресурсів.

Згідно з Директивами ЄС і законами України, основним пріоритетом в «смітєвій політиці» повинно бути зменшення утворення відходів, а використання полігону для їхнього зберігання повинно бути застосовано тільки в випадках, коли відходи є біологічно стійкими, не піддаються переробці як вторинна сировина та не можуть бути використані для виробництва енергії [4].

Проаналізувавши ситуацію, можна ствердити, що основною причиною проблеми переробки ТПВ в Україні є те, що протягом тривалого часу територія України компенсувала проблему захоронення відходів, насиченість матеріально-сировинними й енергетичними ресурсами, гальмувало питання вторинної переробки сировини для отримання матеріальних і енергетичних ресурсів.

Слід підкреслити, що частина проектів з переробки ТПВ у загальному обсязі вирішення проблеми відходів (включаючи поховання та утилізацію) незначна. З економічної точки зору проект переробки ТПВ вимагає великого обсягу інвестиційних ресурсів, із соціальної, реалізація проекту стикається з негативною реакцією з боку населення, яке проживає в районі передбачуваного будівництва підприємства.

Однією з причин є недостатній рівень якості інноваційних проектів, що фактично гальмує розвиток процесів відтворення відновлюваних матеріально-сировинних і паливно-енергетичних ресурсів, тому стримує зростання темпів соціально-економічного розвитку.

Зростаючі проблеми науково-технічного розвитку та сучасні територіально-екологічні проблеми поводження з відходами, призвели до виникнення проблем управління якістю інноваційних проектів переробки ТПВ.

1. Інноваційні підприємства, по переробці ТПВ, стикаються з нестачею власних інвестиційних ресурсів, як для створення самих інновацій, так і для управління якістю проектів.

2. Інноваційні підприємства не мають можливості проводити маркетингові дослідження, щодо виявлення джерел ТПВ, методів підготовки (в тому числі сортування) і здійснення виробництва.

3. При розробці інноваційних проектів незначна увага приділяється питанням експлуатаційного сервісу, що істотно звужує можливості самоокупності інновацій.

4. На якість інноваційних проектів негативний вплив має слабо розвинена інноваційна інфраструктура і вітчизняний ринок технологій.

5. Істотне відставання від світового рівня розвитку механізмів оцінки вартості інновацій, ускладнює залучення інвестицій в управління якістю проектів.

6. Неправильний підхід до управління персоналом, залученим до інноваційних проектів, призводить до відносно низької інноваційної активності працівників і до високого рівня їх незацікавленість при вирішенні проблем управління якістю проектів.

7. При бізнес-плануванні і фінансуванні інноваційних проектів, відсутній належний облік необхідних витрат на управління якістю, що

приводить до незбалансованості ресурсного забезпечення реалізації проектів.

Проаналізувавши проблеми управління якістю інноваційних проектів переробки ТПВ можна сформуванати алгоритм їх вирішення, представлений на рисунку 4.



Рисунок 4 – Етапи розв’язання проблем управління якістю інноваційних проектів з переробки ТПВ

Узагальнюючи світовий досвід [16] поведження з твердими побутовими відходами, можна проаналізувати чинники, що визначають якість реалізації інноваційних проектів переробки ТПВ.

Представивши інноваційний проект переробки ТПВ, у вигляді петлі якості (рис. 4), очевидним є те, що на якість інноваційних проектів, впливає сукупність, зовнішніх і внутрішніх факторів представлених на рисунку 5.

При цьому забезпечення якості проектів переробки ТПВ можна уявити підготовчою, реалізаційною та експлуатаційною фазами (рис. 5) [3].

Експлуатаційна форма

Підготовча форма



Рисунок 5 – Коло якості інноваційних проєктів із переробки ТПВ

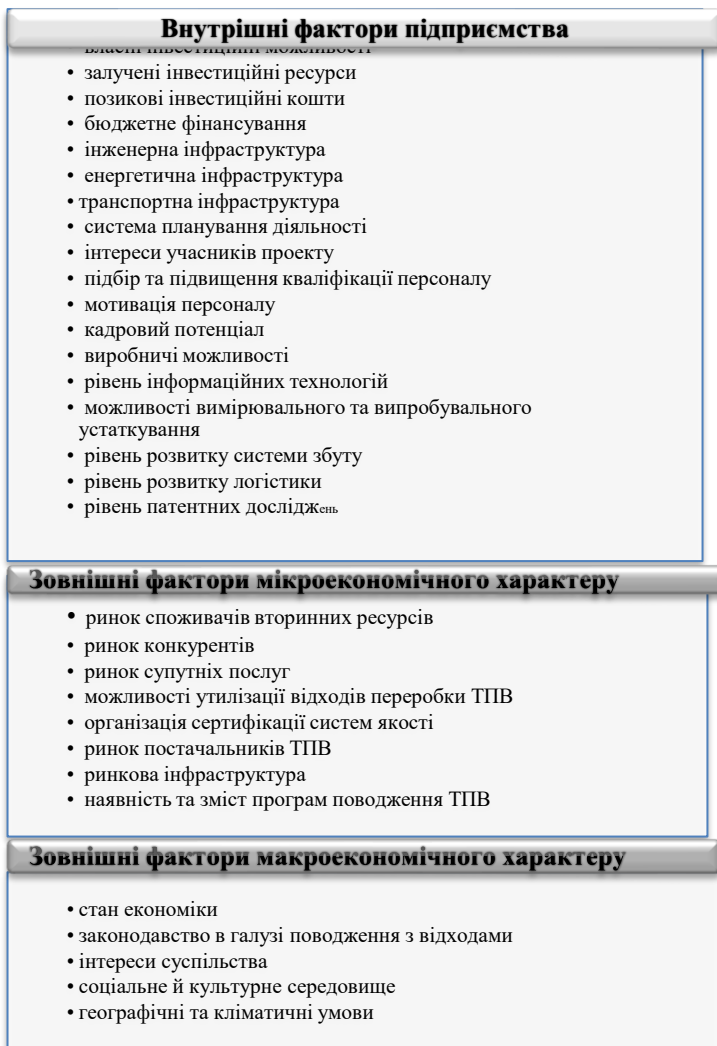


Рисунок 6 – Зовнішні та внутрішні чинники інноваційного підприємства, які впливають на якість інноваційного проекту

Розглядаючи фази управління якістю переробки ТПВ, можна виділити наступне:

На підготовчій фазі значної уваги надається проектуванню та розробці установок із переробки твердих побутових відходів, а також розробці та підготовці технологій переробки ТПВ. Проблемам же пошуку ефективних ринків сировини (ТПВ) і постачання його на виробництво, включаючи сортування, при управлінні якістю проєктів приділяється недостатня увага.

На реалізаційній фазі, при відносно високому рівні організації дослідного виробництва і прийнятному рівні зберігання і упаковки вторинних ресурсів, спостерігаються проблеми в забезпеченні необхідного рівня якості вимірювань, випробувань і контролю процесів і результатів виробництва. Ці проблеми тісно пов'язані з низьким рівнем постачання виробництва ТПВ, включаючи попереднє сортування, що спричинить виникнення технологічних відхилень і, відповідно, складності оцінки результатів контролю виробництва. Крім того, недостатній маркетинговий аналіз створить проблему реалізації вироблених вторинних ресурсів.

На експлуатаційній фазі, на фоні відносно високого рівня виконання робіт по монтажу і експлуатації установок, існують проблеми в здійсненні технічного обслуговування установок. Але основні проблеми в управлінні якістю інноваційних проєктів на експлуатаційній стадії пов'язані з утилізацією відходів вторинної переробки ТПВ.

Таким чином, аналіз впливу зовнішніх і внутрішніх факторів на управління якістю інноваційних проєктів переробки ТПВ показав незбалансованість рівня виконання окремих етапів реалізації проєкту, що вимагає вдосконалення системи управління якістю.

Вивчаючи формування моделі системи управління якістю можна визначити організаційно-економічний механізм управління якістю інноваційних проєктів переробки ТПВ (рис.6).

Основною організаційно-економічного механізму є:

- аналіз виробничих, економічних, комерційних і екологічних можливостей різних варіантів реалізації інноваційних проєктів переробки ТПВ;
- обґрунтування оптимального варіанта комплексної переробки ТПВ із урахуванням мінімізації обсягів відходів, що залишаються і розвитку сортування;
- стимулювання учасників виробничого ланцюжка переміщення ТПВ до скорочення виробничо-збутового циклу отримання вторинних

матеріально-сировинних і паливно-енергетичних ресурсів, підвищення глибини переробки ТПВ та зростання екологічної безпеки виробництва;

- активне використання методів прогнозування джерел і обсягів накопичення ТПВ, що дозволить підвищити якість планування раціональних обсягів основного і допоміжного виробництва переробки ТПВ;

- формування збалансованої схеми комплексного ресурсного забезпечення для всіх елементів петлі якості інноваційних проєктів промислової переробки ТПВ;

- визначення раціональних умов збору (в тому числі роздільного) для переробки ТПВ;

- виявлення напрямку скорочення сумарних витрат переробки ТПВ за рахунок збільшення витрат на вдосконалення якості проєктів;

- визначення джерел фінансування витрат на якість проєктів переробки ТПВ;

- визначення механізму відшкодування витрат на поліпшення якості інноваційних проєктів переробки ТПВ.

Організаційно-економічний механізм управління якістю інноваційних проєктів переробки ТПВ передбачає в якості основного елемента, стимулювання учасників виробничого ланцюжка до скорочення виробничо-збутового циклу вторинних матеріально-сировинних і паливно-енергетичних ресурсів, підвищення глибини переробки ТПВ та зростання екологічної безпеки виробництва.

Таким чином, для подальшої продуктивної діяльності в області захисту навколишнього середовища необхідним є розвиток інфраструктурних і виробничих об'єктів, потужностей екологічного спрямування. Для цього необхідні відповідні фахівці: управлінці, менеджери, інженери-будівельники, фахівці в галузі екологічної економіки, проєктувальники та ін., Має бути врахована специфіка підприємств з урахуванням дотримань міжнародних екологічних стандартів. Для реалізації таких інноваційних проєктів необхідно розвивати методологію проєктного управління та адаптувати її до вирішення сучасних еколого-економічних завдань.

Висновки, отримані в результаті дослідження, підтверджують, що екологізація технологічного прогресу виступає ключовим фактором стимулювання економічного зростання. Ця ініціатива є гарантією збереження природного капіталу та раціонального використання ресурсів. Для успішної інтеграції України до європейської спільноти важливим є усвідомлення екологічного імперативу як основного напрямку розвитку економіки.

У наступні десятиріччя перед Україною постають важливі завдання, такі як перетворення екологічної свідомості суспільства, ефективна реструктуризація виробничої сфери, впровадження системи інноваційного та раціонального природокористування, удосконалення законодавства щодо технологічного захисту довкілля та сприяння інноваційним процесам.

### Список використаних інформаційних джерел

1. Гобела В.В. Екологізація в системі економічної безпеки держави. URL: [https://dspace.lvduvs.edu.ua/bitstream/1234567890/3509/1/gobela\\_d.pdf](https://dspace.lvduvs.edu.ua/bitstream/1234567890/3509/1/gobela_d.pdf) (дата звернення: 12.01.2023).
2. Бойко О. Велика промислова екологізація або як здійснюють екомодернізацію підприємств у ЄС? *Економічна правда*. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2020/12/9/668987/> (дата звернення: 14.01.2023).
3. Борщук Є., Лисачок А. Зелена економіка в системі економічної безпеки. *Věda a perspektivy*. 2021. № 1(1). С. 47–58.
4. Даценко О. Ф. Економічні інструменти екологізації економіки України на шляху до ЄС. *Eurasian Academic Research Journal (multilanguage science journal)*. 2020. № 2(34). Р. 53–59. URL: <http://elar.khmnu.edu.ua/jspui/handle/123456789/9212> (дата звернення: 10.01.2023).
5. OCHA Ukraine. Ukraine is one of the most mine-contaminated countries in the world. Twitter UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-society/3448566-oon-ukraina-odna-z-najbils-zaminovanih-krain-u-sviti.html> (дата звернення: 25.01.2023).
6. Антоненко В.М., Сухіна О.М., Попова О.Ю., Дякова Я.Ю. Екологізація економічних відносин в системі управління господарськими процесами. *Проблеми екології*. 2021. № 1. С. 7–16.
7. Ralph Fuks. Green revolution. URL: <https://greenpost.ua/blogs/zelena-revolyuetsiya-ralfa-fyuksa-i7063> (дата звернення: 05.01.2023).
8. Корольчук Л.В. Концептуальні основи теорії сталого розвитку. *Економічний форум*. 2020. № 4. С. 14–22.
9. Печенюк А.В., Печенюк А.П. Екологічна модернізація економіки як необхідна умова сталого розвитку суспільства. *Інноваційна економіка*. 2018. № 9-10. С. 120–124.
10. Закон «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» Екобізнес. URL:



<https://ecolog-ua.com/news/zakonoproekt-pro-osnovni-zasady-strategiyu-derzhavnoyi-ekologichnoyi-polityky-ukrayiny-na> (дата звернення: 02.01.2023).

11. Гончаренко М. Ф., Пархоменко Н. М., Лучин О. М. «Зелена» економіка як напрям досягнення стійкого еколого-економічного розвитку регіону. *Актуальні проблеми економіки*. 2020. № 6(228). С. 6–15.

12. V. Bendiuh, L. Markina, N. Matsai, I. Kyrpychova, S. Boichenko, S. Priadko, I. Shkilniuk, B. Komarysta, I. Yermakovych, O. Vlasenko. Integrated method for planning waste management based on the material flow analysis and life: *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. 1/10(121), PP. 6–18. (Scopus). DOI: 10.15587/1729-4061.2023.273930

13. Environmental Performance Index 2022 EPI Results. URL: <https://epi.yale.edu/epi-results/2022/component/epi> (дата звернення: 18.01.2023).

14. Yongzhe Yan, Yufeng Chen, Jiafeng Miao (2022) Eco-innovation in SMEs: a scientometric review. Springer Link. Germany, vol. 29, pp. 48105–48125. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-022-20657-5> (accessed 23 February 2023).

15. Eco-innovation. Available at: <https://en.m.wikipedia.org/wiki/Eco-innovation> (accessed 24 February 2023).

16. Eco-innovation. Available at: <https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/responsibleindustry/eco-innovation> (accessed 24 February 2023).

17. European Commission. Environment. Eco-Innovation. Available at: [https://green-business.ec.europa.eu/ecoinnovation\\_en](https://green-business.ec.europa.eu/ecoinnovation_en) (accessed 25 February 2023).

18. Damage to the Ukrainian environment as a result of the war is estimated at \$46 billion. Available at: <https://mind.ua/news/20252042-zbitki-ukrayinskomu-dovkillyu-vnaslidok-vijni-ocineni-v-46-mlrd> (accessed 25 February 2023).

19. Industrial losses due to the war. Available at: <https://voxukraine.org/zbytky-promyslovosti-cherez-vijnu/#>: (accessed 25 February 2023).

20. Global Innovation Index 2022. Ukraine. Available at: [https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo\\_pub\\_2000\\_2022/ua.pdf](https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_2000_2022/ua.pdf) (accessed 26 February 2023).

21. Ostrovsky I.A., Prasol V.M., Mozhaikina N.V. (2022) Social innovations as a driver of the development of the international market of

educational services. *Economy and society*, vol. 39. Available at: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/1415> (accessed 27 February 2023).

22. Recruitment for participation in the «Social Innovations of Communities» educational program from the «Leadership and Service» program has been announced. Available at: <https://www.ukredu.org/socialinnovations22> (accessed 01 March 2023).

23. Types of Innovation Institutional Social Technological. Available at: <https://killerinnovations.com/3-types-of-innovation-institutional-social-technological/> (accessed 03 June 2023).

**УПРАВЛІННЯ І ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ ПЕРЕРОБКИ  
ДЕРЕВИННОВОЛОКНИСТОЇ ПЛИТИ  
MANAGEMENT AND HANDLING OF WASTE FROM THE  
PROCESSING OF WOOD FIBERBOARD**

**Синящик В.Ф.**, аспірант, **Кондрашов С.В.**, магістр,  
**Лініч А. В.** магістр, **Харламова О.В.**, доктор технічних наук, доцент,  
**Безденєжних Л.А.**, кандидат технічних наук, доцент  
**Sinyashchuk V.F.**, postgraduate, **Kondrashov S.V.**, magistr,  
**Linich A.V.**, magistr, **Kharlamova O.V.**, Doctor of Technical Sciences,  
Associate Professor, **Bezdeniezhnykh L.A.**, Candidate of Technical  
Sciences, Associate Professor

Кременчуцький національний університет імені Михайла  
Остроградського, Україна  
Mykhailo Ostrohradsky Kremenchuk National University, Ukraine

**Анотація.** Стаття присвячена дослідженню впливу режиму гідролізу на властивості та ефективність перероблення відходів деревинноволокнистої плити (МДФ). Вивчено процес термічного гідролізу вторинної МДФ в автоклаві з насиченою парою як теплоносієм. Проведена попередня підготовка вторинних МДФ у зразках із розмірами, близькими до целюлозної стружки, проаналізовано вплив тривалості і температури гідролізу на властивості перероблених деревних волокон МДФ.

Дослідження проведені при таких технологічних параметрах: температура гідролізу (121 °С та 134 °С) із відповідними тисками насиченої пари, тривалість процесу (30, 45 та 60 хвилин). Після гідролізу отриману волокнисту фракцію очищали за допомогою молоткового млина, оцінили фракційний та елементний склад вторинних волокон після обробки гідролізом, а також вміст геміцелюлози після кожного процесу гідролізу.

Результати досліджень не виявили суттєвих змін в елементному складі перероблених волокон, але режими гідролізу не призвели до зниження вмісту пентозану. Перероблені волокна МДФ мали схожу морфологію волокон і фракційний склад, але були коротшими, ніж волокна промислової целюлози. Збільшення температури та часу гідролізу призвело до значного підвищення значень хімічного

споживання кисню (ХСК), який є показником забруднення стічних вод і кількісного виходу процесу.

На основі отриманих результатів встановлено, що найбільш перспективним з точки забруднення стічних вод (за визначенням ХСК) виявився режим гідролізу при температурі 120 °С і тривалості 30 хвилин.

**Abstract.** The article is devoted to the study of the influence of the hydrolysis mode on the properties and efficiency of recycling waste wood fiberboard (MDF). The thermal hydrolysis of secondary MDF in an autoclave with saturated steam as a heat carrier was investigated. The preliminary preparation of secondary MDF in samples with dimensions close to cellulose chips was carried out, and the effect of the duration and temperature of hydrolysis on the properties of recycled MDF wood fibers was analyzed.

The studies were carried out at the following technological parameters: hydrolysis temperature (121 °C and 134 °C) with corresponding saturated vapor pressures, process duration (30, 45, and 60 minutes). After hydrolysis, the resulting fiber fraction was cleaned using a hammer mill, and the fractional and elemental composition of secondary fibers after hydrolysis treatment, as well as the hemicellulose content after each hydrolysis process, were evaluated.

The research results did not reveal any significant changes in the elemental composition of the recycled fibers, but the hydrolysis modes did not lead to a decrease in the pentosan content. The recycled MDF fibers had similar fiber morphology and fractional composition, but were shorter than industrial pulp fibers. Increasing the hydrolysis temperature and time resulted in a significant increase in the chemical oxygen demand (COD) values, which is an indicator of wastewater pollution and quantitative process yield.

Based on the results obtained, the most promising in terms of wastewater contamination (as determined by COD) was the hydrolysis mode at a temperature of 120 °C and a duration of 30 minutes.

Актуальною проблемою сьогодення є управління та поводження з відходами та зменшення рівня забруднення навколишнього середовища [1].

Виробництво МДФ є однією з галузей, яка активно розвивається і демонструє стабільні темпи зростання. У 2021 році світове виробництво МДФ становило близько 105 млн. м<sup>3</sup>. МДФ панелі мають тривалість життєвого циклу від 5 до 45 років. Згідно результатів досліджень [2] 24% панелей МДФ завершують свій життєвий цикл протягом одного року, а до 81% – упродовж 10 років. Це призводить до значного збільшення накопичення відходів МДФ плит та ускладнює їх утилізацію. З 1 м<sup>3</sup> МДФ можна виготовити від 1,6 до 2,0 м<sup>3</sup> деревини.

Таким чином, навіть один цикл переробки панелей дозволяє заощадити понад 168 млн. м<sup>3</sup> деревної сировини, що є елементом ресурсоенергозбереження [3].

Проблемою, пов'язаною зі збільшенням кількості відходів МДФ плит, є утилізація на звалищах. У країнах Європейського Союзу заборонено захоронення панелей МДФ. З урахуванням сучасного екологічного законодавства, яке сприяє «каскадному використанню» деревних ресурсів, переробка матеріалу перед спалюванням для рекуперації енергії стає надзвичайно важливою.

Хоча вторинна переробка ДСП є поширеною виробничою практикою, МДФ викликає певні труднощі. Під час переробки деревних панелей можлива їх обробка з вилученням або без вилучення смол. Однак, переробка без видалення смол призводить до підвищеного викиду формальдегіду з панелей, що негативно впливає на навколишнє середовище. При використанні такої технології для виробництва ДСП отримані частинки зазвичай використовуються як наповнювач у внутрішньому шарі панелей [4].

Переробка МДФ-відходів може відбуватися з або без екстракції смоли. Використання парових або гідротермальних методів дозволяє гідролізувати сечовино-формальдегідні (UF) смоли, які є основними термореактивними синтетичними смолами, використовуваними європейськими виробниками деревних плит. Якщо здійснюється переробка без екстракції смоли, це може призвести до збільшення обсягів виділення формальдегіду. Формальдегід може справляти шкідливий вплив на здоров'я людини та призводити до зменшення струнності волокна, а також утворення пучків розрізаних і вкорочених волокон. Для зниження вмісту формальдегіду у виробничому процесі використовуються дорогі поглиначі [5].

Однак, основні зусилля щодо вторинної переробки МДФ зосереджені на видобутку смоли. Процес гідролізу UF смоли став одним із найбільш багатообіцяючих методів переробки для промислового застосування. Гідроліз UF смоли може бути термічним, термохімічним у кислому розчині або гідролізом електролізом. Кислотний гідроліз прискорює процес, але збільшує витрати через використання хімічних реагентів і очищення стічних вод [6].

Термохімічний гідроліз UF смоли є найбільш оптимальним методом переробки для промислового застосування. Він дозволяє знизити вміст геміцелюлози у вторинних волокнах порівняно з натуральними волокнами. Оптимальна температура для гідролізу зазвичай близько 125 °С, що дозволяє досягти хороших результатів із

зменшення негативного впливу на механічні властивості перероблених волокон [7].

Збільшення ефективності та безпеки процесу вторинної переробки МДФ має велике значення для збереження навколишнього середовища і забезпечення екологічної безпеки. При використанні екологічно безпечних технологій переробки можна знизити вплив на довкілля і покращити якість виробництва.

У наших дослідженнях ми мали на меті дослідити та оцінити вплив двох різних режимів гідролізу, застосованих на їхню ефективність і на властивості перероблених волокон МДФ.

Для проведення дослідження використано звичайні панелі МДФ, а також промислову целюлозу для порівняльного аналізу. Рафінування панелей відбувалося під нагріванням при тиску пари 12 мПа (188 °С) протягом трьох хвилин.

Комерційний МДФ виготовлявся з деревної сировини, що складалася з 40% листяних порід (бук і дуб) та 60% м'яких порід (ялина і сосна). Щільність промислових МДФ панелей становила 780 кг/м<sup>3</sup>. В якості сполучної речовини використовувалася ультрафіолетова смола з молярним співвідношенням 1,00. Адгезивна система включала 4% меламіну на основі сухої смоли. Для надання водонепроникності використовувався віск (парафінова емульсія). Вміст смоли відносно сухих волокон становив 8%, а вміст парафіну – 1%. МДФ-панелі були перетворені на зразки з розмірами, близькими до розмірів целюлозної стружки, приблизно 10x20x8 мм (рис.1).



Рисунок 1 – Зразки МДФ до гідролізу

Зразки МДФ-панелей оброблялись у автоклаві TS14B за допомогою термічного гідролізу. Результати попередніх досліджень переробки відходів МДФ-панелей вказують на доцільність використання температур 120 °С і 135 °С. Термічний гідроліз проводили з використанням насиченої пари під тиском 0,2 МПа та 0,3 МПа як теплоносія. Для дослідження впливу на властивості перероблених

волокон МДФ зразки піддавались трьом різним часам обробки: 30, 45 і 60 хвилин [8].

Параметри процесу вибрані відповідно до попередніх досліджень Moezziur [9]. Інші дослідження показали, що при нижчих температурах гідролізу та аналогічній тривалості процесу панелі МДФ, виготовлені з перероблених волокон, виділяють значно більше формальдегіду. Це може свідчити про неповний розпад UF смол до аміносполук. Із іншого боку, при підвищенні температур починається деполімеризація геміцелюлози і утворення значної кількості пентозанів у перероблених волокнах.

Параметри перероблених волокон (RF) порівнювали з характеристиками волокон промислової целюлози (FIP). Експериментальні параметри гідролізу МДФ панелей наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Експериментальні параметри гідролізу МДФ

Тип волокна	Температура гідролізу, T, °C	Час гідролізу, t, хв
A (вторинна целюлоза)	120	31
B (вторинна целюлоза)	120	44
C (вторинна целюлоза)	120	62
D (вторинна целюлоза)	135	31
E (вторинна целюлоза)	135	4
F (вторинна целюлоза)	135	60
FIP (промислова целюлоза)	0	0

Для встановлення впливу режиму гідролізу на властивості волокон, отриманих із вторинної переробки ДВП середньої щільності, нами проведено наступні аналізи: елементний аналіз вуглецю (C), азоту (N), водню (H); аналіз фракційного складу волокон вторинної та промислової целюлози; визначення пентозанів; аналіз значень хімічного споживання кисню (ХСК) стічних вод; аналіз FTIR; мікроскопічний аналіз та ієрархічний кластерний аналіз. Елементний аналіз був проведений для встановлення можливих змін елементного складу перероблених волокон, а також залишкового вмісту UF смоли, що демонструється вмістом азоту (елемент міститься в деревині до 0,1%).

Нами досліджено фракційний склад волокон переробленої та промислової целюлози, щоб встановити різницю в довжині цих двох типів волокон. Останній показник має велике значення для формування зв'язків між волокнами при виготовленні панелей МДФ. Визначення

пентозанів спрямоване на встановлення можливих змін хімічної структури волокон у результаті гідролізу. Аналіз ХПК проводився для встановлення забруднення стічних вод і як непрямий показник змін у перероблених волокнах. Аналіз FTIR виконано з метою порівняльної характеристики функціональних груп у перероблених волокнах і волокнах з промислової целюлози. Мікроскопічний аналіз встановлює відмінності целюлози від перероблених і натуральних волокон. Також був проведений мікроскопічний аналіз перероблених і натуральних волокон за допомогою світлового мікроскопа.

Результати експерименту (табл. 2) демонструють, що впроваджені режими гідролізу, що передбачали час процесу в діапазоні від 30 до 60 хвилин і температуру від 120 до 135 °С, на практиці не вплинули на хімічний склад перероблених волокон. Інші дослідження щодо вмісту азоту в натуральних волокнах показали результати в діапазоні від 0,07% до 0,1%.

У смолі UF вміст азоту коливається між 30% та 32%. В перероблених волокнах, отриманих у цьому дослідженні, вміст азоту складав від 3,68% до 3,94%. Таким чином, залишкові продукти UF смоли становили 10–11% у складі волокон. При обраних режимах гідролізу 100% сполучних компонентів залишалося в перероблених волокнах.

Нами встановлено, що після проведення кислотного гідролізу лише 33,5% компонентів UF смоли присутні у перероблених волокнах. Загалом, залишкові продукти UF смоли, особливо аміногрупи, призводять до менших викидів формальдегіду з панелей, виготовлених із перероблених волокон.

Таблиця 2

Елементний склад перероблених волокон МДФ при різних температурах і часах гідролізу

Тип волокна	Температура гідролізу T, °C	Час гідролізу t, хв	Елемент (%)		
			C	N	H
A (вторинна целюлоза)	120	31	52	3,8	7,2
B (вторинна целюлоза)	120	44	50,8	4	6,7
C (вторинна целюлоза)	120	62	51,5	3,5	7
D (вторинна целюлоза)	135	31	51,1	3,7	6,7
E (вторинна целюлоза)	135	4	50	3,7	6,8
F (вторинна целюлоза)	135	60	53,8	4	7



Вважаємо, що зображені на рисунку 2 вигини в МДФ виникли внаслідок розриву клейових зв'язків, вивільнення внутрішніх напруг у матеріалі та впливу поглиненої води під час процесу пропарювання, що спричинило додаткові деформації.



Рисунок 2 – Зразки МДФ після термічного гідролізу

Результати визначення вмісту пентозану в перероблених і промислових целюлозних волокнах наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Вміст пентозанів у волокнах переробленої та промислової целюлози

Тип волокна	Температура гідролізу T, °C	Час гідролізу t, хв	Вміст пентозанів(%)
A (вторинна целюлоза)	120	31	21,5
B (вторинна целюлоза)	120	44	20,5
C (вторинна целюлоза)	120	62	20,6
D (вторинна целюлоза)	135	31	21,5
E (вторинна целюлоза)	135	44	21,2
F (вторинна целюлоза)	135	60	21,1
FIP(промислова целюлоза)	0	0	21,1

У застосованих режимах гідролізу не виявлено змін у вмісті пентозану, і ці режими не мали впливу на первинний хімічний склад деревини. Встановлено зниження вмісту геміцелюлози на 12%. Це

досягалося проведенням процедур упродовж 150 хвилин при температурах від 105 °С до 150 °С. Порівнюючи результати цього дослідження з отриманими нами даними, констатуємо, що зменшення розмірів матеріалу, що піддається гідролізу, дозволяє скоротити час гідролізу, зберігаючи хімічну структуру деревних волокон. Товщина зразків у попередньому дослідженні становила приблизно 16 мм, у той час, як у поточному випадку вона становила приблизно 8 мм [10].

Щодо фракційного складу вторинної та промислової целюлози, дані представлені на рисунку 3. Дослідження фракційного складу вторинних волокон показало, що їх основні фракції склалися від 4,0 мм до 1,0 мм. Не було виявлено суттєвої різниці в цьому розподілі для досліджуваних режимів гідролізу. При аналізі найдрібнішої фракції, менше 100 мкм, виявлено збільшення її кількості при збільшенні часу гідролізу з 30 до 60 хв. Гідроліз, проведений при температурі 134 °С протягом 60 хв., утворив найбільш значну фракцію відходів. Частка дрібної фракції в цьому режимі була майже в п'ять разів більшою, ніж у волокнах, отриманих при температурі гідролізу 121 °С і тривалості обробки 30 хв.

Згідно з проведеним порівняльним аналізом перероблених і натуральних волокон промислової целюлози, нами виявлено, що в початкових матеріалах містилося 12% волокон, довжина яких перевищувала 6,3 мм. Проте, після переробки МДФ панелей такі довгі волокна не були знайдені. Ці результати узгоджуються з попередніми дослідженнями [11,12], які показали зменшення довжини волокон до 30% після переробки. Зазначені факти підтверджують поточне дослідження, в результаті якого було виявлено, що натуральні волокна мають значно більш рівномірний розподіл між окремими фракціями.

Нами визначено значення ХСК стічних вод з різних режимів гідролізу. Отримані результати наведені в таблиці 4.

При збільшенні температури та часу обробки відбувалося зростання значення ХСК на 64,31%. Це свідчить про те, що погіршення параметрів процесу гідролізу призвело до значного збільшення забруднення стічних вод і зниження кількісного виходу. Збільшення забруднення пов'язують з виділенням розчинних екстрактів із деревних волокон панелей, хоча вміст геміцелюлози у волокнах залишався незмінним.

За результатами досліджень, температура мала найбільший вплив на значення ХСК порівняно з часом обробки. Наприклад, при температурі 120 °С збільшення ХСК зі збільшенням часу обробки від 30 до 60 хв. становило 5,1%, тоді як при температурі 135 °С збільшення

становило 17,6%. Збільшення температури гідролізу від 120 до 135 °С призвело до зростання значення з 40% до 57%.

Таблиця 4

Значення ХСК стічних вод різних режимів гідролізу

Тип волокна	Температура гідролізу T, °C	Час гідролізу t, хв	ХСК (мг/л)
A (вторинна целюлоза)	120	31	1835
B (вторинна целюлоза)	120	44	1878
C (вторинна целюлоза)	120	62	1921
D (вторинна целюлоза)	135	31	2561
E (вторинна целюлоза)	135	44	2830
F (вторинна целюлоза)	135	60	3019

Застосування кластерного аналізу (ґрунтується на значеннях ХСК, вмісті пентозанів та елементів) показало, що волокна типу F були згруповані у відокремлену категорію. Час обробки мав незначний вплив порівняно з результатами випадкових збурень, при нижчій із двох досліджуваних температур. Однак, комбінування впливу температури та часу процесу – значно збільшило виробництво тепла. Цей кумулятивний ефект суттєво змінив значення ХСК стічних вод від переробки волокон типу F (температура 135°С і тривалість процесу 60 хв).

Зазначене забруднення стічних вод, ймовірно, не тільки зумовлене гідролізом UF смоли, але також може бути результатом виділення водорозчинних екстрактів із деревини. В будь-якому випадку, це забруднення призводить до зростання витрат на процеси переробки МДФ-панелей. Таким чином, слід звернути увагу на вплив цих факторів на навколишнє середовище при плануванні та здійсненні виробничих процесів.

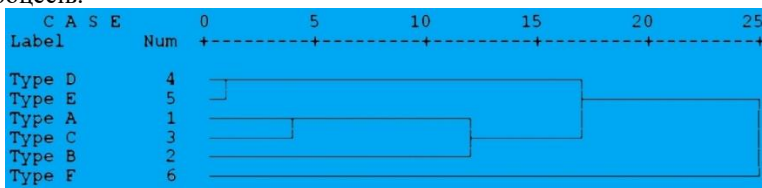


Рисунок 4 – Результати кластерного аналізу для різних типів волокон

**Висновки.** Розглянуті екологічні аспекти управління та поводження з відходами деревинноволокнистих плит.

Встановлено що, обробка гідролізом при визначених температурі і часі не призвела до значного вилучення UF смоли, але спричинила руйнування деяких компонентів смоли. Кількість пентозанів у перероблених волокнах МДФ залишалася стабільною протягом процесу та близька до кількості пентозанів у натуральних волокнах.

Обрані режими гідролізу (температура від 120 °С до 135 °С і час обробки від 30 до 60 хв.) дозволили зберегти хімічний склад деревних волокон, що дає змогу їх ефективно інтегрувати з натуральними волокнами, піддаючи термомеханічним процесам очищення.

Фракційний склад вторинних волокон, отриманих при різних режимах гідролізу, не відзначався суттєвими відмінностями. Проте, перероблені волокна були коротшими за натуральні, мали неправильну форму та невелику стрункість, що може негативно вплинути на властивості панелей, виготовлених з вторинного волокна.

Значення ХСК значно підвищувалися зі збільшенням часу і температури обробки, що призводило до забруднення стічних вод та зниження кількісного виходу, що призводить до негативного впливу на навколишнє середовище.

Переробка панелей дає змогу заощадити деревну сировину, що є елементом ресурсоенергозбереження.

### **Список використаних інформаційних джерел**

1. Titova A.O., Kharlamova O.V., Bezdniezhnykh L. A., Bihdan S.A. Optymizatsiia systemy upravlinnia tverdymy pobutovymy vidkhodamy u kremenchutskii terytorialnii hromadi// Naukovyi zhurnal «Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho», №3/2021(128). S.51–56.

2. Сиящик В.Ф., Харламова О.В., Шмандій В.М., Ригас Т.С., Безденежних Л.А. «Екологічні аспекти сталого розвитку у системі поводження з пластиковими відходами». Науково-технічний журнал «Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування», №1(27), 2023, м. Івано Франківськ. С. 85–91.

3. Сиящик В.Ф., Харламова О.В. «Використання золи від спалювання твердих побутових відходів у виробництві будівельних матеріалів як аспект збереження навколишнього середовища та підвищення екологічної стійкості», Збірник матеріалів I Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні проблеми теплоелектроенергетики та захист довкілля» (21-22 вересня 2023 року, Полтава). С.84–86.

4. Irle, M.; Privat, F.; Couret, L.; Belloncle, C.; Déroubaix, G.; Bonnin, E. Advanced recycling of post-consumer solid wood and MDF. *Wood Mat. Sci. Eng.* 2018, 11, 1–5.

Doi: <https://doi.org/10.1080/17480272.2018.1427144>

5. Kim, M.H.; Song, H.B. Analysis of the Global Warming Potential for Wood Waste Recycling Systems. *J. Clean. Prod.* 2014, 69, 199–207. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.039>

6. Hagel, S.; Saake, B. Fractionation of Waste MDF by Steam Refining. *Molecules* 2020, 25, 2165.

Doi: <https://doi.org/10.3390/molecules25092165>

7. Iždinský, J.; Vidholdová, Z.; Reinprecht, L., Particleboards from Recycled Wood. *Forests* 2020, 11, 1166.

Doi: <https://doi.org/10.3390/f11111166>

8. Pizzi, A.; Papadopoulos, A.N.; Policardi, F. Wood composites and their polymer binders. *Polymers* 2020, 12, 1115.

Doi: <https://doi.org/10.3390/polym12051115>

9. Nuryawan, A.; Risnasari, I.; Pohan, A.P.; Husna, A.U.; Banurea, R.; Hartini, K.S. Properties of fiberboard (F.B.s) and recycle fiberboard (rFBs) and analysis of their wastage after recycling. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 2020, 935, 012060.

Doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/935/1/012060>

10. Kristak, L.; Antov, P.; Bekhta, P.; Lubis, M.A.R.; Iswanto, A.H.; Reh, R.; Sedliacik, J.; Savov, V.; Taghiyari, H. Recent Progress in Ultra-Low Formaldehyde Emitting Adhesive Systems and Formaldehyde Scavengers in Wood-Based Panels: A Review. *Wood Mater. Sci. Eng.* 2023, 18, 763–782.

Doi: <https://doi.org/10.1080/17480272.2022.2056080>

11. Bütün Buschalsky, F.Y.; Mai, C. Repeated thermo-hydrolytic disintegration of medium density fiberboards (MDF) for the production of new MDF. *Eur. J. Wood Prod.* 2021, 79, 1451–1459.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00107-021-01739-6>

12. Zhang, Y.; Duan, C.; Bokka, S.K.; He, Z. Molded fiber and pulp products as green and sustainable alternatives to plastics: A mini review. *J. Biores. Bioprod.* 2022, 7, 14–25.

Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2021.10.003>

**АНАЛІЗ ЗАБРУДНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД У ЗОНІ  
ВПЛИВУ СМІТТЄЗВАЛИЩА  
ANALYSIS OF GROUNDWATER POLLUTION IN THE  
INFLUENCE AREA OF THE LANDFILL**

<sup>1</sup>Тітова А.О., аспірантка, <sup>1</sup>Андреев В. Г., аспірант,  
<sup>2</sup>Шмандій В.М., доктор технічних наук, професор,  
<sup>2</sup>Ригас Т. Є., к. т. н., доцент, <sup>2</sup>Гринь С.С., здобувач освіти,  
<sup>2</sup>Соломоненко М.О., здобувач освіти

<sup>1</sup>Titova A.O., postgraduate, <sup>1</sup>Andreev V. H., postgraduate,  
<sup>2</sup>Shmandiy V.M., Doctor of Technical Science, professor, <sup>2</sup>Rigas T.E.,  
PhD in Technical Sciences, associate professor, <sup>2</sup>Gryn S.S., student of  
education, <sup>2</sup>Solomonenko M.O., student of education

<sup>1</sup>Кременчуцький національний університет ім. Михайла  
Остроградського, Україна,

<sup>2</sup>Кременчуцький льотний коледж Харківського національного  
університету внутрішніх справ, Україна

<sup>1</sup>Mykhailo Ostrohradsky Kremenchuk National University, Ukraine;

<sup>2</sup>Kremenchug Flight College of Kharkiv National University of  
Internal Affairs, Ukraine

**Анотація.** У статті досліджено стан забруднення підземних вод у зоні негативного впливу на довкілля сміттєзвалища. Для розуміння точного механізму утворення та переміщення забруднюючих речовин у водному середовищі нами враховано наявність додаткових джерел забруднення та факторів, які можуть впливати на концентрацію забруднюючих речовин на певній відстані від сміттєзвалища. Досліджено прилеглу територію до сміттєзвалища та встановлено можливі чинники забруднення підземних вод, розглянуто їх сумісний негативний вплив. Проаналізовано результати досліджень стану забруднення підземної води з колодязів та п'єзометрів за період 28 років. За отриманими даними зафіксовано неоднорідне забруднення підземних вод. Результати дослідження свідчать про накопичення забруднюючих речовин у підземних водах, які викликають забруднення водоносного горизонту важкими металами, що накопичуються та осідають у радіусі 500 м від сміттєзвалища. Встановлено, що додаткове навантаження на водоносний горизонт та забруднення його нітратами, наявність яких зафіксовано на відстані 1 км від сміттєзвалища у питних

колодязях житлової забудови, здійснюється іншими чинниками забруднення.

**Abstract.** The article examines the state of groundwater pollution in the area of the landfill's negative impact on the environment. To understand the exact mechanism of the formation and movement of pollutants in the water environment, we took into account the presence of additional sources of pollution and factors that can affect the concentration of pollutants at a certain distance from the landfill. The territory adjacent to the landfill was examined and possible factors of groundwater pollution were determined, and their combined negative impact was considered. The results of research into the state of groundwater contamination from wells and piezometers over a period of 28 years were analyzed. According to the received data, heterogeneous contamination of groundwater was recorded. The results of the study indicate the accumulation of pollutants in groundwater, which cause contamination of the aquifer with heavy metals that accumulate and settle within a radius of 500 m from the landfill. Additional load on the aquifer and contamination with nitrates, the presence of which was recorded at a distance of 1 km from the landfill in drinking wells of residential buildings, is carried out by other pollution factors.

Сміттєзвалища в Україні є широко поширеними та загальноприйнятими способами видалення відходів. Відсутність альтернативних методів обробки відходів обмежує можливості та змушує користуватися лише одним доступним способом, що призводить до збільшення впливу на навколишнє середовище та негативних наслідків. Основною проблемою є поступова деградація регіонів, де розташовані сміттєзвалища. Шкідливі наслідки впливу сміттєзвалищ поширюються на всі аспекти оточуючого середовища.

Довготривалий досвід в експлуатації дає змогу визначити ефективні методи зменшення негативного впливу на природне середовище. Європейський досвід свідчить, що ефективні заходи можуть мінімізувати вплив на довкілля та зменшити ризик негативних наслідків завдяки довгостроковим дослідженням і вибору оптимальних заходів та ресурсів для захисту навколишнього середовища. На жаль, в Україні проблема місць видалення побутових відходів залишається актуальною, і більшість аспектів, пов'язаних з їхньою експлуатацією, залишаються не вирішеними, що робить ці проблеми важливими у сучасному контексті.

Негативний вплив на навколишнє середовище виникає внаслідок дії екологічно небезпечних об'єктів, які мають потенційну загрозу для здоров'я та життя населення, що мешкає в безпосередній близькості.

Інтенсивність негативного впливу може зростати через ряд факторів, таких як розташування потенційно небезпечних об'єктів, можливість особистого відчуття негативних наслідків цих об'єктів. Це становить значний ризик для соціального середовища і може призвести до погіршення соціального клімату, зниження якості життя та спричинити соціальну деградацію. Падіння вартості нерухомості, пов'язане з конкретною локацією, і небажання проживання в потенційно небезпечних районах може впливати на соціальний настрій.

Вплив на працівників сміттєзвалища пов'язаний із методами управління та функціонуванням технічних механізмів. Цей вплив включає шум та вібрації, можливе радіаційне випромінювання, розповсюдження бактерій, вірусів та інших патогенних мікроорганізмів, що можуть спричинити захворювання працівників. Тому, для захисту здоров'я працівників, важливо дотримуватися відповідних протоколів безпеки, використовувати захисне спорядження та дотримуватися нормативів безпеки праці.

Для виявлення забруднення та попередження розповсюдженості забруднюючих речовин надзвичайно важливим є проведення досліджень підземних вод, планування і забезпечення заходів із ліквідації та попередження забруднення, прийняття заходів по запобіганню проникненню забруднення у зону житлової забудови та попадання забрудненої води у джерела господарчо-побутового водоспоживання. Необхідність таких досліджень очевидна, оскільки характерною особливістю важких металів є не лише висока міграційна здатність, а й здатність накопичуватись у ґрунтах, коренях та стеблах рослин.

Сукупність негативних чинників в зоні розташування місць видалення відходів було розглянуто на прикладі міського сміттєзвалища, розташованого у м. Кременчук, що експлуатується з 1965 року.

Територія, яку займає сміттєзвалище, межує з двома полігонами промислових відходів (з північної сторони – ТОВ «Еко-Форс та з південної сторони – ПАТ «Кременчуцький сталеливарний завод»). Полігон ТОВ «Еко-Форс» здійснює видалення небезпечних відходів та відходів що не є небезпечними. Хоча видалення здійснюється у спеціальних відкритих резервуарах, що забезпечує захист ґрунту та підземних вод від забруднення, процес зберігання відходів може призводити до забруднення атмосферного повітря. Станом на 2021 рік у відвалі формувальних сумішей ПАТ «Кременчуцький сталеливарний завод» знаходиться 7,401 млн. т відходів [1]. Відходи вважаються нетоксичними, але їх розміщення на відкритому ґрунті, внаслідок



розмиву та розвіюванню порід шахтних відвалів може здійснювати забруднення земної поверхні важкими металами та призвести до небезпечних негативних наслідків. Важкі метали, такі як свинець, кадмій, ртуть можуть накопичуватись у ґрунті, всмоктуватись рослинами та накопичуватись в організмах тварин, які споживають рослини. Відходи, що розміщуються у відвалі, можуть належати до небезпечних [2].

На сміттєзвалищі, зокрема, розташовано худобомогильник, який призначений для захоронення біологічних відходів. Він у теперішній час майже повністю заповнений [3]. Близько 1 км від сміттєзвалища знаходиться кладовище. Уклін потоку спрямований у сторону міста та кар'єра (рис. 1).

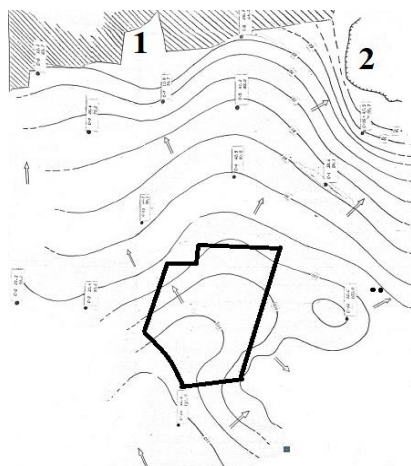


Рисунок 1 – Схематичне зображення уклону потоку:  
1 – місто, 2 – кар'єр.

Таким чином, створюються умови для формування багатобічної екологічної небезпеки: забруднення атмосферного повітря, ґрунтів, підземних вод, до того ж останні гідравлічно пов'язані з водами Дніпродзержинського водосховища.

Вперше, за період існування сміттєзвалища дослідження за режимом підземних вод здійснювалось зі свердловин, які були пробурені на його території у 1992 році. Результати досліджень показали перевищення ГДК в підземних водах по важким металам від 1,2 до 310 разів [4]. Максимальне перевищення зафіксовано по вмісту заліза та марганцю. Показники нітратів не перевищували норму.

У 1994 році на території сміттєзвалища та за його межами проводились дослідження води, які показали що вміст заліза на відстані 200-400 м від об'єкту перевищення ГДК становить у 10 разів, на відстані 500-600 м воно п'ятикратне, на відстані 700-800 м концентрація не перевищує ГДК. Менш виражено, але така ж тенденція має місце і з марганцем. Що стосується нітратів, їх розповсюдження вказало на те, що джерелом забруднення за межами звалища можуть бути інші об'єкти, адже поблизу прилеглої до сміттєзвалища території концентрація нітратів не перевищує допустиму. Підвищена концентрація фіксується поблизу кладовища та поля, що розташовані між сміттєзвалищем та житловою забудовою. Найвищий показник концентрації нітратів виявлено на території житлової забудови, що становить до 350 мг/л.

Отже, за результатами досліджень встановлено наявність забруднення підземних вод важкими металами на відстанях близько 600 м від сміттєзвалища. Зроблене припущення, що нітратне забруднення не пов'язане зі сміттєзвалищем і має іншу природу. Також, зафіксовано неоднорідність забруднення підземних вод на території сміттєзвалища, що пояснюється геологічною будовою: на північному сході воно мінімальне, а на півдні та південному заході спостерігається вміст компонентів, перевищуючих ГДК в десятки разів. Ступінь впливу відходів на підземні води залежить від природної захищеності водоносних горизонтів, об'єму витоку і характеристик фільтруючих елементів, таких як міграційні, резистентні та токсикологічні властивості [5].

Дослідження на околицях Кременчуцького сміттєзвалища проведені у 2003-2004 роках. При здійсненні моніторингу за станом підземних вод відбір проб проводився по трьом колодязям і трьом свердловинам. Встановлено, що зміна якості підземних вод здійснюється від периферії до центру сміттєзвалища. Про це свідчать більш високі значення мінералізації в колодязях розташованих ближче до звалища вгору за потоком, що досягають 1,3-1,5 г/дм<sup>3</sup>. У водозабірній свердловині, розташованій на периферійній ділянці, мінералізація вбирається у 0,785 г/дм<sup>3</sup>, становлячи переважно 0,579-0,682 г/дм<sup>3</sup>. Підземні води на території кар'єру характеризуються мінералізацією до 0,5 г/дм<sup>3</sup>. Зафіксоване зменшення у досліджуваних водах заліза (проти 1992-1994 рр.), що пов'язане в першу чергу з осаджуваністю у ґрунтах, а також зі значним зниженням у складі твердих побутових відходів відсоткового вмісту металевого брухту, як чорних так і кольорових металів. Результати аналізу вказали на те, що в

підземних водах продовжувалось накопичення забруднюючих речовин, які забруднюють водоносний горизонт важкими металами.

Упродовж 2012-2022 рр. у зв'язку із відсутністю діючих свердловин на території сміттєзвалища, контроль за станом підземних вод проводився щоквартально з двох питних колодязів, розташованих у житловій зоні та у кар'єрі на відстані 1 км від сміттєзвалища (рис. 2). Така дислокація місць спостереження дозволяє визначити поширення забруднення за потоком першого від поверхні водоносного горизонту. Потік підземних вод направлено саме за напрямком до вищевказаних спостережних джерел та охоплює всі несприятливі чинники, як трапляються на шляху водоносного горизонту до житлової забудови. Дослідження здійснювались за такими показниками: нітрити, нітрати, сухий залишок, хлориди, сульфати, залізо, мідь, свинець, нікель, кадмій.



Рисунок 2 – Точки відбору проб підземних вод:  
I – колодязь № 1, II – колодязь № 2, III – джерело в кар'єрі.

Результати досліджень із питних колодязів та джерела в кар'єрі свідчать про забрудненість підземних вод нітратами. Зафіксовано лише одиничні випадки перевищення ГДК по сухому залишку, залізу та кадмію.

Отримані дані дозволяють припустити, що ґрунти зони аерації є геохімічним бар'єром на шляху міграції важких металів. Одне з перших місць інтенсивності зниження концентрації забруднюючих компонентів

у підземних водах займають процеси осадження. Важливу роль в осадженні важких металів відіграє вміст  $\text{CO}_2$  у ґрунті. Гідрокарбонатні комплекси мають більш високу розчинність у воді, отже, у свердловинах, які знаходяться ближче до звалища вміст іонів металів і  $\text{HCO}_3^-$  – вище. У воді більш віддалених від джерела забруднення свердловин кількість іонів важких металів і гідрокарбонат-іонів знижується, можливо, за рахунок утворення мало- або нерозчинних карбонатів, завдяки наявності в ґрунті вуглекислого газу.

Адсорбція іонів металів ґрунтом пов'язана з рядом фізико-хімічних процесів. У водних розчинах, зокрема у ґрунтових водах, металеві іони можуть гідролізуватися та утворювати гідрооксиди, які можуть відокремлюватися від розчину та адсорбуватися ґрунтом. Можна стверджувати, що в кислому середовищі осадження важких металів у вигляді їхніх гідроксидів більш активне. У нейтральному або лужному середовищі, де розчинність гідрооксидів може збільшуватися, іони важких металів можуть бути більш розчинені та мобільні, що сприяє їхній міграції у водному середовищі.

У процесі міграції іони заліза приймають участь в окисно-відновлювальних процесах. У лужному середовищі залізо переважно знаходиться у формі недиссоційованих гідроксидів, особливо гідроксиду заліза (III), який може мати форму  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . У цьому випадку, залізо переважно знаходиться у формі твердих частинок гідроксидів, які можуть осаджуватися. Гідроксиди заліза, утворені в результаті гідролізу, можуть служити активним сорбентом для важких металів. Ці гідроксиди можуть адсорбувати і утримувати іони важких металів, що призводить до їхнього видалення з розчину. В кислому середовищі іони заліза (II) і (III) стають більш розчинними. За зниженого рН залізо може перебувати у формі розчинених іонів таких як  $\text{Fe}_2^+$  та  $\text{Fe}_3^+$ . Процеси гідролізу та осадження гідрооксидів заліза впливають на вміст іонів  $\text{Fe}_2^+$  та  $\text{Fe}_3^+$  у воді, а також забезпечують утворення активних сорбентів для важких металів. Це призводить до важливих наслідків для якості води та екології у зоні впливу сміттєзвалища.

Кадмій і нікель можуть осаджуватись у вигляді гідроксидів в результаті хімічних реакцій у водному середовищі. Утворення гідроксиду кадмію починається у водах з рН 8,5, а для нікелю при рН 7,0. Гумінові кислоти у підземних водах вступають у взаємодію з іонами кадмію та нікелю, утворюючи комплекси (гумати). У певних умовах можливе утворення гуматів кадмію та нікелю. Гідрооксиди кадмію мають більшу розчинність порівняно з гідрооксидами нікелю. Це може впливати на концентрації іонів у воді в зоні осадження.

Свинець найменш рухливий серед важких металів. Значна кількість свинцю надходить у довкілля у вигляді металоорганічних сполук. Перенесення свинцю в забруднених алювіальних водах здійснюється у вигляді вільних іонів та комплексів із органічними лігнінами, а також  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  і  $\text{OH}^-$ . Поблизу джерел забруднення переважають органічні комплекси, у процесі міграції спостерігається їхня дисоціація. Руйнування органічних комплексів відбувається через утворення сульфатних комплексів.

Цинк також може осаджуватися у вигляді гідроксидів, подібно до інших важких металів. Умови осадження також найчастіше залежать від рН середовища. Цинк може утворювати комплекси з органічними сполуками, включаючи гумінові кислоти. У деяких умовах можливе утворення органічних комплексів цинку.

Немаловажним є наявність в районі розташування сміттєзвалища зон підвищеної тріщинуватості піщано-глинистих порід, які додатково стають уловлювачами-накопичувачами продуктів перетікання та накопичення забруднюючих речовин (рис. 3).



Рисунок 3 – Результати геофізичних досліджень:  
1 – полігон; 2 – кар'єр.

Концентрації нітратів під сміттєзвалищем знаходяться у межах норми, а на відстані за 1000 м перевищують ГДК.

Тип ґрунту та гідрологічні умови навколишнього регіону можуть впливати на те, наскільки ефективно нітрати фільтруються або

розчиняються в ґрунті та потрапляють до підземних вод. Під сміттєзвалищем нітрати утворюються внаслідок біологічного розкладу органічних речовин, таких як харчові відходи та органічне сміття. Однак, якщо їх концентрації не виходять за межі норм, це може свідчити про ефективність обробки та фільтрації ґрунтом у зоні розміщення сміттєзвалища. Нітрати піддаються хімічним і біологічним процесам трансформації в підземних водах. Наприклад, денітрифікація – процес, під час якого нітрати перетворюються в азот у газовій формі. Однак, якщо цей процес є значущим, це може призводити до зменшення концентрації нітратів.

Інші джерела нітратів, такі як сільське господарство або побутові відходи, можуть внести свій вклад в утворення та транспортування нітратів у підземних водах на відстані від сміттєзвалища. У попередніх дослідженнях було встановлено ореол забруднення підземних вод [4].

За результатами досліджень основними забруднювачами стали залізо, марганець та нітрати. Зроблено висновок що враховуючи літологічний склад водовміщуючих порід у районі досліджень, швидкість руху підземного потоку, фронт забруднення може досягати околиці міської забудови через 12-15 років, тобто у 2010 році. Але, дослідження, які проводились в період 2012-2022 рр. вказали на відносну захищеність підземної води, яка забезпечує запобігання проникненню в водоносні горизонти забруднюючих речовин з поверхні та невимивання важких металів за межі сміттєзвалища на відстані 1 км. Порівняно з результатами досліджень підземної води зі свердловин, які були раніше пробурені на території полігону ПВ, якість води значно краща.

За результатами досліджень у період з 1992-2022 роки можна стверджувати, що наявність важких металів у підземній воді обумовлена впливом відходів захоронених на сміттєзвалищі та на полігоні відходів сталеливарного заводу, але на наявність нітратів у воді, відібраної з колодязів житлової забудови, сміттєзвалище не має прямого впливу. За територією сміттєзвалища на шляху у бік житлової забудови виявлено декілька можливих джерел забруднення. До них належать: кладовище, сільськогосподарські землі, життєдіяльність людини (вигрібні ями, огороди).

Сільськогосподарська діяльність може впливати на наявність нітратів у підземних водах через ряд процесів, пов'язаних із застосуванням добрив та інших агротехнічних практик. Основні механізми включають: використання добрив, ливневі стоки та ерозія, система зрошення та випасання худоби. Сільське господарство часто використовує азотні добрива для покращення врожаю. Проте, частина

цього азоту може не бути поглиблено рослинами і рухатися вниз через ґрунтовий профіль до підземних вод у формі нітратів ( $\text{NO}_3^-$ ). Вода, яка не поглинається ґрунтом, може зливатися до водойм, переносячи розчинений азот із добрив і нітрати. Це може відбуватися під час дощів чи ливнів. Використання систем зрошення та випасання тварин може сприяти переміщенню добрив і нітратів з поля на підземні води через стічні води та процеси фільтрації.

Під час природного розкладу органічних решток, таких як трупи людей або тварин, внаслідок процесів розкладання азотистих сполук утворюються нітрати. Кладовище призначене для захоронення трупів людей, може викликати процеси розкладання, які вивільнюють амоній та інші азотні сполуки, включаючи нітрати. Умови на кладовищі можуть сприяти процесам нітрифікації, де амонійні азотні сполуки перетворюються на нітрати. Частину утворених нітратів може розчинити вода, тому нітрати можуть потрапити у ґрунтовий профіль та рухатися через нього вниз і надходити до підземних вод.

Тому, на забрудненість підземних вод нітратами впливає не стільки сміттєзвалище побутових відходів, а наявність та сукупність декількох потенційних забруднювачів розташованих поблизу.

Результати аналізу сумісного можливого впливу на стан довкілля негативних чинників у зоні розташування полігону побутових відходів наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Можливі фактори впливу на підземні води в районі розташування сміттєзвалища у м. Кременчук

№ п/п	Потенційний забруднювач	Небезпечні фактори
1	Сміттєзвалище побутових відходів	- фільтрація органіки, важких металів; - виділення метану, вуглекислого газу; - забруднення ґрунту; - пригнічення рослинності; - запылення при зберіганні та вивантаженні відходів.
2	Полігони промислових відходів	- фільтрація забруднень у ґрунтові води (важкі метали, нафтопродукти); - розсіювання в атмосферному повітрі пилу та аерозолі; - пригнічення рослинності.
3	Худобомогильник та кладовище	- фільтрація органіки; - створення умов для розвитку патогенної мікрофлори.

**Висновки.** Узагальнюючи результати досліджень, робимо висновок, що у підземних водах відібраних зі свердловин розташованих на території сміттєзвалища вода хімічно забруднена важкими металами, фенолами, нафтопродуктами та ін. Забруднення підземних вод неоднорідне. Віддаляючись від сміттєзвалища вода залишається хімічно забрудненою, але концентрації забруднюючих речовин у воді значно знижуються. Таким чином, якщо максимально зафіксований показник вмісту заліза у підземних водах відібраних з території сміттєзвалища становив  $2500 \text{ мг/дм}^3$ , то вже за територією сміттєзвалища він складає  $2,244 \text{ мг/дм}^3$ , а на відстані  $1000 \text{ м}$  від сміттєзвалища вміст заліза у воді взагалі не перевищує ГДК (лише зафіксовані декілька випадків досягнення концентрації заліза до  $0,3 \text{ мг/дм}^3$  та один випадок – до  $0,9 \text{ мг/дм}^3$ ). І навпаки, якщо нітратів зі свердловин на території сміттєзвалища не було виявлено, або при їх виявленні концентрація не перевищувала допустиму, то на відстані  $1000 \text{ м}$  від нього концентрація нітратів у воді значно перевищує ГДК.

Нітрати утворюються через біологічні процеси, при розкладанні органічних речовин у процесі аеробного або анаеробного розкладання. Під час цього процесу відбувається вивільнення азоту у вигляді аміаку або інших азотистих сполук, які можуть піддаватися окисленню та нітрифікації за участю бактерій, що здатні перетворювати аміак у нітрати. Органічні відходи сміттєзвалища, кладовище, ведення сільського господарства із надмірним застосуванням добрив є основними чинниками утворення нітратів.

Наявність у воді важких металів пояснюється розкладанням і розпаданням відходів, які містять металеві сполуки. Високий вміст важких металів міститься у батарейках, електроприладах, які потрапляють на сміттєзвалище у складі побутового сміття. Важкі метали також містяться і у промислових відходах, що видаляються на одному сміттєзвалищі разом з побутовим сміттям. Значний вплив на наявність важких металів у воді здійснює полігон промислових відходів сталеливарного заводу, який розміщує відходи на півдні від сміттєзвалища.

У зв'язку з необхідністю функціонування місця видалення відходів на території міста та відсутністю альтернативного полігону ПВ, можна зробити висновок що міське сміттєзвалище може бути придатне для подальшої експлуатації. Але, при цьому, необхідним є приведення сміттєзвалища до вимог, що висуваються для полігонів ПВ, зокрема це будівництво протифільтраційного екрану, засобів вилучення і утилізації фільтрату, рекультивация відпрацьованих карт захоронення відходів.



Територія СЗЗ сміттєзвалища потребує висадження зелених насаджень, які конкуруватимуть зі шкідливими рослинами, забираючи їм ресурси, такі як світло, вода і поживні речовини. Правильна обробка відходів може допомогти зменшити кількість органічних матеріалів, які можуть приваблювати комах та тарганів. Застосування безпечних хімічних засобів для контролю за шкідниками може бути ефективним методом зменшення їх популяції. Встановлення світлових або звукових бар'єрів можуть відлякувати та запобігти розселенню тварин.

Для досягнення максимального ефекту у попередженні забруднення, вважаємо, що запропоновані заходи повинні реалізовуватись в комплексі із заходами по безпечній експлуатації промислових полігонів, розміщених поблизу сміттєзвалища, ліквідації худобомогильника, заміну процесу традиційного поховання на кремацію, контроль за використанням добрив на сільськогосподарських полях та огородах, каналізування житлової забудови.

Таким чином, в результаті запровадження вищеперелічених природоохоронних заходів діяльність із подальшої експлуатації сміттєзвалища, за умови приведення його у статус полігону побутових відходів, не погіршить стан підземних вод у колодязях найближчої житлової забудови та не справлятиме негативного впливу.

### **Список використаних інформаційних джерел**

1. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Полтавській області у 2021 році, інформаційне джерело: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/04/Regionalna-dopovid-Poltavskoyi-oblasti-u-2021-rotsi.pdf>.

2. Закон України «Про управління відходами», інформаційне джерело: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text>.

3. Екологічний паспорт міста Кременчука, 2020, інформаційне джерело: [http://pledgd.org.ua/wp-content/uploads/2019/11/Ecopasport\\_mista\\_Kremenchuka.pdf](http://pledgd.org.ua/wp-content/uploads/2019/11/Ecopasport_mista_Kremenchuka.pdf).

4. Звіт інженерно-геологічних вишукувань з метою виконання буріння мережі свердловин для нагляду за станом підземних вод в зоні розташування міського сміттєзвалища на Деївській горі в м. Кременчук м. Харків. 1992. 52с.

5. Екологічна безпека. Підручник / В.М.Шмандій, М.О. Клименко, Ю.С. Голік, А.М. Прищепа, В.С. Бахарев О.В. Харламова. Херсон : Олді-плюс, 2017. 336 с.

**РОЗДІЛ ІV.  
КОМПЛЕКСНІ  
РІШЕННЯ В  
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННІ  
Й НЕТРАДИЦІЙНІ ТА  
ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ  
ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ**



**ДЕРЕВНЕ ПАЛИВО В УКРАЇНІ – ДОСВІД МИНУЛОГО ЯК  
АКТУАЛЬНИЙ ПРИКЛАД СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ  
WOOD FUEL IN UKRAINE – EXPERIENCE OF THE PAST AS  
ACTUAL EXAMPLE OF A SYSTEM APPROACH**

**Кремньов В.О.**, завідувач лабораторії, **Тимошенко А.В.**, доктор технічних наук, провідний науковий співробітник, **Беляєв Г.В.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, **Беляєва І.П.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, **Жуков К.Л.**, головний технолог, **Корбут Н.С.**, молодший науковий співробітник, **Стецюк В.Г.**, молодший науковий співробітник  
**Kremniev V.**, Head of the laboratory, **Timoshchenko A.**, Doctor of Technical Sciences., Leading researcher, **Belyaev G.**, PhD, Senior Researcher, **Belyaeva I.**, PhD, Senior Researcher, **Zhukov K.**, Chief technologist, **Korbut N.**, Junior Researcher, **Stetsuk V.**, Junior Researcher

Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України,  
м. Київ, Україна  
Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of  
Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Анотація.** Робота присвячена огляду наявного досвіду щодо паливного використання деревини у минулому на урбанізованих територіях у багатоквартирних будинках та приватному секторі і в домогосподарствах сільської місцевості.

Розглянуто використання деревини, як сталої технологічно-організаційної системи та її поступової трансформації по мірі поширення застосування палива на основі викопних вуглеводнів.

Показано, що стале використання будь-якого виду палива обов'язково потребує системного підходу щодо виробництва, постачання, зберігання та застосування палива за призначенням. Досвід щодо системного підходу є необхідною умовою створення сталої системи використання деревного палива у майбутньому.

Газифікація території України спричинила не тільки припинення активного використання деревного палива, але і значне руйнування інфраструктури, що була складовою частиною відповідної системи.

Складалось враження, що деревне паливо пішло з побуту назавжди в абсолютній більшості населених пунктів України, але реалії

сьогодення, такі як «зелена повістка» та постійне подорожчання природного газу, спонукають до відновлення енергетичного використання деревини як фактора сталого розвитку території.

Ключові слова: дров'яна деревина, повітряно-сухе деревне паливо, «важкі» печі, дров'яні сараї, організоване сушіння деревного палива.

**Abstract.** The study is devoted to a review of existing experience of using wood as fuel in the past on the urbanized territories in apartment houses and in a private sector, and also in rural households.

The practice of using wood as a steady technologically-organizational system and its gradual transformation as the use of fuels based on fossil hydrocarbon becomes more widespread is considered.

It is shown that the permanent use of any type of fuel necessarily requires the use of a systems approach to the production, supply, storage and use of fuel for its intended purpose. Experience in applying a systems approach is the necessary condition for creation a steady wood fuel use system in the future.

Gasification of the territory of Ukraine caused not only the cessation of the active use of wood fuel, but also significant destruction of the infrastructure, which was an integral part of the corresponding system.

This was giving the impression that in the absolute majority of Ukrainian settlements wood fuel had left the domestic life forever, but the realities of the present time, such as the «green agenda» and the constant rise in price of natural gas, encourage the resumption of the energy use of wood as a factor in the sustainable development of the territory.

Keywords: firewood, air-dry wood fuel, «heavy» stoves, wood sheds, organized drying of wood fuel.

The use of wood as a fuel belongs to «eternal» technologies, her age, presumably, older, than age of human civilization as such. Such «eternal» technologies have been used and improved for thousands of years. To them belong, for example, technologies of production of brick, glass, linen fibre and fabrics from him, wine, cheese and much other.

Improvement of technology is not always accompanied by an increase in the quality indicators of the final product. For example, the strength indicators of ancient brick were significantly higher than modern ones, thin flax fiber and cambric from it were best produced in Flanders at the end of the XVII century, and the quality of Damascus, Toledo steel and cold weapons from it is hardly possible to achieve at modern enterprises.

However, in most cases, profitability indicators gradually increased: labor productivity increased, specific fuel consumption decreased, etc.

A fuel on the basis of arboreal resources remained most widespread for most civilizations (except for the nomads) by the beginning of the period of industrialization.

For example, in England the increase of requirement in energy from the side of industry quickly enough entailed elimination of the forests and passing to «coal» energetics. Humanity soon realized the danger of complete loss of the forests and passed at first to their guard, and afterwards to the artificial breeding.

Consequently, world experience of modern forestry exceeds 300 years [1-3]. It is not an exception and Ukraine. For example, the Svyatoshinsky forest on the outskirts of Kyiv was planted over 200 years ago.

Wood fuel was gradually replaced by coal in such industries as railway and water transport, metallurgy, and later in the electrogenerating branch and others. However, to October revolution a fuelwood continued to keep leading position in heating of building both on the urbanized territories and in rural locality. In cities absolute majority of multistoried building was heated by means of the so-called «heavy» stoves of the «Dutch» type (tiled stove) [4-7]. These were stoves-accumulators that had several smoke circuits. These stoves were built during the construction of the house and were placed in the internal main walls. Each heating stove had an individual chimney flue that went out onto the roof of the building. A separate stove provided heating for the sanitary block (bathroom and toilet), as well as hot water supply. To do this, a water boiler was built into the stove, which was connected by rising and falling pipes to a hot water storage tank, which was located high under the ceiling of the bathroom. During the burning of a batch of logs in the combustion chamber of the stove, which heated the sanitary block, a natural circulation of heated water was established between the boiler, which was embedded in the stove, and the hot water storage tank under the ceiling. Subsequently, throughout the day, hot water from the storage tank was supplied to the tap under the influence of a hydrostatic column.

Cooking was provided by a brick stove, which was equipped with burners-rings. The whole heating system was designed for one or two stocking per day (depending on the outside temperature). Air-dry logs were used as fuel, the length of which corresponded to the depth of the combustion chambers of the stoves. Drying of logs was provided simultaneously with their storage in the so-called wood sheds. A woodshed was built from boards, protected from atmosphere precipitations and provided natural ventilation. Each responsible tenant had an individual woodshed (section). On the adjacent territory of each apartment building there was always a multi-sectional one- or two-storied wooden structure intended for storing wood fuel. The volume of one individual section allowed storing a two-year supply

of logs. This order continued after the revolution, although the vast majority of apartments in apartment buildings were converted into communal apartments through the so-called «densification»; each owner of a «personal account» necessarily had an individual woodshed. The mentioned multi-sectional structures occupied the vast majority of the house territory of each apartment building. In addition to the «front door», such a building necessarily had a so-called «back door», which was used to bring bundles of firewood into the apartments every day.

In rare cases (mostly in the central part of the city), due to lack of territory, woodsheds were located in the basements of houses [8].

During construction, single profitable houses of pre-revolutionary construction were equipped with a central heating system with heating devices in the form of cast iron water heating radiators. In these cases, the so-called «stokehold» was located in the basement, equipped with boilers that fired coal. But in a percentage ratio the number of such houses was very insignificant. Therefore, it is possible to consider that before the revolution heating, hot water-supply and cooking were provided in apartment houses practically by one type of fuel - wood logs, organized dried up to the so-called «air-dry» state (humidity  $\leq$  of 20%) due to natural factors without any fuel consumption for drying them.

How was the preparation of logs organized? In most cases, in the spring, the necessary batch of firewood (in the form of unbarked round timber, unsuitable for use as «business» wood) with a trunk diameter  $\geq 40$  mm was delivered and unloaded to the site in front of the multi-section fuel storage structure. Further processing of the imported batch (with rare exceptions) was carried out by workers of a specialized team - the artel. Such teams used two-handed saws to cut tree trunks into round logs, the length of which was equal to or less than the depth of the furnace chambers of stoves (25 ÷ 50 cm). After sawing the tree trunks, blocks with a diameter of  $\geq 15$  cm were split into logs, which were loaded in bulk into the woodshed. The floor of the shed was equipped with a support grid made of wooden beams. Logs were laid («in bulk») on this grate to form a pile  $\geq 2$  m high, in which natural air convection was ensured due to «self-draught». In the lower part of the shed doors there was a supply hole for ventilation air to enter, and on the roof there was an exhaust pipe. Thus, the woodshed simultaneously served as a dryer, protection from precipitation and storage of wood fuel in the form of logs.

The described measures in the aggregate formed the system of wood fuel use in the apartment houses of the urbanized territories of pre-revolution development.

It can be noted that this system ensured long-term and very reliable operation of heat appliances. Widespread use was made of «heavy» stoves of the «Dutch» type, which provided short-term burning of wood fuel, accumulation of heat energy and its supply to the room for many hours at a relatively low temperature of the external surface of the stoves. This temperature made it impossible for the thermal decomposition of dust, which is characteristic of «light» stoves with a high external surface temperature.

In some profitable apartment houses (with increased rents) the described heating system was supplemented with artistically decorated fireplaces. The fireplace has too low efficiency of targeted utilization of internal fuel energy and in the Ukrainian climate conditions cannot be used as the main heating device. But fireplaces were a valuable addition to the heating system because of the possibility to quickly «warm up» in the thermal rays from the flame and the walls of the fire chamber of the fireplace (especially when the weather suddenly worsened).

The disadvantages of the considered heating system were: considerable capital expenses for its construction («heavy» stoves, chimneys, fuel sheds); expenses for the purchase and processing of firewood, as well as a significant amount of own labor of house tenants (or servants) to deliver fuel to the stoves, their maintenance and ash removal.

Despite the mentioned shortcomings, the system had a stable character and was valid for wide application.

Note that the heating system described above also provided fairly high efficiency of the targeted utilization of the energy potential of wood fuel.

The procedure for preparing wood fuel for use in private sector houses located in urbanized areas and rural households was similar to that described above. The main differences were as follows. In the private sector of urban areas, along with «heavy» «Dutch» type stoves, traditional «Russian» stoves were also used. In rural areas, this type of stove has always been the most common.

The main differences in the use of wood fuel were the absence of hot water supply in the main dwelling house and the construction of a separate bathhouse, which was also heated with pre-dried firewood.

Traditional «heavy» stoves of the «Russian» type have always been considered the unrivaled heat generating device with respect to the targeted utilization of the fuel's energy potential; however, these stoves have also had a number of disadvantages. These stoves are very bulky and greatly limit the planning options for the home. The combustion chamber of these stoves was placed at a certain height from the floor; this caused air circulation only in the upper part of the room, while the lower part of the room was a «cold» zone. The temperature stratification in the room led to fungus infestation of the

lower part of the wooden walls of the room, through the high relative humidity of the air in the lower part of the room.

In addition, «heavy» «Russian» stoves were practically suitable for placement only on the first floor of a housing structure. However, their high energy efficiency and operational reliability attracted the attention of outstanding scientists to their improvement. For example, the outstanding scientist and heating engineer V. E. Grum-Grshimailo fruitfully worked on their improvement [9]. The fundamental advantage of such ovens was the absence of forced «smoke» revolutions and the widespread use of natural convection.

Summarizing the above information, it can be noted that in the pre-revolutionary period on the territory of present-day Ukraine there was a rather stable technological and organizational system of production and wide use of «air-dry» wood fuel in the form of logs. Such needs of the society as heating, hot water supply, cooking in the pre-revolutionary period were mainly satisfied by local resources of firewood.

In the period after the revolution and until the beginning of World War II, the following changes occurred in the system of fuel use of wood.

Practically all apartments of multi-apartment buildings were subjected to «densification», in other words, transformed into so-called communal apartments. This led to practical termination of operation of hot water supply systems. In the absolute majority of communal apartments, cooking stoves were taken out of service. Instead, they started using so-called primuses and kerogases - devices that worked on kerosene, a common and quite safe liquid fuel at that time.

The new houses that were built during this period no longer had stove heating. The construction of heating networks and, accordingly, central water heating systems is deploying. Heat supply to the new buildings was provided from central and local boiler houses, which were coal-fired. To perform the heating function, part of the heating networks were connected to the so-called combined heat and power plants, which were also coal-fired. Thus, in the post-revolutionary period, a gradual decrease in the spread of wood fuel in urbanized areas begins.

The post-war period was also accompanied by a further gradual decrease in the use of wood fuel in urban areas. The first stage consisted of supplying natural gas to multi-apartment houses built before the revolution. This was accompanied by the conversion of stoves in apartments to gas heating, the installation of gas cookers in kitchens and gas water heaters for hot water supply.

A little later, natural gas was supplied to private sector houses in urbanized areas. The gradual decrease in the volume of wood fuel use



continued in urbanized areas until the end of the 50s of the last century and, finally, practically ceased.

For everyday life in rural areas, wood fuel remained the main fuel until the mid-70s of the last century, and then was gradually replaced by natural gas as settlements became gasified.

In the post-war period, government agencies continued development work to create innovative «Russian» type stoves using wood fuel in the form of air-dry logs. At the end of the 50s, professors L. A. Semenov and I. S. Podgorodnikov created standard series of innovative stoves «Economka» and «Teplushka» [10, 11]. In the improved stoves, a number of fundamental flaws of traditional stoves were eliminated.

For example, the combustion chamber was moved to the lower part of the stove facade, which made it possible to fundamentally improve air circulation in the room. In addition, unlike traditional «Russian» stoves, in improved stoves food was cooked in a separate «food cooking chamber». Some innovative stoves also had a metal tank for heating water. These types of stoves, in our opinion, have prospects for use in the future. Today they are built here and there in country houses.

Let us briefly summarize the experience of widespread use of wood fuel in Ukraine in the «past».

Wood fuel was the main energy carrier by the beginning of the industrialization period.

The leading position of wood fuel was maintained in the social sphere in urbanized areas in multi-apartment houses of pre-revolutionary construction until the mid-50s, and in the private sector until the mid-60s of the last century.

In rural areas, wood fuel was gradually replaced by natural gas, as the territory of Ukraine became gasified. This process covered the period from the early 80s to the late 90s of the XX century [12].

The main type of wood fuel both in urbanized areas and in rural areas was the so-called «air-dry» (with humidity  $\leq 20\%$ ) logs.

The production and preparation of logs (chopped firewood) for burning occurred as follows.

Commercial timber in the form of trunks with a diameter of  $\geq 40$  mm, unsuitable for use as «business» wood (intended for more thorough processing) was sawn in the transverse direction into so-called «blocks» with a length of  $0.25 \div 0.5$  m. Blocks with a diameter  $\geq 0.1$  m were split longitudinally into logs. The logs were placed «in bulk» in piles  $\geq 2$  m high on a supporting wooden grid to allow air to enter the volumes of this piles. The piles of logs were created in specialized firewood sheds, built from boards with holes for air inlet and outlet.

Typically, a supply of firewood was kept for two heating seasons, and this supply was renewed annually. Such a system reliably ensured the storage of wood fuel and its drying to the target humidity without biological damage. This is an important empirical experience suitable for modern use.

The period of time described above ended with an almost complete cessation of the use of wood fuel. The users of wood fuel remained the owners of country and garden houses, residents of single settlements not covered by gasification and a small part of homeowners in rural areas.

Gasification of the territory of Ukraine entailed not only the cessation of active use of wood fuel, but also a significant destruction of the infrastructure that was an integral part of the relevant system.

For example, in urbanized areas, wood sheds, where logs were stored and dried, were completely eliminated. The respective adjacent territory was occupied by other buildings (garages, children's and sports grounds, green spaces, additional houses). For example, in Kyiv at the end of the 70s of the last century a popular park zone «Landscape Alley» was created on the historical territory of ancient Kyiv, which before that was completely built up with firewood sheds of houses on the Velika Zhytomyrska Street.

Stove heating systems in apartments of multi-storey buildings and in the private sector of urban areas were mostly destroyed.

Somewhat later, in rural areas, as a result of gasification, a significant part of the stoves was dismantled.

This was giving the impression that in the absolute majority of Ukrainian settlements wood fuel had left the domestic life forever.

In our opinion, the expediency of a fairly detailed review of the experience of past system practice of preparation and use of wood fuel can serve in the creation of a future system of its permanent use [13, 14].

### **List of used information sources**

1. Oliynyk V. S., Viter R. M. Forestry: a course of lectures. Ivano-Frankivsk: Symphony Forte, 2011. 264 p.

2. Antsyshkin A.P., Bodylev G.V., Kovalin D.T., etc. Forester's Handbook / - M.: Forestry Industry, 1964. 674 p.

3. Kremniev V.O., Tymoshchenko A.V., Belyaev G.V., Belyaeva I.P., Zhukov K.L., Korbuk N.S., Stetsyuk V.G. Modern forestry of Ukraine and possibilities of its synergistic interaction with the energy industry Ecology. Environment Energy saving. 2023: collective monograph / edited by O.V. Stepova. Poltava: NUPP named after Yury Kondratyuk. 2023.S. 80–91. <https://nupp.edu.ua/uploads/files/0/events/conf/2022/3mnpk/monogr.pdf>

4. Miroschnychenko S. A. Stylish fireplaces, warm stoves with your own hands / trans. from Russian O. V. Zarby-Halchuk. Donetsk: BAO, 2009. 368 p.
5. Shepelev A. M. Types of stoves and their designs // How to build a rural house. - M.: Rosagropromizdat, 1988. P.244-321.
6. Ryzhynko V.I., Selivan V.V. Furnaces. Fireplaces. M. : Onyx (Home Master), 2006. 192 p.
7. Khoshev Yu.M. Wood stoves. Processes and phenomena. M., 2015. 392 p.
8. Plyashko L.A. Journey to the city of the 18th century. K. : Naukova dumka, 1980. P. 114.
9. Grum-Grzhimailo V.E. Flame furnaces. M. : Gosmashmetizdat, 1982. 479 p.
10. Podgorodnikov I.S. Household ovens. Double-cap. 4th ed., revised. and additional. M. : Kolos 1992. 159 p.
11. Semenov L.A. Thermal stability and stove heating of residential and public buildings. M.: Mashstroyizdat, 1968. 264 p.
12. Alfiorov M.A. Urbanization processes in Ukraine in 1945-1991: Monograph / Donetsk: Donetsk branch of the National Technical University named after Shevchenko, LLC «Eastern Publishing House». 2012. 552 p.
13. Kremniev V.O., Zhukov K.L., Korbut N.S., Stetsuk V.G., Shelimanova O.V. Wood fuel in Ukraine - past, present and future 1st International scientific and practical conference dedicated to the 125th anniversary of NUBiP of Ukraine and the 90th anniversary of the Institute of Energy, Automation and Energy Conservation. «Digital technologies in power engineering and automation», June 8-9, 2023, Kyiv, Ukraine.
14. Kremniev V.O., Belyaev G.V., Zhukov K.L., Korbut N.S., Stetsyuk V.G., Tymoshchenko A.V. Wood fuel in Ukraine - past experience as an actual example of a system approach Collection of materials of the 4th International Scientific and Practical Conference «Ecology. Environment Energy Saving» (December 7-8, 2023). Poltava : NUPP, 2023. P. 238–241. <https://nupp.edu.ua/uploads/files/0/events/conf/2023/iv-mnpk-edez/zbirnyk.pdf>

**ДЕРЕВНЕ ПАЛИВО В УКРАЇНІ – ПРОБЛЕМИ СЬОГОДЕННЯ  
WOOD FUEL IN UKRAINE – TODAY'S PROBLEMS**

**Тимошенко А.В.**, доктор технічних наук, провідний науковий співробітник, **Кремньов В.О.**, завідувач лабораторії, **Беляєв Г.В.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, **Беляєва І.П.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, **Жуков К.Л.**, головний технолог, **Корбут Н.С.**, молодший науковий співробітник, **Стецюк В.Г.**, молодший науковий співробітник

**Timoshchenko A.**, Doctor of Technical Sciences., Leading researcher, **Kremniev V.**, Head of the laboratory, **Belyaev G.**, PhD, Senior Researcher, **Belyaeva I.**, PhD, Senior Researcher, **Zhukov K.**, Chief technologist, **Korbut N.**, Junior Researcher, **Stetsuk V.**, Junior Researcher

Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України,  
Україна

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of  
Sciences of Ukraine, Ukraine

**Анотація.** Робота стисло висвітлює практику організованого вирощування лісових насаджень в Україні і протиріччя її взаємодії з енергетикою.

Фірми-постачальники паливної тріски підтримують ділові стосунки і закупають дров'яну деревину у лісгосподарських підприємств. Лісгоспи надають змогу протягом лише короткого часу подрібнити партію деревини на тріску, завантажити у трісковози великого об'єму (до 90 м<sup>3</sup>) і вивезти без складування. Дальність перевезень тріски складає у середньому 50÷70 км.

Наведена організація робіт не передбачає майже ніякої відповідальності лісгосподарських підприємств перед енергетичними об'єктами за забезпечення їх ресурсами деревини.

Фірма-постачальник вимушена діяти у вельми жорстких умовах постійного цейтноту, неможливості організації сталого виробничого ритму, значних перевитрат пального на перевезення.

Відмічено, що розвиток цієї перспективної підгалузі енергетики просувається у протилежному напрямі від створення сучасної юридично відповідальної взаємодії різних суб'єктів господарювання у

спільній справі створення сталої системи енергетичного використання деревини, як відновлюваного ресурсу, який здатний істотно підвищити енергетичну незалежність регіонів України.

Створення такої системи, це політичне завдання об'єднаних територіальних громад (ОТГ) на території яких одночасно знаходяться і лісогосподарські підприємства і користувачі деревних паливних ресурсів. Така діяльність ОТГ потребуватиме всебічної підтримки держави.

**Abstract.** The study briefly highlights the practice of organized cultivation of forest plantations in Ukraine and the contradictions of its interaction with energy.

Fuel chip supplier companies maintain business relationships and purchase firewood from forestry enterprises. Forest farms make it possible to grind a batch of wood into chips in just a short time, load it into a large-volume chip truck (up to 90 m<sup>3</sup>) and take it out without storage. The range of road transportation is on average 50÷70 km.

The given organization of work does not involve almost any responsibility of forestry enterprises to energy facilities for providing them with wood resources.

The supplier company is forced to operate under very strict conditions of constant time pressure, the impossibility of organizing a stable production rhythm, significant overspending of fuel for transportation.

It was noted that the development of this promising sub-sector of energy is moving in the opposite direction from the creation of a modern, legally responsible interaction of various business entities in the common cause of creating a sustainable system of energy use of wood as a renewable resource capable of significantly increasing the energy independence of the regions of Ukraine.

The creation of such a system is a political task of the United Territorial Communities (UTCs) on the territory of which forestry enterprises and users of wood fuel resources are located at the same time. Such activities of the UTCs will require the comprehensive support of the state.

До моменту прийняття славнозвісного «Київського протоколу», підписаного 11 грудня 1997 р., наявну ситуацію щодо деревного палива в Україні можна було приблизно описати наступним чином.

На урбанізованих територіях використання деревного палива у багатоквартирних будинках практично припинилось, відповідна інфраструктура (печі, димоходи, дров'яні сараї) була здебільшого демонтована, а у приватному секторі зберігались лише поодинокі

домогосподарства, де власники були на в змозі оплатити газифікацію системи опалення.

У сільській місцевості використання деревного палива зберігались лише у населених пунктах ще не охоплених газифікацією. Щодо інших галузей суспільного господарства і соціальної сфери в Україні, то вони на момент прийняття «Киотського протоколу» не використовували деревне паливо вже десятки років. Користувачами деревного палива на той час залишались лише жителі ще не газифікованих територій, власники садових та дачних будинків і поодинокі приватні будинки, власники яких були не в змозі перейти на газове опалення через брак коштів. Таким чином можна констатувати, що використання деревного палива в основному було зупинено, а його залишки поступово зменшувались.

Суспільні наслідки відмови від використання деревного палива можна характеризувати наступними міркуваннями.

#### Позитивні.

Безперечне підвищення «якості» життя населення:

- відчутне поліпшення побуту;
- повернення у використання площі у житлових спорудах і навколо них;
- зменшення витрат на опалення;
- поліпшення локальної (місцевої) екології завдяки зменшенню шкідливих викидів у повітря при переході з деревного палива на природний газ.

Зменшення тиску на лісове господарство через необхідність забезпечення населення дров'яною паливною деревиною.

#### Негативні.

– Погіршення фінансування лісгосподарських підприємств через істотне зменшення надходження коштів від реалізації населенню паливної дров'яної деревини.

– Необхідність, у відповідності до протипожежних вимог, щорічного знищення шляхом спалювання значної кількості вчасно нереалізованої паливної деревини, яка зазнала біологічної деградації і переведена з категорії товарної продукції у категорію пожежонебезпечних відходів, які підлягають знищенню.

– Погіршення глобальної екології через збільшення використання палива на основі викопних вуглеводнів.

– Зростання залежності України від імпорту природного газу.

Загалом тенденцію щодо використання деревного палива в Україні можна було охарактеризувати, як кардинальну відмову з поступовим зменшенням кількості користувачів.

Ситуація почала змінюватись невдовзі після прийняття «Київського протоколу».

Як-то кажуть класики політекономії – «попит» породжує «пропозицію». Звідкіля взявся «попит»? У країнах Євросоюзу з'явилося різноманітне законодавство, яке було спрямоване на заміщення палива, що вироблялось на основі викопних вуглеводнів, на енергію сонця, вітру та біомаси.

Це законодавство базується на гіпотезі про те, що надходження у повітря викидів від господарчої діяльності людства, які містять газоподібний вуглець (CO<sub>2</sub>) призводять до прискорення глобального потепління клімату.

Такі викиди прийнято називати «вуглецевий слід».

Сам факт того, що таке потепління дійсно має місце не викликає сумнівів у світової наукової спільноти, а от твердження щодо відчутного впливу діяльності людства на це явище приймається лише її частиною. Наукою вважається доведеним, що в історії Землі періоди потепління та похолодання клімату неодноразово змінювали один одного.

Отже, на сьогодні твердження про саме техногенний вплив на глобальний клімат залишається вірогідною гіпотезою, яку поки не вдається ні однозначно підтвердити, ні спростувати.

Тому законодавство спрямоване на економічне заохочення зниження вуглецевого сліду прийняте, так би мовити, на «всякий випадок», виходячи з того, що від цього «гірше не буде».

Щодо заміщення викопних вуглеводнів при виробництві енергії на сонце, вітер, тепло Землі чи енергію води то зниження вуглецевого сліду є очевидним, а від спалювання палива одержаного із біомаси, як заходу, що також сприяє зниженню вмісту в атмосфері газів, що містять вуглець не є очевидним і потребує деяких пояснень.

Доводи на користь законодавства, спрямованого на заохочення саме паливного використання, базуються на наступних науково обґрунтованих фактах.

Біомаса при її розвитку (зростанні) під впливом хлорофілу, що міститься у її складі та сонячного випромінювання забезпечує ендотермічну реакцію синтезу, при якій має місце зв'язування атмосферного вуглецю, і його перехід у твердий стан у складі вуглеводнів біологічного походження. Цей процес супроводжується зменшенням вмісту вуглецю в атмосфері і збільшенням вмісту кисню.

Саме вуглеводні рослинного походження складають переважну частину абсолютно сухої біомаси. Тобто очевидно, що період розвитку рослин дійсно сприяє зменшенню вмісту вуглецю в атмосфері.

Але паливне використання таких вуглеводнів біологічного походження призводить до екзотермічних процесів, які супроводжуються викидами  $\text{CO}_2$  аналогічними викидам, що мають місце при спалюванні палива на основі викопних вуглеводнів.

Чому міжнародні угоди вважають заміщення палива на основі викопних вуглеводнів, паливом на основі біомаси дійсно дійовим заходом щодо зниження вмісту вуглецю в атмосфері? Справа у тому, що у природі біомаса після завершення періоду розвитку неминуче піддається процесам біологічної деградації. Ці процеси мають місце в умовах достатньої кількості кисню, вологи і температури в діапазоні  $10 \div 60^\circ\text{C}$ .

Завдяки діяльності так званої «аеробної» мікрофлори в процесі її «дихання» забезпечується біохімічна конверсія, яка у термодинамічному і хімічному сенсі цілком аналогічна реакції горіння; тобто волога біомаса перетворюється (крім мінерального залишку) на газоподібні  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  та інші гази, які переходять в атмосферу з відповідним впливом на потепління клімату згідно концепції, на якій базується «Київський протокол». При цьому теплова енергія екзотермічної реакції «дихання» розподіляється у довкіллі.

Таким чином, ендотермічні процеси фотосинтезу зменшують уміст в атмосфері газів, які сприяють потеплінню, а наступна неминуча біологічна деградація в екзотермічному процесі «дихання» знов повертає такі гази в атмосферу поступово в міру деградації.

Отже, ідея про те, що паливо, яке вробляється на основі біомаси і використовується для заміщення палива на основі викопних вуглеводнів базується на тому, що тепловий потенціал біомаси в цьому випадку використовується цільовим чином замість потенціалу викопних вуглеводнів, а не розпорошується у довкілля при природно-біологічній деградації.

Тобто вважається, що при «базовому» сценарії вуглець надходить в атмосферу і від біологічної деградації і від спалювання викопних вуглеводнів, а в новому сценарії біологічна деградація не відбувається зовсім і біомаса замінює собою викопні вуглеводні і таким чином сукупне надходження вуглецю у довкілля зменшується.

На наш погляд, таке припущення є вірним лише частково. Справа в тому, що надходження у повітря вуглецю, що міститься у біомасі при її біологічній конверсії відбувається лише частково, а його значна частина зв'язується і переходить у склад торфу, ґрунту, мулу тощо.

На наш погляд, заміщення палива на основі викопних вуглеводнів паливом на основі біомаси, як заходу, спрямованого на зменшення вмісту вуглецю в атмосфері Землі можна вважати



обґрунтованим лише частково. Щодо «локальної» екології – вміст шкідливих речовин у газоподібних викидах при спалюванні природного газу істотно нижчий ніж при спалюванні палива на основі будь-якої біомаси.

Ми навели ці міркування для того, щоб висвітлити суто політично-договірне, не економічне походження «нового» попиту на паливо на основі біомаси, який з'явився у країнах Євросоюзу невдовзі після підписання «Київського протоколу». Фінансувався цей попит із Державного бюджету країн Євросоюзу. «Пропозиція» у вигляді деревного палива виникла у ряді країн колишнього СРСР і в тому числі в Україні.

У досить короткі терміни після підписання «Київського протоколу» в Україні були створені численні виробництва деревних паливних гранул (пелет). Продукція їх майже не використовувалась в Україні, але активно експортувалась, завдяки переважанням встановленим у країнах Євросоюзу для користувачів деревного палива. Пелети застосовували здебільшого для виробництва теплової енергії, а для виробництва електроенергії почалося експортування дров'яної деревини на електростанції Європейських країн. Так, наприклад, дров'яна деревина почала поставлятися з Херсонської області на електростанції Туреччини.

Щодо обґрунтованості системи переважання, спрямованих на заміщення палива на основі викопних вуглеводнів паливом на основі біомаси виникає природне запитання. Який сенс перевозити паливо на основі біомаси (деревини тощо) на тисячі кілометрів до місця спалювання, якщо справа йде про глобальну екологію? Отже, з позицій глобальної екології не має ніякого значення де саме відбулося заміщення палива на основі викопних вуглеводнів паливом на основі біомаси.

Виходячи з мети мінімізації вуглецевого сліду доцільно мінімізувати відстань перевезень палива на основі біомаси. Перевезення супроводжуються значними витратами палива на основі викопних вуглеводнів на експлуатацію транспортних засобів.

Слід також взяти до уваги відносно невисокий питомий енергетичний потенціал палива на основі біомаси. Він у середньому більш ніж вдвічі нижчий ніж цей показник палива на основі викопних вуглеводнів. Це у свою чергу збільшує вуглецевий слід від перевезень. Очевидно, що з позицій зменшення негативного впливу на глобальну екологію раціонально побудована міжнародна підтримка повинна сприяти використанню палива на основі біомаси, як місцевого з мінімальною відстанню перевезень.

Виробництво штучного палива із деревини супроводжується значними питомими витратами електроенергії на переробні процеси. Деревину диспергують до дрібного стану, а потім пресують із утворенням гранул (пелет) чи брикетів (штучних полін).

Операції пресування вельми енергоємні через те, що умовою закріплення нової форми подрібненої деревини у вигляді пелет чи брикетів є не тільки стиснення, але і нагрівання маси при формуванні. Це необхідно для досягнення термопластичності деяких біополімерів присутніх у складі деревини. Це забезпечує ефект «зв'язування» структури. На сьогодні це відбувається шляхом перетворення електроенергії у роботу тертя, а потому у теплову енергію, що і забезпечує нагрівання.

Нещодавно запропоновані нові технічні рішення здатні істотно знизити питомі витрати електроенергії шляхом нагрівання подрібненої деревини технологічною парою перед її спрямуванням на гранулювання.

Така технологія ще не набула широкого застосування через необхідність для неї технологічної котельні з відповідними витратами пари і потужною водопідготовкою. Все це потребує значних капітальних витрат і, що не менш важливо, всебічної підтримки з боку держави (кредитної, у вигляді партнерства тощо).

Отже, така підтримка, на наш погляд, повинна не дотувати економічно збиткові організаційні технічні заходи з виробництва і використання біопалива, а сприяти створенню сталої економічно обґрунтованої інфраструктури виробництва і використання таких палив, якомога ближче до місць вирощування рослинних ресурсів. Очевидно, наявна система преференцій потребує вдосконалення як така, що недостатньо застосовує економічні чинники і спрямовує ділову активність у неринковому напрямі. До того ж, створюються умови мультиплікативного вуглецевого сліду через значні питомі витрати електроенергії на виробництво штучного деревного палива й швидкозношуваних металевих вузлів устаткування механічної обробки деревини при виробництві пелет та брикетів.

Все це робить діючу практику виробництва і експорту штучного деревного палива, яка супроводжується значними витратами енергії і металовиробів на виробництво і перевезення на значні відстані такою, що лише частково відповідає меті зниження «вуглецевого сліду» у атмосфері Землі.

Утім, цю практику можна оцінити позитивно, щодо впливу на експортний потенціал України, що досягається за рахунок державного бюджету країн Євросоюзу в які експортується деревне паливо.

Ці міркування значною мірою стосуються також експорту дров'яної деревини на електростанції зарубіжних країн (наприклад, Туреччини).

Отже, можна констатувати, що введення законодавства пов'язаного з прийняттям «Київського протоколу» стимулювало створення в Україні експортно-орієнтованої підгалузі виробництва штучного деревного палива, яке в незначних масштабах використовується в Україні, але активно екпортується. В цей проміжок часу під впливом подальшої газифікації продовжувалось зниження використання деревного палива в Україні. Одночасно успіхи газифікації спричинили відмову від мазутів, вугілля, дизпалива, рідкого пічного палива у різних галузях економіки. Розширення застосування саме природного газу замість інших видів палива забезпечило значне зниження викидів у довкілля України таких шкідливих речовин як CO, NO<sub>x</sub>, сажі тощо. Було досягнуто значне покращення якості життя населення, особливо в сільській місцевості. Газифікацією були охоплені навіть численні садові товариства. В цей період значна частина дров'яної деревини, щорічно знищувалась у лісгосподарських підприємствах (здебільшого шляхом спалювання з застосуванням рідкого палива) як така, що не знайшла своєчасного платоспроможного попиту і була уражена факторами біологічної деградації. Ця зіпсована товарна продукція переводилась у категорію відходів лісорослинницької діяльності і приєднувалась до таких відходів, як тонкомір деревини (хворост і хмиз), які згідно протипожежним нормам підлягають знищенню у лісгосподарських підприємствах. Пні і коренева система дерев залишалась для поступової біологічної деградації.

Зниження попиту на дров'яну деревину спричинив також занепад галузей промисловості, які використовували у якості сировини так звані технологічні дрова. Це дров'яна деревина підвищеної якості. Вчасно не реалізована технологічна деревина переводилась у категорію паливної і, відповідно, уцінювалась.

У цей період Україна була залежною країною щодо «ділової» деревини (придатною для виробництва дощок, брусів тощо) і водночас затовареною дров'яною деревиною, попит на яку продовжував знижуватися завдяки активній газифікації територій.

Справа в тім, що заготівля дров'яної деревини у лісгосподарських підприємствах майже не залежить від попиту на неї. Дров'яна деревина і тонкомір утворюються, як побічні ресурси при проведенні рубань передбачених щорічним планом у відповідності до проекту лісорослинницької діяльності. Такий проект розробляється для

кожного лісгосподарського підприємства профільним проєктним інститутом на кожний десятилітній період і затверджується у встановленому порядку. Проєкт оформлюється у чотирьох однакових рівнозначних примірниках (по одному у лісгоспі, обласному управлінні лісового господарства, у Держлісгоспі у Києві та контрольний у проєктному інституті).

Всі рубання спрямовані на створення кращих умов розвитку найбільш якісних дерев шляхом усунення (вирубання) дерев-конкурентів, тобто рубання за проєктом – це головний метод цілеспрямованого штучного відбору кращих дерев і поліпшення якості деревостанів. Крім щорічних планових рубань лісгоспи зобов'язані також проводити позапланові вимушені рубання, для усунення наслідків таких негативних явищ, як лісові пожежі, вітровали, буреломи, обмерзання, ураження хворобами та шкідниками.

Після будь-яких рубань відокремлюється ділова деревина (хлисти та баланси), а решта переходить у категорії дров'яної товарної деревини та відходів (тонкомір та пні, корені).

Отже, заготівля дров'яної деревини є побічний наслідок виконання планових і позапланових рубань і не залежить від попиту на неї.

Починаючи з кінця п'ятдесятих років минулого століття попит на дров'яну деревину, як сировину паливного призначення кардинально знизився через майже повне виключення урбанізованих територій, але зберігався у сільській місцевості на досить стабільному рівні до початку дев'яностих років, а потому почав поступово знижувалось завдяки газифікації сільської місцевості.

Попит на технологічну дров'яну деревину почав знижуватись із дев'яностих років через занепад відповідних переробних галузей.

У 1961 році була прийнята урядова постанова про необхідність значного збільшення лісовкритої площі на теренах України. Було наголошено, що у попередній період, і особливо під час війни та повоєнного відновлення народного господарства площа лісовкритих територій істотно зменшилась. Наукову основу постанови і подальших планів розвитку лісового комплексу забезпечувала концепція про лісомеліоративну функцію лісових насаджень як необхідну складову сучасного землеробства. Згідно цій концепції у ландшафтах із інтенсивною агропромисловою діяльністю частку лісовкритої території необхідно підтримувати у діапазоні 16 ÷ 18% (в залежності від особливостей ландшафту, таких як ступінь урбанізації, типу ґрунтів, природні та штучні водойми, кліматичні умови тощо).

Концепція не передбачала доцільність зниження цієї частки на територіях, де вона перевищує 18%. Тобто концепція наголошувала, що для сучасного інтенсивного сталого землеробства ландшафт слід наблизити до географічної зони «лісостепу» і постійно підтримувати такий стан, як необхідну умову сталого розвитку агропромислової діяльності без будь-якого негативного впливу на ґрунти та ліси. Ця концепція має підґрунтя у класичних наукових досягненнях експедиції, під керівництвом академіка Докучаєва В.В., роботах його геніального учня, засновника Національної академії наук України академіка Вернадського В.І. та їх сучасних послідовників. Найявність лісових масивів та лісозахисних смуг безпосередньо впливає на локальний клімат, кількість опадів та використання їх вологи, вірогідність посухи, пилових бур, вивітрювання та змивання родючого шару ґрунту тощо [1].

А загалом йдеться про родючість землі та ризикованість землеробства, як такого.

ВУ результаті виконання постанови 1961 року частка лісовкритої площі в Україні значно збільшилась.

Утім, і на сьогодні частка лісовкритої території вкрай нерівномірна. Вона досягає 44% у ряді областей і знижується до частки << 1% у регіонах Одеської та Херсонської областей. Тобто робота з нового лісонасадження триватиме.

Середня якість деревостанів України, як живильника ділової деревини невисока, що і спричиняє імпортозалежність України цілому щодо ділової деревини.

Водночас Україна має значні лісові площі, які продукують цінні види ділових деревних ресурсів (дуб, бук тощо).

Таким чином, упродовж значного проміжку часу в Україні створювались нові лісові насадження. Крім того у існуючих лісових масивах проводились насадження на ділянках лісовідновлення після рубання «головного користування», яке необхідно проводити, щоб запобігти старінню стиглого лісу. Така ділянка підлягає суцільному рубанню, після чого насадженню нових саджанців.

Згідно технології лісівництва на 1 га висаджується 8-10 тис. саджанців, а на 1 га лісу, що переводиться у категорію «стиглого» залишають 300-500 дерев. Таким чином, за цикл вирощування, рубанням цілеспрямованого відбору піддається більше 90% дерев. При цьому рубання догляду за лісом (штучний відбір) у перші роки після посадки саджанців продукують спочатку лише відходи у вигляді тонкоміру, потім приєднується дров'яна деревина (побічний товарний продукт) і лише після того, як діаметр круглого лісу починає

перевищувати 10 см у складі продуктів рубань догляду починає з'являтися ділова деревина. У подальшому частка ділової деревини поступово зростає.

Отже, починаючи з 1961 року заготівля дров'яної деревини безперервно збільшувалась через лісонасадження, а попит на неї зменшувався через газифікацію сільської місцевості. Така, дещо парадоксальна ситуація, спричинила необхідність щорічного знищення значних деревних ресурсів шляхом спалювання у лісгосподарських підприємствах. Така практика є вимушеною з протипожежних міркувань. Відмовитись від неї можливо лише за умов організації рентабельної утилізації деревини.

Спалюванню піддається тонкомір (нетоварні відходи у вигляді гілок і верхівок товщиною  $\leq 30$  мм) і відходи власного лісопилення, яке в середньому охоплює 45% ділової деревини, що її заготовляють лігоспи. Решту – 55%, лігоспи реалізують, як товарний «круглий ліс». Спалюванню піддають, так звані, тверді відходи лісопилення, такі як обалози (утворюються при обпилюванні круглого лісу, що передуює розпилюванню на дошки і бруси; обалози у перерізі мають форму наближену до сегменту), кромки (подовжені елементи, що утворюються, як рештки при наданні обрізаним дошкам перерізу у вигляді прямокутника).

До категорії твердих нетоварних відходів, що підлягають спалюванню, належить, також, вчасно не реалізована дров'яна деревина, уражена біологічними факторами. Це відбувається таким чином: спочатку уражену технологічну дров'яну деревину уціняють і переводять у категорію паливної дров'яної деревини, а потім, через подальше ураження паливну дров'яну деревину забраковують, знімають з балансу і переводять у категорію нетоварних твердих відходів, які приєднують до інших, спрямованих на спалювання [2].

Всі відходи, що підлягають спалюванню, накопичують у спеціально відведених місцях і щорічно спалюють. Ця операція досить витратна і потребує значної кількості рідкого палива. Це пов'язано з тим, що спалювання з протипожежних міркувань проводять у період опадів і деревина волога. Крім того, ця необхідна технологічна операція супроводжується негативним впливом на екологію як глобальну, так і локальну (через шкідливі викиди, пов'язані з неякісним процесом горіння).

Із твердих відходів не піддають спалюванню лише пні і кореневу деревину – ці відходи залишають для природно-біологічної деградації. Загальна кількість деревини, що спалюється у лісгоспах невідома, але уявлення можна отримати із прикладу наведеного далі. В ході проектно-

пошукових робіт, спрямованих на повне заміщення природного газу деревним паливом на всіх комунальних котельнях міста Цюрупінськ (на сьогодні йому вже повернута історична назва Олешки) автори мали змогу досить ретельно ознайомитись із організацією лісорослинницької діяльності у лісгоспах розташованих у Херсонській області і в першу чергу у лісгоспі «Цюрупінський», який знаходиться на найменшій відстані від м. Олешки (ми виходили з логістичних перевалів).

Згадані проєктно-пошукові роботи були ініційовані мерією м. Цюрупінськ і підтримані державною адміністрацією відповідного регіону.

Причиною такої зацікавленості була політична криза, яка спричинила порушення постачання природного газу.

Такі кризові явища створюють загрозу гуманітарної катастрофи під час сезону опалення (особливо на урбанізованих територіях). До робіт було залучене обласне управління лісового господарства, яке доручило провідним спеціалістам зібрати необхідну інформацію і провести комплексне навчання колективу співробітників інституту технічної теплофізики НАН України (ІТТФ НАН України) щодо основ ведення лісового господарства в Україні взагалі і зокрема в господарствах Херсонської області. На той час ІТТФ виконував в Україні обов'язки Головної наукової організації щодо модернізації комунальної енергетики.

Нагальна потреба такої невідкладної модернізації на той час була пов'язана з такими факторами:

- припиненням експлуатації багатьох промислових підприємств, які одночасно з основною діяльністю забезпечували опалення і постачання гарячої води у житлові райони міст свого розташування; це потребувало негайного створення відповідних потужностей систем опалення;

- активною газифікацією території України;

- тенденцією поступового подорожчання природного газу, що спонукало до заміни морально-застарілого енергетичного устаткування на сучасне, що має кращі показники цільового використання енергетичного потенціалу палива та забезпечує зменшення негативного впливу на довкілля з боку газоподібних викидів продуктів згоряння.

Отже, мерія м. Олешки (на той час Цюрупінська) була зацікавлена у зменшенні споживання природного газу, як шляхом підвищення ККД, так і шляхом його заміщення альтернативним паливом на основі відновлюваних місцевих ресурсів.

Пристаюючи до проєктно-пошукових робіт, ми не уявляли собі, що у Херсонській області, яка вважається в цілому степовою з низьким

коефіцієнтом лісовкритої території можливо залучити до енергетичного використання відчутні ресурси дров'яної деревини, але дійсність виявилась зовсім іншою.

Справа в тому, що у Херсонській області була розташована найбільша у Європі пустеля з рухливими пісками, так звані, «Олешкінські піски».

Ще до революції, за царським наказом із метою закріплення пісків, були проведені широкомасштабні роботи з насадження соснових лісів. При радянській владі роботи з лісівництва були продовжені й розширені. Поступово склалася школа висококваліфікованих фахівців із лісорослининицької діяльності, які підтримували і вдосконалювали деревостани у виключно несприятливих умовах довкілля. Було створено й підтримується п'ять лісгосподарських підприємств (в тому числі, навіть мисливське господарство).

Дослідження потенціальних паливних ресурсів ми почали з лігоспу «Цюрупинський», розташованого на найменшій відстані від міста (трохи більше 5 км).

Дослідження виявило наступну картину, усереднену за декілька останніх років, які передували нашим проектно-пошуковим роботам:

- щорічний об'єм планових рубань (відповідно затвердженому проекту лісорослининицької діяльності) становив 36 тис.м<sup>3</sup> на рік;
- загальний усереднений об'єм фактично заготовленої деревини становив 31 тис.м<sup>3</sup> на рік;
- потенційні ресурси рубань (з урахуванням пнів та кореневої деревини) становили 44 тис.м<sup>3</sup> на рік;
- загальний усереднений об'єм фактично знищеної (шляхом спалювання) деревини становив 13 тис.м<sup>3</sup> на рік;
- недовиконання запланованих проектом рубань відбору було зумовлене хронічним недофінансуванням діяльності лігоспу з боку держави через брак коштів у Держбюджеті.

Слід зауважити, що таке недофінансування характерне для всієї галузі в ще більшій мірі, ніж у Херсонській області, де лісові насадження мали особливе значення, як такі, що закріплювали рухливі піски. Отже було встановлено, що потреби міста Олешки можливо було задовольнити ресурсами лише одного лігоспу, а всього у лігоспах Херсонської області було виявлено більше 180 тис.м<sup>3</sup> на рік деревини, що не має платіжеспроможного попиту. Тобто наявні потенційні відновлювані паливні ресурси деревини залежать як від наявної лісовкритої території так і від стану державного фінансування лісорослининицької діяльності у регіоні [3].



Де кілька років тому ми брали участь у науково-практичній конференції присвяченій паливному використанню деревини. Конференція була вельми цікава й змістовна. Під час конференції проводилася демонстрація паливно-енергетичного господарства, що працювало на деревній паливній трісці. Демонструвались різні споруди для зберігання тріски і її спрямування на спаловання. Була продемонстрована широка номенклатура пелет та брикетів. Після закінчення доповідей при їх обговоренні ми поцікавились тим, скільки серед шестисот учасників конференції знаходиться працівників лісгосподарської галузі; виявилось, що нема жодного. На наш погляд, це було дуже дивно, але в деякій мірі пояснює відсутність до цього часу в Україні сталої системи енергетичного використання деревини.

Нещодавно ми мали змогу ознайомитись із організацією робіт сучасної, досить потужної фірми, яка до війни забезпечувала постачання деревних ресурсів паливного призначення на декілька ТЕЦ та котельнь, що працюють на деревному паливі. Ми вдячні керівництву фірми за розповідь.

Отже, фірма підтримувала ділові стосунки і закуповувала дров'яну деревину у лісгосподарських підприємств. Лісгоспи надавали змогу протягом короткого часу подрібнити партію деревини на тріску, завантажити у трісковози великого об'єму (до 90 м<sup>3</sup>) і вивезти без складування.

Відповідно до такої організації робіт фірма була вимушена використовувати комплект високопродуктивних пересувних пристроїв для подрібнення на тріску, завантаження та транспортування на енергетичні об'єкти партій тріски без складування та підсушування. Дальність перевезень тріски складала у середньому 50÷70 км.

Наведена організація робіт не передбачає ніякої відповідальності лісгосподарських підприємств перед енергетичними об'єктами за забезпечення їх ресурсами деревини.

Фірма-постачальник вимушена діяти у вельми жорстких умовах постійного цейтноту, неможливості організації сталого виробничого ритму, значних перевитрат пального на перевезення.

Складається враження, що розвиток цієї перспективної підгалузі енергетики просувається у протилежному напрямі від створення сучасної юридично відповідальної взаємодії різних суб'єктів господарювання у спільній справі створення сталої системи енергетичного використання деревини, як відновлюваного ресурсу, який здатен істотно підвищити енергетичну незалежність регіонів України [4].

Створення такої системи, це політичне завдання територіальних громад за підтримки держави.

### **Список використаних інформаційних джерел**

1. Олійник В. С., Вітер Р. М. Лісознавство : курс лекцій. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2011. 264 с.

2. Кремньов В.О., Тимошенко А.В., Беляєв Г.В., Беляєва І.П., Жуков К.Л., Корбут Н.С., Стецюк В.Г. Сучасне лісівництво України і можливості його синергійної взаємодії з енергетикою: Екологія. Довкілля. Енергозбереження. 2023: колективна монографія/ під ред. О.В. Степової. Полтава: НУПП ім. Ю. Кондратюка. 2023. С. 80–91. <https://nupp.edu.ua/uploads/files/0/events/conf/2022/3mnpk/monogr.pdf>

3. Кремньов В.О., Беляєв Г.В., Жуков К.Л., Корбут Н.С., Стецюк В.Г., Тимошенко А.В. Досвід розробки проєктів переведення енергогенеруючих об'єктів з природного газу на деревне паливо із місцевих відновлюваних ресурсів. Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики: Збірник праць / Інститут промислової екології. К. : ІВЦ АЛКОН НАН України, 2022. С. 177–180.

4. Кремньов В.О., Беляєв Г.В., Жуков К.Л., Корбут Н.С., Стецюк В.Г., Тимошенко А.В. Лісівництво і енергетика – нова зустріч після тимчасової розлуки. Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики: Збірник праць / Інститут промислової екології. К. : ІВЦ АЛКОН НАН України, 2022. С. 181–184.

**РОЗДІЛ V.  
СУЧАСНИЙ СТАН ТА  
ПЕРСПЕКТИВИ  
РОЗВИТКУ  
ЕКОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ**



**СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ  
ЕКОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ  
CURRENT STATE AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT  
OF ENVIRONMENTAL EDUCATION**

**Юзефович С. В.**, студентка, **Харламова О. В.**, доктор технічних наук, доцент, **Шмандій В. М.**, доктор технічних наук., професор, **Ригас Т.Є.**, кандидат технічних наук, доцент  
**Yuzefovych S. V.**, student, **Kharlamova O. V.**, Doctor of Technical Science, associate professor, **Shmandiy V. M.**, Doctor of Technical Science, professor, **Rigas T.E.**, PhD in Technical Sciences, associate professor

Кременчуцький національний університет імені Михайла  
Остроградського, Україна  
Mykhailo Ostrohradsky Kremenchuk National University, Ukraine

**Анотація.** У статті досліджено сучасний рівень екологічної освіти шляхом аналізу наявних матеріалів та джерел для окремих вікових категорій, увагу акцентовано на шкільній освіті (вікова категорія 6-16 років). Проаналізовано сучасні шкільні програми природничих предметів, опрацьовані підручники. Встановлено, що інформація у деяких підручниках є розбіжною та неструктурованою, що сприяє хибному формуванню екологічних цінностей у майбутнього покоління. Запропоновано впроваджувати стандарт екологічних знань для кожного класу з метою систематизації і уніфікації інформації, обґрунтовано необхідність структуризації матеріалу, створення чіткої методології викладання екології. Запропоновано розширити програми деяких предметів в екологічному напрямку з урахуванням загроз війни та здійснювати низку практичних заходів і занять для формування екологічної компетентності у дітей. Проведено опитування з метою вивчення рівня екологічної свідомості людей старшого віку і їхнього впливу на формування екологічної свідомості молодшого покоління. Встановлено, що більшість респондентів вважає рівень власної екологічної освіти низьким та мала б бажання його покращити. Стаття розширює уявлення про проблеми екологічної освіти та вказує на потребу в подальших заходах для поліпшення ситуації.

**Abstract.** The article examines the current level of environmental education by analysing the available materials and sources for specific age groups, with a focus on school education (age group 6-16). Modern school curricula for natural sciences are analysed, and textbooks are studied. It is established that the information in some textbooks is divergent and unstructured, which contributes to the false formation of environmental values in the future generation. It is proposed to introduce a standard of environmental knowledge for each class in order to systematise and unify information, and the need to structure the material and create a clear methodology for teaching ecology is substantiated. It is proposed to expand the curricula of some subjects in the environmental area, taking into account the threats of war, and to carry out a number of practical activities and classes to develop children's environmental competence. A survey was conducted to study the level of environmental awareness of older people and their influence on the formation of environmental awareness of the younger generation. It was found that most respondents consider the level of their own environmental education to be low and would like to improve it. The article expands the understanding of the problems of environmental education and points to the need for further measures to improve the situation.

Одним з найвизначніших періодів в історії розвитку науки є XIX-XX століття – вагомі зрушення у медицині, хімії, фізиці, технологіях та інших галузях дали можливість процвітанню людського суспільства та поліпшення промислового прогресу. Винахід та впровадження автомобіля на бензині Карлом Бенцем відкрило нові перспективи для мобільності та транспорту, а введення принципів масового виробництва автомобілів Генрі Фордом дозволило знизити їх вартість і робити їх доступними для широкого кола споживачів; винайдення генератора змінного струму Ніколо Тесла, встановлення основ квантової механіки та у подальшому розвиток атомної теорії і створення групою науковців на чолі з Робертом Опенгеймером першої атомної бомби як і багато інших досягнень визначили нові галузі знань, змінили підходи до науки і стали важливими кроками у розвитку сучасного суспільства – усі вони мають і «темну сторону наслідків», одним з яких є непоправна шкода довкіллю, що представляє собою неперервний процес, який продовжується до нашого часу.

На момент створення вказаних та інших винаходів творці не знали і не могли передбачити майбутнє для навколишнього середовища, але пройшло більш ніж століття і ситуація досі залишається критичною – у час інформаційних технологій більшість людства досі не може спрогнозувати збитки для природи від своїх дій. До того ж,

незважаючи на популяризацію екології, дотепер існують стереотипи та уявлення, що породжують байдужість, безвідповідальність та ігнорування суспільством реальних загроз довіллю. Змінити ситуацію та запобігти майбутнім наслідкам має вседоступна екологічна освіта – вона визначить важливість оптимальної взаємодії людини з природою та надасть інструменти для створення сталого та здорового майбутнього для всіх.

Екоосвіта є складовою освіти й спрямована на формування у людей цінностей, уявлень, знань, умінь і навичок, необхідних для розуміння процесів у природі сучасності, її важливості та взаємозв'язку з життям людини, а також вирішення проблем, пов'язаних із збереженням навколишнього середовища і подальшим сталим розвитком. Завдяки систематизованій екоосвіті у суспільства формуватиметься свідоме та культурне ставлення до природи, екологічна грамотність, завдяки якій людина розумітиме наслідки впливу власних дій на навколишнє середовище та екологічно відповідального способу життя; відбудуватиметься поширення усвідомленості про екологічні проблеми та підтримка активності у сфері збереження природи і принципів сталого розвитку та ефективного використання природних ресурсів.

Щоб зрозуміти стан сучасної екологічної освіти та зробити прогнози щодо її подальшого розвитку ми охопили широкий віковий діапазон та виокремили три категорії для аналізу – шкільна екологічна освіта, екологічна освіта в училищах, коледжах та ЗВО і вільна екологічна освіта для старшої вікової групи, адже багатьох дорослих, коли вони були дітьми, майже не вчили берегти природу, а багатьох дітей ще не встигли цього навчити. Українська освітня реформа орієнтується на впровадження сучасних методів навчання, стимулювання творчого мислення та практичного застосування знань – з 2017 року в Україні тестують та вводять новий стандарт навчання для молодших та середніх класів, за яким замість запам'ятовування фактів та понять у Новій Українській Школі (НУШ) учні набуватимуть компетентностей (динамічна комбінація знань, умінь, навичок, способів мислення, поглядів, цінностей, інших особистих якостей, що визначає здатність особи успішно соціалізуватися, провадити професійну та/або подальшу навчальну діяльність). Перелік компетентностей, яких набуватимуть учні, створювався з урахуванням «Рекомендацій Європейського Парламенту та Ради Європи щодо формування ключових компетентностей освіти впродовж життя» (від 18.12.2006 р.). В цей перелік також входить екологічна компетентність.

Для оцінки екологічної компоненти ми проаналізували близько

100 підручників [2] для учнів від першого до одинадцятого класу різних видавців та авторів за наступними категоріями – «Я досліджую світ»: 1-4 клас, «Пізнаємо природу»: 5-6 клас, «Здоров'я»: 5-6 клас, «Географія»: 7-11 клас, «Фізика»: 7-11 клас, «Хімія»: 7-11 клас, «Біологія»: 7-9 клас, «Біологія та екологія»: 10-11 клас. У вибірці пріоритетність надавалася підручникам, що видані за період 2019-2023 років, адже вони створені вже за стандартами НУШ, але, оскільки не всі класи є модернізованими, зустрічаються й старіші версії.

Розглянемо підручники за категоріями «Здоров'я» (1.1 – Автор: Василенко, Коваль, Колотій / Видавництво : Літера ЛТД, 2022; 1.2 – Автор: Воронцова, Пономаренко, Василенко, Лаврентьєва Андрук / Видавництво: Алатон, 2022) та «Пізнаємо природу» (2.1 – Автор: Григорович, Болотіна, Романов / Видавництво: Ранок, 2022; 2.2 – Автор: Коршевнюк, Ярошенко / Видавництво: УОВЦ «Оріон», 2022). Загалом книги містять у собі інформацію про шкоду здоров'ю людини від забрудненого довкілля та загрозу різним екосистемам від впливу людства на них. Але викладення матеріалу відбувається у різні способи – через різну кількість запитань, що спонукають учнів до роздумів над екологічними загрозами та їх рішеннями; через розповіді про екологічні проблеми і катастрофи або конкретні факти із цієї теми. Усі підручники інших категорій опрацьовувалися за даним принципом і варто зазначити, що в зразках «Пізнаємо природу» та «Я досліджую світ» міститься базова інформація про ланцюги живлення, колообіг води (речовин) та Червону книгу України, тому при аналізі вона не враховувалася. Детальний опис підручників категорії «Я досліджую світ» представлений у табл 1.

Табл. 1

Аналіз підручників із предмету «Я досліджую світ»

Клас	Відомості про підручник	Інформація з підручника
1	Автор: Будна, Гладюк, Заброцька, Шост Видавництво: «Навчальна книга – Богдан», 2023	тема – «дбаємо про чистоту повітря», яка містить запитання щодо забруднення та очищення повітря (ч.1, с.53); тема – «значення води для живої природи»: запитання до теми (ч.1, с.56); тема – «використовуємо воду економно» (ч.1, с.59); запитання про дбайливе ставлення до рослин (ч.1, с.70-71); запитання про дбайливе ставлення до тварин та годівничка із вторсировини (ч.1, с.76); запитання про збереження життя деревам (ч.2, с.44-45); тема – «значення та охорона водойм»: запитання про забруднення водойм (ч.2, с.65); запитання про поведінку в горах без шкоди

		довкілля (ч.2, с.68); запитання до зображень про збереження природи на луках (ч.2, с.72); тема – «значення та охорона лісу» (ч.2, с.77); тема – «значення природи для людини» та «ставлення людини до природи» (ч.2, с.80-81)
	Автор: Бібік, Бондарчук Видавництво: «Ранок», 2023	зображення без інформації екологічно чистого виду транспорту та сортувальних смітєвих баків як засіб уникнення непрємних запахів (ч.1, с.47); зображення без інформації сонячних панелей (ч.1, с.53); заклик до збереження води шляхом закривання крану (ч.1, с.57); заклик берегти природу (ч.1, с.61)
	Автор: Большакова, Пристінська Видавництво: «Ранок», 2023	тема – «я бережу тепло та економлю електроенергію» (ч.1, с.57); заклик до збереження води шляхом закривання кранів (ч.1, с.59); тема – «куди зникає сміття?», що містить у собі інформацію про види відходів, переробку, запитання щодо сортування (ч.1, с.74-75); захист зникаючих тварин (ч.2, с.43 та с.53); зображення «плачучих» берез навесні, що спонукає до роздумів про неправильне добування березового соку (ч.2, с.54); інформація та запитання про Міжнародний день Землі, збереження природи планети (ч.2, с.61); тема – «я охороняю природу», що містить у собі запитання, інформацію та факти щодо розкладання та сортування сміття, переробки, заповідників і економне використання ресурсів у побуті (ч.2, с.62-63); питання про власний досвід піклування про чистоту довкілля (ч.2, с.69)
2	частина 1: Автор: Бібік, Бондарчук Видавництво: «Ранок», 2019  частина 2: Автор: Корнієнко, Крамаровська, Зарецька Видавництво: «Ранок», 2019	факт про розкладання обгортки (ч.1, с.9); запитання про вирубку дерев та раціональність вирубки хвойних дерев перед зимовими святами (ч.1, с.45); тема – «папір і пластик»: інформація і факти про виготовлення паперу, шкоду пластику за запобіганню їй (ч.1, с.69); запитання про охорону природи, правила поведження у лісі (ч.1, с.71-73); тема – «як зберегти повітря чистим» (ч.1, с.76-77); тема – «як берегти воду» (ч.1, с.80-81); інформація про рідкісні рослини, збирання березового соку і шкоду від цього для дерев (ч.1, с.87); тема – «я дружу з природою»: запитання і зображення про охорону планети (ч.1, с.118-119); тема – «зберігаємо довкілля»: створення



		<p>годівниці із вторсировини і запитання до теми (ч.2, с.58-59)</p>
	<p>Автор: Гільберг, Тарнавська, Павич Видавництво: «Генеца», 2019</p>	<p>запитання та інформація щодо забруднення повітря (ч.1, с.87); запитання про вплив погодних умов на забруднення повітря (ч.1, с.91); заклик без інформації про бережливе ставлення до водних ресурсів (ч.1, с.101, 104); правила поведінки у лісі та зображення про сортування сміття (ч.1, с.112); запитання та інформація про сортування сміття і баки, факти щодо термінів розкладання відходів (ч.2, с.11, 12); тема – «чому потрібно дбати про довкілля»: запитання та інформація про сортування сміття, інформація про екологів, про шкоду несортованого сміття та спалювання сухої рослинності (ч.2, с.92-95); тема – «чому природа потребує охорони»: зображення про збереження довкілля (ч.2, с.131-133)</p>
	<p>частина 1: Автор: Андрусенко Видавництво: «Грамота», 2019</p> <p>частина 2: Автор: Вдовенко, Котелянець, Агєсва Видавництво: «Грамота», 2019</p>	<p>запитання без інформації про нешкідливий транспорт (ч.1, с.69); заклик щодо заборони спалення рослинних решток і сміття (ч.1, с.21); запитання до ілюстрацій про забруднення повітря (ч.1, с.48); заклик до збереження води (ч.1, с.53); інформація та запитання про сортування сміття (ч.1, с.82); заклик до збереження ранньоквітучих рослин (ч.1, с.92); проект – «допомогти природі може кожний» (ч.1, с.108); практичної частини не виявлено</p>
3	<p>Автор: Іщенко, Вашенко, Романенко, Козак, Кліщ Видавництво: «Літера ЛТД», 2020</p>	<p>запитання про користь для довкілля вибору способу переміщення (ч.1, с.27); тема – «Що загрожує ґрунту?»: інформація про ерозію ґрунту (ч.1, с.57); інформація про заощадження води (ч.1, с.59); запитання про зменшення використання невідновлювальних джерел енергії, колообіг енергії у побуті, інформація про екологічні катастрофи та запитання про забруднення довкілля (ч.1, с.64, 65); запитання та інформація до теми – «як люди змінюють довкілля?» (ч.1, с.66); тема – «екологічність</p>

		виробів»: створити фігурки з рулону від туалетного паперу
	Автор: Волощенко, Козак, Остапенко Видавництво: «Світлич», 2020	запитання щодо екологічного користування корисними копалинами (ч.1, с.50); запитання про екоторбинки (ч.1, с.65); інформація про шкідливість спалення листя, компост (ч.1, с.76-77); тема – «як людина використовує енергію Сонця, вітру, води»: інформація і запитання про види енергії (ч.1, с.116-119); тема – «як заощаджувати енергію?» (ч.1, с.129-130); запитання про еколого-натуралістичного центру (ч.2, с.41); екологічна гра – «взаємозв'язок у природі» і Всесвітній день Землі (ч.2, с.113, 114); виріб із вторсировини (ч.2, с.115); завдання про створення проекту очищення водойми (ч.2, с.132)
	частина 1: Автор: Андрусенко Видавництво: «Грамота», 2020  частина 2: Автор: Вдовенко, Котелянець, Агєсва Видавництво: «Грамота», 2020	інформація, факти і запитання про забруднене повітря (ч.1, с.34-36); інформація та запитання про енергію і природні ресурси (ч.1, с.42-43); заклик до збереження лісу та природи (ч.1, с.110-111); завдання – перегляд фільму «Мохи проти забруднення довкілля» (ч.1, с.56)
4	Автор: Грущинська, Хитра, Дробязко Видавництво: «Оріон», 2021	розділ – «Людина і природа України»: інформація і заклик до збереження води (ч.1, с.71); інформація і заклик до збереження ґрунтів, запитання що стосуються забруднення ґрунту (ч.1, с.74); завдання про створення природоохоронної листівки (ч.1, с.81); запитання про природоохоронні території Полісся (ч.1, с.88); заклик до збереження лісу (ч.1, с.89-90); запитання про вплив людей на лісостеп (ч.1, с.98); вплив промислового виробництва на стан природи та шкода людей степу (ч.1, с.105); охоронні флора і фауна Криму (ч.1, с.114); природні ресурси енергії (ч.1, с.117); розділ – «Історія взаємодії людини і природи»: запитання та інформація про різні

		<p>види забруднення (ч.1, с.124-125); розділ – «Як сільське господарство змінює природу?» (ч.1, с.126); розділ – «Як розвиток промисловості впливав на природу?»: інформація про взаємозв'язок економіки та екології та нерационального використання природних ресурсів (ч.1, с.128-129); інформація про катастрофи від діяльності людей (ч.1, с.133); розділ – «Що таке глобальне потепління?»: інформація та запитання про зміну клімату внаслідок шкоди діяльності людей на природу, інформація про парниковий ефект (ч.1, с.134-135); запитання про глобальні катастрофи, які спричиняє людина, інформація про безгосподарське використання землі і опустелювання її (ч.1, с.138); природоохоронне значення лісів (ч.1, с.141-143); розділ – «Де будемо брати питну воду?»: інформація про забруднення Світового океану та бережливе ставлення до води (ч.1, с.144-146); розділ – «Загроза багатствам природи» (ч.1, с.148-152); розділ – «Як стати природі другом?»: запитання та інформація про сталий розвиток (ч.1, с.152-154)</p>
	<p>Автор: Будна, Гладюк, Заброцька, Шост          Видавництво: «Навчальна книга – Богдан», 2021</p>	<p>тема – «Діяльність людей у зоні степу. Охорона степу» (ч.1, с.104-105); тема – «Діяльність людей у Карпатських горах. Охорона природи Карпат» (ч.1, с.113-114); тема – «Кримські гори. Охорона природи Кримських гір» (ч.1, с.116-119); інформація про спосіб переробки поліетилену (ч.1, с.145); тема – «Співробітництво людей у галузі охорони довкілля, природних багатств»: інформація про шкоду довкіллю, організацію «Грінпіс», ЮНЕСКО, утилізацію сміття, (ч.1, с.147-150); заклик до ощадливого використання корисних копалин (ч.2, с.68); інформація про забруднення водойм (ч.2, с.71); інформація про шкоду ґрунтам (ч.2, с.84-85); інформація про шкоду праці людей у зоні мішаних лісів (ч.2, с.88-90); тема – «Діяльність людей у зоні лісостепу. Охорона лісостепу» (ч.2, с.97-98)</p>

У результаті аналізу даних таблиці робимо висновок, що інформація має неточності, неоднорідна і відрізняється не тільки якістю

подачі (від простих запитань до фактажу екологічних проблем; від найпоширеніших розповідей до унікальних тем), але й обсягом поданого матеріалу. Це загрожує виникненням в учнів різних закладів неоднакових, поверхневих чи стереотипних знань, що не сприяють глибокому розумінню принципів екології, помилковим формуванням поглядів та невірним визначенням пріоритетів у збереженні природи; хибним сприйняттям ключових екологічних концепцій та втратою інтересу. Зазначимо, якщо інформація подається безліччю випадкових фактів без систематизації, учні можуть втратити інтерес та не бажати розуміти важливість проблеми. Зауважимо, що це стосується усіх опрацьованих нами підручників. Особливу увагу звертаємо на категорію «Біологія та екологія»: переглянувши підручники профільного рівня (Автор: Задорожний, Утевська / Видавництво : Ранок, 2018) та рівня стандарту (Автор: Сობоль / Видавництво : Абетка, 2018) можемо зазначити, що підручники містять лише матеріал про історію виникнення та термінологію цієї природничої галузі, що критично мало для формування свідомого ставлення до навколишнього середовища у майбутніх випускників. До того ж, 10-11 класи є передекзаменаційними, і випускники зміщують свій фокус уваги на екзаменаційні предмети, а не поглиблене вивчення запропонованої шкільної програми; а деякі з учнів після дев'ятого класу взагалі продовжують навчання у спеціалізованих училищах без подальшого поглибленого вивчення шкільних предметів, в тому числі й з екологічним ухилом. Тож введення екології у курс біології у цих класах може бути запізним. Також варто зазначити критично недостатню кількість практичних занять, що не спонукає формуванню зацікавленості дитини у захисті довкілля.

Отже, хоч у більшості підручників наявна певна інформація, що стосується екологічної освіти, вона не має чіткої структури і подається хаотично у кожного автора. Ми вважаємо, що доцільно розробити і ввести стандарт екологічних знань для кожного класу, за яким чітко визначатиметься потрібна інформація, яку мають викладати всі автори у своїх підручниках. Вважаємо за доцільне дослідити можливість створення окремої дисципліни екологічного спрямування, що уміщуватиме в собі не тільки всю потрібну інформацію з екологічної освіти, але й буде сприяти вивченню особливостей довкілля регіонального рівня і екосистем на практиці. Зокрема варто обов'язково ввести в існуючі шкільні предмети наступні теми та збільшити кількість практичних занять:

– аналіз характеристик відходів, вивчення можливостей їх збору та переробки, вплив сміття на навколишнє середовище («Я досліджую

світ», «Пізнаємо природу», «Хімія», «Біологія»);

– створення моделей екосистем для симуляції екологічних процесів (вуглецевий цикл, ланцюг живлення та ін.), планування та аналізу різних стратегій управління екосистемами для збереження біорізноманіття та сталого розвитку («Я досліджую світ», «Пізнаємо природу», «Географія», «Біологія»);

– аналіз впливу забруднень на довкілля за допомогою біоіндикації, ліхоіндикації (оцінювання стану навколишнього середовища за станом і різноманіттям лишайників) («Біологія»);

– вивчення ефектів забруднень на рослинний і тваринний світ («Я досліджую світ», «Пізнаємо природу», «Біологія»);

– вивчення процесу компостування та вирощування рослин із використанням компосту («Я досліджую світ», «Пізнаємо природу», «Біологія»);

– екскурсії до природних резерватів, спостереження та опис рослин, тварин та комах своєї місцевості, вивчення їх можливостей адаптації до видозміненого людиною середовища («Я досліджую світ», «Пізнаємо природу», «Географія», «Біологія»);

– проведення експериментів щодо забруднення води (хімічними способами, за допомогою фотоколориметра), визначення її якості та ефективності очищення («Фізика», «Хімія»);

– метеорологічні дослідження (вимірювання температури, вологості, атмосферного тиску та ін.) та вплив на довкілля («Я досліджую світ», «Пізнаємо природу», «Географія»).

Враховуючи, що Україна знаходиться у стані війни і в школах наявне викладання предмету «Захист України» для учнів 10-11 класів, вважаємо за доцільне розглянути розширення цього предмету у напрямі не тільки основ цивільного захисту, а й військової екології. Адже військові конфлікти тягнуть за собою низку екологічних проблем [4] і впровадження знань про цю галузь екології та екоцид серед школярів у країні, де триває війна, є важливим імперативом. Це формуватиме в майбутнього покоління знання про те, як воєнні конфлікти впливають на природу та свідомість і розуміння важливості її збереження навіть у складних умовах війни. Буде корисним навчити дітей як реагувати на екологічні кризи під час війни – вони матимуть змогу аналізувати заходи з виживання та збереження екосистем. До того ж, отримання знань про військову загрозу екологічній безпеці сприяє вихованню в учнів відповідального ставлення до природи і робить акцент на необхідність веденні бойових дій з мінімальними екологічними наслідками; ця освіта може стати джерелом для формування у школярів громадянської активності та готовності вирішувати екологічні

проблеми, які чекають майбутнє покоління, включаючи ті, які виникають через війну.

Вважаємо, що створення у людей екологічно свідомого підходу до життя та навколишнього середовища має відбуватися з дитинства не тільки у навчальних закладах, але й в сім'ї та побуті. Враховуючи це, доцільно реалізувати екологічну освіту і для людей старшої вікової категорії, адже саме вони закладають свої цінності та звички у майбутнє покоління, а також вже впливають на стан сучасного довкілля, а отже мають вміти управляти екологічними ризиками [1].

Управління екологічними ризиками, перш за все, включає запобігання виникненню катастроф шляхом відмови від виробництва небезпечної продукції, закриття аварійних об'єктів; запобігання виникнення надзвичайних ситуацій у випадку, коли неможливо уникнути причин катастроф та зменшення наслідків катастроф шляхом впровадження стабілізаційних і компенсаційних заходів. Для цього вважаємо доцільним створення державних освітньо-кваліфікаційних курсів з екоосвіти, управління екологічними ризиками та сталим розвитком, які будуть обов'язковою програмою для державних працівників та добровільними для всієї громадськості. Крім того, варто поширювати вже наявні курси, підтримувати громадські та волонтерські екологічні організації, поки держава не зможе забезпечити достатній рівень освіти.

Нами було проведено опитування серед людей віком від 18 до 60 років (більша частка опитуваних припала на 31-40 років), у якому мали на меті вивчення думки громадськості щодо стану екологічної освіти та її подальшого покращення. Ми встановили, що більшість опитаних вважає, що має недостатній рівень екологічної освіти (52,9%) та незнайома з будь-якими ресурсами для його покращення. На запитання «На Вашу думку, чи була задовільною Ваша екологічна освіта у школі?» та «Чи були у Вас позакласні заняття або заходи з екології і чи відвідували Ви їх?», ми отримали негативні відповіді – «Ні, була незадовільною» (58,8%) та «Ні, не було» (52,9%). Окрім цього, на запитання «Чи вважаєте Ви за потрібне ввести сучасним школярам окремий предмет з екології з практичним підходом?» та «Чи відвідали б Ви заняття для підвищення своєї екологічної освіти за власним бажанням?» отримали більш позитивні результати – «Так, вважаю за потрібне» (82,4%) та «Можливо» (58,8%). Із метою узагальнення результатів опитування, було надано запитання «Що на Вашу думку важливо вивчати, знати і вміти сучасному поколінню?» та «Що на Вашу думку важливо вивчати, знати і вміти майбутнім поколінням?». Нижче наведемо деякі відповіді. «*Базові знання з «практичної екології»*»,

*«Відновити екосистему до її природного рівня», «Так як я не можу назвати якісь точні екологічні терміни/теми, скажу так, люди повинні усвідомити, що навіть одна людина впливає на нашу екологію, і потрібно починати з себе і своїх дітей. Не потрібно думати, що якщо я спалю листя, то нікому гірше не стане, не потрібно закривати очі на місцеві екологічні катастрофи (наприклад, як на річці Псел). Потрібно вчитися сортувати сміття, і банально не смітити на пляжах, щоб не забруднювати воду. Багато є тем на які людям потрібно звертати увагу, і було б добре, як би було більше спеціалістів, які проводили просвітницьку діяльність з цієї теми», «Необхідно знати що робити в разі знаходження небезпечних для людини та екології предметів(міни, уламки ракет, інше воєнне приладдя) та куди звертатися...Також важливим є розумне споживання ресурсів, наприклад таких як вода чи електроенергія. Вважаю важливим розповідати новому поколінню про шкідливість непотрібних покупок або надмірне придбання чогось. Наприклад, закупівлю великої кількості їжі, яка зрештою не буде спожита, а пластик, в якій вона упакована не буде перероблений. Також ще одним прикладом являється слідування модним тенденціям, зараз епоха швидкої моди, коли речі швидко втрачають свою актуальність і їх викидають, я вважаю, що потрібно розповідати сучасному поколінню про розумне споживання одягу, що не потрібно купувати величезну кількість одягу, яка потім буде не актуальна через один сезон. Також я тішуся від тенденції молоді купувати речі на секондхендах чи кастомізувати вже раніше куплені речі, вважаю, що це позитивний вклад в екологію», «Підростаючому поколінню важливо вивчати екологію та розуміти важкість всіх наслідків війни для неї, для того, щоб в майбутньому мати бажання до їх вирішення».*

Вважаємо, що варто виокремити такі запитання як «Чи погоджуєтеся Ви з твердженням, що кожен громадянин незалежно від професії повинен мати базову екологічну освіту?» («Так, погоджуюся», 94,1%) та «Чи погоджуєтеся Ви з твердженням, що в деяких з професій мають поглиблено та спеціалізовано вивчати екологію?» («Так, погоджуюся», 100% ), оскільки при вивченні та опануванні деяких з професій (військовий, архітектор, інженер, фермер та ін.) має більше приділятися уваги до екологічної освіти адже фахівці у цих галузях можуть мати потенційний негативний вплив на стан екологічної безпеки, до того ж кожна професія має унікальні аспекти ризиків та загроз і потребує індивідуального підходу у вивченні екології. Це дозволить працівникам краще розуміти та враховувати вплив їхньої діяльності на рівень екологічної стійкості. Із цієї точки зору, акцентуємо увагу на доцільності перегляду у закладах вищої освіти освітніх

компонент на спеціальностях, що потенційно несуть шкоду довкіллю та не вивчають систематично ризики та загрози. Раніше нами було проведено дослідження, що стосувалося стану екологічної освіти та свідомості у студентів конкретного вищого навчального закладу [3], за яким ми резюмували, що більшість респондентів мають свідоме ставлення до цієї проблеми, але не повністю сформовану думку та недостатню обізнаність. Отже, результати обох опитувань показують, що екологічна освіта важлива не тільки для здобуття знань та навичок, а й для формування екологічно позитивних цінностей у суспільства.

**Висновок.** Доведено, що сучасний стан екологічної освіти все ще має суттєві недоліки: відсутність стандартизованого способу навчання, відсутність або критично незначна кількість практичних занять та недостатність підготовки вчителів для ефективного викладання екології; застарілі та безвідповідальні методи управління ресурсами старшого покоління, яке має великий вплив на формування цінностей та звичок молоді. Однак, застосування сучасних наукових рішень, зростаючий інтерес до сталого розвитку може сприяти інтеграції екологічних питань у загальні освітні програми, а розвиток технологій впливає на поширення електронних та дистанційних методів навчання, що забезпечить гідну екологічну освіту майбутнім поколінням.

### Список використаних інформаційних джерел

1. Екологічна безпека. Підручник / В.М. Шмандій, М.О. Клименко, Ю.С. Голік, А.М. Прищепа, В.С. Бахарев О.В. Харламова. Херсон : Олді-плюс, 2017. 336 с.

2. Шкільні Підручники Онлайн (Електронні). URL: <https://shkola.in.ua/pidruchnyky/>.

3. Юзефович С. В., Харламова О. В., Шмандій В. М. Оцінка екологічної свідомості населення на основі результатів опитування респондентів закладу вищої освіти. «Екологія. Довкілля. Енергозбереження» – 2023»: Збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження» (7-8 грудня 2023 року, Полтава). Полтава : НУШП, 2023. 273 с.

4. Юзефович С. В., Шмандій В.М. Проблеми екологічної безпеки вперіод воєнного стану. XXX Міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих учених «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства». Кременчук: КрНУ, 2023. С.195.



# РОЗДІЛ VI. БІОРІЗНОМАНІТТЯ ТА ЗАПОВІДНА СПРАВА



**СИСТЕМА ПІДЖИВЛЕННЯ ЯК СКЛАДОВА КОМПЛЕКСУ  
ЗАХОДІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТА ЯКОСТІ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ  
FERTILIZATION SYSTEM AS PART OF A SET OF MEASURES  
FOR ENVIRONMENTAL SAFETY AND QUALITY OF  
AGRICULTURAL PRODUCTS**

**Новікова А.В.**, кандидат сільськогосподарських наук, старший викладач кафедри екології та ботаніки, **Скляр В.Г.**, доктор біологічних наук, професор, завідувачка кафедри екології та ботаніки **Novikova A.V.**, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer at the Department of Ecology and Botany, **Skliar V.H.**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Ecology and Botany

Сумський національний аграрний університет, Україна  
Sumy National Agrarian University, Ukraine

**Анотація.** У сучасних умовах глобалізації та інтенсифікації різних сфер діяльності людства, гостро постає питання екологічної безпеки, особливо в сфері сільського господарства, бо воно є одним із найпотужніших чинників впливу на стан довкілля. Це зумовлює необхідність дослідження напрямів екологізації розвитку сільськогосподарського комплексу з метою зниження його негативного навантаження на стан навколишнього середовища. В праці обґрунтовано особливості вирощування цибулі озимим способом в північно-східному Лісостепу України, визначено інструменти екологічного спрямування, що можуть бути використані на національному та регіональному рівнях.

Досліджено вплив систем підживлення не лише на фізико-хімічні показники ґрунту, а й якість та товарну врожайність отриманої продукції. Доведена ефективність використання біологічних препаратів при вирощуванні цибулі ріпчастої озимим способом з сянки та описаний взаємний вплив екологічної безпеки та сільськогосподарського виробництва.

**Abstract.** In today's conditions of globalization and intensification of various spheres of human activity, the issue of environmental safety is acute, especially in the field of agriculture, because it is one of the most powerful factors influencing the state of the environment. This makes it necessary to study directions of greening the development of the agricultural complex in

order to reduce its negative impact on the environment. The work substantiates the peculiarities of winter onion cultivation in the North-Eastern Forest-Steppe of Ukraine, defines the tools of ecological direction that can be used at the national and regional levels. The influence of fertilization systems not only on the physico-chemical parameters of the soil, but also on the quality and commercial yield of the obtained products was studied. The effectiveness of the use of biological preparations in the winter cultivation of onions from seedlings is proven, and the mutual influence of greening and agricultural production is described.

У сучасних умовах глобалізації та інтенсифікації різних сфер діяльності людства, гостро постає питання екологічної безпеки, особливо в сфері сільського господарства, бо воно є одним із найпотужніших чинників впливу на стан довкілля. Саме тому, сталий розвиток сільського господарства залежить від ефективного використання природо-ресурсного потенціалу, дотримання норм раціонального природокористування та збереження компонентів довкілля. Великі обсяги використання мінеральних добрив та пестицидів негативно впливають не лише на стан ґрунтів та біоти, а й призводять до забруднення ґрунтових вод. Надлишок азоту у ґрунті призводить до накопичення нітратів у продукції рослинництва в кількості, шкідливій для здоров'я людини і тварин. Тому все частіше науковці-екологи та аграрії ведуть пошук альтернативних шляхів вирощування сільськогосподарської продукції, які дозволили б використовувати «екологосумісні» технології й техніку в усіх галузях господарювання, використовують перехід до ресурсозберігаючих технологій і «мініатюризації» виробництва, до безпечних для природи і людей господарських прийомів. Галузь овочівництва в цьому питанні не є винятком, оскільки овочі є основою раціону людства.

Тенденція переходу на ресурсощадні та екологічно безпечні технології вирощування овочевих культур в Україні реалізується впровадженням у практику нових способів з використанням поживних речовин, мікроелементів, малотоксичних засобів захисту та регуляторів росту, відповідно до потреб кожної рослини [1].

Для проведення досліджень була обрана цибуля ріпчаста (*Allium cepa* L.). Це дуже вимоглива культура до умов агротехніки та живлення, але вона також є індикатором техногенного забруднення ґрунтів цинком: якщо на шостий день зростання у водній витяжці з ґрунту певної території у цибулі не з'явилося зеленої маси, можна вважати цю територію техногенно забрудненою цинком. Цей метод може

працювати й у реальних польових умовах. Визначена методика не потребує додаткових аналітичних досліджень [2].

Наукова новизна представлених результатів досліджень полягає в доведенні доцільності використання екологізованих способів вирощування продукції, які, в свою чергу, позитивно впливають на її якість та не шкодять довкіллю.

Мета досліджень – обґрунтування доцільності використання біологічно-активних препаратів, у порівнянні з традиційною системою удобрення, при вирощуванні цибулі озимим способом.

Завдання досліджень полягало у визначенні впливу елементів технології вирощування на довкілля, ріст і розвиток рослин, урожайність і якісні показники цибулі ріпчастої.

Під час проведення польових досліджень використовувалась мінеральна система підживлення ( $N_{60}P_{60}K_{60}$ ) та екологізована (застосування Біодеструктора стерні в комплексі з передпосівною обробкою насіння Емістимом С).

Біодеструктор стерні – це розробка БТУ-центра (Україна), що є концентратом емульсії до складу якого входять:

- продуценти целюлози та інших ферментів;
- природні азотфіксуючі бактерії;
- фосфор- і каліймобілізуючі ґрунтові бактерії;
- фітогормони, вітаміни, амінокислоти, макро- і мікроелементи.

Цей препарат пришвидшує розкладання рослинних решток після збирання попередника, покращує родючість ґрунту та мінералізацію азоту, фосфору, калію, збільшує врожайність культур на 10-30% [3].

Емістим С – регулятор росту рослин природного походження широкого спектра дії, продукт життєдіяльності грибів-мікроміцетів.

Препарат містить збалансований комплекс:

- фітогормонів ауксинової і цитокінінової природи;
- амінокислот;
- вуглеводів;
- жирних кислот;
- мікроелементів.

Підвищує, стійкість рослин до хвороб, стресових факторів, збільшує урожай і якість вирощеної продукції [4].

Обраний у дослідженнях озимий спосіб вирощування також дозволяє знизити гербіцидне та інсектицидне навантаження на довкілля, оскільки онтогенез бур'янів та шкідників не співпадає в часі з фазами розвитку цибулі. Це дає змогу повністю відмовитися від застосування хімікатів та обмежитися лише механічною обробкою ґрунту, передбаченою технологією вирощування.

Сорт цибулі, використаний у дослідях – Ткаченківська (оригіатор – Інститут овочівництва і баштництва НААН) та гібрид Вольф F<sub>1</sub> (оригіатор – Nicerson Zwaan, Нідерланди).

Садіння сіянки проводили 12 серпня.

При аналізі проб ґрунту під час вегетації культури, за використання біологізованої системи удобрення, було встановлено, що вміст нітратного азоту збільшувався на 10-26%, рухомого фосфору – 7,4-9,5%, обмінного калію – 5,5-8,2% у порівнянні з мінеральною системою. Також за використання екологізованої системи підживлення, у фазу формування цибулини, вміст азоту, фосфору і калію мав тенденцію до зростання, що є наслідком підвищення мікробіологічної активності ґрунту та розкладання рослинних решток.

При дослідженні фаз розвитку рослин було встановлено, що кожна з них за екологізованої системи підживлення розпочиналась на 2-3 дні раніше від мінеральної, як для сорту, так і гібрида (табл.1).

Було встановлено, що застосування Біодеструктора стерні та Емістиму С мають позитивний вплив не лише на ріст і розвиток рослини цибулі, а й на товарну якість продукції.

Таблиця 1

Пройходження рослинами цибулі ріпчастої основних фенологічних фаз росту і розвитку за озимого способу вирощування з сіянки (середнє за 2019-2022 рр.)

Система підживлення	Масові сходи	2-4 справжні листки	Відновлення вегетації	Утворення цибулини	Вилягання пера
Ткаченківська					
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	25.08	21.09	8.04	7.05	31.05
Біодеструктор 1 л/га+ Емістим С 10 мл/кг	22.08	18.09	8.04	4.05	29.05
Вольф F <sub>1</sub>					
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	24.08	20.09	9.04	8.05	29.05
Біодеструктор 1 л/га+ Емістим С 10 мл/кг	21.08	17.09	7.04	5.05	27.05

Було проведено ряд біометричних вимірювань, згідно методики досліджень, а також визначено відсоток рослин, що почали стрілкувати, оскільки саме цей показник є найважливішим для визначення стану перезимівлі рослин і має значення при визначенні товарної врожайності та економічної ефективності. В цьому випадку спостерігається пряма залежність: чим більше рослин почали стрілкувати, тим гірше посів

переніс зимові морози та перепади температур. Біологізована система підживлення показала себе краще за мінеральну, оскільки відсоток стрілкуючих рослин за її використання був значно меншим (табл.2).

Таблиця 2

Вплив строків садіння цибулин та внесення добрив на біометричні показники рослин цибулі сорту Ткаченківська, (середнє за 2019-2022 рр.)

Система удобрення	Фаза 4–5 листків (осінній період)		Збирання врожаю			Стрілку- вання рослин, %
	середня кількість листоків, шт.	сумарна довжина листоків, см	середня кількість листоків, шт.	сумарна довжина листоків, см	маса цибулини, г	
Ткаченківська						
N60P60K60	3,9	108	5,8	205	40,6	21,8
Біодеструктор стерні + Емістим С	4,2	115	6,7	228	42,6	18,8
Вольф F <sub>1</sub>						
N60P60K60	4,2	121,3	6,8	249	32,5	9,0
Біодеструктор стерні + Емістим С	4,3	127,5	6,7	251	33,3	4,0

Встановлено, що за використання екологізованої системи підживлення всі біометричні показники рослин значно та статистично достовірно (при  $p < 0,05$ ) перевищували мінеральне підживлення. Сумарна довжина листків була більшою на 7 см в осінній період та на 23 см – у весняний. Маса цибулин була більшою на 2 г. Рослин, які дали стрілку, було на 3% менше у сорту Ткаченківська.

У гібрида спостерігалась подібна тенденція до статистично достовірного збільшення параметрів по біологізованій системі підживлення, а стрілкування рослин було на 5% менше.

Одним із завдань досліджень було визначення маси та якості отриманого врожаю за використання двох систем підживлення, оскільки, урожайність продукції надзвичайно важливий показник ефективності технології вирощування сільськогосподарських рослин, у тому числі й овочевих (табл. 3). Але, окрім кількості зібраної продукції, важливе значення має її якість, а саме біохімічний склад [5].

Особливо важливий даний показник для овочевих рослин, так як значна їх частка споживається у свіжому вигляді, а за окремими показниками біохімічного складу овочів можна оцінити продукцію на придатність її до споживання та визначити подальше її використання. Зокрема за

вмістом нітратів визначають безпечність продукції, за кількістю та якісним складом цукрів – придатність цибулі ріпчастої до тривалого зберігання (табл. 4).

Таблиця 3  
Товарна урожайність цибулі ріпчастої за озимого способу вирощування з сівки, т/га (2019-2022 рр.)

Система удобрення	Товарна урожайність, т/га
Ткаченківська	
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	16,9
Біодеструктор стерні + Емістим С	19,1
Вольф F <sub>1</sub>	
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	17,2
Біодеструктор стерні + Емістим С	20,1

Найбільшу товарну врожайність сорту Ткаченківська та гібриду Вольф F<sub>1</sub> за озимого способу вирощування з сівки забезпечує використання екологізованої системи підживлення – 19,1 т/га та 20,1 т/га відповідно. Приріст товарної врожайності відносно внесення добрив у дозі N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> складає у сорту Ткаченківська 2,2 т/га, гібриду Вольф F<sub>1</sub> – 2,9 т/га. Висока врожайність гібрида зумовлена його біологічними особливостями, оскільки селекція, в даному випадку, працювала на зимостійкості та зниження стрілкування. Однак, в умовах північно-східного Лісостепу повністю уникнути даного фактору не вдалося, тому що умови перезимівлі в Нідерландах різняться у порівнянні з Україною [6].

Таблиця 4  
Якість урожаю цибулі ріпчастої озимої при вирощуванні з сівки залежно від систем удобрення, (середнє за 2019-2022 рр.)

Система удобрення	Сорт Ткаченківська			Гібрид Вольф		
	суха речовина, %	загальний цукор, %	нітрати, мг/кг	суха речовина, %	загальний цукор, %	нітрати, мг/кг
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	10,85	6,18	61	12,16	6,63	66
Біодеструктор стерні + Емістим С	11,25	6,21	45	13,62	6,67	57
Максимальн о допустимий рівень (МДР), мг/кг			90			

У сорту Ткаченківська вміст сухої речовини складав 10,85 та 11,25 %. Вміст загального цукру у цибулинах був на рівні 6,18 і 6,22 %. Вміст нітратів за екологізованої системи підживлення не перевищував максимально допустимого рівня (МДР) і був значно нижчим, ніж за використання №<sub>60</sub>Р<sub>60</sub>К<sub>60</sub>.

Продукція гібриду Вольф F<sub>1</sub> за вмістом сухої речовини та цукрів вигідно вирізнялася порівняно з сортом Ткаченківська. Вміст сухої речовини в цибулинах складав 12,16 і 13,62 %, суми цукрів – 6,63-6,72 % відповідно до варіантів досліду. Вміст нітратів не перевищував максимально допустимий рівень (МДР). Підвищений вміст цукрів і сухої речовини можна пояснити сортовими особливостями культури, селекція якої була направлена на підвищення зимостійкості, яка напряму залежить від вмісту цукрів і сухих речовин.

Аналізуючи економічну складову даної технології можна сказати, що більш рентабельним для умов північно-східного Лісостепу є вирощування сорту Ткаченківська з використанням біологізованої системи підживлення (22,8%) у порівнянні з мінеральною (18,7%). Подібна тенденція, але зі значно нижчими показниками, оскільки значна частка вкладень іде на придбання садивного матеріалу, спостерігалась і у гібрида Вольф F<sub>1</sub> 4,5% та 13,9% відповідно.

За результатами аналізу проведених досліджень встановлено, що екологізація є необхідним та досить перспективним напрямом розвитку сільського господарства, що базується на освоєнні екологічних методів господарювання, забезпечує розширене відтворення та збереження природних і антропогенних ресурсів за рахунок формування стійких еколого-економічних систем, спрямованих на збільшення обсягів виробництва конкурентоспроможної продукції через створення стійкого агроландшафту за використання екологічних методів господарювання на основі впровадження адаптивно-ландшафтних систем землеробства, раціонального залучення до господарського обороту і підвищення ефективності використання природних, матеріальних і трудових ресурсів сільської місцевості. Відмінною ознакою і фундаментальним принципом стратегії екологічного розвитку є екосистемний підхід до вирішення проблем будь-якого масштабу і рівня: глобального, національного, регіонального і місцевого.

Екосистемний підхід ґрунтується на ощадливому, а не споживацькому ставленні до природи [7]. Активізація забезпечення екологічної спрямованості аграрного виробництва вимагає диверсифікації шляхів щодо нарощування темпів виробництва екологічно чистої продукції, застосування еколого безпечних й



енергозберігаючих технологій у сільському господарстві, широкого впровадження інноваційних розробок, здатних мінімізувати негативний вплив виробництва та переробки продукції на довкілля.

### **Список використаних інформаційних джерел**

1. Лимар В.А. Ефективність вирощування цибулі ріпчастої за інтенсивною промисловою технологією на чорноземах супіщаних осолоділих // Вісник ЖНАЕУ. 2015, №2 (50). Т1. С. 156–161.

2. Андрієвська О.А. Цибуля ріпчаста як індикатор техногенного забруднення ґрунтів цинком // Пошукова та екологічна геохімія. 2014. № 1–2 (14–15). С. 44–45.

3. Електронний ресурс БТУ-центр Україна. Сайт: <http://btu-center.com/promisloviy-sektor/roslinnitstvo/b-odestruktori> (дата звернення 15.01.2024)

4. Характеристика препарату Емістим С. Електронний ресурс: <https://agrostart.com.ua/shop/regulator-rosta-emistim-3-s> (дата звернення 16.01.2024)

5. Корнієнко С. І., Новікова А. В. Ефективність елементів озимого вирощування цибулі ріпчастої в умовах північно-східного Лісостепу України // Вісник Сумського аграрного університету: Серія агрономія і біологія. Суми. 2017. Вип. 9 (32). С. 61–65.

6. Новікова А. В. Вплив строків сівби та застосування добрив на урожайність цибулі ріпчастої за озимого способу вирощування // Овочівництво і баштанництво. Міжвідомчий науково-тематичний збірник. Харків. 2014. Вип. 60. С. 209–214.

7. Дюк А.А., Бурлака Н.І. Екологізація земельних ресурсів в умовах глобалізації: регіональний аспект // Ефективна економіка. 2018. №10. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=6604>

## ЗМІСТ

### РОЗДІЛ I. УПРАВЛІННЯ ГЛОБАЛЬНОЮ ТА РЕГІОНАЛЬНОЮ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ

*Генова А.В., Дерієнко Б.Г., Маланюк Н.І., Харламова О.В., Ригас Т.Є.*  
РЕАЛІЗАЦІЯ ЛОКАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ МОНИТОРИНГУ ЗА ЯКІСТЮ ПІДЗЕМНИХ ВОД ЯК ЕЛЕМЕНТ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ.....7

*Магась Н.І.*  
ОЦІНКА СУЧАСНОГО СТАНУ ТА РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ РІЧКОВИХ ВОД У БАСЕЙНІ ПІВДЕННОГО БУГУ НА ТЕРИТОРІЇ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....17

*Петряшев І.І., Маланюк Н.І., Сажка А.Ю., Харламова О.В., Шмандій В.М.*  
УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНИМ ПРОЄКТОМ ЗАДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ КРЕМЕНЧУЦЬКОЇ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЗОНИ..... 31

*Сафранов Т.А.*  
ПЕРЕДУМОВИ ЗАБРУДНЕННЯ ДІОКСИНАМИ ТА ІНШИМИ ХЛОРОРГАНІЧНИМИ РЕЧОВИНАМИ ПИТНИХ ВОД ОКРЕМИХ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ..... 40

*Чорногор Л. Ф., Некос А. Н., Тітенко Г. В., Чорногор Л. Л.*  
РУЙНУВАННЯ КАХОВСЬКОЇ ГРЕБЛІ: МОДЕЛЮВАННЯ ГОЛОВНИХ ЕФЕКТІВ, ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ.....62

*Чугай А.В., Недострелов М.В., Сотніченко О.В.*  
ОЦІНКА ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ НА СКЛАДОВІ ДОВКІЛЛЯ РЕГІОНІВ ЗАХІДНОЇ УКРАЇНИ..... 74

### РОЗДІЛ II. ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

*Крот О.П., Пуховой О.В.*  
ПЕРСПЕКТИВИ ОТРИМАННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ З ФОСФОГПСУ.....88

*Степова О.В., Шара С.Ю.*

УНІКАЛЬНІСТЬ КРЕМЕНЧУЦЬКОГО ВОДОСХОВИЩА ТА ЙОГО  
ЗНАЧЕННЯ У ВОДОГОСПОДАРСЬКОМУ КОМПЛЕКСІ УКРАЇНИ.103

### РОЗДІЛ III. УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ

*Ілляш О.Е., Чепурко Ю.В., Серга Т.М., Бредун В.І., Смоляр Н.О.*

ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ ТВЕРДИХ  
ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ.....113

*Маркіна Л. М., Яцишин А. В., Власенко О.В., Ковтунов О.В.*

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ІНВЕСТИЦІЙНОЇ  
ДІЯЛЬНОСТІ ІННОВАЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ ІЗ ПЕРЕРОБКИ  
ВІДХОДІВ.....139

*Синяцик В.Ф., Кондрашов С.В., Лініх А. В., Харламова О.В.,  
Бездєнєжних Л.А.*

УПРАВЛІННЯ І ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ ПЕРЕРОБКИ  
ДЕРЕВИННОВОЛОКНИСТОЇ ПЛИТИ.....155

*Тітова А.О., Андрєєв В. Г., Шмандій В.М., Ригас Т. Є., Гринь С.С.,  
Соломоненко М.О.*

АНАЛІЗ ЗАБРУДНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД У ЗОНІ ВПЛИВУ  
СМІТТЄЗВАЛИЩА .....166

### РОЗДІЛ IV. КОМПЛЕКСНІ РІШЕННЯ В ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННІ Й НЕТРАДИЦІЙНІ ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

*Кремньов В.О., Тимощенко А.В., Бєляєв Г.В., Бєляєва І.П., Жуков К.Л.,  
Корбут Н.С., Стецюк В.Г.*

ДЕРЕВНЕ ПАЛИВО В УКРАЇНІ – ДОСВІД МИНУЛОГО ЯК  
АКТУАЛЬНИЙ ПРИКЛАД СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ .....179

*Тимощенко А.В., Кремньов В.О., Бєляєв Г.В., Бєляєва І.П., Жуков К.Л.,  
Корбут Н.С., Стецюк В.Г.*

ДЕРЕВНЕ ПАЛИВО В УКРАЇНІ – ПРОБЛЕМИ СЬОГОДЕННЯ..... 188

**РОЗДІЛ V. СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ  
ЕКОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ**

*Юзефович С. В., Харламова О. В., Шмандій В. М., Ригас Т. Є.*  
СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕКОЛОГІЧНОЇ  
ОСВІТИ .....204

**РОЗДІЛ VI. БІОРІЗНОМАНІТТЯ ТА ЗАПОВІДНА СПРАВА**

*Новікова А. В., Скляр В. Г.*  
СИСТЕМА ПІДЖИВЛЕННЯ ЯК СКЛАДОВА КОМПЛЕКСУ  
ЗАХОДІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТА ЯКОСТІ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ .....218

Наукове видання

**ЕКОЛОГІЯ. ДОВКІЛЛЯ. ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ – 2024**

Колективна монографія

Рекомендовано до друку вченою радою  
Національного університету  
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Технічне редагування – Н.О. Смоляр

Підписано до друку 29.03.2023 р.  
Формат 60x84/16. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Умовн. друк. арк. 14,3.  
Наклад 300 прим. Замовлення 2023-139

**Видавництво ПП «Астрая»**

36014, м. Полтава, вул. Шведська, 20, кв. 4

Тел.: +38 (0532) 509-167, 611-694

E-mail: [astraya.pl.ua@gmail.com](mailto:astraya.pl.ua@gmail.com), веб-сайт: [astraya.pl.ua](http://astraya.pl.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5599 від 19.09.2017 р.

**Друк ПП «Астрая»**

36014, м. Полтава, вул. Шведська, 20, кв. 4

Тел.: +38 (0532) 509-167, 611-694

Дата державної реєстрації та номер запису в ЄДР  
14.12.1999 р. № 1 588 120 0000 010089