

Київський національний університет будівництва і архітектури  
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

**МАРШАЛЛ ДАНИЛ ІГОРОВИЧ**

УДК 502.171:556

ДИСЕРТАЦІЯ

**ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАХИСТУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ НА  
ДЕОКУПОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ ТА ЗАСМІЧЕННЯ**

101 – ЕКОЛОГІЯ

10 – Природничі науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ Д.І. Маршалл

Науковий керівник: Волошкіна Олена Семенівна

доктор технічних наук, професор

Київ – 2024

Ідентичний за змістом з іншими примірниками дисертації

---

## АНОТАЦІЯ

*Маршалл Д.І.* ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАХИСТУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ НА ДЕОКУПОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ ТА ЗАСМІЧЕННЯ. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки», за спеціальністю 101 – «Екологія». – Київський національний університет будівництва і архітектури, МОН України, Київ, 2024.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-прикладного завдання щодо підвищення рівня екологічної безпеки водних ресурсів на деокупованих територіях шляхом удосконалення їх захисту від забруднення та засмічення за рахунок застосування місцевих природних глинистих матеріалів, теоретичного обґрунтування застосування дренажних захисних споруд та автоматизованої системи відокремлення механічних засмічень з водної екосистеми.

У дослідженні на основі аналізу моніторингових досліджень доведено, що якість поверхневих та підземних вод на території держави зазнає значного погіршення і не відповідає існуючим нормативним документам, внаслідок зруйнування та затоплення водогосподарських споруд. В даному дослідженні показано погіршення ефективності роботи протифільтраційного облицювання магістрального каналу на прикладі Інгулецької зрошувальної системи внаслідок воєнних дій, а також тривалої експлуатації системи. Розрахункові дані за 2020 рік за нормативною методикою свідчать, що середні питомі фільтраційні втрати через змочений периметр необлицьованого каналу становлять  $0,116 \text{ м}^3/\text{добу}$  з  $1 \text{ м}^2$ .

Зазначені питання потребують оцінки та прогнозу подальшого розвитку подій на пошкоджених спорудах, невід’ємними складовими яких є розробка методології фільтраційних розрахунків втрат забрудненої води через пошкоджений захисний екран з метою аналізу міграції забруднень підземним водоносним горизонтом та підтоплення на території, що розглядається. В даній роботі розглянуті питання теоретичного обґрунтування втрат напору та

фільтрації через захисний екран для оцінки і прогнозу подальшого забруднення підземних вод, що можуть бути застосовані для визначення параметрів фільтраційного потоку з хвостосховищ, сміттєзвалищ, меліоративних каналів. Наведені підходи до визначення втрат напору через екрановану споруду при різного роду пошкодженнях і на різних стадіях фільтрації води з каналів. Визначено фільтраційні втрати води з магістрального каналу Інгулецької зрошувальної системи і зону впливу каналу при поступовому відході води після його затоплення через руйнування дамби Каховської ГЕС. В даних дослідженнях доведено, що при відновленні роботи магістрального каналу на Інгулецькій зрошувальній системі і в інженерних розрахунках для оцінки міграції забруднень в підземні горизонти та при подальшому відновленні магістрального каналу можна не приймати до уваги захисну здатність облицювання. Для перехвату фільтраційного потоку в даному випадку з метою захисту підземного горизонту пропонується застосування приканального дренажу, теоретичного обґрунтування сучасних підходів до розрахунку якого наведено в даній дисертації на прикладі існуючих сучасних рішень. Перехоплені дренажні води приканальним дренажем можуть бути використані для потреб інших водоспоживачів в даному регіоні. Даний підхід в подальшому слугуватиме для обґрунтування вибору оптимального захисту відкритих каналів з використанням сучасних світових технологій.

Можливість застосування місцевих глинистих порід для захисту пошкоджених ділянок каналу розглянуто на основі лабораторних досліджень. Для досліджень були взято проби природних глинистих матеріалів з двох родовищ Миколаївської області (біла глина): Першотравневе та Актове, а також червоної глини з території Канівського району Черкаської області. Лабораторні дослідження вилучення іонів важких металів на прикладі іонів міді проводилися згідно методики ДСТУ 7525 2014 на ліцензійному обладнанні (фотоелектроколориметр КФК-2). Методика експерименту по іонам  $\text{Si}^{2+}$  встановлює колOMETРИЧНІ методи визначення масової концентрації міді від 0,02 до 0,5 мг/дм<sup>3</sup> з реактивом діетилдітіокарбамату.

Застосування природних матеріалів на перших стадіях відновлення зрошувальних систем має бути ефективним рішенням для часткового видалення забруднень важкими металами з метою недопущення їх попадання в підземні води.

Важливою перевагою використання природних глинистих покладів є їх поширеність у тих регіонах України, які потребують відновлення зрошувальних систем та захисту магістральних каналів від великих фільтраційних втрат та економічна доцільність їх застосування порівняно з іншими матеріалами (наприклад, бетонне або асфальтове покриття), тому даний напрямок досліджень має значні наукові та прикладні перспективи.

Експериментальні дослідження з глиною з трьох зазначених родовищ щодо сорбційних властивостей по відношенню іонів  $\text{Cu}^{2+}$  підтвердили їх здатність до застосування в процесах очищення від забруднень у водному середовищі. Аналіз отриманих даних довів найбільшу сорбційну здатність серед білої глини зразків з родовища Першотравневе та значно вищу адсорбційну здатність зразків червоної глини з родовища Черкаської області.

Лабораторні дослідження були виконані для двох стадій фільтрації – крапельної та підпертої. Отримані результати засвідчили суттєве зниження сорбційної спроможності глинистого облицювання при переході каналу в стадію підпертої фільтрації, що, відповідно, було підтверджено розрахунками адсорбційних констант в рівнянні Фрейндліха. Суттєве збільшення фільтраційних властивостей облицювання за допомогою природних матеріалів на стадії підпертої фільтрації на попередніх проектних стадіях не враховується в даний час, що зумовлює необхідність внесення коректив в відомчі будівельні норми. Результати, які були отримані при проведенні даного експерименту можуть бути широко застосовані при облаштуванні протифільтраційних екранів для відстійників та хвостосховищ різного роду, а також при санації водних об'єктів з метою попередження попадання забруднень в підземний водоносний горизонт.

В дисертаційній роботі запропонована автоматизована система

відокремлення механічних засмічень з водної екосистеми, що являє собою механічний бар'єр конвеєрного типу. Зазначена система є першим з трьох пускових комплексів, яка дозволяє виокремити засмічення з річки з мінімальною шкодою для екосистеми.

Зазначена система може бути першою в серії наступних пускових комплексів:

- виокремлення механічних засмічень;
- сортування, висушування та підготовки;
- безвикидного спалювання у інноваційному комплексі Univastum.

Запропонована система, окрім ролі у загальному комплексі поводження з річковими засміченнями, може бути самостійною системою виокремлення.

Науково-теоретична цінність роботи полягає в наступному:

- розроблено теоретичне обґрунтування розрахунків фільтраційних втрат води з магістрального каналу з приканальним трубчастим дренажем з врахуванням падіння напору на захисному облицюванні каналу. Приканальний дренаж виконує в цьому випадку дві функції. По-перше – запобігає підтопленню території; по-друге – є можливість застосування інноваційних технологій для повернення частини фільтраційного стоку для використання в різних галузях водопостачання регіону;

- визначено економічну доцільність відновлення захисного облицювання з місцевих водотривких природних матеріалів на підставі проведення лабораторних досліджень щодо сорбційної спроможності глин в умовах крапельної фільтрації на поверхню водоносного горизонту та умов підпертої фільтрації під облицюванням;

- запропоновано варіанти моделей системи відокремлення механічних засмічень з водного об'єкту та екранів для фільтрації;

- результати досліджень дозволять в подальшому розробити рекомендації щодо ефективного інженерного захисту водних ресурсів від забруднення та виснаження в окремо взятому регіоні.

Результати дисертаційних досліджень були передані для впровадження на підприємстві ТОВ «АТЛАНТ-БУД» у частині щодо сорбційних властивостей місцевих глинистих матеріалів та методу розрахунку товщини глинистого екрану, а також були передані та розглянуті щодо подальшої можливості для випробування при облаштуванні відстійника стічних вод на агропромисловому об'єкті ТОВ «Украгроінвестбуд».

В Київському національному університеті будівництва і архітектури матеріали досліджень в частині захисту територій від підтоплення та забруднення підземного водоносного горизонту використовуються в навчальному процесі при підготовці студентів, які навчаються за спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища», 101 «Екологія», 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» при проведенні лекційних та практичних занять з дисциплін «Екологічна безпека», «Збалансоване природокористування», «Організація моніторингу екологічного стану та раціонального використання водних об'єктів», що дозволяє підвищити ефективність навчального процесу та якість викладання матеріалу при вивченні вказаних дисциплін.

Під час розв'язання поставлених задач використовувалися наступні методи: математичні методи фільтраційних розрахунків з врахуванням методів фільтраційного опору; методика вилучення іонів важких металів на прикладі іонів міді згідно ДСТУ 7525 2014 на ліцензійному обладнанні (фотоелектроколориметр КФК-2); моделювання в рамках теоретичної моделі ізотерм адсорбції Фрейндліха.

**Ключові слова:** забруднення водних ресурсів, водоносний горизонт, відновлення територій, фільтраційні втрати, кріплення меліоративного каналу, фільтраційний опір, приканальний дренаж, підтоплення території, захист від засмічення поверхневих екосистем.

## ABSTRACT

*Marshall D.I.* WAYS OF IMPROVING THE PROTECTION OF WATER BODIES IN DE-OCCUPIED TERRITORIES AGAINST POLLUTION. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in the field of knowledge 10 - "Natural Sciences", in the specialty 101 – "Ecology". – Kyiv National University of Construction and Architecture, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2024.

The dissertation is devoted to the solution of the scientific and applied task of increasing the level of ecological safety of water resources in the de-occupied territories by improving their protection against pollution and clogging due to the use of local natural clay materials, theoretical justification of the use of drainage protection structures and an automated system of - separation of mechanical blockages from the water ecosystem.

The study proved that the quality of surface and underground water on the territory of the state is significantly deteriorating and does not meet the existing regulatory documents, as a result of the destruction and flooding of water management structures. This study shows the deterioration of the effectiveness of the anti-filtration lining of the main channel on the example of the Ingulets irrigation system as a result of military actions, as well as long-term operation of the system. Estimated data for 2020 according to the normative methodology indicate that the average specific filtration losses due to the wetted perimeter of the unlined channel are  $0.116 \text{ m}^3 / \text{day}$  from  $1 \text{ m}^2$ .

The mentioned issues require an assessment and forecast of the further development of events at the damaged structures, the integral components of which are the development of a methodology for filtration calculations of polluted water losses through a damaged protective screen in order to analyze the migration of pollutants through the underground aquifer and flooding in the territory under consideration. In this work, the issues of theoretical substantiation of head loss and filtration through a protective screen for the assessment and forecast of further

groundwater pollution, which can be used in the future to determine the parameters of the filtration flow from tailings dumps, landfills, and reclamation channels, are considered. Approaches to the determination of pressure loss through a shielded structure with various types of damage and at different stages of water filtration from channels are presented. The filtration losses of water from the main channel of the Ingulets irrigation system and the zone of influence of the channel during the gradual outflow of water after its flooding due to the destruction of the Kakhovskaya HPP dam were determined. These studies have proven that when resuming the operation of the main channel on the Ingulets irrigation system and in engineering calculations to assess the migration of pollutants into the underground horizons and during the subsequent restoration of the main channel, the protective capacity of the lining can not be taken into account. In order to intercept the filtration flow in this case, and to protect the underground horizon, it is proposed to use a channel drainage, the theoretical justification of modern approaches to the calculation of which is given in this dissertation on the example of existing modern solutions. Intercepted drainage water by sewer drainage can be used for the needs of other water consumers in this region. This approach will further serve to justify the choice of optimal protection of open channels using modern global technologies.

The possibility of using local clay rocks to protect damaged sections of the canal is considered on the basis of laboratory studies. For additional research, samples of natural clay materials were taken from two deposits of Mykolaiv region (white clay): Pershotravnene and Aktove (White Rocks), as well as red clay from the territory of Kaniv district of Cherkasy region. Laboratory studies on the extraction of heavy metal ions using the example of copper ions were carried out according to the DSTU 7525 2014 methodology on licensed equipment (photoelectrocolorimeter KFK-2). The methodology of the C ions experiment establishes colometric methods for determining the mass concentration of copper from 0.02 to 0.5 mg/dm<sup>3</sup> with the diethyldithiocarbamate reagent.



The use of natural materials in the first stages of restoration of irrigation systems should be an effective solution for the partial removal of heavy metal pollution in order to prevent them from entering the groundwater.

An important advantage of using natural clay deposits is their prevalence in those regions of Ukraine that require restoration of irrigation systems and protection of main canals from large filtration losses and the economic feasibility of their use compared to other materials (for example, concrete or asphalt pavement), therefore this direction of research has significant scientific and applied perspectives.

Experimental experiments with clay from the three specified deposits regarding sorption properties in relation to  $\text{Cu}^{2+}$  ions confirmed their ability to be used in the processes of cleaning pollution in the water environment. The analysis of the obtained data proved the greatest sorption capacity among white clay samples from the Pershotravneve deposit and significantly higher adsorption capacity of red clay samples from the Chekrka region deposit.

Laboratory studies were performed for two stages of filtration - drip and suspended. The obtained results showed a significant decrease in the sorption capacity of the clay lining when the channel transitions to the stage of suspended filtration, which, accordingly, was confirmed by the calculations of the adsorption constants in the Freundlich equation. A significant increase in the filtration properties of cladding with the help of natural materials at the stage of supported filtration is not taken into account at the previous design stages, which makes it necessary to make corrections in the departmental building regulations. The results obtained during the conduct of this experiment can be widely applied in the installation of anti-filtration screens for sedimentation tanks and tailings of various kinds, as well as in the rehabilitation of water bodies in order to prevent pollution from entering the underground aquifer.

The dissertation proposed an automated system for separating mechanical debris from the water ecosystem, which is a conveyor-type mechanical barrier. This system is the first of three launch complexes, which allows to separate the debris from the river with minimal damage to the ecosystem.

This system may be the first in a series of subsequent ones

launch complexes:

- separation of mechanical blockages;
- sorting, drying and preparation;
- emission-free combustion in the Univastum innovation complex.

The proposed system, in addition to its role in the general complex of river pollution management, can be an independent separation system.

The scientific and theoretical value of the work is as follows:

- a theoretical basis for calculating the filtration losses of water from the main channel with a connecting tubular drainage system was developed, taking into account the pressure drop on the protective lining of the channel. Pryka-nal drainage performs two functions in this case. First, it prevents flooding of the territory; secondly, there is a possibility of using innovative technologies to return part of the filtration runoff for use in various branches of water supply in the region;

- the economic feasibility of restoring the protective lining from local water-resistant natural materials was determined on the basis of conducting laboratory studies on the sorption capacity of clays under conditions of drip filtration on the surface of the aquifer and conditions of sub-percentage filtration under the lining;

- an automated system for separating mechanical debris from a water body is proposed;

- the research results will allow further development of recommendations for effective engineering protection of water resources from pollution and depletion in a particular region

The results of the dissertation research were submitted for implementation at the "ATLANT-BUD" LLC enterprise in the part concerning the sorption properties of local clay materials and the method of calculating the thickness of the clay screen, and were also submitted and considered regarding the further possibility for testing when installing a wastewater clarifier on an agro-industrial objects of LLC "Ukragroinvestbud" (Appendix C).

At the Kyiv National University of Construction and Architecture, research materials on the protection of territories from flooding and pollution of the

underground aquifer are used in the educational process in the preparation of students studying in the specialty 183 "Environmental Protection Technologies", 101 "Ecology", 194 "Hydrotechnical construction, water engineering and water technologies" during lectures and practical classes in the disciplines "Environmental safety", "Balanced nature management", "Organization of monitoring of the ecological state and rational use of water bodies", which allows to increase the effectiveness of the educational process and the quality of teaching material when studying the specified disciplines.

The following methods were used when solving the problems: mathematical methods of filtration calculations taking into account the methods of filtration resistance; method of extracting heavy metal ions using the example of copper ions according to DSTU 7525 2014 on licensed equipment (photoelectrocolorimeter KFK-2); modeling within the framework of the Freundlich adsorption isotherm theoretical model.

**Keywords:** pollution of water resources, aquifer, restoration of territories, filtration losses, fastening of the melioration channel, filtration resistance, channel drainage, flooding of the territory, protection against clogging of surface ecosystems.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Наукові праці, в яких опубліковані основні результати дисертації

#### *Статті у наукових фахових виданнях України*

1. Маршалл Д. І. Підходи до розробки систем очищення річкової течії від механічних засмічень/Екологічна безпека та природокористування: зб. Наук. Праць / М-во освіти і науки України, Київ, нац. Ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. Ін форм. простору. – К., 2024. – Вип. 49. – С161-168. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.1.161-168>

2. Маршалл Д., Шевчук Я.В.Оцінка визначення параметрів забруднення підземних вод із зруйнованих меліоративних споруд, хвостосховищ та затоплених сміттєзвалищ/ Екологічна безпека та природокористування: зб. Наук. Праць / М-во освіти і науки України, Київ, нац. Ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. Ін форм. простору. – К., 2023. – Вип. 48. – С21-31. DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.4.21-31>

3. Daniil Marshall, Olena Zhukova. Ways of rational us of water resources in the conditions of post war reclamation systems in the South of Ukraine/ EP.2023; Volume 8, Number 4: pp.205-209, - <https://doi.org/10.23939/ep2023.04.205>

4. Волошкіна, О., Жукова, О., & Маршалл, Д. (2023). Теоретичне обґрунтування оцінки забруднення поверхневих водних ресурсів підземним стоком внаслідок воєнних дій. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, (101), 5–10. <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2023.101.0101>

5. Волошкіна О.С., Жукова О.Г., Кордуба І.Б., Маршалл Д.І. Методичні підходи до оцінки забруднення поверхневих водних об'єктів в зоні дії гірничо-видобувних підприємств (на прикладі Донецько-Придніпровського регіону)/ Екологічна безпека та природокористування: зб. Наук. Праць / М-во освіти і науки України, Київ, нац. Ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. Ін форм. простору. – К., 2021. – Вип. 39. – С.69-75 DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.3.69-75>

## Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

### *Міжнародні та вітчизняні конференції*

6. Маршалл Д. Зміни якісних показників стану водних ресурсів в рамках впливу боових дій на функціонування очисних споруд та ключові аспекти їх відбудови та відновлення./ Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction» («Зелене будівництво»). Київ: Київський національний університет будівництва і архітектури. 2023, С 501 – 502.  
[https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/30/greenconst\\_2\\_23.pdf](https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/30/greenconst_2_23.pdf)

7. Олена Волошкіна, Данііл Маршалл, Ярослав Шевчук. Теоретичне обґрунтування визначення параметрів забруднення підземних вод із зруйнованих меліоративних споруд, хвостосховищ та затоплених сміттєзвалищ. Екотехногенні наслідки руйнування гідротехнічних споруд. Прогнози та перспективи відновлення. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, КИЇВ, 20 червня 2023, КНУБА, С.19-20  
<https://drive.google.com/file/d/16Lr4eXDwnO0go8maanXvEn0mgYV2RIkX/view2>.

8. Олена Волошкіна, Ірина Кордуба, Данііл Маршалл, Олена Жукова. Прогнозування роботи відкритих систем охолодження енергетичних об'єктів в умовах глобального підвищення температурних показників / Міжнародна, науково-практична конференція “ЕКОЛОГІЯ, РЕСУРСИ, ЕНЕРГІЯ”: 23-24 листопада 2023р., Київ, Україна, 16-17с <https://www.knuba.edu.ua/faculties/fise/kafedra-vodopostachannya-ta-vodovidvedennya/konferenciya-knuba-kafedra-vodopostachannya-ta-vodovidvedennya/>

9. Волошкіна О.С., Маршалл Д.В., Ковальова А.В. Створення комплексу підходів до захисту водних екосистем з врахуванням сучасних викликів довкілля. Всеукраїнська науково-практичної інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологічно сталий розвиток урбосистем: виклики та рішення в контексті євроінтеграції України», ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2–3 листопада 2023-145-147с.

[https://ecology.kname.edu.ua/images/Materialy\\_conferenciya/Conference\\_NUUEK\\_2023\\_November\\_.pdf](https://ecology.kname.edu.ua/images/Materialy_conferenciya/Conference_NUUEK_2023_November_.pdf)

10. Маршалл Д. І., Деякі питання відновлення зрошувальних систем Півдня України/Матеріали XV Міжнародна науково-технічна конференція “Проблеми екології та енергозбереження”, 21-22 вересня 2023 року, Миколаїв, 79-80с. [drive.google.com/file/d/1SaTD\\_tsl\\_0R31OX9g486oZR6PKyPqzgl/view](https://drive.google.com/file/d/1SaTD_tsl_0R31OX9g486oZR6PKyPqzgl/view)  
<https://sites.google.com/nuos.edu.ua/15-environmental-conference/збірник-тез-конференції>

11. Волошкіна О., Маршалл Д., Гапула О. Оцінка сорбційних властивостей природних глинистих матеріалів для протифільтраційного захисту магістральних каналів при відновленні меліоративних систем/ Волошкіна О., Маршалл Д., Гапула О., Березницька Ю./ Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction» («Зелене будівництво»). Київ: Київський національний університет будівництва і архітектури. 2024, С 501 – 502. [https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/30/greenconst\\_2\\_23.pdf](https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/30/greenconst_2_23.pdf)

12. Маршалл Д. Фільтраційні розрахунки захисних споруд для відновлення деокупованих територій.Збірник наукових праць. Науковий журнал «ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ», №5, 2023, С.9-14. <https://ecocorptzd.com.ua>

*Методичні рекомендації:*

1.Захист території від підтоплення та забруднення підземних вод: методичні рекомендації до виконання курсової роботи з дисципліни «Організація моніторингу екологічного стану та раціонального використання водних об’єктів»/уклад.: Волошкіна О.С., Василенко Л.О., Ковальова А.В., Калюх Ю.І., Маршалл Д.І. – Київ:КНУБА, 2024. – 20с. <https://repository.knuba.edu.ua/items/648af1c3-d75c-4eeb-ad74-1a5d0644e68f>

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ</b>	17
<b>ВСТУП</b>	18
<b>РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ВОДНИХ РЕСУРСІВ В УМОВАХ ІНТЕНСИВНОГО АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ</b>	26
1.1 Дослідження антропогенного впливу на водні ресурси України	26
1.2 Фактори що впливають на зміни якісного стану водних ресурсів	28
1.3 Вплив на здоров'я населення якості водних ресурсів	37
Висновки до Розділу 1	39
<b>РОЗДІЛ 2. ШЛЯХИ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ В УМОВАХ ПСЛЯВОЄННОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МЕЛІОРАТИВНИХ СИСТЕМ ПІВДНЯ УКРАЇНИ</b>	41
2.1 Сучасний стан деокупованих територій та якісні і кількісні показники водних ресурсів регіону	41
2.2 Теоретичне обґрунтування визначення параметрів забруднення підземних вод із зруйнованих меліоративних споруд, хвостосховищ та затоплених сміттєзвалищ та їх протифільтраційний захист	44
2.2.1. Існуючі підходи до розрахунків втрат фільтрації з екранованих споруд	45
2.2.2. Розрахунок фільтраційних втрат на магістральному каналі Інгулецької зрошувальної системи	52
2.2.3 Вибір схеми захисту в зоні впливу магістрального каналу від підтоплення території та забруднення підземних вод	59
2.3 Відновлення зрошувальних систем півдня України з врахуванням кліматичних змін	65
Висновки до Розділу 2	67

	16
<b>РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА СОРБЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИРОДНИХ ГЛИНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПРОТИФІЛЬТРАЦІЙНОГО ЗАХИСТУ МАГІСТРАЛЬНИХ КАНАЛІВ НА ПРИКЛАДІ ІОНІВ МІДІ</b>	69
3.1. Матеріали досліджень	69
3.2. Методика проведення експерименту	72
3.3. Результати експериментальних досліджень	74
3.4. Моделювання в рамках теоретичної моделі ізотерм адсорбції Фрейндліха	79
Висновки до Розділу 3	88
<b>РОЗДІЛ 4. ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ НА ПОВЕРХНЕВІ ВОДНІ ОБ'ЄКТИ</b>	90
4.1 Основні фактори засмічення водних об'єктів	90
4.2 Сучасні підходи до механічного збору засмічень	92
4.3 Раціональні пропозиції щодо видалення засмічень з водної екосистеми	94
4.3.1 Захоплювальна система	97
4.3.2 Кутово-конвеєрна система	99
4.3.3 Веєрна система	103
4.3.4 Фільтрувально-очисна система	105
4.3.5 Система глиняних екранів	106
Висновки до Розділу 4	108
<b>ВИСНОВКИ</b>	110
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	113
<b>ДОДАТОК А</b>	142
<b>ДОДАТОК В</b>	144
<b>ДОДАТОК С</b>	145



**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

ГЕС – гідроелектростанція

СПОР – система поверхневого очищення

ГДК – гранично допустима концентрація, мг/дм<sup>3</sup>

Q – фільтраційна втрата через захисний екран, м<sup>3</sup>/добу

$h_1$  – відстань від відмітки вільної поверхні води в магістральному каналі до водоупору, м

$n_1$  і  $n_2$  – кут укосу каналу і дамби зі сторони зошувального масиву, відповідно

H – напор на приканальній дрени, м

$h_g$  – глибина закладання приканальної дрени, м

m – глибина закладання водоносного пласта, м

$m_0$  – відстань від відмітки поверхні землі за дамбою до водоупору, м

OriginPro8 – програмний продукт

## ВСТУП

**Сутність науково-прикладної задачі**, яка розглядається в роботі, полягає в обґрунтуванні та розробці шляхів удосконалення захисту водних ресурсів від забруднення та засмічення, в тому числі за рахунок застосування місцевих природних глинистих матеріалів та дренажних захисних споруд з метою попередження попадання забруднень в підземні води і можливості повторного використання дренажного стоку та запропонованого технічного рішення у вигляді автоматизованої системи відокремлення механічних засмічень з водної екосистеми. Дане завдання відповідає фаховій компетентності С05 в частині прийняття оптимальних рішень у сфері екології, охорони природи та раціонального природокористування згідно Стандарту вищої освіти третього освітньо-наукового рівня, галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальності 101 – Екологія.

**Актуальність теми.** Питання відновлення роботи водогосподарських систем на деокупованих територіях стоїть дуже гостро в умовах сьогодення. Підрив дамби Каховської ГЕС суттєво вплинув на рівень екологічної безпеки в регіоні, спричинивши підтоплення території, погіршення якісних і кількісних характеристик водних ресурсів. Згідно оперативної інформації відносно рівнів води на водних об'єктах за даними відділу водних відносин та кадастру Державного Агенства водних ресурсів, максимальне підняття рівнів води р.Інгулець (Снігурівка) зафіксовано на рівні 2,31 м, а в р. Дніпро (Херсон) – на рівні 2,88 м в період з 6.06.2023 р. по 13.06.2023 р. На землі зрошувальних систем, зокрема Інгулецької, стан якої розглянуто в даному дослідженні, з водою затоплення надійшло багато забруднень небезпечними речовинами, а також багато відходів господарської діяльності внаслідок воєнних дій. Після відходу води і можливості включення насосних станцій в роботу на системі виникла потреба в заповненні магістрального каналу водою для зрошення. Внаслідок значного пошкодження облицювання магістрального каналу (руйнація бетону та деформаційних швів, сповзання плит, проростання рослинності, пошкодження цілісності поліетиленової плівки, зняття залізобетонного облицювання

окупантами для спорудження захисних споруд на значних ділянках, вирви і дірки від бомб і снарядів, зміна відміток параметрів периметру каналу внаслідок додаткових споруд тощо), воно перестало виконувати захисні функції щодо втрат води на фільтрацію по трасі споруди. В сучасних умовах з метою забезпечення продовольчої безпеки держави актуальним постає питання оперативного відновлення протифільтраційного облицювання. При цьому, дослідження по застосуванню місцевих природних матеріалів та каолінів з найближчих родовищ слід розглядати, як такий, що є більш економічним варіантом попереднього захисту від фільтраційних втрат, потребує менше часу на відновлювальні роботи.

Значні теоретичні та натурні дослідження були присвячені впливу різних видів облицювання на величину фільтраційних втрат та якості водних ресурсів. Такими дослідженнями в різний час займалися вітчизняні та закордонні вчені: Олійник О.Я., Телима С.В., Чернишевська Л.Є., Мацелюк Є.М., Чарний Д.В., Шевчук Я.В., Яцюк О.Ю., Трохименко Г.Г., Архіпова Л.М., Хомуцька Т.П., Elsayed Elkamhawy, Martina Zelenakova, Ismail Abd-Elaty, Zhang, Q.; Chai, J.; Xu, Z.; Qin, Y та багато інших. Що стосується питань сорбційних властивостей облицювання з місцевих глинистих матеріалів - цьому питанню увага не приділялася. Значно менше уваги було приділено питанню роботи такого облицювання в часі в залежності від режиму фільтрації з відкритих споруд (крапельна, підперта), тоді як окремі натурні дослідження свідчать про втрату захисної ефективності таких екранів в залежності від періоду експлуатації. Облаштування приканального дренажу дозволяє мінімізувати фільтраційні втрати та запобігти забрудненню підземних вод та підтопленню території.

В той же час в сучасних умовах дефіциту водних ресурсів регіону є нагальна потреба в їх ощадливому використанні. Питання можливості повторного використання дренажного стоку для інших споживачів регіону висвітлені в роботах Морозова О.В., Козленко Є.В., Хоружия П.Д., Левицької В.Д., Хомуцької Т.П., Нор В.В. та інших.

Оптимальне рішення щодо повторного використання дренажного стоку за

рахунок приканального дренажу потребує його розрахункового значення з врахуванням протифільтраційних та сорбційних властивостей облицювання з місцевих глинистих матеріалів.

Для захисту від засмічення в містах водозаборів пропонується технічне рішення у вигляді системи очищення водних об'єктів від механічних засмічень. У роботі досліджено специфіку проблематики та запропоновано шляхи вирішення проблематики відповідно до конкретних умов. Запропоновані системи мають на меті очищення водних систем за умови мінімального втручання у внутрішні системи об'єкту.

Дане питання в такій комплексній постановці досі не розглядалася, що обумовлює актуальність досліджень даної роботи.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дослідження, покладені в основу дисертаційної роботи, виконано згідно з основними положеннями Закону України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», від 28 лютого 2019 року за № 2697-VIII; Наказу Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 11.05.2023 р. № 325 «Про затвердження Правил охорони підземних вод»

Наукові дослідження, що викладені в дисертаційній роботі виконані в рамках науково-дослідної роботи кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці Київського національного університету будівництва та архітектури (№ держреєстрації 0121U112055 «Системний підхід при дослідженні стану регіональних екосистем та вирішенні задачі раціонального природокористування», 2021-2024 рр.), в якій здобувач брав участь як виконавець.

### **Мета і завдання дослідження.**

Мета дисертаційної роботи полягає в удосконаленні захисту водних ресурсів від забруднення та засмічення на деокупованих територіях за рахунок застосування місцевих природних глинистих матеріалів, розробки теоретичного інструментарію для споруд протифільтраційного захисту та технічного рішення

для видалення механічних засмічень з водної екосистеми.

В дисертаційній роботі були передбачені наступні задачі досліджень:

- здійснити аналіз сучасного стану якісних показників водних ресурсів та їх змін на фоні воєнних дій в Україні;
- дати оцінку ефективності роботи захисних протифільтраційних споруд внаслідок їх тривалої експлуатації та пошкоджень через воєнні дії на меліоративних системах Півдня України;
- здійснити аналіз сучасних математичних підходів до розрахунку фільтраційних втрат через захисні споруди і міграції забруднень в підземні горизонти та перехоплення забрудненого потоку дренажними спорудами ;
- розробити теоретичний інструментарій щодо визначення фільтраційних втрат з відкритих каналів з захистом із місцевих природних глинистих матеріалів з приканальним перехоплюючим дренажем;
- провести лабораторні дослідження по визначенню сорбційних властивостей природних глинистих матеріалів для протифільтраційного захисту магістральних каналів в умовах крапельної та підпертої режимах фільтрації;
- розробити технічний пристрій для перехоплення засмічень у водних екосистемах та біля водозаборів, які попадають в поверхневі води внаслідок змиву забруднень з території та затоплень.

**Об'єкт дослідження** – методи та процеси захисту поверхневих і підземних водних ресурсів від забруднення і засмічення на деокупованих територіях.

**Предмет дослідження** – сорбційні властивості місцевих природних матеріалів та протифільтраційний захист магістральних каналів, збір забруднень в водних екосистемах.

**Методи дослідження.** Під час розв'язання поставлених задач використовувалися математичні методи фільтраційних розрахунків з врахуванням теорії фільтраційного опору; методика вилучення іонів важких металів на прикладі іонів міді згідно ДСТУ 7525 2014 на ліцензійному обладнанні (фотоелектроколориметр КФК-2); моделювання в рамках теоретичної моделі ізотерм адсорбції Фрейндліха.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- на підставі аналізу існуючих літературних джерел та попередніх розрахунків за нормативними документами отримано усереднений коефіцієнти фільтрації пошкодженого облицювання Інгулецького магістрального каналу, значення якого становить  $1 \cdot 10^{-2}$  м/добу та зони фільтраційного впливу каналу на підпоплення території;

- вперше на основі проведених лабораторних досліджень отримані адсорбційні властивості зразків природних глинистих матеріалів з родовищ білої глини (Миколаївська область) і червоної (Черкаська область) для умов крапельної та підпертої фільтрації під фільтруючою спорудою по відношенню до іонів міді. Отримані постійні коефіцієнти ізотерм адсорбції Фрейндліха та визначено збільшення на порядок величин коефіцієнтів фільтрації зразків в умовах підпертої фільтрації і , відповідно; зменшення сорбційних властивостей зразків на 23 %;

- розроблено методику розрахунку фільтраційних втрат в умовах підпертої фільтрації для удосконаленого захисту магістрального каналу Інгулецької зрошувальної системи, який полягає в облаштуванні глинистого екрану з природних матеріалів в поєднанні з приканальним дренажем, що дає можливість повторного використання дренажного стоку та запобігає підтопленню прилеглої території;

- розроблено чотири версії технічного пристрою на базі концепції механічного бар'єру різних типів для збору та відокремлення забруднень в поверхневих водах та комплекс глинистих екранів слідуючий за ним.

#### **Практичне значення одержаних результатів:**

- проведений попередній аналіз якісних характеристик водних ресурсів може бути використано при удосконаленні захисту водних об'єктів від забруднення та засмічення

- проведений експеримент щодо оцінювання сорбційних властивостей глинистих природних матеріалів, які раніше не приймалися до уваги, дозволяє

знизити забруднення важкими металами на першій стадії реконструкції протифільтраційних покриттів і знизити попадання їх в підземний водоносний горизонт з одночасним зниженням витрат на відновлення пошкоджених споруд;

- проведений експеримент щодо оцінювання сорбційних властивостей глинистих природних матеріалів, які раніше не приймалися до уваги, дозволяє знизити забруднення важкими металами на першій стадії реконструкції протифільтраційних покриттів і знизити попадання їх в підземний водоносний горизонт з одночасним зниженням витрат на відновлення пошкоджених споруд;

- запропоновані методологічні підходи щодо визначення фільтраційних витрат через глинисте протифільтраційне облицювання на стадії встановлення умов підпертої фільтрації показало необхідність облаштування приканального дренажу для перехвату дренажних вод та повторного їх використання з метою покращення управління водокористуванням та раціонального використання водних ресурсів;

- розроблений технічний пристрій для збору засмічень у поверхневих водах, зокрема поблизу водозаборів дозволить захистити водні екосистеми від наслідків воєнних;

- розроблені шляхи удосконалення роботи захисних споруд від засмічення та забруднення можуть бути використані при розробці рекомендацій щодо ефективного інженерного захисту підземних вод від забруднення фільтраційним потоком підземного водоносного горизонту в наслідок надзвичайних ситуацій та воєнних дій на території держави, а також при санації поверхневих екосистем.

Результати дисертаційних досліджень передані для використання в ТОВ «АТЛАНТ-БУД», а були передані та розглянуті з подальшою можливістю для випробування при облаштуванні відстійника стічних вод на агропромисловому об'єкті, та використовуються в навчальному процесі Київському Національному Університеті Будівництва і Архітектури при підготовці студентів, які навчаються за спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища», 101 «Екологія», 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології».

**Особистий внесок здобувача.** Усі результати, які становлять основний зміст дисертації, були отримані здобувачем самостійно. В опублікованих у співавторстві наукових працях автору належать: [2] – розробка методології визначення втрат напору та фільтраційних втрат через пошкоджене облицювання та співставлення розрахункових даних з існуючими натурними вимірюваннями; [3] – розробка методології розрахунку фільтраційних втрат води з магістрального каналу у виємці-насіпу із приканальним трубчастим дренажем за захистом з місцевих матеріалів; [4] - досліджено падіння напору на протифільтраційнійному екрані при різних його параметрах; [5] – участь в аналізі якісних характеристик водних ресурсів регіону; [7] – участь у розробці методів оцінювання рівня забруднення підземних вод в зоні впливу захисних споруд; [8] – участь в оцінці температурних показників на зміни якісних характеристик водних об'єктів; [9]- участь в розробці методології розрахунків фільтраційних втрат води з магістрального каналу із приканальним трубчастим дренажем в умовах різної будови водоносного горизонту; [11] – постановка та проведення лабораторних досліджень щодо оцінки сорбційних властивостей природних глинистих матеріалів.

**Апробація результатів дослідження.** Отримані результати досліджень були представлені на 6 міжнародних та всеукраїнських конференціях, а саме: II і III Міжнародні науково-практичні конференції «Green Construction» (Київ 2023, 2024), Міжнародна науково-практична конференція «Екотехногенні наслідки руйнування гідротехнічних спорудю Прогнози та перспективи відновлення» (Київ 2023), Міжнародна науково-практична конференція «Екологія, ресурси, енергія» (Київ 2023), Всеукраїнська науково-практичної інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологічно сталий розвиток урбосистем: виклики та рішення в контексті євроінтеграції України», ХНУМГ ім. О. М. Бекетова (Харків, 2023), XV Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми екології та енергозбереження» (Миколаїв, 2023).

**Публікації.** Результати дисертаційного дослідження опубліковано у 12 наукових працях, серед яких 5 статей у наукових фахових періодичних



виданнях з технічних наук, рекомендованих Міністерством освіти і науки України; 6 тез доповідей у збірниках матеріалів наукових конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 147 сторінок, з них: 112 сторінки основного тексту, ілюстрованого 26 рисунками і 8 таблицями; список використаних джерел зі 267 найменувань на 29 сторінках; 3 додатки на 6 сторінках

## РОЗДІЛ 1

### СУЧАСНИЙ СТАН ВОДНИХ РЕСУРСІВ В УМОВАХ ІНТЕНСИВНОГО АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ

#### 1.1. Дослідження антропогенного впливу на водні ресурси України

Дослідження антропогенного впливу є однією з основ природоохоронної справи. У питаннях поводження з водними ресурсами, на сьогодні, для України, виник жорсткий виклик, що полягає у антропогенному впливі що має лічені аналоги і потребує розробок нових методик безпосередньо під час перших досліджень.

На території України, на жаль, достатньо прикладів та кейсів для дослідження шкочочинного впливу на водні об'єкти як з боку позавоєнних антропогенних першоджерел, так вже і впливу бойових дій на них. Унікальність впливу бойових дій потребуватиме створення нових підходів з врахуванням комплексності такого впливу. Як зазначено у дослідженні [1], результати осінніх аналізів стану вод річок з 144 пунктів відбору продемонстрували певні перевищення вмісту важких металів як наведено нижче.

Понаднормовий вміст фосфату – р. Полтава, с.Кам'янопіль –6,9 мг/дм<sup>3</sup> (норма – 3,5 мг/дм<sup>3</sup>), 3,9 мг/дм<sup>3</sup> у р. Західний Буг, с. Амбуків, 4,76 мг/дм<sup>3</sup> у р. Когільник, с. Серпневе.

Перевищення вмісту амонію (норма – 1,28 мг/дм<sup>3</sup>) і до 2,79 мг/дм<sup>3</sup> у р. Хаджидер, с. Чистоводне, до 1,35 мг/дм<sup>3</sup> в оз. Ялпуг - Кугурлуй, до 1,32 мг/дм<sup>3</sup> в р. Південний Буг, вище м. Хмільник, до 1,4 мг/дм<sup>3</sup> в р.Сіверський Донець, поблизу Слов'янська, до 2,1 мг/дм<sup>3</sup> в р. Західний Буг, с.Забужжя, до 1,6 мг/дм<sup>3</sup> у р.Сарата, с.Міняйлівка, до 10,5 мг/дм<sup>3</sup> у р.Когільник, с.Серпневе. Перевищення вмісту марганцю (норма – 0,01мг/дм<sup>3</sup>) до 0,354 мг/дм<sup>3</sup> в р. Княжа, с.Бражники, цинку (норма –0,01 мг/дм<sup>3</sup>) до 0,057мг/дм<sup>3</sup> в гирлі р. Немишля та до 0,08 мг/дм<sup>3</sup> в р.Стара, с.Зняцево, міді (норма – 0,001 мг/дм<sup>3</sup>) до 0,014 мг/дм<sup>3</sup> в гирлі р. Сухий Торець. За даними [2] вміст іонів міді в природних водах Бузького лиману коливається в межах 0,0089...0108 мг/дм<sup>3</sup>, що перевищує ГДК

для водойм рибогосподарського призначення ( $0,005 \text{ мг/дм}^3$ ). Перевищення ГДК в літній період вмісту іонів міді у водах Бузького лиману та у водах р.Інгулець до  $5 \text{ мг/дм}^3$  обумовлює необхідність виконання лабораторних досліджень у даній роботі саме іонами саме цього важкого металу.

У Світовому просторі дослідженням різних типів антропогенного впливу займаються десятки наукових баз, у питаннях водних ресурсів та їх стану їх кількість значна і об'єми наукових матеріалів достатні для проведення досліджень ґрунтуючись на них, можна відзначити як дослідження питань забруднення водних ресурсів у наслідок ведення індустріальної діяльності [3–7] так і дослідження впливу засмічень [8–10]. Окремим розділом будуть дослідження впливу бойових дій, що водночас налічує багато досліджень, але безумовно вимагає проведення нових.

Проблематика антропогенного впливу в Україні була обумовлена вже сталими проявами впливу, методики визначення ступеня якого вже існують і були вдосконалені, на їх базі проводились і досі проводяться дослідження. Від початку активних бойових дій на території України, виникло питання захисту водних ресурсів, оцінки впливу бойових дій на них та прогнозування наслідків. Успішне виконання даних складових дозволить почати планування зменшення впливу результатів бойових дій на довкілля завчасно допоки є можливість досліджувати події у їх активному стані.

Сучасні бойові дії є викликом, у науковому сенсі, не тільки для України, але і для усієї світової наукової спільноти. Важливо враховувати стрімкість модернізації озброєння у Світовому просторі, що безпосередньо пов'язано з його ускладненням та застосуванням нових сполук у ньому. Саме застосування активних сполук у зброї є одним з першочергових факторів впливу, до цього відноситься і вибухівка, і матеріали обладнання і інші компоненти транспорту, або безпосередньо зброї.

Важливо відзначити і приховані небезпеки, пов'язані з даним питанням, а саме – субстанції та технології, застосовані у цивільних системах (наприклад – трансформаторні підстанції). Трансформаторні підстанції є одним з чітких

прикладів викликів що не має відношення до бойових дій в цілому, але за умови пошкодження, або знищення може мати катастрофічний вплив на пов'язані системи. Ґрунтуючись на даному прикладі, можна припустити що сталість системи може мати непередбачувані прояви в умовах активного ведення бойових дій.

Концептуальний підхід до пошуку підґрунтя для досліджень зазначеного типу потребуватиме аналізу іноземних досліджень у питаннях забруднення та засмічення водних об'єктів [11–17].

Серед досліджень наявні роботи як за окремими складовими систем, так і комплексні. Важливість комплексних досліджень полягає у сприянні плануванню наслідків та майбутніх заходів, що пов'язані з цими наслідками на водні екосистеми та вплив забруднення на гідробіонтів. У свою чергу, вузькоспеціалізовані дослідження створюють науково-інформаційну базу для проведення комплексних досліджень, такий взаємозв'язок можна відзначити між біологічним та екологічним підходом.

Зазначена комплексність є викликом, головним шляхом до подолання якого є чітке визначення рамок дослідження. У обраній тематиці рамками стають умови неординарного антропогенного впливу у вигляді бойових дій.

## **1.2. Фактори що впливають на зміни якісного стану водних ресурсів**

З точки зору даного дослідження, та в умовах аналізу антропогенного впливу на водні об'єкти, можна видокремити два фундаментальні блоки факторів, що розділяються за рівнем впливу та підходами до вирішення проблематики, що розглядається, а саме:

- механічне засмічення, що характеризується зміною складу водної суміші у системі, змінює її фізико-механічні параметри, має вплив на посилення парникового ефекту, та завжди має побічний фізико-хімічний вплив на склад води;

- хімічне забруднення, що характеризується або іншим потраплянням речовин у водний об'єкт, що в умовах бойових дій часто пов'язано з власне

механічним забрудненням.

Зазначене розподілення у два класи демонструє, в першу чергу, їх взаємозв'язок та відповідно, необхідність аналізувати та вирішувати проблематику у комплексі. Відсутність класу біологічного забруднення/засмічення пов'язане з умовною сталістю біологічних процесів і за умови майбутнього впливу бойових дій на довкілля, відповідні дослідження сфокусуються на зазначених двох темах, у той час як тематика біологічного впливу (окрім ситуацій свідомого застосування біологічної зброї або випадків техногенних катастроф) стане наслідком та періодично – маркером активних процесів, які пов'язані з засміченням та забрудненням річки.

Неможливою буде стратегія вирішення проблематики хімічного забруднення річки без дослідження хронології її механічного забруднення (за умови активного антропогенного впливу, такого як бойові дії).

Дослідження антропогенного впливу на водні об'єкти [17–22] на світовій арені вже активно базуються на довгострокових результатах моніторингу та досліджень кейсів що мали місце у тих чи інших регіонах. Питання позавоєнного впливу на довкілля, і конкретно впливу на річкові системи має багато спільних рис і абсолютно сприяє залученню іноземних досягнень у вітчизняних проєктах та програмах.

Конкретно атропогенний вплив на річкові системи описано та хронологічно досліджено у роботах [23–25], у них визначають джерела у залежності від конкретики впливу, тобто – від природи впливу (індустріальна, агропромислова, видобувна, популяційна або мілітаризаційна).

У мирний час, проблема антропогенного впливу на річкові системи зводиться до умисного або випадкового допущення потрапляння неприродних та небажаних елементів у річкове середовище. У зазначених умовах пріоритетом стає передбачення, просвітницька діяльність, недопущення подій, покарання відповідно до Законодавства (уточнення та нові провадження до нього). Сама концепція класичного мирного підходу не є доречною в умовах ведення бойових дій, адже у такому випадку проблематика полягає не у вірогідності впливу, а в

його масштабі та непередбачуваності.

Іноземні дослідження [26–30] демонструють індивідуальність підходів до оцінки класичного антропогенного впливу, що призводить до потреби створення «пулу» відповідних методик, особливо в перспективі їх залучення у дослідженні впливу бойових дій на довкілля.

Однією з «особливостей» впливу на водні об'єкти під час ведення бойових дій є ролі річок у наступально-оборонних маневрах. Важливо відзначити що шкодочинний вплив на річкові системи нерідко проявляється у перетворенні русла річки на лінію зіткнення, що максималізує двосторонній вплив на дану «лінію» і сприяє максимально інтенсивному внесенню різноманітних елементів що мають прямий вплив на зміни фізико-хімічних параметрів річки.

Перетворення річкового русла на лінію розмежування це не єдина першочергова проблематика, що формує проблематику впливу бойових дій у цілому, після цього стає помітним невідворотній факт низинності водних об'єктів у загальному ландшафті, що неодмінно призводитиме до активної дренації усіх наявних сполук навколо об'єкту до його вод.

Окремою проблематикою впливу ведення бойових дій на довкілля в цілому є концепція перегонів озброєння та обмеженість доступу до інформації з боку громади та академічної спільноти. Питання доступу до інформації є вкрай чутливим та актуальним, адже ведення розрахунків будь-якого процесу, пов'язаного з веденням бойових дій, потребує знання про усі компоненти зіткнення що мали місце у певній локації чи регіоні. Потребуватиметься інформація про складові усіх снарядів, типи матеріалів усього транспорту, інформація про тип ПММ застосованих усіма учасниками конфлікту.

На світовій арені, як Україна так і інші країни на чию долю прийшла війна, виступають у ролі плацдарму для досліджень, адже для багатьох кейсів умови та інструменти є унікальними що унеможлиблює класичне застосування наявних методик та підходів. Дослідження до початку війни в Україні ґрунтувались як на досвіді Близького Сходу, так і на науковій базі отриманій після Другої Світової Війни та локальних конфліктів потому [31, 32].

Дослідження останніх років у тематиці впливу бойових дій саме на водні ресурси переважно базується, або приймає до уваги, сучасні події в Україні та явища що мають там місце, деякі з популярних наукових статей також написані українськими авторами [33, 34].

Сучасний досвід України є прикритим, але шляхом дослідження впливу бойових дій на довкілля у екосистемах помірного клімату, маються на увазі усі складові разом і з річковими системами. У помірному кліматі можна відзначити повсякмісну задовільну забезпеченість у порівнянні з регіонами ближчими до екватору. На прикладі України можна чітко відмітити що задовільна забезпеченість має свою ціну та ризики, як це має місце з меліоративними системами Півдня України або з каналами східних регіонів країни. Маючи функціонуючу систему, важливо розуміти не тільки принцип її експлуатації, а й шляхи виходу з екстрених ситуацій, однією з яких є, власне, бойові дії. Питаннями забезпечення сталого водопостачання займались як в довоєнний час, так вже і в умовах бойових дій, дослідження в Миколаївській області [35]. Відображають базові складні умови, що є фундаментом для розвитку подальшої проблематики за умови початку впливу бойових дій.

Велику увагу необхідно приділяти дослідженню потрапляння важких металів в наслідок ведення бойових дій як у поверхневій воді, так і в ґрунті та ґрунтовій воді. В Україні в останній час питаннями вмісту важких металів займалась низка дослідників, наприклад – дослідження ґрунтів Сумської області [36]. Концептуально, у зв'язку з прямим двостороннім впливом між водними ресурсами та ґрунтами, дослідження стану ґрунтів завжди залишатиметься невід'ємною складовою як комплексних дослідницьких проєктів, так і проєктів у сфері поводження з водними ресурсами. Серед українських досліджень за останній час можна відзначити [37–39], наявність яких демонструє активний розвиток сфери даних досліджень та вже демонструє результати частково придатні для використання у інших дослідженнях, включно з дослідженнями впливу бойових дій на водні об'єкти.

Як вже зазначалось раніше у роботі, непередбачуваність є одним з головних

викликів у даному типі досліджень. Фактор непередбачуваності можна виокремити у наступних складових:

- Застосовані сполуки;
- Локальні умови;
- Тривалість;
- Глобальний вплив.

Умови проведення військових дій, безумовно, мають прямий та опосередкований негативний вплив на стан довкілля на територіях де бойові дії відбуваються. Кожна окрема складова довкілля зазнає специфічних змін що мають як прямі так і приховані прояви, що будуть виявлені з плином часу. Досліджуючи проблематику річкових засмічень, за відсутності військових дій, було виявлено як основні джерела, так і основні типи засмічень (як антропогенного, так і природного походження), однак специфіка військових дій вносить свої корективи що вимагають від дослідників нового погляду на сутність проблеми та створення нових, адаптованих до ситуації, методів її вирішення.

Виходячи з ситуації, коли основним джерелом засмічень річок було невідповідальне поводження з побутовими та промисловими відходами з боку членів локальних громад або відповідальних за поводження з відходами осіб та установ, в умовах післявоєнного стану виникає специфіка «ненавмисної шкоди» довкіллю що не пов'язана з невідповідальними виконаннями обов'язків або з навмисними шкодочинними діями по відношенню до довкілля. Під ненавмисною шкодою слід розуміти дії що не мають на меті вплив на довкілля, однак в умовах воєнного стану так чи інакше такий вплив має місце і потребує дослідження.

Фільтраційні методи, у контексті річкових засмічень, досліджувались у роботах [40–44]. Дані методи будуть використовуватись у даному дослідженні як у питаннях впливу бойових дій як ненавмисної шкоди, так і у інших пов'язаних питаннях впливу на водні ресурси.



Прикладами ненавмисної шкоди довкіллю (у питаннях річкових засмічень) є знищення мостів, гребель або дамб зі стратегічною метою; примусова зміна рівню води у водному об'єкті; втручання у існуючу річкову структуру (русла та інше). Фундаментальною першопричиною неординарного річкового засмічення внаслідок воєнних дій є затоплення територій річкового басейну, що сприяє потраплянню об'єктів з навколишніх територій до річок. До таких об'єктів відносяться як об'єкти антропогенного походження (сміття, конструкції, предмети побуту, елементи споруд, тощо), так і об'єкти природного походження (гілля, частини сухих дерев, залишки дрібної рослинності та інше).

У той час як об'єкти антропогенного походження є, в першу чергу, механічними забрудниками з потенційним впливом на флору та фауну, об'єкти природного походження є в першу чергу біологічно активними забрудниками, що здатні напряму впливати на життєдіяльність у річці. У поєднанні надмірної кількості антропогенних та природних засмічень у річці (як було і у довоєнний час) проблематика полягає в утворенні значних засмічень, що не тільки має прямий механічний вплив на течію, русло та життєдіяльність річки, а й біологічний вплив, що пов'язаний з утворенням «антропо-природних острівців засмічень» у річці, де біологічно неактивні компоненти є механічним «скелетом», а біологічно активні компоненти (здатні до гниття, розкладання та іншого впливу на органічні процеси у річці) стають субстратом що завдяки механічним засміченням фіксується (або поступово переміщується нижче за течією) та починає створення та розвиток локальної еко-системи що зазвичай має негативний вплив на перебіг притаманних річці природних явищ та подій.

В умовах воєнного стану, до річкових систем що знаходяться у зоні бойових дій, потрапляє надзвичайна кількість засмічень, що можуть перетворювати зазначені «антропо-природні острівці засмічень» на справжні плавучі острови та греблі, існування яких сприятиме появі непритаманних річкам утворень, що з часом можуть перетворитись на паразитичні для річки «міні-біоценози».

З метою дотримання неупередженості під час дослідження специфіки зазначених «міні-біоценозів» необхідно звернути увагу на те, що такі новоутворення, в першу чергу, матимуть вплив на значне підвищення активності процесів гниття та розкладу органіки, застоювання та цвітіння води, замулення потоків та на інші процеси у річці що так чи інакше призводитимуть до погіршення стану водного об'єкту. Розглядаючи приклади таких «диких» річок як Амазонка або Ніл можна відзначити регулярну зміну рівня води та утворення справжніх унікальних біоценозів, однак подібні приклади докорінно відрізняються від досліджуваної ситуації. Специфіка біорізноманіття та природних процесів у зазначених річках є результатом існування циклів зміни рівня води та відповідного засмічення протягом сотень років до початку їх сучасних досліджень. У ситуації із засміченням вітчизняних річок, де повені не відіграють такої суттєвої ролі, та не відрізняються особливою циклічністю (за виключенням гірських річок) – ситуація значного затоплення прилеглих до річки територій має нерегулярний характер, та після поновлення звичного рівня води у річці, дана ситуація стане джерелом суттєвих змін у водному об'єкті. Приймаючи до уваги наявність великої кількості засмічень антропогенного походження – ситуація значно погіршується через вплив на довкілля неприродних сполук, речовин та матеріалів.

Головною особливістю впливу воєнних дій на довкілля є надзвичайна руйнівна сила цих подій та потенційна їх здатність у короткі терміни докорінно змінювати сталі природні процеси. У питанні впливу воєнних дій на річкові засмічення, як було зазначено, першочерговою проблемою є зміна рівню води, що призводить до хаотичного та повсякмісного потрапляння засмічень до річкової системи. Причиною зміни рівня води може бути як примусова його зміна (за наявності дамб або гребель), так і утворення механічних перепон на певних ділянках водного об'єкту. До зазначених перепон можна віднести руйнування мостів та інших річкових конструкцій, потрапляння техніки та інших об'єктів військової інфраструктури у водний об'єкт, вплив масованих артилерійських та ракетних ударів на ландшафт річки. Окрім наведених

прикладів, також вплив мають і специфічні сполуки, що можуть змінювати фізико-хімічні властивості водного об'єкту, що у наслідку може мати вплив на утворення поверхневих засмічень.

Визначаючи джерела та ступінь впливу на утворення річкових засмічень можна відзначити основні складові:

- інтенсивність, терміни та масштаб бойових дій (скільки відсотків території річкового басейну зазнавали мілітаризованого втручання);

- задіяні методи та знаряддя (наявність впливу техніки, артилерії, ракетних обстрілів або використання інших типів озброєння).

Виходячи з наведеного вище, для того щоб сформулювати попередній опис проблематики необхідно підвести підсумки бойових дій що мали місце на територіях що мають безпосереднє відношення до водного об'єкту. Зазначені підсумки базуються на відповідях на наступні запитання:

1. Скільки відсотків території річкового басейну зазнали мілітаризованого втручання (переміщення техніки, обстріли, бомбардування, знищення прилеглих споруд, організація тимчасових військових локацій)?

2. Як довго тривали воєнні дії (враховуючи специфіку даних подій, розвиток впливу на довкілля у часі має зростати у геометричній прогресії)?

3. Яка була інтенсивність ведення бойових дій за окремою специфічною шкалою (чи були це ротації через територію річки, або повноцінні танкові протистояння з утворенням польових штабів, та інше)?

4. Яке озброєння (та у якій кількості) та методи були використані під час проведення бойових дій?

Грунтуючись на отриманій базовій інформації можливим є попередня оцінка потенційного впливу на водний об'єкт, однак повноцінні висновки щодо інтенсивності засмічень можливі виключно після наочної оцінки стану водного об'єкту з врахуванням довоєнної інформації про даний об'єкт.

Вирішення досліджуваної проблематики за недоцільності просвітницької діяльності та інших превентивних дій основним методом залишається пряме механічне виокремлення засмічень з водного об'єкту. Такий метод потребує

максимальної оптимізації даного процесу задля раціонального використання методики в умовах необхідності очищення значної кількості річок та, відповідно, необхідності задіяння значної кількості ресурсів.

У класичному вигляді, пряме механічне виокремлення засмічень реалізовується завдяки залученню спеціальних працівників або волонтерів за умови використання технологічних рішень. Враховуючи необхідність раціонального поводження з ресурсами (як фінансовими так і з людськими) необхідно максимально автоматизувати процес, при цьому максимально відповідально використовувати технології задля запобігання надмірного збільшення вартості проекту.

Дослідження у різних державах в останні роки [45–49] приділяють велику увагу ролі якості водних ресурсів в умовах впливу бойових дій, особливо відзначається фактор впливу на джерела питної води. Серед сучасних робіт у Світі відзначається і дослідження кейсів в Україні [50–58].

Залучення українських науковців, рівно як і загальна зацікавленість іноземних у дослідженні впливу на довкілля в Україні, безумовно сприяє пришвидшенню та гарантуванню досягнення рівня достатнього для успішного проведення подальших досліджень на їх базі.

У доволі розвинутій досліджуваній тематиці, на базі загальних даних, у контексті впливу бойових дій на довкілля, наявний великий масив досліджень впливу на ґрунтові води [59–64].

Дослідження антропогенного впливу різного типу проводилось активно в останні десять років [93–98], і мали місце у різний час, і кожного разу ставали стимулами для розвитку науки. Українське довкілля опинилось у ситуації коли його стан має стати достатнім стимулом для розвитку програм та систем, як локальних так і загальнодержавних. Дані програми та системи мають бути створені з розумінням викликів сьогодення, коли фоновий моніторинг стану складових довкілля вимірюватиметься регулярністю не у місяць, а у 12 годин на автоматизованому пункті. Важливу роль відіграватимуть системи штучного інтелекту та дистанційно-керованих дронів. Дрони особливо можуть бути

ефективними у вигляді адаптації для забору зразків ґрунту та води у місцях небезпечних та важкодоступних. За достатнього розвитку програми (як практичного так і фінансового) можливе створення мережі автономних дронів для забору зразків без загрози для відповідного персоналу лабораторій.

Вплив бойових дій на стан об'єктів довкілля є критично важливим не лише через малий наявний об'єм наявної інформації та малу кількість існуючих методик оцінки даного впливу, а й через унікальність кожного окремого випадку, що невідворотно вимагає індивідуального підходу до кожного кейсу. У питаннях впливу бойових дій на водні об'єкти, і конкретно – на річкові системи, можна визначити два розділи досліджень безпосереднього стану водного об'єкту. Даними розділами будуть засмічення та забруднення річкової системи. У комплексному дослідженні, дані розділи відіграватимуть проміжну роль, слідуючи за етапом аналізу подій що мали місце, та довоєнних показників водного об'єкту для подальшого співставлення. Успішне проведення дослідів у тематиці засмічень та забруднень дозволить як робити обґрунтовані прогнози, так і пропозиції щодо покращення або виправлення ситуації.

### **1.3. Вплив на здоров'я населення якості водних ресурсів**

Класичний підхід до оцінки антропогенного впливу на водні ресурси пріоритезує ситуацію таким чином щоб першочерговою цінністю ставало здоров'я людини. За зазначених умов інтенсивного антропогенного впливу як результат ведення бойових дій цілком можливе повне зникнення деяких джерел водозабезпечення регіону. Важливою складовою тематики завжди залишатиметься властивість річкових систем до самоочищення.

Ґрунтуючись на зазначених параметрах проблематики, можна поступово почати визначати що доцільне вирішення проблематики має мати на меті, в першу чергу, нівелювання впливу проблематики на здоров'я населення шляхами що несуть мінімальний вплив на вже збережені системи водного об'єкту. Також, важливо буде зосередити фокус на досягненні річкою стану у якому водний об'єкт здатен самотужки реалізовувати очистку. Даний параметр напряду

розвитку впливає на терміни реалізації будь-якого очисного проєкту, адже реальні фінальні результати виходять далеко за рамки термінів у 5-10 років.

Дослідження на світовій арені [65-68] акцентують увагу на важливості оцінки кожного водного об'єкту як джерела питної води, а не тільки як екологічного об'єкту чи системи. В умовах Вітчизняної дослідницької діяльності, східні та південні регіони країни були найвразливішими у питаннях забезпечення водними ресурсами споживачів та промисловості [69], і у перспективі дані регіони демонструють утворення величезної проблеми на фоні довгострокового шкодочинного впливу бойових дій, дослідження потенційних майбутніх показників стану водних об'єктів досліджуються [70].

Окрім зазначеного раніше, дослідженнями впливу на довкілля та здоров'я займались у роботах [71–77], де чітко визначається роль антропогенного навантаження як на власне водний об'єкт та здоров'я населення, так і на клімат та інші пов'язані системи.

Дослідження впливу на водні об'єкти варіюється, як було зазначено. Наближуючись до питання дослідження впливу бойових дій на довкілля, можна відзначити наявність існуючого досвіду, як у питаннях очистки водних об'єктів від засмічень та забруднень внаслідок не тільки бойових дій, але і техногенних катастроф що за своїм ефектом можуть дорівнювати масштабу бойових дій та залучати подібні компоненти. Зазначені наявні дослідження можуть стосуватись як питань потрапляння нафтопродуктів у воду [78–87], результати яких разом з методиками можуть бути застосовані вже на перших стадіях післявоєнних досліджень. Дані дослідження почали проводити більше 50 років тому [88], і на сьогодні науковці можуть дозволити собі користатись отриманою базою задля проведення нових досліджень.

Враховання існуючих довоєнних методик для створення нових унікальних методик оцінки впливу бойових дії також базується на існуючих комплексних дослідженнях взаємозв'язків у річкових системах [89–92], дані дослідження дозволять створювати «скелети» майбутніх досліджень, враховуючи досвід вже менш напряду пов'язаних досліджень.

## Висновки до Розділу 1

1. Водні ресурси під впливом антропогенних факторів змінюють свої характеристики у метод неприйнятний для сталості системи у класичному розумінні. Така неприйнятність змін призводить до виникнення необхідності їм запобігати, більше того – формувати відповідні законодавчі акти, нормативно-правові регуляції та підходи задля їх запобігання. Однак, у питаннях відновлення систем на деокупованих територіях, довоєнні концепції стають застарілими, так як підхід з попередження вже втрачає сенс, а на його місце виходить необхідність моніторингу та аналізу.

2. Ґрунтуючись на працях, та проведених дослідженнях зазначених у роботі, було зазначено необхідність стратегії актуального підходу для відновлення водних ресурсів на деокупованих територіях.

3. Як було описано у розділі, антропогенний вплив на водні об'єкти під впливом бойових дій та без них це дві різні ситуації для моделювання що потребують як різних підходів, так і різних методик аналізу та оцінки. Дане дослідження, базуючись на виокремлених складових, охоплюватиме питання визначення, оцінки та пропозиції покращення як у питаннях забруднень, так і у питаннях засмічень, пов'язаних з веденням бойових дій. Визначені теми досліджень існують на абсолютно різних рівнях, залучаючи відмінні методики та підходи. У питаннях забруднень увага приділятиметься аналізу зразків, та загальній оцінці фізико-хімічних властивостей водної суміші у течії річки. У питанні засмічень, у свою чергу, увагу буде приділено як популяційним аспектам, так і логіко-хронологічним на шляху до досягнення першочергових цілей досліджень. Критично важливим буде відзначити невідворотність поєднання підходів на певному етапі під час застосування результатів. Наприклад, визначивши об'єм засмічень та їх локалізацію у течії річки важливо буде зрозуміти в першу чергу шляхи контролю ситуації та виокремленні механічних засмічень з течії, однак на наступному етапі, вже комплексного дослідження, ґрунтуючись на отриманих результатах буде проведено оцінку складу засмічень, їх вплив на хімічний склад води, та інше з розділу оцінки

забруднень.

4. У зазначених етапах досліджень може бути двостороння послідовність, адже оцінка забруднень може також зводитись до оцінки попередніх засмічень як складової результуючого стану водного об'єкту. За умови успішного та якісного проведення комплексу досліджень засмічень та забруднень річкових систем у наслідок ведення бойових дій не тільки після їх повного завершення, але і інтегровано у процесі дозволить отримувати унікальну базу показників для подальшого їх застосування у дослідженнях. Власне дослідження також мають проводитись у процесі для проведення діагностичного моніторингу, проміжних оцінок та кейсового аналізу окремих випадків значних катастроф.

5. Дане дослідження представляє собою одне з проміжних досліджень впливу бойових дій на складову довкілля – річкові системи, і як було зазначено – дана тематика на даному етапі розподіляється на проблематику засмічень та забруднень, вивчаючи які можна як відстежити передуючі події, так і зробити прогнози на подальші події з цим пов'язані.

Основні положення розділу 1 опубліковані автором у наукових працях [3, 4, 6,12]. Список використаних джерел у розділі 1 наведено у загальному списку використаних джерел [1–98].



## **РОЗДІЛ 2 ШЛЯХИ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ В УМОВАХ ПІСЛЯВОЄННОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МЕЛІОРАТИВНИХ СИСТЕМ ПІВДНЯ УКРАЇНИ**

### **2.1. Сучасний стан деокупованих територій та якісні і кількісні показники водних ресурсів регіону**

Внаслідок надзвичайних ситуацій та воєнних дій в зону підтоплення та затоплення потрапляють екрановані очисні споруди, сміттєзвалища, в тому числі і несанціоновані, вигрібні ями, склади з сільськогосподарськими добривами та інші потенційні джерела забруднення підземних вод [99–108 та ін.]. Негативні наслідки від підриву окупантами греблі Каховської ГЕС важко передбачити в повному обсязі. У Дніпро потрапило понад 150 тон машинної олії з Каховської ГЕС, відбувся змив ґрунтового шару, вмісту вигрібних ям, знищення інфраструктури, руйнування біорізноманіття водних екосистем на прибережних територіях. Руйнування меліоративних систем і великих каналів для зрошення призводить до підпору та засмічення підземних горизонтів, в тому числі і тих, які використовуються для потреб питного водопостачання.

Взагалі, за час воєнних дій на території держави було зруйновано значну кількість споруд підпорного фронту та регулюючих споруд. Прорив напорного фронту та формування хвилі прориву впливає на водний режим зарегульованої річки, змінює поверхневий стік та підземне живлення, швидкість течії, якість поверхневих та підземних водних ресурсів внаслідок попадання в водне середовище сміття, органіки, хімічних і біологічних компонентів. Крім того, слід зазначити фактор значне збільшення викидів парникових газів (зокрема CO<sub>2</sub>), після затоплення мілководдя та гниття органіки на фоні глобальних кліматичних змін. Збереження екологічної стійкості на цих територіях потребує розробки та реалізації планів та заходів з мінімізації ризику підтоплень, відновлення водних екосистем, збереження біорізноманіття та забезпечення дотримання екологічних стандартів [110–112]. Внаслідок надзвичайних ситуацій та воєнних дій на

спорудах напорного фронту, в зону підтоплення та затоплення потрапляють хвостосховища, склади з сільськогосподарськими добривами і сміттєзвалища, в тому числі і несанкціоновані. Так, 26 лютого 2022 року в районі с. Казаровичи було зруйновано внаслідок воєнних дій греблю, що відділяла річку Ірпінь від Київського водосховища, перепад висот від якими становив 6–8 м. В результаті цього відбулося затоплення заплави Ірпеня з негативними наслідками цього витoku, а саме: затоплення ділянок сільськогосподарських земель, що оброблялись з осені органічними добривами, деяких угідь в селах Козаровичі та Демидів, сміттєзвалище, а також підтоплено будівельні майданчики на заплаві Ірпеня (наприклад, ЖК Хутір Демидово), вигрібні ями [113]. Негативний вплив на екосистеми басейнів річок та погіршення якості питної води відбувається і в інших регіонах України внаслідок воєнних дій, зокрема в Донецько-Придніпровському регіоні [114, 115].

Руйнування греблі і спорожнення Каховського водосховища викликало низку суттєвих проблем з водопостачанням у різних регіонах України, серед яких, окрім безпосереднього руйнування споруд та енергетичної інфраструктури, відсутності доступу до об'єктів водопостачання, відбулося змивання отруйних речовин та біологічного зараження води, змивом з полів пестицидів, руйнування складів різного призначення, зневоднення та перерозподіл води в регіоні [101]. Відновлення в населених пунктах водопостачання, що здійснювалось з Каховського водосховища, потребувало термінової розробки можливих сценаріїв: довготривалого, середньотривалого і короткострокового [109]. Останній передбачає забезпечення населення водою за тимчасовою схемою або перехід на децентралізоване водопостачання, а саме: забезпечення населення водою за рахунок мобільних станцій очищення води, установок доочищення контейнерного типу, альтернативних джерел водопостачання, зокрема свердловин. Дані сценарії передбачають особливого захисту підземних вод від забруднення, коли фільтраційний потік від контуру живлення забруднених ґрунтових вод мігрує у водний об'єкт. Невід'ємною складовою такого захисту є оцінка та прогноз просування забрудненого осередка

води на поверхню водоносного горизонту. Алгоритм такої фільтраційної моделі складаються з двох взаємопов'язаних блоків: гідродинамічного та трансформації забруднень у фільтруючому пористому середовищі.

Теоретичне обґрунтування таких фільтраційних розрахунків розрахунків дозволить в подальшому розробити рекомендації щодо ефективного інженерного захисту водних ресурсів від забруднення внаслідок надзвичайних ситуацій та воєнних дій на території України.

За даними Державного агентства водних ресурсів України, в районі Інгулецької зрошувальної системи в період спостережень з 06.06.2023р. по 13.06.2023 р. максимальний рівень води в районі магістрального каналу вище ніж на 370 см, що представлено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Зміна рівнів води в районі Інгулецької зрошувальної системи в період з 6 по 13 червня 2023 року

Водний об'єкт/ Водпост	Небезпечна відмітка, см	Максимальне підняття рівнів за період спостережень, +/-
1	2	3
Дніпро/ Херсон	650	+249 *
Дніпро, Рукав Рвач	545	+ 101
Дніпро-Бузький лиман/Парутине	540	+32
Межа річки Південного Бугу та Бузького лиману/ Миколаїв	540	+39
Дніпро-Бузький лиман/Очаків	520	+26
Інгулець/УКРІ Снігурівка	850	+373
П.Буг/ГНС Південно-Бузька	---	+31

На сьогоднішній день організації Міндовкілля та Держводгоспу України продовжують моніторингові спостереження змін якості вод на півдні України після підриву Каховської ГЕС – якість води в річках Інгулець та Південний Буг погіршилася за низкою показників [116, 117, 118]. Серед основних забрудників важких металів, серед яких фіксується перевищення ГДК – іони міді, алюмінію,

хрому, заліза [119]. Дані лабораторії моніторингу вод Західного регіону Держводагентства відзначають динаміку змін якості, що вказує на тенденцію погіршення показників якості води у р. Інгулець та р. Південний Буг також за хімічними та фізико-хімічними показниками. Фіксується зростання нітритів, що потенційно пов'язано зі сходження води та зливом забруднень з територій, знижується вміст розчиненого кисню: 6 мг/дм<sup>3</sup> у р. Дніпро в межах м. Херсон, 3,7 мг/дм<sup>3</sup> у р. Інгулець, 8,1 мг/дм<sup>3</sup> у Дніпро-Бузькому лимані, 10,7 мг/дм<sup>3</sup> – м. Миколаїв, 18,86 мг/дм<sup>3</sup> – у водах Бузького лиману.

Дана тенденція якісних показників водних об'єктів на деокупованих територіях свідчить про необхідність ощадливого використання та захисту підземних вод, які можуть слугувати джерелом додаткового резервного водопостачання на Півдні та зменшити додаткові витрати на очисні споруди на поверхневих водозаборах.

Одним з шляхів недопущення попадання забруднень в підземні води – захист втрат забрудненої води на фільтрацію із зруйнованих меліоративних споруд, хвостосховищ та затоплених сміттєзвалищ. Невід'ємною частиною обґрунтування такого захисту – є оцінка та прогнозування параметрів фільтраційного потоку, що потрапляє в підземні горизонти. Тому постала необхідність оцінити ці втрати в сучасних умовах пошкоджених захисних споруд за допомогою розробки та удосконалення методів фільтраційних розрахунків щодо цих втрат та запропонувати шляхи захисту підземного горизонту.

## **2.2. Теоретичне обґрунтування визначення параметрів забруднення підземних вод із зруйнованих меліоративних споруд, хвостосховищ та затоплених сміттєзвалищ та їх протифільтраційний захист**

В даному розділі роботи розглянуті питання теоретичних підходів щодо втрат напору через захисний екран, що обумовлюють рівень фільтраційних втрат для оцінки і подальшого прогнозу забруднення підземних вод. За допомогою запропонованої методики, яка наведена в розділі можна визначити

втрати напору через екрановану споруду, як при різних матеріалах облицювання, так і з врахуванням різного роду пошкоджень та різних стадіях фільтрації води із споруд. Для апробації запропонованої методики взято магістральний канал Інгулецької зрошувальної системи і зону впливу каналу при поступовому відході води після його затоплення внаслідок руйнування дамби Каховської ГЕС.

### **2.2.1. Існуючі підходи до розрахунків втрат фільтрації з екранованих споруд**

Процес розповсюдження підземними водами забруднюючих речовин внаслідок надзвичайних ситуацій на очисних спорудах, накопичувачів різного виду відходів, фільтрації із сміттєзвалищ різного роду досліджувався в свій час багатьма вітчизняними та закордонними вченими [120–137 та ін.]. Існуючі математичні моделі, зазвичай складаються з двох взаємопов'язаних блоків: гідродинамічного, або фільтраційного, та блоку трансформації та міграції забруднень в пористому середовищі при умовах звичайного режиму експлуатації споруд. Блок фільтрації вимагає схематизації геологічних умов, з врахуванням на фільтраційні характеристики водоносних шарів і режим фільтрації (стаціонарний, нестаціонарний). Тоді як імовірність надзвичайної ситуації внаслідок воєнних дій на території країни, вимагає удосконалення існуючих компонуально-конструктивних рішень захисту підземних вод від забруднення фільтратом з різного роду споруд: накопичувачів та сміттєзвалищ тощо. Постала необхідність також підвищити ефективність роботи протифільтраційних споруд.

Розглянемо більш детально, як відбувається процес встановлення фільтрації забруднень на поверхню підземного горизонту. Після затоплення певної території на початковому періоді починається процес промочування зони аерації, що вважається першою стадією фільтрації з затоплених хвостосховищ, магістральних каналів та сміттєзвалищ. Час промочування і витрата води на даній стадії визначається напором затоплення та коефіцієнтом фільтрації закольматованого або пошкодженого екрану. Нестаціонарний режим підняття

поверхні підземних вод, або розтікання бугра ґрунтових вод, до часу змикання цієї поверхні з дном захисної споруди характеризує другу стадію фільтрації. Третя стадія (підперта фільтрація) характеризується стаціонарним режимом міграції забруднень різного роду насиченим потоком підземних вод; підтоплення території на цій стадії залежить від параметрів області фільтрації та геологічної будови водоносної товщи. З підземного горизонту на цій стадії забруднення може попасти до поверхневих водних об'єктів, час їх попадання можна розрахувати моделями міграції [121].

Як доведено натурними спостереженнями та даними аерозйомки, розрізняють два основних найбільш ймовірних видів його порушення [127, 138]:

- у вигляді чисельних щілин і деяких порушень цілісності, що призводить до зниження ефективності роботи захисної споруди, аж до зведення її до нуля у деяких випадках;

- у вигляді окремих отворів і дірок значного діаметру, які зазвичай можуть утворитися внаслідок воєнних дій.

Робота пошкодженого внаслідок тривалої експлуатації захисного облицювання та основні розрахункові схеми досить детально розглядалася в задачах фільтрації на пошкоджених меліоративних спорудах. При цьому дослідниками розглядалися прямолінійні щілини та круглі отвори, всі інші види пошкоджень зводилися до таких форм [140-144 та інш.].

Фільтраційні втрати через окремий елемент облицювання можна визначити за формулою [145]:

$$dq = k_{\text{обл}} \cdot H / \delta \cdot dV, \quad (2.1)$$

де  $k_{\text{обл}}$  – умовний коефіцієнт фільтрації захисного екрану, що має багаточисельні пошкодження м/добу;

$q$  – фільтраційна витрата, через один погонний метр пошкодженого екрану в зону аерації, м/добу;

$V$  – ширина споруди в перерізі;

$H$  – напор над пошкодженим облицюванням, м, товщиною  $\delta$ - товщиною, м.

Значення умовного коефіцієнт фільтрації пошкодженого облицювання  $k_{обл}$  визначити за допомогою коефіцієнту ефективності захисного екрану  $\eta$  за формулою

$$k_{обл} = \eta \cdot k'_{обл}, \quad (2.2)$$

де  $k'_{обл}$  – значення коефіцієнту фільтрації облицювання на початку експлуатації до пошкоджень, м/с.

Коефіцієнт ефективності захисного екрану з умовними прямолінійними щілинами може бути визначений за методикою, яка приведена в роботах [127, 131]:

$$\eta = \frac{2\delta}{l} \frac{\pi}{\operatorname{arch} \frac{2ch(2\pi\delta/l)}{1 - \sin \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{2m}{l}\right)}}, \quad (2.3)$$

В формулі (2.3):  $l$  – приблизна відстань між щілинами (пошкодженням), м.

Коли в пошкодженому облицюванні є круглі отвори діаметром більше ніж 3 мм, коефіцієнт ефективності можна визначити за емпіричною формулою [137, 143]:

$$\eta = 1/\omega [0,0107(d - 3) + 0,024], \quad (2.4)$$

де  $d$  – діаметр отвору в екрані, см;

$\omega$  – площа захисного покриття, в центрі якого утворився цей отвір, см<sup>2</sup>.

У випадку затоплення несанкціонованого, або стихійного сміттєзвалища, фільтраційну витрату теж можна визначати за формулою (2.1), але  $k_{обл}$  приймаємо таким, як і коефіцієнт фільтрації із закольматованого фільтратом шару ґрунту, товщиною  $\delta$ . Але при цьому, в розрахунках за відомою формулою Ф.І. Пікалова [127] слід додавати до величини напору на споруді, що захищається, значення вакууму під закольматованим шаром, що може бути

прийнятий таким, який дорівнює висоті капілярного підняття в незакольматованому ґрунті. Коли підземний горизонт розташований нижче подвійної висоти капілярного підняття води в незакольматованому ґрунті, значенням вакууму можна знехтувати.

Фільтраційні втрати на першій стадії фільтрації в зоні неповного насичення визначаємо за формулами:

$$Q_{\phi} = \bar{Q}_{\phi} (1 + b/\sqrt{t}), \quad (2.5)$$

$$\bar{Q}_{\phi} = k_{\phi} \left( 1 + 0,05 \frac{H_k}{B} \right) [B + 2(H - h_{ocm})], \quad (2.6)$$

де  $H_k$  – висота капілярної кайми, м;

$k_{\phi}$  – коефіцієнт вологопереносу, який характеризує швидкість руху вологи в зоні аерації, м/доб.

Коефіцієнт вологопереносу визначається за відомою формулою С.Ф. Авер'янова [28]:

$$k_b = k \left( \frac{\theta_e - \theta_{mm}}{\theta_n - \theta_{mm}} \right)^n, \quad (2.7)$$

В формулі (2.7)  $\theta_e$ ,  $\theta_{mm}$ ,  $\theta_n$  – вологоємність порід у природному стані, максимальна та повна;

$k$  – коефіцієнт фільтрації ґрунту,

$n$  – емпіричний коефіцієнт, значення якого дорівнює 3,5

Параметр насичення  $b$  дорівнює:

$$b \approx 0,6 \sqrt{\frac{\theta_e H_k + 1,4(H - h_{ocm})}{K_b}}, \quad (2.8)$$

На основі аналітичного рішення лінійної задачі в умовах сталої підпертої фільтрації для меліоративних каналів з облицюванням [145, 146] із



застосуванням методу фільтраційних опорів [145, 146], можна знайти витрату забрудненого потоку.

За проміжок часу  $t, t+dt$  через облицювання шириною по дну  $B$  пройде витрата:

$$Q = -k_{обл} B \frac{\partial h}{\partial x} \int_{t_1}^{t_2} dt \quad (2.9)$$

Величина напору, що на облицюванні становить:

$$\Delta h = h_k - h_{осм} \quad (2.10)$$

де  $h_{осм}$  – величина п'езометричного напору під зруйнованим облицюванням.

Величину  $Q$ , що необхідна при проходженні через екран можна представити також у вигляді:

$$Q = \int_{x_1}^{x_2} \frac{n}{\delta} \Delta h(x) dx, \quad (2.11)$$

Прирівняємо праві частини рівнянь (2.10) і (2.11). Після застосування зпослідовно теореми про середнє та про кінцеві прирощення, маємо рівняння:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{обл} \frac{\partial h}{\partial x} \right) \Big|_{x=x_4}^{x=x_3} = \frac{n}{\delta} \times \frac{\partial h}{\partial t} \Big|_{t=t_3}^{t=t_4} \quad (2.12)$$

В даному рівнянні (2.12)  $t_3, t_4$  та  $x_3, x_4$  - проміжні точки довільних інтервалів  $t_1, t_2$  і  $x_1, x_2$ .

При переході до виразів  $x_1, x_2 \rightarrow x$  і  $t_1, t_2 \rightarrow t$ , рівняння (2.12) має вигляд:

$$\alpha \times \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = \frac{\partial h}{\partial t}, \quad \alpha = \frac{K_{обл} \delta}{n_{обл}} \quad (2.13)$$

Граничні та початкові умови цього рівняння мають вигляд системи (2.14):

$$h(-\delta, 0) = -h_k, \quad h(-\delta, t) = -h_k, \quad \frac{\partial h(0, t)}{\partial x} = \frac{\delta + h_k}{\delta}, \quad (2.14)$$

Рівняння (2.13) має аналітичне рішення при якому приймаємо наступні допущення:

- постійний градієнт виходу напору під пошкодженим екраном;

- узагальнена величина коефіцієнту фільтрації  $k_{обл}$  для всієї ширини споруди (В).

Рівняння (2.13) має вигляд зображення Лапласа і його рішення можна записати у вигляді:

$$h_L(x, S) + \frac{h_k}{S} = A_1 l \sqrt{\frac{S}{\alpha}} x = B_1 l - \sqrt{\frac{S}{\alpha}} x, \quad (2.15)$$

З відповідними початковими умовами у вигляді:

$$h_L(-\delta, S) = -\frac{h_k}{S}, \quad \frac{\partial h_L(0, S)}{\partial x} = \frac{\delta + h_k}{S\delta} \quad (2.16)$$

$A_1$  і  $B_1$  – сталі величини, визначаються з початкових умов (2.16).

Перехід до оригіналу функції згідно [147] напор під зруйнованим облицюванні може бути записаний рівнянням:

$$h_{ocm}(0, t) = -H + (H + \delta) \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{2}{\mu_n^2} \exp\left(-\mu_n^2 \frac{\alpha t}{\delta^2}\right) \right] + 2 \frac{\delta + h_k}{\delta} \sqrt{\alpha t} \times ierfc \frac{(-x)}{2\sqrt{\alpha t}} \quad (2.17)$$

де  $\mu_n$  – корінь трансцендентного рівняння, що дорівнює  $\mu_n = (2n-1)\pi/2$ ,

$\alpha = \frac{K_{обл} \delta}{n_{обл}}$ ,  $n_{обл}$  – пористість захисного екрану,  $t$  – час промочування

облицювання, доб.

Відповідно до інтегрального перетворення Лапласа, другий доданок правої часті рівняння (2.17) дорівнює нулю при  $K_{обл} \leq 10^{-2}$  м/добу. Такі коефіцієнти фільтрації облицювання у практиці будівництва очисних споруд майже не зустрічаються, тільки при застосуванні місцевих матеріалів, але при пошкодженні даних споруд внаслідок воєнних дій можуть мати місце.

Більший час сезонного функціонування, магістральні канали зрошувальних систем працюють в стадії підпертої фільтрації. В даному випадку витрату на рівень підземних вод можна знаходити за відомими формулами при відсутності зони аерації з використанням методу фільтраційних

опорів [143, 145].

Формула для погонної витрати в сторону розвантаження підземного потоку визначається за відомою формулою [143]:

$$q = \frac{T(H + \delta + H_0)}{\Phi_k + \Phi_{obl} + \sqrt{\frac{Tz_0}{\varepsilon_0}}} \quad (2.18)$$

де  $\Phi_k$  і  $\Phi_{obl}$  – фільтраційні опори на гідродинамічну недосконалість споруди і фільтраційний опір пошкодженого облицювання відповідно. Значення  $\Phi_c$  знаходимо за методикою, яка детально викладена в роботах [143, 145, 148] в залежності від геологічної будови водоносної товщи;

$T$  – середня водопровідність водоносної товщи, м<sup>2</sup>/с;

$z_0$  – критична глибина залягання рівня ґрунтових вод при  $\tau = 0$ , м;

$\varepsilon_0$  – інтенсивність випаровування на поверхні ґрунту.

Фільтраційний опір пошкодженого екрану можна визначити теоретично за приведеними в даному розділі формулами як відношення втрат напору на облицюванні до витрати цього потоку:

Результати розрахунків втрат напору під пошкодженим облицюванням з коефіцієнтами фільтрації  $10^{-2}$  м/добу,  $10^{-3}$  м/добу і  $10^{-4}$  м/добу представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Розрахунки значень п'єзометричного напору під пошкодженою спорудою з умовним напором 5 м.

$\delta$ , м	$h_k$ , м	$K_{obl}$ , м/добу	$h_{ост}(0, t_{п})$ , м	$\Delta h = h_k - h_{ост}$ , м
0,01	5,0	$1,67 \cdot 10^{-2}$	4,95	0,05
0,01	5,0	$0,67 \cdot 10^{-3}$	2,37	2,66
0,01	5,0	$1,06 \cdot 10^{-4}$	1,01	3,99

Проведені розрахунки свідчать, що при значних пошкодженнях протифільтраційного облицювання, а також при оціночних розрахунках з деяким запасом виток з очисної споруди можна вести, як при фільтрації у відкритий ґрунт. Приведена методика може бути використана при розрахунку фільтраційних втрат на втрат пошкоджених відкритих меліоративних каналів та колекторів з облицюванням.

Доцільність застосування методу фільтраційного опору ґрунтується на матеріалах робіт [143, 144, 148] та зумовлено обмеженням зони різкої деформації фільтраційного потоку поблизу споруди, що захищається (зазвичай ця зона не розповсюджується за межі одно-двох потужностей водоносного горизонту). При умові, коли ширина каналу по дну більше або дорівнює двох потужностей водоносного горизонту, згідно з теорією фільтраційних опорів розрахунок третьої стадії фільтрації можна проводити без врахування дії пошкодженого екрану ( $\Phi_{\text{обл}}=0$ ).

Оцінка та прогнозування ореолу формування області забруднення та шляхів попадання забруднюючих речовин у фільтраційний та міграційний потоки заснована на необхідності схематизації процесів і умов масопереносу у водоносних шарах в залежності від їх гідрогеологічних характеристик [149, 150]. В даних роботах, як і зазначалося вище, загальна математична модель міграції складається з двох взаємопов'язаних блоків, а саме – гідродинамічного (фільтраційного) і блоку трансформації (перетворень) забруднюючих речовин у водоносному пласті. Для отримання результатів розрахунків з достатньою ступеню точності щодо подібних задач, необхідна геофільтраційна схематизація та зведення фільтраційного потоку до двомірного, або, навіть, одномірного. При цьому доцільно враховувати матеріали попередніх моніторингових спостережень та апробації складених моделей.

### **2.2.2. Розрахунок фільтраційних втрат на магістральному каналі Інгулецької зрошувальної системи**

Значну частину забруднень при затопленні території внаслідок підриву

Каховської дамби прийняла Інгулецька зрошувальна система, зокрема її магістральний канал. Після опускання рівня води, у фільтраційну воду попали мастила, добрива від змиву з сільськогосподарських полів, органічні забруднення тощо. Процес міграції забруднень почнеться після наповнення каналу водою для зрошення і як тільки рівень ґрунтових вод досягне дна споруди. Проведені розрахунки при умові експлуатації зрошувальної системи та зони впливу магістрального каналу досліджувалися в роботах [149–151 та ін.]. За схематизацію сучасних гідрогеологічних умов в районі Каховського водосховища приймалася гідродинамічна схема трьохшарового пласта. Водонесний горизонт з вільною поверхнею, що залягає в товщі четвертинних відкладів – перший шар водонесного горизонту; другий – слабопроникний водотривкий шар складений червоно-бурими глинами незначної потужності; водонесний горизонт у неогенових відкладах, який є основним горизонтом є третім шаром, води якого широко використовуються в схемах централізованого водозабезпечення населення даного регіону. За попередніми дослідженнями, при цій будові водонесного горизонту переважаючим є вертикальний водообмін, а складова потоку в горизонтальному напрямку набагато менше. Режим ґрунтових вод при спаді на досліджувальній території має квазістаціонарний характер [148].

Умовний коефіцієнт фільтрації бетонного облицювання  $k_{обл.}$  внаслідок пошкодження прийнято в розрахунках  $1 \cdot 10^{-2}$  м/добу згідно наших висновків на основі аналізу роботи облицювання в сучасних умовах, що були викладені в роботах [152, 153].

Воєнні дії на півдні України та екологічна катастрофа, спричинена вибухом Каховської дамби, значно вплинули на продовольчу безпеку України. Відновлення пошкоджених зрошувальних систем потребує багато часу та коштів, але вже на сьогодні є потреба з для зрошення вивільнених земель та збирання сільськогосподарських культур. Актуальним стає питання розрахунку фільтраційних втрат від зрошувальних каналів, оперативного відновлення стану облицювання, в тому числі з використанням місцевих природних матеріалів.

Питаннями визначення фільтраційних втрат з облицьованих меліоративних каналів займалися багато вітчизняних та закордонних дослідників [154–159].

На основі проведеного пошукувачем аналізу існуючих рішень і сучасних методів фільтраційних розрахунків було проведено теоретичного обґрунтування сучасних підходів стосовно методів розрахунків фільтраційних втрат на відкритому магістральному каналі, а також аналіз існуючих рішень щодо можливого перехоплення дренажних вод приканальним дренажем з метою їх подальшого раціонального використання. Такий підхід було зроблено з метою подальшого обґрунтування вибору оптимального захисту відкритих каналів з використанням першочергового відновлення споруд та використання сучасних інноваційних технологій в майбутньому.

Для відновлення існуючих систем закритого дренажу можна використати дослідження науковців Херсонського державного аграрно-економічного університету, які запропонували систему оцінки техніко-екологічної та санаційної ефективності кожної дренажної ділянки зрошувального масиву [160–162]. Але застосування такого підходу повинно враховувати зміну фільтраційного режиму та гідрологічних умов цього масиву в сучасних умовах після аварійного затоплення території.

Здійснення оцінки визначення зони впливу русла на прилеглі території в нових умовах експлуатації.

Магістральний канал було побудовано у 1951–1955 роках, має довжину 53,35 км, у тому числі 24,2 км – земляне русло, 21,09 км – монолітне бетонне, 8,06 км – збірне бетонне. Як зазначалося вище, внаслідок тривалої експлуатації значно погіршився технічний стан обшивки (руйнування бетону та деформаційних швів, сповзання плит, проростання рослинності, порушення цілісності поліетиленової плівки) [138]. Розрахунки, проведені на окремих ділянках магістрального русла Інгулецької зрошувальної системи, показали, що коефіцієнт фільтрації пошкодженої обшивки внаслідок тривалої експлуатації та бойових дій на території зрошувальної системи становить більше

0,01 м/добу [152].

За даними досліджень та розрахунків втрати з Інгулецького магістрального каналу, коли його траса пролягала в земляному руслі, за були досить значними і становили приблизно 58,81 млн.м<sup>3</sup> води за сезон (при тривалості експлуатації каналу – 188 діб). Для розрахунку втрат була використана формула А. Н. Костякової для вільної фільтрації в усталеному режимі [158]:

$$Q = K_{ep}(B + 2h_0\sqrt{1 + n_1^2}) \quad (2.19)$$

В формулі (2.19) фільтраційні втрати по всій довжині ділянки каналу в земляному руслі,

$l$  – довжина траси каналу, яка дорівнює 53,5 км, ширина русла по дну 14,75 м (середнє значення по трасі);

$h_0$  – глибина води в руслі, 2,4 м;

$n_1$  – коефіцієнт закладення укосів русла, 1,5;

$K_{ep}$  – коефіцієнт фільтрації, 0,25 м/добу.

Інженерно-геологічні умови на трасі каналу наступні: перший шар лесоподібних порід потужністю 2,0–2,5 м представлений переважно легкими та середніми буро-жовтими суглинками; горизонт підстилаючих ґрунтів представлений такими ж суглинками, але відрізняється більш темним кольором і більшим вмістом гумусу. Верхню частину другого ярусу потужністю 3,0–4,5 м складають блідо-жовті лесові суглинки. З глибиною вони темніють і переходять в середні і важкі сорти. Третій шар лесоподібних порід представлений темно-бурими глинами і важкими червонувато-бурими суглинками. Цей ярус служить водонепроникним шаром для безнапірного водоносного горизонту підземних вод, який розкинувся по всій трасі каналу і може служити матеріалом для захисту пошкоджених ділянок каналу.

Можливість використання оброблених хімічними реагентами місцевих глинистих порід для захисту пошкоджених ділянок каналів та в протифільтраційних спорудах показано у роботах [163, 164] та деяких інших

наукових виданнях.

В процесі експлуатації магістрального каналу Інгулецької зрошувальної системи частина його була облицьовано монолітним бетоном (21,09 км) і збірним залізобетоном (8,06 км). За натурними спостереженнями в процесі експлуатації магістрального каналу втрати з земляного русла (242 км) склали близько 26,6 млн.м<sup>3</sup>, а з облицьованої частини (28,15 км) – 10,3 млн.м<sup>3</sup>, тобто загальні втрати за сезон склали 36,9 млн.м<sup>3</sup>, що більше ніж У 1,6 рази менше порівняно із загальними втратами, коли траса каналу проходила лише по земляному руслу. Ці дані певною мірою збігаються з розрахунковими даними роботи [148], де сума втрат з магістрального каналу визначена як 11,6 млн м<sup>3</sup> води. Невелика різниця в вихідних даних полягає в тому, що для розрахунку фільтраційних втрат було обрано середнє значення ширини русла на дні

Облицьовання каналу довжиною 28,15 км на оцінку зменшення втрат розраховано було за формулою через коефіцієнт втрат  $\beta$  [165]:

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{\delta}{h} \left( \frac{K_{gp}}{K_I} - I \right)} \quad (2.20)$$

де  $\delta$  – товщина облицьовального екрана дорівнює 0,35 м;

$K_{gp}$  – середній коефіцієнт ґрунту траси каналу, 0,25 м/добу;

$K_I$  – середній коефіцієнт фільтрації екрана, 0,019 м/добу;

$I$  – ухил течії підземного потоку.

Згідно рівняння (2.20), отримуємо, що  $\beta=0,32$ , і обсяги фільтраційних втрат по трасі русла каналу склали 10,3 млн м<sup>3</sup> за сезон.

Дані про товщину та коефіцієнти фільтрації захисного екрана з монолітного та збірного залізобетону було взято з проектних даних зрошувальної системи.

Якщо в якості протифільтраційного кріплення укосів каналу взяти екран із природного глинистого матеріалу замість раніш застосовуваного кріплення на тих же ділянках траси русла каналу, то коефіцієнт  $\beta$  згідно формули (2.20)



становитиме 0,12, а фільтраційні втрати, відповідно – 7,06 млн м<sup>3</sup> води. Загальні втрати в цьому випадку становитимуть 33,66 млн.м<sup>3</sup>, тобто спостерігається зниження фільтраційних втрат в 1,75 рази по всій трасі магістрального каналу.

Дані щодо використання ґрунтових та/або ґрунтових плівкових екранів у цьому регіоні викладені в Посібнику до ДБН В.2.4-1-99 «Меліоративні системи та споруди» [140].

Прогнозні розрахунки впливу фільтрації з магістрального каналу проводились для 5, 10 та 25 років. Одночасно було визначено відстань впливу від траси русла формулою Олійника О.Я. [140]:

$$l = 2\sqrt{at \ln\left(\frac{h_0}{\pi at}\right)} - \Delta L \quad (2.21)$$

де  $a$  – коефіцієнт п'єзопровідності,  $a=Тл/мк$ ;  $T$  – коефіцієнт водопровідності  $T= 3,5 \text{ м}^2 /\text{добу}$ ;  $\mu$  – водовіддача ґрунту,  $0,13$ ,  $a= 27 \text{ м}^2 /\text{добу}$ ;  $\Delta L$  – додатковий фільтраційний опір, який враховує зв'язок русла каналу з водоносним горизонтом. Для випадку приведення водоносного шару до однорідного товщиною 10 м, фільтраційний опір складе  $\Delta L=0,44 \text{ м}=4,4 \text{ м}$ .

Використовуючи наведені вище дані, при відсутності протифільтраційного облицювання під час післявоєнної реконструкції каналу в перші роки експлуатації та через 5, 10 і 25 років, вплив каналу буде складати на 592,7 м, 754,6 м та 988,3 м відповідно. Загалом, вплив втрат каналу з обох боків від нього, вздовж траси буде поширюватися смугою, ширина якої коливатиметься приблизно від 600,0 м через 5 років до 1000 м через 25 років.

З урахуванням облицювання вплив зменшиться і через 5 років становитиме 510 м, через 10 років – 660,6 м і через 25 років – 891,4 м.

При використанні місцевих матеріалів для кріплення русла (в розрахунках було прийнято з коефіцієнтом фільтрації місцевої глини  $5,8 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}$ ) вплив русла на прилеглу територію поширюватиметься на відстані, наведені в табл.2.3.

Порівняння типів облицювання та зони впливу магістрального русла Інгулецької зрошувальної системи на прилеглу територію

Тип облицювання	коefficient облицювального фільтра, м/добу	Зона впливу фільтрації через 5 років, м	зона впливу фільтрації через 10 років, м	фільтрації через 25 років, м	Фільтраційні втрати основного русла, м <sup>3</sup> /добу
Траса в ґрунтовому руслі	0,25	592,7	754,6	988,3	312841,5
Обшивка з місцевих матеріалів	0,005	456.3	592,0	810.7	-
При відновленні ділянок з бетонним покриттям	0,019	510	660,6	891.4	від облицьованої частини каналу 154787,2 м <sup>3</sup> /добу

Запропонована вище методика аналітичного розрахунку фільтраційних втрат з каналів може бути ефективною при розгляді окремих частин магістрального русла і меліоративних систем, але у випадку широкої мережі магістральних і розподільних каналів доцільно використовувати більш точні чисельні методи. Створення так званих моделей для постійної експлуатації та рекультивації пошкоджених об'єктів є більш корисним, оскільки дозволяє розглядати прогнозування режимів ґрунтових вод в регіональній площині з урахуванням впливу великої кількості факторів на функціонування об'єктів, що розглядаються.

На даний час є кілька прикладів створення таких моделей меліоративних систем в Україні та за кордоном [166–172].

Щодо досліджуваного регіону (південь України), то ще цілий ряд меліоративних систем, а саме: Каховська, Краснонам'янської меліоративної

системи, які знаходяться на території Херсонської області, потребують повної відбудови у післявоєнний період.

Методи математичного моделювання при створенні постійно діючих моделей розглянутих об'єктів в майбутньому може розглядатися як найефективніший підхід для досліджень фільтрації та подальшого управління територіями.

### 2.2.3. Вибір схеми захисту в зоні впливу магістрального каналу від підтоплення території та забруднення підземних вод

Типовою для Інгулецької зрошувальної системи є розрахункова схема магістрального каналу, що проходить у виємці-насипу. Приканальна дрена розташована поблизу низового укосу та ефективність її впливу така, що крива депресії буде проходити нижче подошви укосу. В цьому випадку височування фільтраційного потоку на укос каналу та за його межами не буде спостерігатися. Умова існування такої схеми представлена формулою (2.22):

$$m_0 \approx \sqrt{\frac{h_1^2 (L_1'') + h_g^2 (L_1 - L_1'')}{L_1}}, \quad (2.22)$$

В приведеній формулі  $L_1 = L + \Phi_{обл} + \Phi_q - 0,5r$ ;  $L_1'' = L'' - 0,5r$ ;

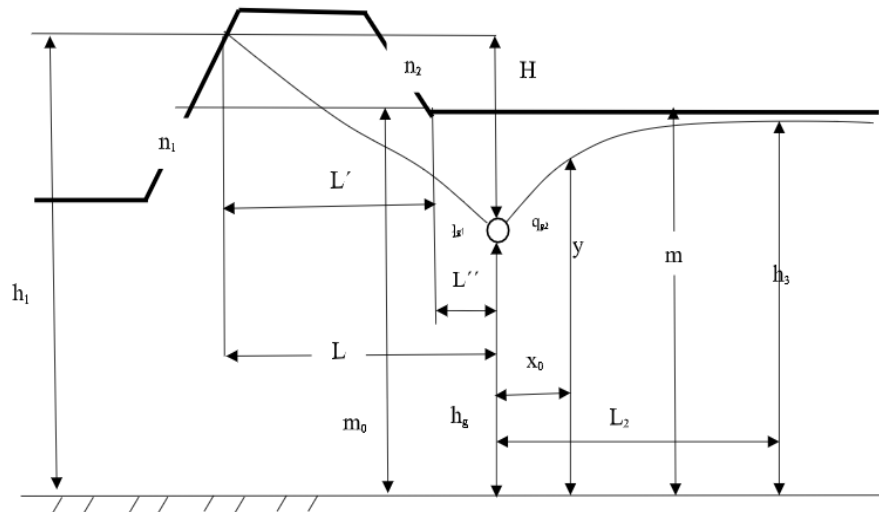
$r$  – робочий радіус дрени, м;

$\Phi_{обл}$  – фільтраційний опір облицювання, значення якого в залежності від його виду та товщини рекомендується приймати за методикою, викладеною в [140];

$\Phi_q$  – фільтраційний опір на недосконалість трубчастої дрени, визначається за формулою:

$$\Phi_q = 0,366m \lg \frac{h_g}{\pi r}, \quad (2.23)$$

Решту позначень наведено на рис. 2.1.



**Рис. 2.1** Розрахункова схема поперечного профілю Інгулецького каналу

Витрата води, що надходить в трубчастий дренаж з боку магістрального каналу, може бути визначена за формулами (2.24) і (2.25):

$$\frac{q_{g1}}{K} = \frac{h_1^2 - h_g^2}{2L} + \frac{h_g H}{L + \Phi_q}, \quad (2.24)$$

$$H = h_1 - h_g, \quad (2.25)$$

У випадку двох і трьохшарової будови водоносного горизонту, для визначення фільтраційного опору  $\Phi_q$  та осереднених фільтраційних характеристик водоносного горизонту можна скористатися методикою, що представлена в роботі [143].

Коли маємо погонні витрати в трубчастий дренаж з боку зрошувального масиву, то можна застосувати формулу (2.26):

$$\frac{q_{g2}}{K} = \frac{h_3^2 - h_g^2}{2L_2} + \frac{h_g (h_3 - h_g)}{L_2 + \Phi_q}, \quad (2.26)$$

Ординати кривої депресії  $Y$  в сторону зрошувальної системи визначаються за формулами [173]:

$$Y = h_g + \left[ \frac{1 - \alpha_1}{1 + \alpha_1} (h_1 - h_g) + \frac{1 + \left( \frac{\alpha_1}{\alpha_y} \right) q_2 x_0}{(1 + \alpha_1) T} \right], \quad (2.27)$$

де  $\alpha_1 = \frac{1}{1 + \frac{h_g}{L} A}$ ,  $\alpha_y = \frac{1}{1 + \frac{h_g}{x_0} A}$ ,  $T = km$ ,  $m = \frac{h_k + h_q}{2}$ ,  $A = 1,47 \frac{1}{\sin \frac{\pi d_y}{2h_g}}$

визначається із табл.2.4.

Таблиця 2.4

Визначення коефіцієнту  $A$  при розрахунку ординат кривої підпору на зрошувальному масиві

$d_g/h_g$	$A$	$d_g/h_g$	$A$	$d_g/h_g$	$A$	$d_g/h_g$	$A$	$d_g/h_g$	$A$
0,01	2,64	0,07	1,41	0,18	0,81	0,40	0,34	0,80	0,03
0,02	2,20	0,09	1,25	0,20	0,75	0,50	0,22	1,00	0,00
0,03	1,95	0,12	1,07	0,25	0,61	0,60	0,14		
0,04	1,76	0,14	0,97	0,30	0,5-	0,70	0,07		
0,05	1,62	0,16	0,89	0,35	0,41				

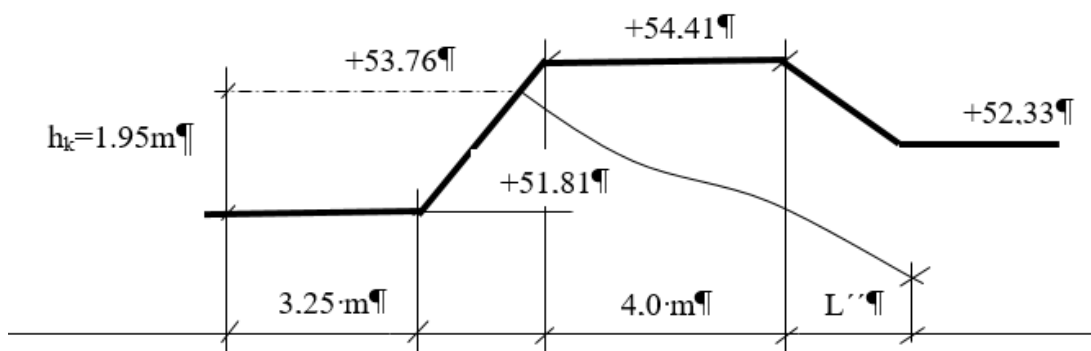
Використовуючи запропоновану методику, приведемо розрахунок параметрів фільтрації для типового перерізу Інгулецького магістрального каналу з перехоплюючим трубчатим дренажем, облаштування якого пропонується для перехвату фільтраційних втрат.

Коефіцієнт фільтрації фільтрації суглинків приймаємо 0,22 м/добу [174]. Результати розрахунків для двох видів облицювання (грунтове та грунтово-плівкове) та каналу без облицювання, що проходить у виємці-насіпу, представлено в таблиці 2.3. Для розрахунків приймалися наступні вихідні дані:  $h_1=10$ м,  $m=9,1$ м,  $L=32$ м,  $L''=20$ м,  $H_K=15$ м,  $n_1=n_2=1,5$ ,  $h_g=5,5$ м,  $r=0,25$ м.

Розрахунок фільтраційного стоку в трубчастий дренаж на погонний метр  
магістрального каналу Інгулецької зрошувальної системи для видів  
облицювання природними матеріалами

Вид облицювання	Коефіцієнт фільтрації облицювання, м/добу	Ефективність роботи облицювання	$\Phi_{\text{обл, м}}$	$\Phi_{\text{г}} + \Phi_{\text{обл, м}}$	Фільтраційний стік на 1 погонний метр в приканальну дренаж з боку магістрального каналу, м <sup>2</sup> /добу
1	2	3	4	5	6
Канал без облицювання	-	-	-	2,8	1,763
Грунтово-плівкове	$1 \cdot 10^{-8}$	0,85	92	94,8	0,274
Облицювання з місцевих матеріалів	$1 \cdot 10^{-6}$	0,46	40,7	43,5	0,347

Схема поперечного перерізу магістрального каналу Інгулецької зрошувальної системи представлена на рис. 2.2.



**Рис. 2.2** Схема поперечного перерізу магістрального каналу Інгулецької зрошувальної системи.

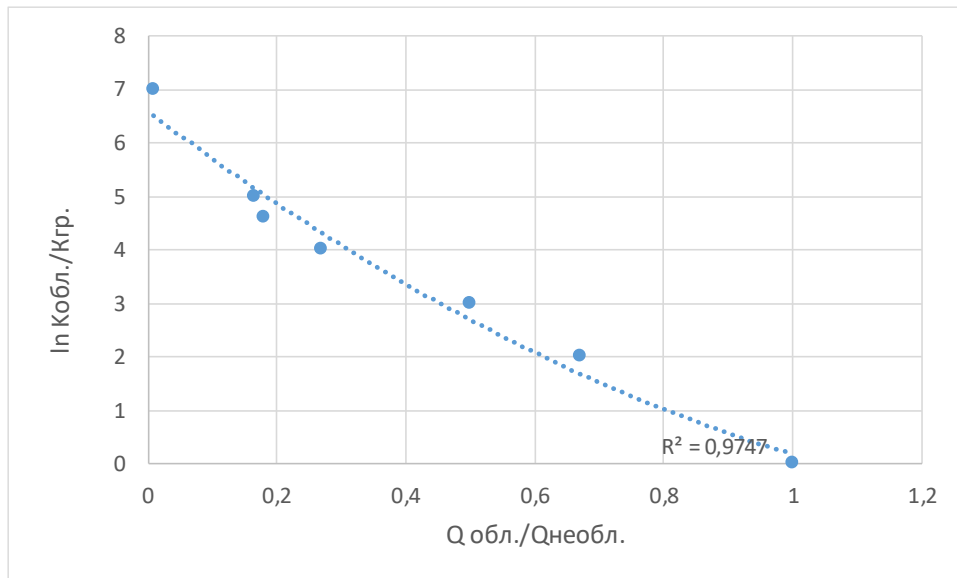
Враховуючі економічну доцільність при відновленні роботи зрошувальних

систем півдня України, застосування місцевих матеріалів при реконструкції протифільтраційних облицювань на наданий час є обґрунтованим. Але слід зазначити, що, безумовно, реконструкція відкритої дренажної мережі із застосуванням залізобетонних конструкцій та інноваційних методів облицювання значно знизить фільтраційні втрати по всій трасі каналу. Проте фактична втрата води Каховського водосховища різко скоротила водні ресурси для меліоративних систем півдня України і зумовила необхідність відновити розробку та впровадження технологій водного регулювання на продуктивних землях. Облаштування приканального дренажу дозволить мінімізувати фільтраційні втрати та повернути частину води для різних господарських потреб після відповідної водопідготовки.

Розрахункова величина питомих фільтраційних втрат з  $1 \text{ м}^2$  змоченої поверхні магістрального каналу складає від 0,116 до 0,08  $\text{м}^2/\text{добу}$ , що говорить про доцільність та правомірність даного підходу для оцінки та прогнозування фільтраційного притоку до приканального дренажу із застосуванням можливих варіантів захисту з природних глинистих матеріалів.

Ефективність застосування ґрунтового облицювання на пошкоджених ділянках можна визначити за графіком на рис. 2.3. Ефективність застосування різних типів сучасного облицювання можна брати за даними Посібника до ДБН В.2.4.-1-99 «Меліоративні системи та споруди» [140].

До руйнування Каховської ГЕС магістральний канал працював в режимі підпертої фільтрації, тому розрахункові значення втрат для побудови даного графіку було використано формулу (2.18) при різних значеннях фільтраційного опору облицювання, яке визначається співвідношенням коефіцієнтів фільтрації екрану і ґрунтової основи ( $\ln K_{\text{обл.}}/K_{\text{гр.}}$ ), коефіцієнту водопровідності  $3.5 \text{ м}^2/\text{добу}$ , інтенсивності випаровування  $400 \text{ мм/рік}$ , величини критичної глибини залягання ґрунтових вод  $3.5 \text{ м}$ , середньому коефіцієнту фільтрації для ґрунту траси каналу  $0.25 \text{ м/добу}$ .



**Рис. 2.3.** Ефективність застосування екрану з природних глинистих матеріалів на пошкоджених ділянках Інгулецького магістрального каналу.

При виборі для реконструкції ґрунтового облицювання слід враховувати такі фактори, як втрата протифільтраційної здатності ґрунтового екрану в часі внаслідок розущільнення, розмиву, пошкодження землерійними тваринами, корневою системою рослин та передбачати заходи, що перешкоджають/уповільнюють ці процеси.

При роботі екранів даного типу для споруд, що працюють з перемінним режимом рівнем води слід кріпити укosi іншим матеріалом або бетонним покриттям.

Також слід відмітити, що сорбційні властивості глинистих екранів по відношенню до різних забруднювачів, що є особливо важливим в умовах затоплення територій після прориву Каховської ГЕС, міграція яких в умовах взаємодії ґрунтових і поверхневих вод на зрошуваних землях і прилягаючих територіях вивчені на сьогодні ще недостатньо [175]. Тому, оцінка та прогнозування забруднення підземних горизонтів для наукового обґрунтування попереджувальних заходів, вимагає детальних експериментальних даних щодо властивостей конкретних місцевих матеріалів, що пропонуються до застосування в якості протифільтраційних захисних споруд.

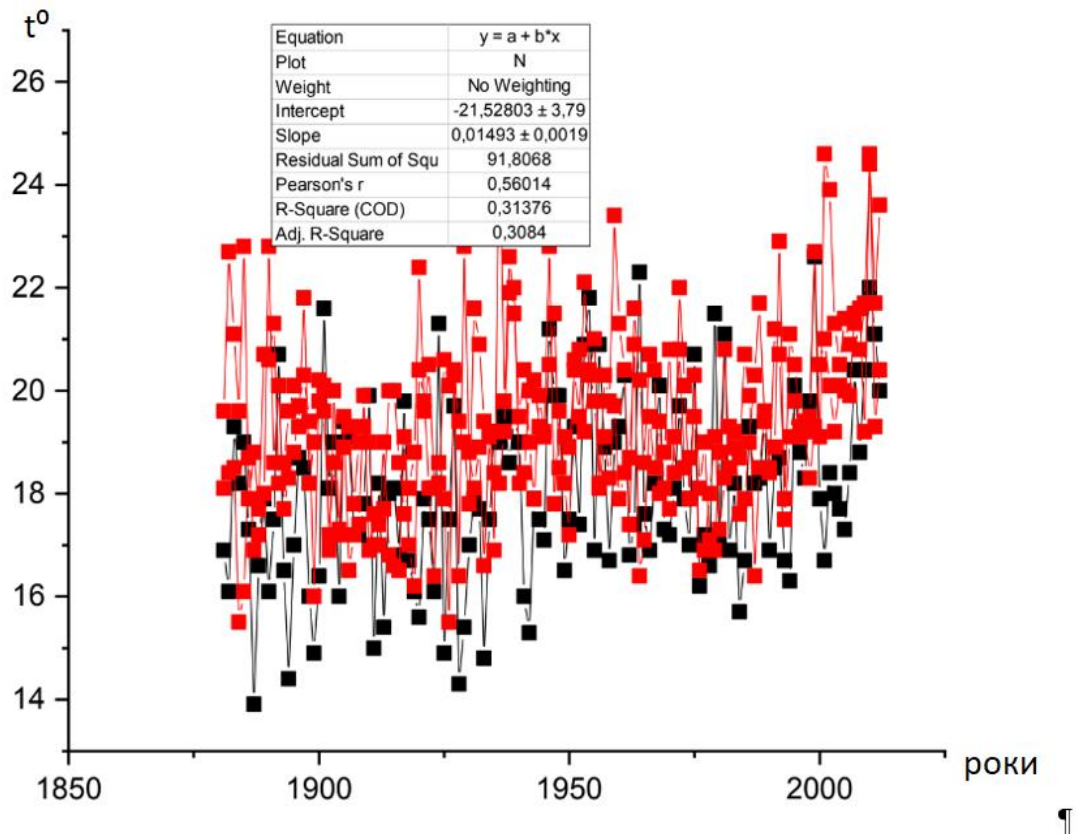


### **2.3. Відновлення зрошувальних систем півдня України з врахуванням кліматичних змін**

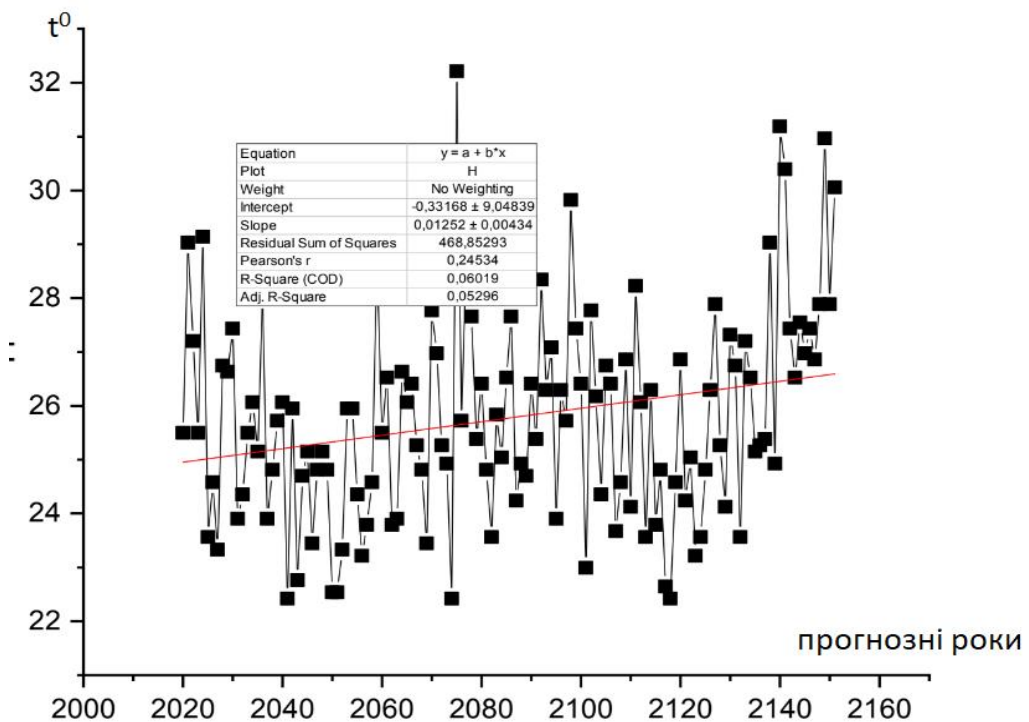
Сучасним питанням, що наразі є дуже актуальним та неодноразово привертало увагу дослідників цього регіону, є використання дренажного стоку як додаткового джерела живлення [176–185]. Після екологічної катастрофи, спричиненої російськими окупантами, в майбутньому в даному регіоні очікується зростання дефіциту водних ресурсів з врахуванням глобальних кліматичних змін [186]. В подальшому, враховуючи ці умови, дренажний стік із дренажних систем можна розглядати як джерело додаткового водопостачання після відповідної водопідготовки не тільки для зрошення, а і для інших потреб господарської діяльності.

Роботи з відновлення екосистеми на півдні нашої країни будуть мати довгостроковий характер, оскільки передбачити всі наслідки цієї катастрофи практично неможливо. На нашу думку, чітке науково-технологічне обґрунтування всіх заходів щодо нового будівництва, реконструкції та створення нової мережі магістральних і зрошувальних каналів, систем водопостачання та регулювання використання водних ресурсів має бути із залученням сучасних підходів. основою всіх відновлювальних робіт з ліквідації наслідків руйнування Каховської ГЕС є прийняття оптимальних рішень щодо управління майбутньою екосистемою цього регіону.

Що стосується глобальних кліматичних проблем даного регіону, то тут слід сказати про можливість прогнозного погіршення якості водних ресурсів на фоні підвищення температурних показників поверхневих вод [186]. За допомогою програмного продукту OriginPro8 автором був зроблений аналіз змін температурних показників на території півдня України протягом періоду 1881–2020 років і отримана залежність прогнозних даних середньорічної температури атмосферного повітря на період до 2160 року, а також зміни температурних показників води в Каховському водосховищі до підриву греблі Каховської ГЕС (рис. 2.4 і рис. 2.5).



**Рис. 2.4.** Залежність середньомісячних температурних змін приземного повітря на території України в літні місяці в розрізі 1881–2020 років



**Рис. 2.5.** Моделювання прогнозних температур Каховського водосховища в розрізі глобальних температурних змін до 2160 року.

На основі проведених досліджень щодо моделювання прогнозних характеристик температурного режиму в розрізі багаторічних кліматичних змін доведено про необхідність враховувати зміни температурних показників, як таких, що впливають на якість поверхневих вод в містах водозаборів різного призначення.

## **Висновки до Розділу 2**

1. Оцінка впливу надзвичайної ситуації на кількісний та якісний стан водних ресурсів на певній території для прийняття управлінських рішень щодо захисту та відновлення прийняттого стану водних ресурсів в майбутньому, потребує моделювання фільтраційного підпору водоносних горизонтів на постраждалих територіях та міграційних шляхів попадання забруднень в підземні води.

2. Дослідження останніх років довготривалої експлуатації каналів та проходження воєнних дій на території призвели до того, що на більшості магістральних каналів практично відсутнє протифільтраційне облицювання внаслідок його руйнування. Виходячи з цього на попередніх етапах проектно-вишукувальних робіт щодо реконструкції меліоративних систем та прогнозуванні впливу фільтрації з каналів на прилягаючі території та міграції забруднень в підземні води слід передбачити обов'язкові роботи по їх облицюванню із використанням сучасних протифільтраційних матеріалів.

3. Розрахункова величина питомих фільтраційних втрат з 1 м<sup>2</sup> змоченої поверхні магістрального каналу Інгулецької зрошувальної системискладає від 0,116 до 0,08 м<sup>2</sup>/добу, що говорить про правомірність пропонованого підходу до розрахунку фільтраційного притоку до приканальної дрени каналу із застосуванням можливих варіантів захисту з природних місцевих матеріалів.

4. Дефіцит водних ресурсів регіону потребує їх ощадливого використання, тому актуальним на часі є питання використання дренажних вод для різних потреб після відповідної водопідготовки

5. На основі проведених досліджень щодо моделювання прогнозних

характеристик температурного режиму в розрізі багаторічних кліматичних змін доведено про необхідність враховувати зміни температурних показників, як таких, що впливають на якість поверхневих вод в містах водозаборів різного призначення.

Основні положення розділу 2 опубліковані автором у наукових працях [2,5,6,7,8]. Список використаних джерел у розділі 1 наведено у загальному списку використаних джерел [99–186].

## РОЗДІЛ 3

# ОЦІНКА СОРБЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИРОДНИХ ГЛИНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПРОТИФІЛЬТРАЦІЙНОГО ЗАХИСТУ МАГІСТРАЛЬНИХ КАНАЛІВ НА ПРИКЛАДІ ІОНІВ МІДІ

### 3.1. Матеріали досліджень

Відомо, що природні глинисті матеріали мають сорбційні властивості і використовуються в якості протифільтраційних екранів у різних спорудах (хвостосховищах, накопичувачах різного роду, сміттєзвалищах, каналах тощо) з метою запобігання попадання забруднень у водне середовище. Ефективність процесів сорбції в природних глинах залежить від швидкості їх насичення важкими металами та вивчалася рядом авторів [186–190 та ін.]. Даними дослідженнями встановлено, що більша ефективність використання таких природних матеріалів відбувається при низькому рівні мінералізації води. В роботі [191] розглядається використання природних матеріалів з метою санації водних об'єктів на прикладі річок Рівненської області.

В попередніх дослідженнях автора було висунута гіпотеза про можливість захисту магістральних каналів з пошкодженням облицюванням в перші роки експлуатації на деокупованих територіях за допомогою місцевих глинистих матеріалів. Для підтвердження даної гіпотези та оцінки сорбційної здатності глин були проведені експериментальні дослідження на сертифікованому лабораторному обладнанні кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці КНУБА.

Як зазначено, в попередніх розділах роботи, Інгулецька зрошувальна система, а це майже 60 % від загальної кількості зрошувальних земель Миколаївщини, живиться з річки Інгулець. Від якості її води залежать понад 114 тис. сільськогосподарських угідь. Сучасний стан якості річкової води вимагає застосування необхідних дій для захисту підземних вод від забруднення внаслідок фільтрації з магістрального каналу в підземні горизонти [192–196].

Метою даного розділу було проведення лабораторних досліджень з метою

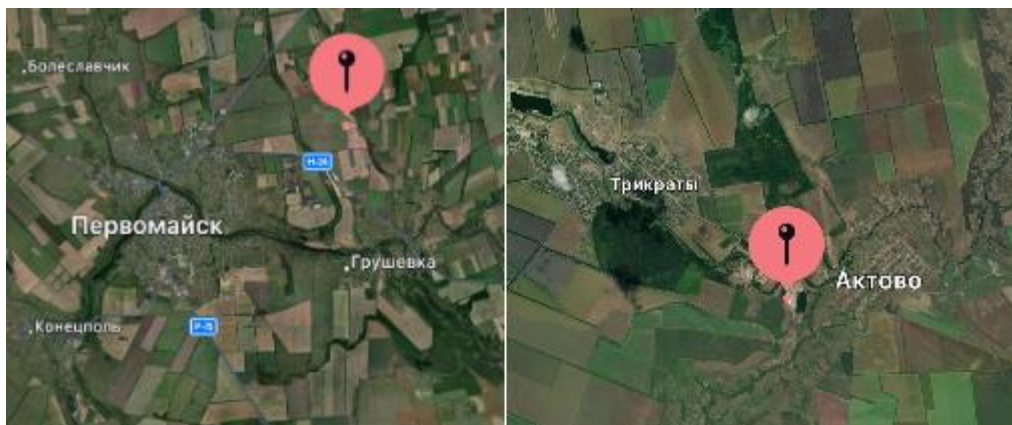
виявлення сорбційних властивостей природних глинистих матеріалів для подальшого їх використання в якості протифільтраційного покриття магістральних відкритих каналів меліоративних систем Півдня України. Застосування місцевих природних матеріалів при відновленні зрошувальних систем з метою часткового видалення забруднень важкими металами із дренажних вод з метою їх подальшого використання для потреб інших водоспоживачів в регіоні.

Використання природних глинистих покладів обґрунтовано їх поширеністю у тих регіонах України, які потребують відновлення зрошувальних систем та захисту магістральних каналів від великих фільтраційних втрат та їх сорбційними властивостями. Основні фізико-хімічні властивості глин та можливість їх застосування досить детально описано в роботах [187–192]. Разом з тим, водоочисні властивості різних видів глин досліджувались обмежено в роботах [202–211], тому даний напрямок досліджень має значні наукові та прикладні перспективи.

Для досліджень було взято проби матеріалу з двох родовищ Миколаївської області Першотравневого та Актове, а також для порівняння сорбційних властивостей - червона глина з Канівського району Черкаської області.

Місця відбору проб в Миколаївській області для проведення лабораторних досліджень мають координати 48.0672884, 30.9321554 – Першотравневе, та 47.7017994, 31.4392297 Актово відповідно, що представлено на рис. 3.1.

Видобуток глини на родовищі Першотравневе почався з 2007 року, коли було знайдено пласт під каоліном. Вид глини з родовища «Білі скелі» свого часу був дуже цінний на міжнародних ринках. Через падіння попиту на цей вид глини та політики держави, розробки глиняних копалень так і не набули значних масштабів. На основі видобутої глини на «Білих скелях» виробляли побілку для стін, яку використовують на території всієї України. Роботи з видобутку глини на даний час на цьому родовищі припинилися, оскільки, потреба у великій кількості даного виду глини відпала.



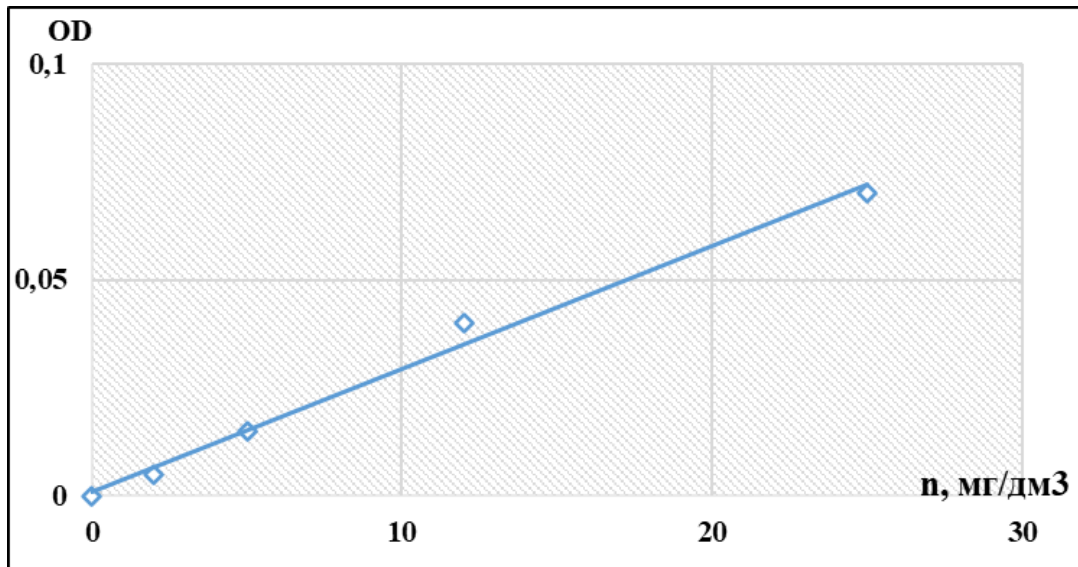
**Рис. 3.1.** Місця відбору проб в Миколаївській області для проведення лабораторних досліджень.

Експериментальні дослідження вилучення іонів важких металів на прикладі іонів міді проводилися згідно методики ДСТУ 7525 2014 на ліцензійному обладнанні при використанні отриманого колібрувального графіку. Для проведення експерименту було використано фотоелектроколориметр КФК-2, зовнішній вигляд якого представлено на рис. 3.2.

Акт колібрування прибору представлено в додатку А. Колібрувальний графік представлено на рис. 3.3. По осі абсцис представлено оптична щільність міді ( $D$ ), ординат – її концентрація ( $\text{мг/дм}^3$ ).



**Рис. 3.2.** Фотоелектроколориметр КФК-2



**Рис.3.3.** Колібрувальний графік залежності оптичної щільності іонів міді від концентрації (мг/дм<sup>3</sup>)

Методика експерименту по іонам міді встановлює колориметричні методи визначення масової концентрації міді від 0,02 до 0,5 мг/дм<sup>3</sup> з реактивом діетилдітіокарбамату.



**Рис. 3.4.** Вигляд зразків глинистого матеріалу з різних родовищ

### 3.2. Методика проведення експерименту

Для проведення експерименту були використані наступні апаратура, матеріали та реактиви: фотоелектроколориметр КФК-2; кювет із товщиною



шару 50 мм; посуд мірний лабораторний скляний (піпетки мірні 1–2 см<sup>3</sup> з розподілом 0,01 см<sup>3</sup> і 5 см<sup>3</sup> з поділками 0,1 см<sup>3</sup>); циліндри колориметричні скляні з відміткою на 50 см<sup>3</sup>; циліндри мірні місткістю 10 см<sup>3</sup>; склянки скляні лабораторні; - крапельниці скляні лабораторні; аміак водний 25 % розчин; калій-натрій виннокислий; мідь сірчаноокисла згідно ГОСТ 4165; N-діетилдітіокарбамат; кислота соляна; кислота сірчана; крахмал розчинний, 25 % розчин; амоній надсірчаноокислий.

Приготування основного стандартного розчину сірчаноокислої міді відбувалося відповідно до методики: 0,393 г сірчаноокислої міді  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  розчиняли в мірній колбі місткістю 1 дм<sup>3</sup> в невеликій кількості дистильованої води, яка підкислена 1 см<sup>3</sup> сірчаної кислоти, що розбавлена 1:5. Об'єм розчину доводили до відмітки дистильованою водою. 1 см<sup>3</sup> розчину містить 0,1 мг  $\text{Cu}^{2+}$ .

При об'ємі досліджуваної води 50 см<sup>3</sup> мідь визначається в концентрації від 0,02 до 0,5 мг/дм<sup>3</sup>.

В колориметричний циліндр з відміткою 50 см<sup>3</sup> відміряли 50 см<sup>3</sup> розчину, послідовно додаючи 1 см<sup>3</sup> розчину сегнетової солі, 5 см<sup>3</sup> розчину аміаку, 1 см<sup>3</sup> розчину крахмалу і 5 см<sup>3</sup> розчину діетилдітіокарбамату натрію. Інтенсивність отриманого забарвлення вимірювалося візуально та фотометрично з використанням шкали стандартних розчинів. У випадку значення кольоровості більше 20°, воду знебарвлювали надсерчаноокислим амонієм.

Для побудови градуовального графіку, що представлено на рис. 3.3. використовували оптичні щільності забарвлених стандартних розчинів.

На рис. 3.5. представлений загальний вигляд дослідних зразків, які підготовлені для проведення дослідів.

Результати експериментальних досліджень для каолінів з трьох глиняних родовищ були отримані в колонках внутрішнього діаметру 50 мм. При проведенні експерименту не враховувалися величини внутрішнього тертя, виходячи з того, що вони мають несуттєвий вплив на швидкість фільтрації.

Об'єм завантаження каоліну в кожену колонку 294,38 см<sup>3</sup>. Об'єм рідкої фази становив 412,12 см<sup>3</sup>.



**Рис. 3.5.** Експериментальні колонки з глинистими зразками перед проведенням дослідю

### 3.3. Результати екпериментальних досліджень

Масову концентрацію міді в процесі проведення експерименту підраховують за формулою:

$$X = C - 50/V \quad (3.1)$$

Де  $C$  – концентрація міді, що знаходилася за градувальним графіком та за шкалою стандартних розчинів, мг/дм<sup>3</sup>;

$V$  – об'єм проби, що взято для визначення, см<sup>3</sup>.

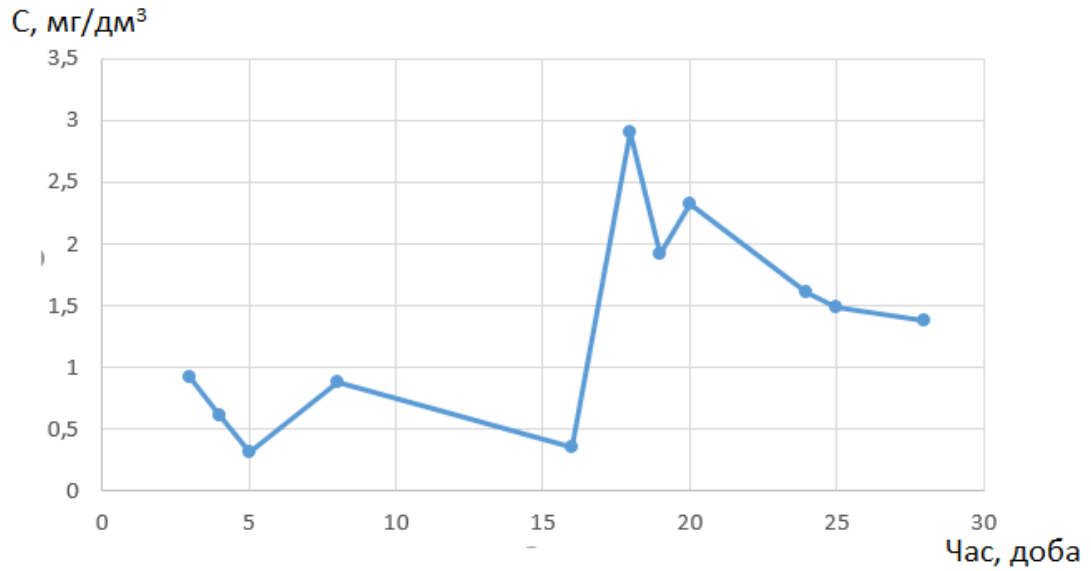
За остаточний результат аналізу приймалося середнесарифметичне значення двох паралельних визначень, розбіжність між якими не більше 25 %.

Розходження результатів робилося за здійснювалося за стандартною процедурою.

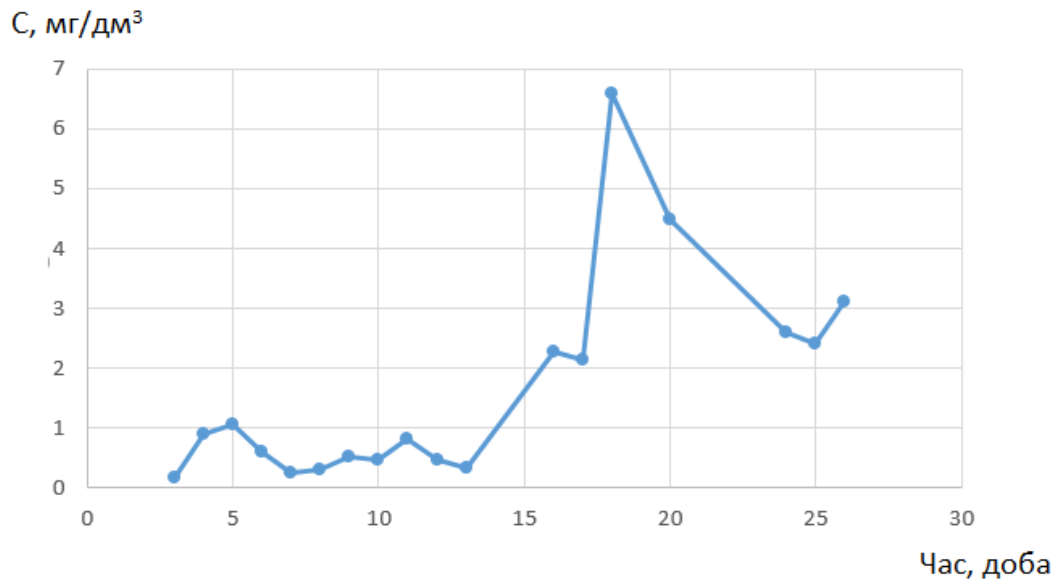
Підрахований усереднений коефіцієнт фільтрації в кожній колонці

$1,85 \cdot 10^{-6}$  м/с (Першотравневе, Миколаївської області),  $0,8 \cdot 10^{-6}$  м/с (Актове, Миколаївської області),  $0,4 \cdot 10^{-5}$  м/с (Яблунівка, Черкаської області).

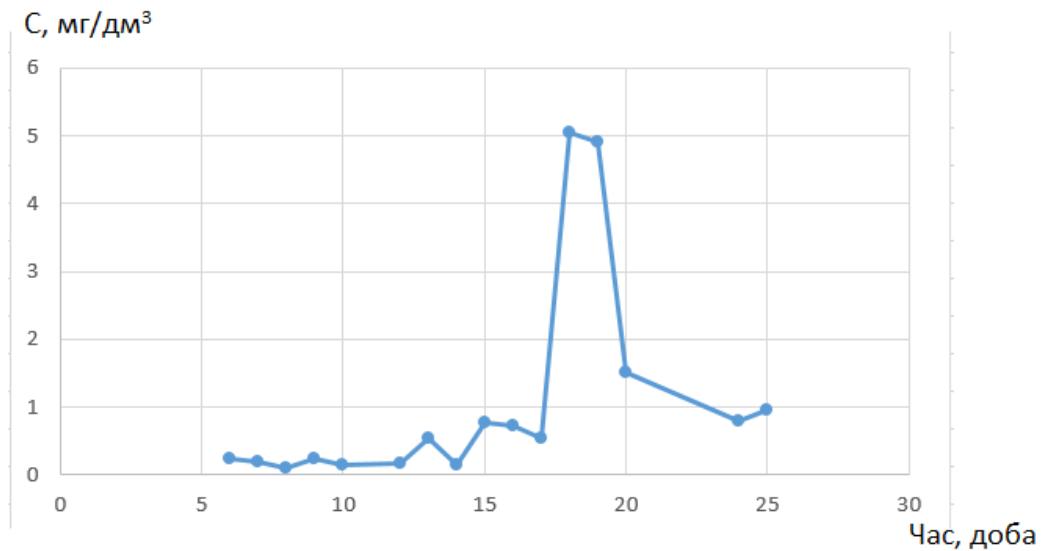
Результаті проведеного експерименту для трьох зразків природного глинистого матеріалу представлено на рис. 3.6.



А)



В)



С)

**Рис.3.6.** Експериментальні залежності концентрації іонів міді в розчині в залежності від часу фільтрації для зразків глин: А) – Першотравневе родовище Миколаївської області; В) – Родовище «Білі скелі» Миколаївської області; С) – Канівський район Черкаської області.

В результаті проведення експерименту до сімнадцятої доби моделювалися умови краплинної фільтрації, з 17 доби відбувалося моделювання умов підпертої фільтрації. Значення  $\text{Cu}^{2+}$  в вихідному розчині становило  $5,8 \text{ мг/дм}^3$ . Моделювання здійснювалося для двох умов фільтрації з каналу – крапельної на рівень ґрунтових вод та підпертої – після підняття рівня ґрунтових вод до русла каналу, розтікання бугра ґрунтових вод та утворення суцільного потоку фільтрації. Крапельна фільтрація має місце при умовах початкової фільтрації після відновлення магістрального каналу та облаштування облицювання з глинистого матеріалу. Досвід попередньої експлуатації меліоративних систем Півдня України свідчить про переважання умов підпертої фільтрації для зрошувальних масивів.

Аналізуючи отримані залежності, що представлені на графіках рис. 3.6 можна констатувати наступне:

- для природних глинистих матеріалів з трьох родовищ, які досліджувалися, виявлено, що всі зразки мають сорбційні здібності та характер

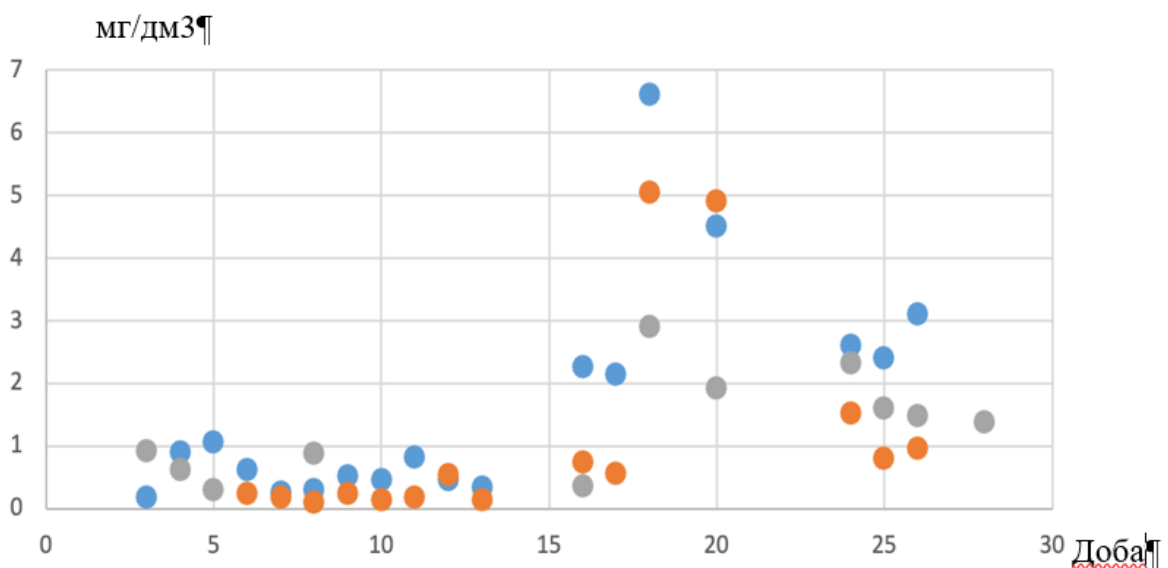
зміни концентрації іонів на виході однаковий при умові початкової концентрації  $\text{Cu}^{2+}$  в розчині  $5,8\text{мг/дм}^3$ ;

- для родовища Першотравневе значення рівноважної концентрації на виході для дослідного зразка при капельній фільтрації тут становило  $0,45\text{ мг/дм}^3$ , в умовах підпертої фільтрації –  $1,55\text{ мг/дм}^3$ ;

- сорбційна здатність у глин з родовища Актове (Білі скелі) виявилася найменшою і рівноважна концентрація на виході для дослідного зразка становила  $0,52\text{мг/дм}^3$  для умов краплинної фільтрації і  $3,2\text{ мг/дм}^3$  для умов підпертої фільтрації;

- рівноважна концентрація на виході для дослідного зразка з Черкаської області становила  $0,38\text{мг/дм}^3$  для умов краплинної фільтрації і  $1,2\text{ мг/дм}^3$  для умов підпертої фільтрації відповідно;

- найбільшу сорбційну здатність в рівноважних умовах фільтрації виявлено для червоних глин (Яблунівка Черкаської області), тоді як два інших зразка були представлені білою глиною (рис. 3.7.) (Додаток В)



**Рис. 3.7** Зведені дані концентрацій  $\text{Cu}^{2+}$  при фільтрації через дослідні зразки в залежності від часу (добы) та для умов крапельної та підпертої фільтрації:

маркери ● – родовище Актове Миколаївської області, маркер ● - Канівський район Черкаської області, ● – родовище Першотравневе Миколаївської області.

Адсорбцію зразків обчислювали за формулою:

$$q_e = (C_0 - C)V/m \quad (3.2.)$$

де  $q_e$  – величина адсорбції, моль/г;

$C_0$  – початкова концентрація до адсорбції, моль/дм<sup>3</sup>;

$C$  – рівноважна концентрація після адсорбції, моль/дм<sup>3</sup> ;

$V$  – об'єм розчину, дм<sup>3</sup>;

$m$  – маса глини, г.

Результати розрахунків представлені в таблиці для рівноважних концентрацій в двох режимах фільтрації представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Значення адсорбції зразків природних глинистих матеріалів

Родовище	Рівноважна концентрація в період краплинної фільтрації, моль/дм <sup>3</sup>	Рівноважна концентрація підпертої стадії фільтрації, моль/дм <sup>3</sup>	Адсорбція зразка (краплинна фільтрація), моль/г	Адсорбція зразка (підперта фільтрація), моль/г
Першотравневе Миколаївська область (біла глина)	0.00708	0.02439	$6.29 \cdot 10^{-5}$	$3.87 \cdot 10^{-5}$
Актове Миколаївська область (біла глина)	0.00818	0.05035	$6,19 \cdot 10^{-5}$	$3.07 \cdot 10^{-5}$
Яблунівка Канівський район Черкаської області (червона глина)	0.00598	0.0188	$6.70 \cdot 10^{-5}$	$5.7 \cdot 10^{-5}$

Дані таблиці свідчать про те, що червоні глини мають більшу адсорбційну здатність до іонів міді.

### 3.4. Моделювання в рамках теоретичної моделі ізотерм адсорбції

#### Фрейндліха

Процес адсорбційного вилучення розчиненої речовини з розчину твердим адсорбентом залежить від характеристики рівноважного розподілу речовини між двома фазами. Під поняттям стану адсорбційної рівноваги розуміють такий стан, коли кількість адсорбованої поглиначем речовини, дорівнює кількості десорбованої, коли рівноважна концентрація розчину залишається сталою. Рівноважну ізотерму адсорбції можна отримати шляхом побудови графічної залежності рівноважної концентрації речовини у твердій фазі від її рівноважної концентрації у розчині [212]. Теорії адсорбційної рівноваги викладені в багатьох дослідженнях. Так, в роботі [213] представлена теорія ізотерми Ленгмюра, яка передбачає досягнення стану рівноваги, після якого вважається, що подальше поглинання унеможлиблюється, а процес сорбції протікає на однорідних ділянках поверхні адсорбенту.

Рівняння Ленгмюра при цьому має вигляд:

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (3.3)$$

де  $K_L$  — константа ізотерми Ленгмюра, яка характеризує спорідненість адсорбента та адсорбата,  $\text{дм}^3/\text{мг}$ ;

$q_m$  — максимальна сорбційна ємність,  $\text{мг}/\text{г}$  сорбента;

$C_e$  і  $q_e$  — рівноважні концентрації компонента у рідкій та твердій фазах відповідно.

Ізотерма Фрейндліха допускає протікання нескінченного процесу адсорбції [214], її можна також використовувати для опису неоднорідних систем [215, 216].

Вираз Фрейндліха описується рівнянням (3.4), яке є експоненціальним:

$$q_e = K_F C_e^{1/n_f} \quad (3.4)$$

В даному рівнянні  $K_F$  — константа ізотерми Фрейндліха, для характеристики адсорбційної ємності, мг/г сорбенту,  $n_f$  — коефіцієнт гетерогенності.

Формула (3.4) є емпіричною і  $q_e$  дорівнює кількості адсорбованої речовини.

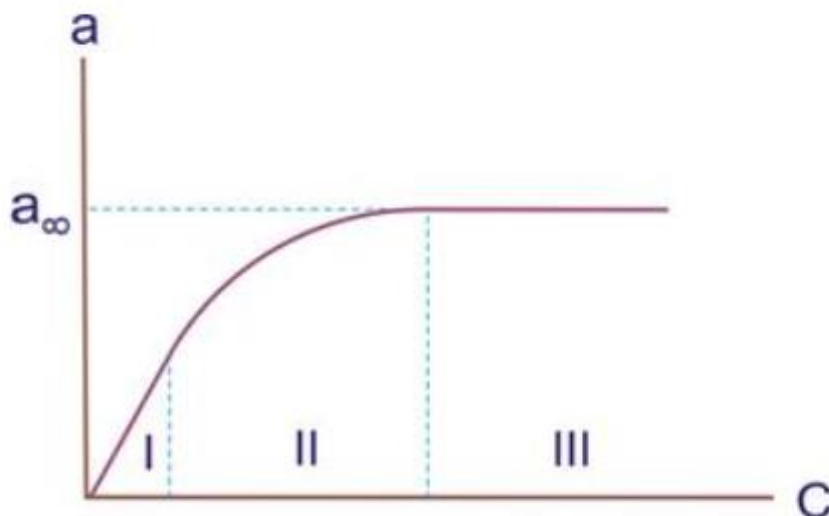
Як і рівняння Ленгмюра, рівняння Фрейндліха добре узгоджується в діапазоні невисоких концентрацій, але не зводиться до лінійної ізотерми (закон Генрі) при низькому насиченні поверхні адсорбату.

Трипараметричне емпіричне рівняння, яке може бути використано для опису адсорбційної рівноваги в широкому діапазоні концентрацій запропонували Редліх і Петерсон [217, 218]. Дана модель є комбінацією двох моделей та може застосовуватися для однорідних та неоднорідних систем.

$$q_e = \frac{K_{RP} C_e}{1 + \alpha_{RP} C_e^\beta} \quad (3.5)$$

При низьких концентраціях адсорбату на поверхні рівняння (3.5) зводиться до лінійної ізотерми, при високих концентраціях адсорбату до ізотерми Фрейндліха і до ізотерми Ленгмюра при  $\beta = 1$

Вигляд звичайної ізотерми наведений на рис. 3.8. [33, 34]



**Рис.3.8.** Типовий вигляд ізотерми адсорбції [219, 220], на графіку  $a = q_e$



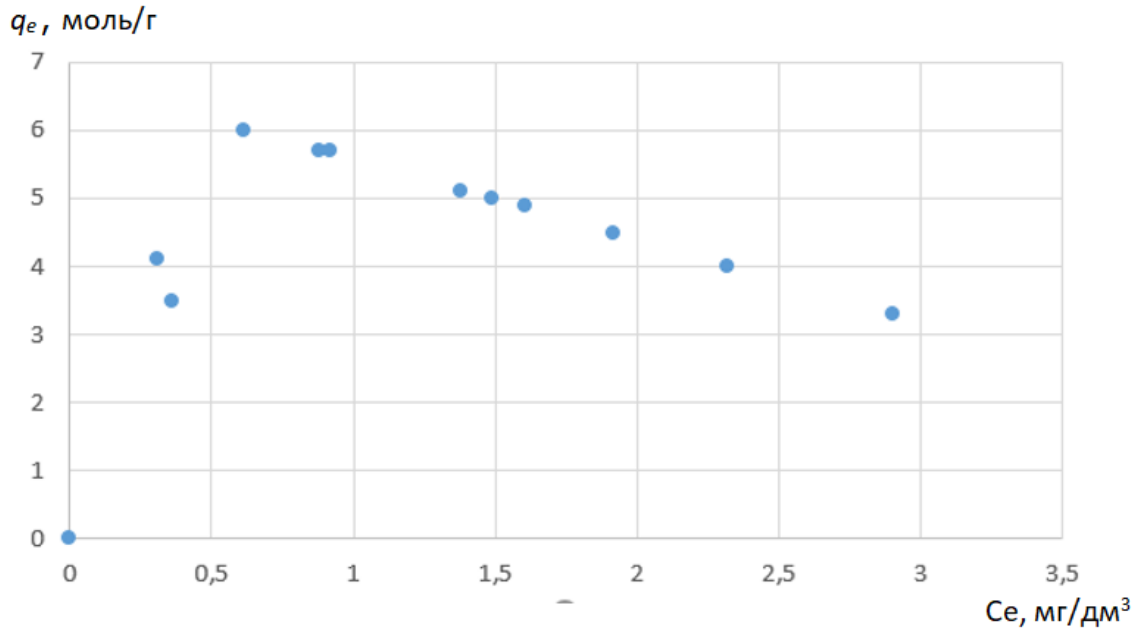
Типовий вигляд ізотерми адсорбції в першій області для невеликих концентрацій є лінійною ділянкою. В цій області виконується закон Генрі, а саме:  $a = K \times C$ , де  $K$  – константа Генрі, яка є незалежною від концентрації  $C$ . В цій області (I) поверхня адсорбенту по більшій частині вільна. Середня ділянка (II) представленої ізотерми відповідає проміжним ступеням заповнення поверхні адсорбенту. Ділянка III відповідає поверхні адсорбенту, яка повністю насичена адсорбатом.

Проведений аналіз показав, то найбільш відповідною для нашого експерименту для опису ізотерми адсорбції є формула Фрейндліха [221]. Константи  $K_F$  і  $1/n_f$  в рівнянні Фрейндліха легко визначити графічним методом за ізотермою, що побудована в логарифмічних координатах:

$$\ln q_e = \ln K_F + 1/n_f \ln C \quad (3.6)$$

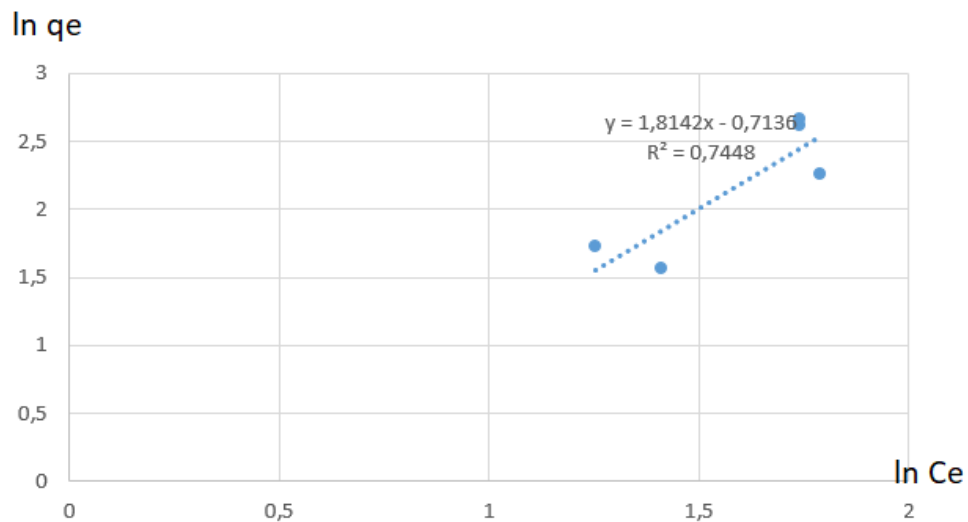
Тангенс кута нахилу даної прямої дорівнює  $1/n_f$ , а відрізок, що відсікається прямою на осі ординат, дорівнює  $\ln K_F$ . Значення константи  $K_F$  зазвичай знаходиться в широких межах. Показник  $1/n_f$  перебуває у межах 0,1–0,5 для адсорбції з розчинів. Тому рівняння Фрейндліха придатне лише для концентрацій, менших за 0,5 моль/л.

Будуємо ізотерму адсорбції в звичайному та логарифмічному вигляді для зразка глини Першотравневого родовища для двох стадій фільтрації окремо, крапельній та підпертої (рис. 3.9, 3.10 і рис. 3.11 відповідно). Ізотерму адсорбції в звичайному вигляді будуємо в координатах  $q_e$ , моль/г, по осі ординат та по осі абсцис – значення залишкової концентрації іонів міді  $C_e$  в розчині після адсорбції, мг/дм<sup>3</sup>

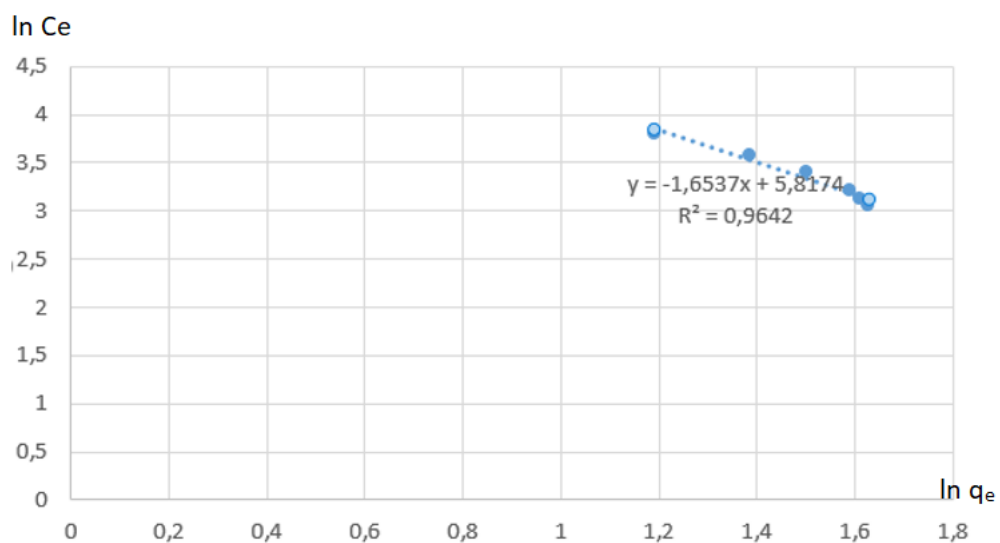


**Рис.3.9.** Ізотерма адсорбції в звичайному вигляді в координатах  $q_e$ , мг/г, по осі ординат та по осі абсцис – значення залишкової концентрації іонів міді  $C_e$  в розчині після адсорбції, мг/дм<sup>3</sup>.

Але враховуючи, що на рис. 3.9. представлена ізотерма для двох стадій фільтрації, вона має складний вигляд, а саме: на першій ділянці, що характеризує крапельну фільтрацію на початковій стадії вона близька до лінійної прямої, далі спостерігаємо деякий перегин на якому відбувається після якого адсорбційне значення відповідає проміжним ступеням заповнення поверхні адсорбенту. І, нарешті, на представленій ізотермі можна спостерігати режим, коли поверхня адсорбенту повністю насичена адсорбатом. Після переведу дослідних зразків в режим підпертої фільтрації відбувається на фоні збільшення коефіцієнтів фільтрації дослідних зразків деяке падіння їх адсорбційної здатності та встановлення через деякий час значення рівноважної концентрації іонів міді в профільтованому розчині, значення якої на 35 % більше, ніж при стадії крапельної фільтрації. Значення рівноважних концентрацій іонів міді для двох стадій фільтрації в табл. 3.1.



**Рис. 3.10.** Логарифмічний вигляд для зразка глини Першотравневого родовища Миколаївської області для стадії крапельної фільтрації.

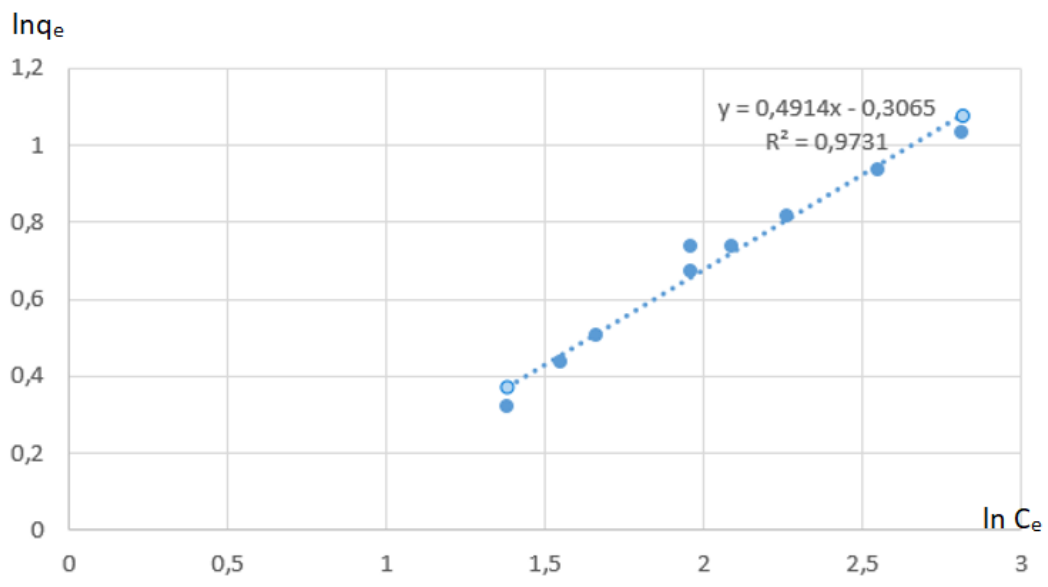


**Рис. 3.11.** Логарифмічний вигляд для зразка глини Першотравневого родовища Миколаївської області для стадії підпертої фільтрації

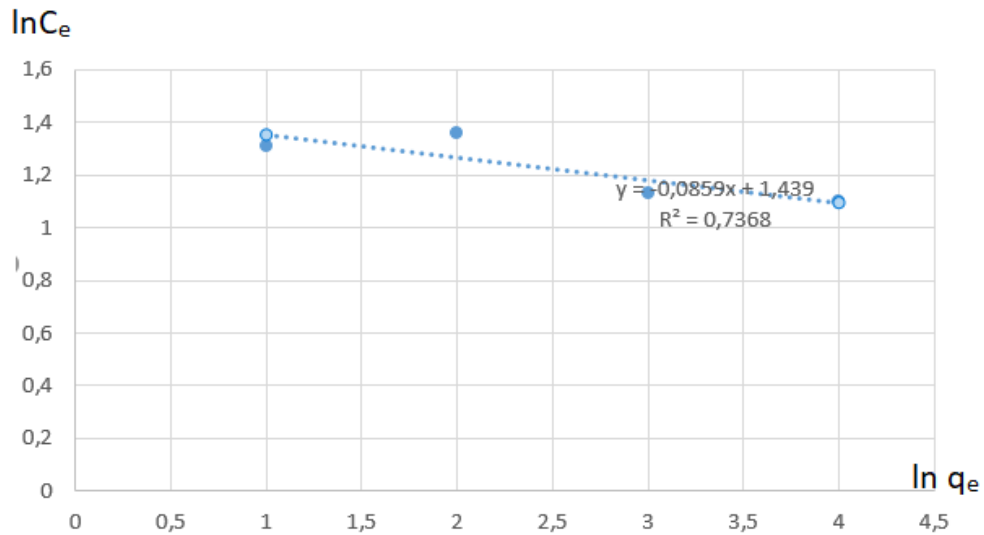
Адсорбційні постійні коефіцієнти  $K_F$  і  $1/n_f$  визначаємо наступним чином:  $\ln K_F$  – відрізок, що відсікається на осі  $\ln q_e$  та враховуючи вигляд ізотерми адсорбції на рис. 3.10 він дорівнює  $0,43 \cdot 10^{-5}$ ,  $1/n_f$  – тангенс кута нахилу прямої, що  $\text{tg } \beta = 0,5$

На рис. 3.11. адсорбційні постійні коефіцієнти  $K_F$  і  $1/n_f$  характеризують стадію підпертої фільтрації і вони дорівнюють:  $K_F = 3,6 \cdot 10^{-5}$ ,  $1/n_f$  – тангенс кута нахилу прямої,  $\text{tg } \beta = 0,66$

На рис. 3.12, і рис. 3.13 представлені ізотерми адсорбції глинистих зразків з родовища Актове (Білі скелі) в логарифмічному вигляді для стадій крапельної та підпертої фільтрації відповідно. Ізотерма адсорбції в звичайному вигляді по характеру відповідає ізотермі, що була побудована для родовища Першотравневе Миколаївської області. Адсорбційні постійні коефіцієнти, які були отримані при побудові ізотерми в логарифмічному вигляді для другого зразка дорівнюють відповідно:  $K_F = 0,61 \cdot 10^{-5}$ ,  $1/n_f = 0,41$  для стадії крапельної фільтрації і  $K_F = 15,9 \cdot 10^{-5}$ ,  $1/n_f = 10$  – для підпертої відповідно.

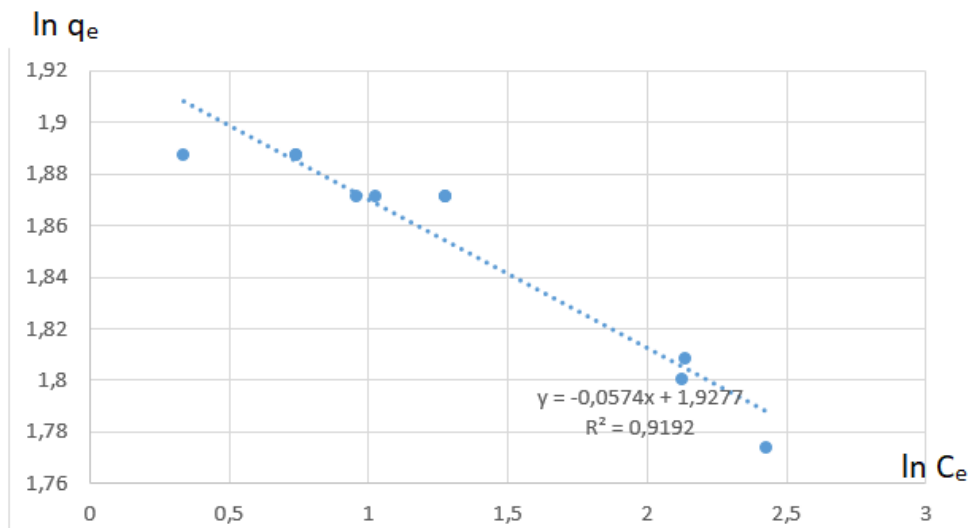


**Рис. 3.12.** Ізотерма адсорбції глинистих зразків з родовища Актове (Білі скелі) Миколаївської області в логарифмічному вигляді для стадії крапельної фільтрації

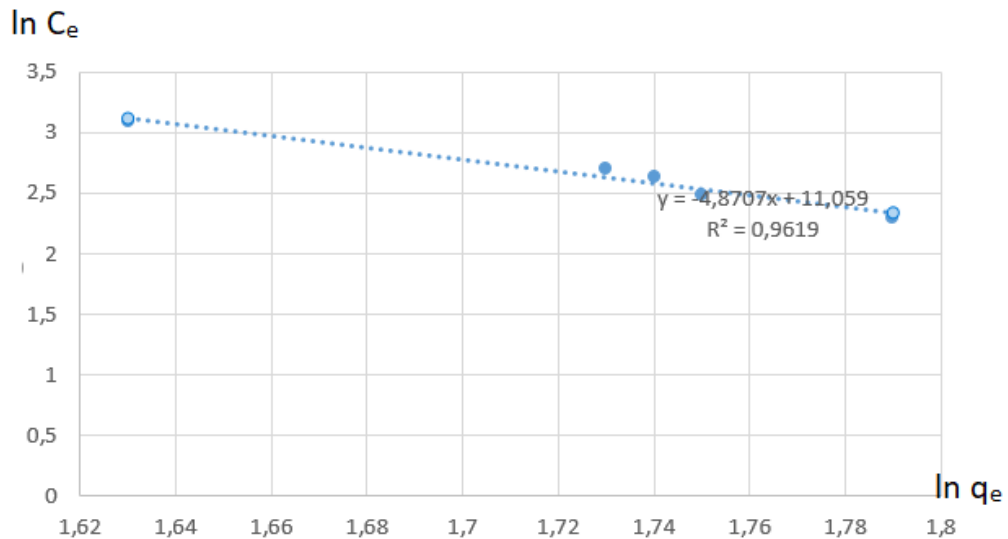


**Рис. 3.13** Ізотерма адсорбції глинистих зразків з родовища Актове (Білі скелі) Миколаївської області в логарифмічному вигляді для стадії підпертої фільтрації

На рис. 3.14 представлена ізотерма адсорбції глинистого зразка з Канівського району Черкаської області в логарифмічному вигляді в умовах крапельної фільтрації. Постійні коефіцієнти адсорбції при цьому становлять  $K_F = 1,93 \cdot 10^{-5}$ ,  $1/n_f = 0,06$



**Рис. 3.14.** Ізотерма адсорбції глинистого зразка з Канівського району Черкаської області в логарифмічному вигляді в умовах крапельної фільтрації.



**Рис. 3.15.** Ізотерма адсорбції глинистого зразка з Канівського району Черкаської області в логарифмічному вигляді в умовах підпертої фільтрації.

Постійні коефіцієнти адсорбції в умовах підпертої фільтрації становлять

$$K_F = 13,0 \cdot 10^{-5}, 1/n_f = 0,25$$

Отримані адсорбційні константи дозволяють кількісно характеризувати процес адсорбції, що протікає в кожному зразку. Результати вимірів представлені в табл.3.2.

Таблиця 3.2.

Результати вимірів коефіцієнтів адсорбції іонів  $\text{Cu}^{2+}$  в рівнянні Фрейндліха на глинистих зразках

Назва досліджуваної речовини	$K_F$ (крапельна стадія фільтрації/підперта)	$1/n_f$ крапельна стадія фільтрації/підперта)
Першотравневе Миколаївської області (біла глина)	$0,43 \cdot 10^{-5}/3,6 \cdot 10^{-5}$	0,5/0,66
Актове (Білі Скелі) Миколаївської області (біла глина)	$0,61 \cdot 10^{-5}/15,9 \cdot 10^{-5}$	0,41/10
Канівський район Черкаської області, Яблунівка (червона глина)	$2,9 \cdot 10^{-5}/13,0 \cdot 10^{-5}$	0,06/0,25

З літературних джерел відомо, що значення коефіцієнту  $K_F$  знаходиться в межах від  $10^{-3}$  до  $10^{-5}$ . Як видно з проведеного експерименту, значення сорбційної здатності червоної глини більше порівняно з білою з родовищ Миколаївської області.

В таблиці 3.3 представлено усереднені значення вимірів коефіцієнтів фільтрації глинистих трьох зразків ( $K_{\phi}$ ) в часі в залежності від стадій фільтрації, які наочно демонструють збільшення коефіцієнта фільтрації зразків в умовах підпертої фільтрації. Показники вимірів представлені в Додатку С.

Таблиця.3.3

Усереднені показники вимірів коефіцієнтів фільтрації глинистих зразків, м/с

Назва досліджуваної речовини	Значення $K_{\phi}$ в умовах Крапельної фільтрації	Значення $K_{\phi}$ в умовах підпертої фільтрації	Збільшення значення $K_{\phi}$ в умовах підпертої фільтрації
Першотравневе Миколаївської області (біла глина)	$1,15 \cdot 10^{-6}$	$1,85 \cdot 10^{-6}$	0,7 (37%)
Актове (Білі Скелі) Миколаївської області (біла глина)	$0,8 \cdot 10^{-6}$	$10,6 \cdot 10^{-6}$	9,8(92%)
Канівський район Черкаської області, Яблунівка (червона глина)	$0,4 \cdot 10^{-5}$	$1,22 \cdot 10^{-5}$	1,18 (67%)

Дані таблиці 3.3. доводять суттєве збільшення фільтраційних властивостей облицювання за допомогою природних матеріалів на стадії підпертої фільтрації, а що стосується меліоративних зрошувальних систем – ця стадія встановлюється після підняття рівня ґрунтових вод внаслідок заповнення відкритого каналу водою для зрошення. Але на попередніх проектних стадіях ці зміни в збільшенні коефіцієнту фільтрації не враховуються, що зумовлює необхідність внесення коректив в відомчі будівельні норми.

Експериментальні дослідження з глиною з трьох зазначених родовищ підтвердили її сорбційні властивості та здатність до застосування в процесах очищення від забруднень у водному середовищі [222–226]. Що стосується зразків білих глин з родовищ Миколаївської області, то аналіз показав, що найбільшу сорбційну здатність має глини родовища Першотравневе. Порівняний аналіз зразків червоної глини та білої показав, що червона глина має більшу сорбційну здатність.

В ході проведення сорбційної здатності природних глинистих матеріалів були отримані дані щодо різних режимів фільтрації через експериментальні зразки.

Було встановлено, що при облаштуванні магістральних каналів глинистим екраном, крім протифільтраційних властивостей облицювання, які залежать від товщини, отриманої щільності та інших параметрів його після укладки, в тому числі сорбційних властивостей такого облицювання і режиму роботи магістрального каналу і, відповідно, величини напору. Тому вважаємо, що є потреба в подальшому на першій стадії проектування встановлення теоретичних та експериментальних залежностей між цими величинами після конкретизації міста реконструкції, місця родовища природного матеріалу, його адсорбційної здатності, яка може бути обумовлена як дисперсністю так і хімічною будовою природного матеріалу.

### **Висновки до Розділу 3**

1. Попередній аналіз якості водних об'єктів України, зокрема тих, що використовуються для подачі води на зрошення, показує, що в сучасних умовах вони містять забруднення важкими металами вище гранично допустимих норм. Це також повинно бути враховано при подачі води на зрошення в умовах післявоєнної реконструкції меліоративних систем Півдня України.

2. Експериментальні дослідження з глиною з трьох зазначених родовищ на прикладі досліджень сорбційних властивостей по відношенню іонів  $\text{Cu}^{2+}$  підтвердили їх здатність до застосування в процесах очищення від забруднень у



водному Що стосується зразків білих глин з родовищ Миколаївської області, то аналіз показав, що найбільшу сорбційну здатність має глини родовища Першотравневе. Порівняний аналіз зразків червоної глини та білої показав, що червона глина має більшу сорбційну здатність (Черкаська область).

3. Дослідження виконувалися для двох стадій фільтрації – крапельної та підпертої. Для стадії підпертої фільтрації, як показали проведені автором досліди сорбційна спроможність всіх зразків знижується, що відповідно було підтверджено при розрахунках адсорбційних констант Фрейндрліха, які дозволяють кількісно характеризувати процес адсорбції, що протікає в кожному зразку.

4. Суттєве збільшення фільтраційних властивостей облицювання за допомогою природних матеріалів на стадії підпертої фільтрації; а що стосується меліоративних зрошувальних систем – ця стадія встановлюється після підняття рівня ґрунтових вод внаслідок заповнення відкритого каналу водою для зрошення. Але на попередніх проектних стадіях ці зміни в збільшенні коефіцієнту фільтрації не враховуються, що зумовлює необхідність внесення коректив в відомчі будівельні норми.

5. Результати, які були отримані при проведенні даного експерименту можуть бути застосовані також при облаштуванні протифільтраційних екранів відстійників та хвостосховищ різного роду, а також при санації водних об'єктів з метою попередження забруднення підземного водоносного горизонту.

Основні положення розділу 3 опубліковані автором у наукових працях [3,10,11]. Список використаних джерел у розділі 1 наведено у загальному списку використаних джерел [187–226].

## РОЗДІЛ 4

### ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ НА ПОВЕРХНЕВІ ВОДНІ ОБ'ЄКТИ

#### 4.1. Основні фактори засмічення водних об'єктів

Проблематика антропогенного впливу на водні об'єкти та меліоративні системи, у зв'язку з комплексністю та багатофакторністю даного впливу, мають різнотипові результати зазначеного впливу. Одним з таких результатів є механічне засмічення річкових систем. Дана проблема є непостійною та важкопередбачуваною через різноманітність першоджерел даного впливу, серед основних можна виокремити:

1. Нестандартний шкодочинний підхід до організації побутових відходів. Дане першоджерело впливу може мати локальний масштаб у вигляді безвідповідального та незаконного звалювання відходів, наприклад, будівельного майданчика (будівельні відходи) у річку або на прирічковій ділянці. Окрім цього засмічення річкової системи може бути також і результатом масштабних звалювань відходів у безпосередній близькості до водного об'єкту.

2. Глобальні динамічні зміни довкілля, що можуть бути пов'язані як з бойовими діями, так і з катастрофами (природними та техногенними). Даний тип відрізняється ступенем впливу на водний об'єкт. Дані джерела впливу здатні спричинити прямий та опосередкований вплив інтенсивності що вимагатиме проведення моніторингу об'єкту частіше за стандартний ритм через скороплинність багатьох властивих таким прикладам процесів що потребують фіксації та аналізу.

Існуючі світові приклади та моделі [237–243], орієнтовані на вирішення локальних проблем характеру не пов'язаного з бойовими діями або іншими катастрофами. Ефективніше за все процеси виокремлення засмічень відбуваються на річкових спорудах вдосконалених для даних цілей, але у порівнянні з запропонованими моделями відзначається умовна адаптивність,

компактність та обережність по відношенню до природніх систем, що вступають у контакт з даними спорудами. Технологічність існуючих підходів варіюється, але у питанні вирішення проблематики післявоєнного повсякмісного впливу на десятках річок, потребується новий підхід з врахуванням вимог до адаптивності.

Ґрунтуючись на класичних підходах можна було б розділити зазначені фактори впливу на природнього та антропогенного походження, однак досліджуючи приклади реального впливу на річкові системи – природній вплив сам по собі є складовою системи і є натуральним, однак у комбінації з антропогенним впливом - перетворюється на множник цього впливу. Гарним прикладом є повені, адже не зважаючи на їх небезпечність та умовну непередбачуваність в деяких регіонах – явище природне та важливе для натуральних циклів у пов'язаних системах. Але явище залишається природнім через його сталість та циклічність у системі, а склад суміші що змиває повинь суттєво змінився з початком антропогенного впливу. У зазначеному випадку, відходи розміщені, наприклад у забороненій 200-метровій від водного об'єкту зоні, фактичного впливу не мають на момент скиду і незаконність такої дії нівелюється винуватцем-свідком, адже наслідків відмічено не було. Система залишатиметься умовно стабільною (мова про річкову систему, адже неконтрольований скид сміття має безпосередній вплив на інші пов'язані системи), однак як тільки почнеться міжсезоння і інтенсивні опади призведуть до повені – рівень води підійметься і звалені відходи почнуть потрапляти у стрімкі річкові води.

Питання засмічення річкових систем завжди має фундаментальну превентивну стратегію - просвітницька діяльність та законодавче регулювання з відповідною відповідальністю за вчинені злочини проти довкілля. Враховуючи беззупинну проблематику, наприклад, річки Тиса - можна зробити висновок що зазначені методи не мають очікуваного результату як в питаннях переваги комфорту над захистом довкілля так і в питаннях непостійності покарання за скоєний злочин. Незважаючи на факт того що проблематика давно вийшла на транскордонний рівень і вже має вплив на річку Дунай, двічі на рік повені

змивають катастрофічну кількість побутових та інших відходів, що перемішуються з природними механічними об'єктами (залишки живих організмів різного розміру, частки ґрунту, каміння, тощо) та поступово стають «складовою річкової течії».

Якщо проблематика механічного засмічення річкових систем виникає за умовно сталих умов, тоді можливо оцінити реальність цілого комплексу непередбачуваних та недостатньо досліджених факторів впливу за умов природної або техногенної катастрофи. Бойові дії у такій структурі посідають окреме місце у зв'язку з комплексністю їх структури та великою кількістю компонентів впливу.

#### **4.2. Сучасні підходи до механічного збору засмічень**

Механічне забруднення річкових систем є однією зі складових забруднення водного об'єкту загалом, і окрім донних відкладень концентруються у поверхневих шарах води, що дозволяє під час реалізації певного методу очистки об'єкту залишати донні води незачіпленими надаючи безпечний шлях для живих організмів у течії.

На практиці, очищення водних об'єктів реалізується за доволі простим принципом механічного захоплення/фіксування та виокремлювання з води механічних забруднень застосовуючи техніку та механізми. Значна більшість усіх подібних проєктів є поодинокими та не мають регулярності у своїх термінах. Більша частина проблем річкових систем визначається концепцією самоочищення водного об'єкту. За логікою такої концепції необхідно не змінити стан водного об'єкту, а вплинути на нього як на живий організм задля ініціації природних змін у ньому. Прикладом такого впливу може стати як описане у попередніх розділах застосування глинистих матеріалів (рівень дрібнодисперсної фільтрації), так і встановлення фільтраційних систем у поверхневих шарах дозволяє очищувати течію і відповідно – русло від механічних забруднень.

Підхід що визначається фільтраційними заходами вимагає додаткового контролю за параметрами фільтрації та їх впливом на природні системи що фільтрації не потребують, і за необхідності – важливим буде провести компенсаторні заходи для підтримки балансу елементів у природньому середовищі. Наприклад – крупні гілки дерев є повсякмісним елементом річкових та берегових систем, і під час повені такі об'єкти можуть сягати великих розмірів, часом дерева цілком були вирвані стрімкою течією і самі починали накоплювати на себе інші елементи течії. За умови відсутності антропогенного впливу, подібні інциденти призводили б до утворення природніх гребель що ставали б домілкою до незліченної кількості живих об'єктів. Нажаль, на сьогодні, особливо враховуючи приклади впливу на річкові системи Ірпінь, Дніпро, Десна, Сіверський Донець та інших, стає зрозумілим що механічне забруднення у сучасному вигляді майже завжди пов'язане з хімічним забрудненням.

Умовно природній хід речей з засміченням річкової системи завжди призводитиме до засмічень берегової лінії, русла або цілих протоків, але у будь-якому випадку кожен з елементів механічного засмічення у річці йде до невідвортної зупинки у руслі, або до залишення річки через її гирло. В будь-яких умовах розміщення поверхневих механічних забруднень відбувається парниковий ефект та процеси виокремлення мікроелементів з об'єктів засмічення. Токсичність пластику та багатьох інших сполук та матеріалів сягає пікових значень за умов парникового ефекту (окрім спалювання даних об'єктів). Шляхами вирішення проблематики пластику, та інших сполук у Світі також активно займаються в останні роки [244–250].

Фундаментально, вирішення проблематики зводиться до виокремлення механічних компонентів з верхнього шару води, та подальшого повернення у річкову систему природніх компонентів та недопущення виокремлення живих організмів у кількості що може загрожувати перспективі існування популяції. Орієнтуючись на малі та середні річки, можна запропонувати автоматизувати (навіть частково) процес виокремлення механічних засмічень, що власне і буде

прикладом фільтраційного заходу, але більша частина концепцій очистки є шкочочинною для природних систем водних об'єктів та не може бути реалізована у місцях з наявними сталими екосистемами. Під іншими «несталими» системами розуміються системи пошкоджені на стільки (бойові дії, катастрофи) що можлива повна відсутність більшої частини флори та фауни, за таких умов можливо застосовувати брутальні методи з повного заведення річки у штучний рукав з закритим комплексом фільтрувально-очисної системи. Застосування таких методів є ніщивним за умови наявності численних популяцій у річці, однак за умови їх відсутності – дозволяє ефективно виокремити механічні забруднення з річкової суміші та відфільтрувати глиняними фільтами залишки. Даний спосіб розглядатиметься окремо і матиме спеціальні умови застосування.

На противагу зазначеного методу тотальної фільтрації річкової течії, для сталих річкових систем має бути застосована система що виконуватиме фільтраційне завдання при цьому завдаючи мінімальної шкоди, та вносячи мінімальну кількість змін до річки. Фундаментом кожної «environment-friendly» системи є наявність вільного шляху для течії та більшості її біологічних складових. Як було зазначено раніше – на зрізі річки ця зона – донні шари.

#### **4.3. Раціональні пропозиції щодо видалення засмічень з водної екосистеми**

За описом та параметрами що були зазначені раніше можна сформулювати раціональні пропозиції на основі аналізу та розуміння ходу речей у природних системах. У зв'язку з таким розумінням, стає чітким факт того що багато критичних ситуацій у річкових системах, що можуть потребувати такого втручання, вимагають індивідуального підходу, адже мають особливості і їх особливості прямо впливають на ККД кожної пропозиції та на доцільність її застосування у тому чи іншому випадку.

Структуруючи пропозиції можна сказати що з трьох «environment-friendly» систем найменший вплив на течію матиме захоплювальна та кутово-конвеєрна системи, що стосується більш спеціалізованих ситуацій (канали, штучні протоки

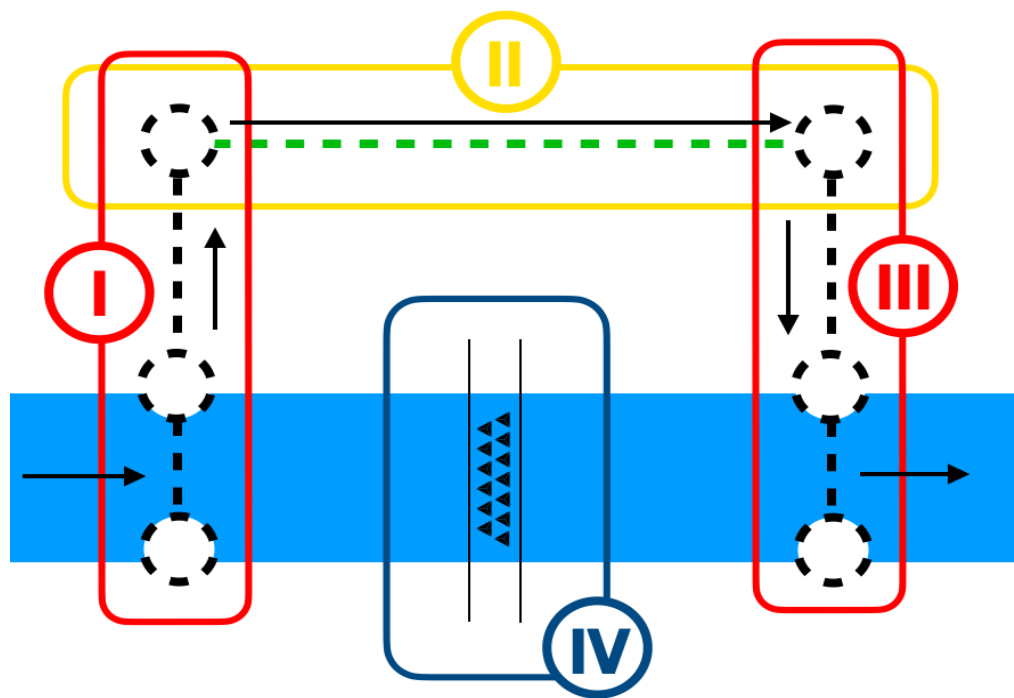
та інші), тоді веєрна система може виявитись найефективнішою. Як було раніше зазначено – для ситуацій з критичним станом системи пропонується застосування встановлення фільтрувально-очисної системи. Даний варіант називається жорстким, так як навідміну від попередніх трьох вільного проходу у течії немає і усі механічні елементи відфільтровуються. Окрім фільтрації зазначених механічних елементів, фільтруються донні відкладення (рекомендуються періодичні заходи з очистки русла, результати якого потраплять до станції). Сама фільтрувально-очисна станція є штучним рукавом річки, у той час як перші три варіанти є системами що встановлюються на річку та можуть бути демонтовані без особливого втручання. Фільтрувально-очисна система, у свою чергу, передбачає довгострокову експлуатацію і представляє собою значно більш монументальну споруду за аналогії. У запропонованій пропозиції, одна зі складових фільтрувально-очисної системи - веєрна система без залишених вільних шляхів для течії. Через таку веєрну систему проходить повний штучний зріз русла і весь об'єм піддається фільтрації.

Для усіх видів систем спільним є наявність певних умов за яких застосування кожного з них є найдоречнішим, що буде зазначено у детальних описах кожної з запропонованих систем. Серед усіх систем тільки фільтрувально-очисна має глинисті екрани як комплексну складову, у «environment-friendly» версіях дана зона виноситься окремо на локацію що буде доречною. Зазначена відмінність пов'язана з непередбачуваністю речкового русла та течії у кожному окремому випадку, у той час як фільтрувально-очисна система повністю бере під свій контроль течію що дозволяє після механічної очистки одразу спрямувати течію у систему глиняних екранів.

Загальний підхід, як було зазначено, залишається одним – двоетапна система що в першу чергу полягає у виокремленні механічних елементів із течії річки, а потім спрямуванні цієї води на глиняні екрани. після проведення сортувально-сушильних процедур, у необхідній кількості та вигляді повертається у річку нижче за течією. Природні компоненти, що вносяться в

течію після завершення етапу глиняних екранів потрапляють туди в очищеному вигляді.

Запропоновані за результатами даного дослідження пропозиції включають в себе споруди та робочі позиції що мають бути забезпечені відповідним органом влади після прийняття об'єкту на баланс. Повна автоматизація подібних систем не є можливою на сьогоднішньому рівні розвитку технологій відносно раціональної вартості реалізації таких проєктів. У зв'язку з зазначеним, кожна з моделей може залучати до трьох робітників на станцію очистки. Відповідні економічні рахунки не матимуть впливу на дослідницьку складову роботи, тому включені у концепцію не будуть. Вартісна складова витрат на утримання буде оцінена за нарахуванням трьох мінімальних заробітніх плат на місяць для кожної установки відповідно.



**Рис. 4.1.** Загальний принцип функціонування запропонованих систем

Загальна логіка усіх систем зображена на рис. 4.1, де Етап 1 – початоккова основна стадія, яка власне і пропонується у різних варіаціях, на даному етапі відбуватиметься виокремлення механічних засмічень та доправлення їх до сортувальної зони. Етап 2, в свою чергу виступатиме сортувально-очисною стадією, що за необхідності доправляє виокремлені об'єкти до Етапу 3, на якому



за необхідності вносяться назад до течії. Етап 4 це система глиняних фільтрів, тема якої буде окремо розкрита у даному розділі.

Для основних трьох «environment-friendly» систем, чітко можна визначити що річкове русло матиме функціональний та опорний береги. Концепція передбачає встановлення системи виокремлення механічних засмічень з річкової течії та розміщення їх у сортувальній зоні поруч. Фінальним етапом для берегової складової буде спрямування очищених природніх механічних елементів до течії (за необхідності, визначеній окремим дослідженням для кожного конкретного водного об'єкту у конкретній його частині). У описаній ситуації один з берегів відіграє свою роль виключно як місце для віддаленої опори що дозволяє зводити системи між берегами. В свою чергу, механічний привід, сортувальна зона та подальша складова система знаходяться на березі що визначено як функціональний.

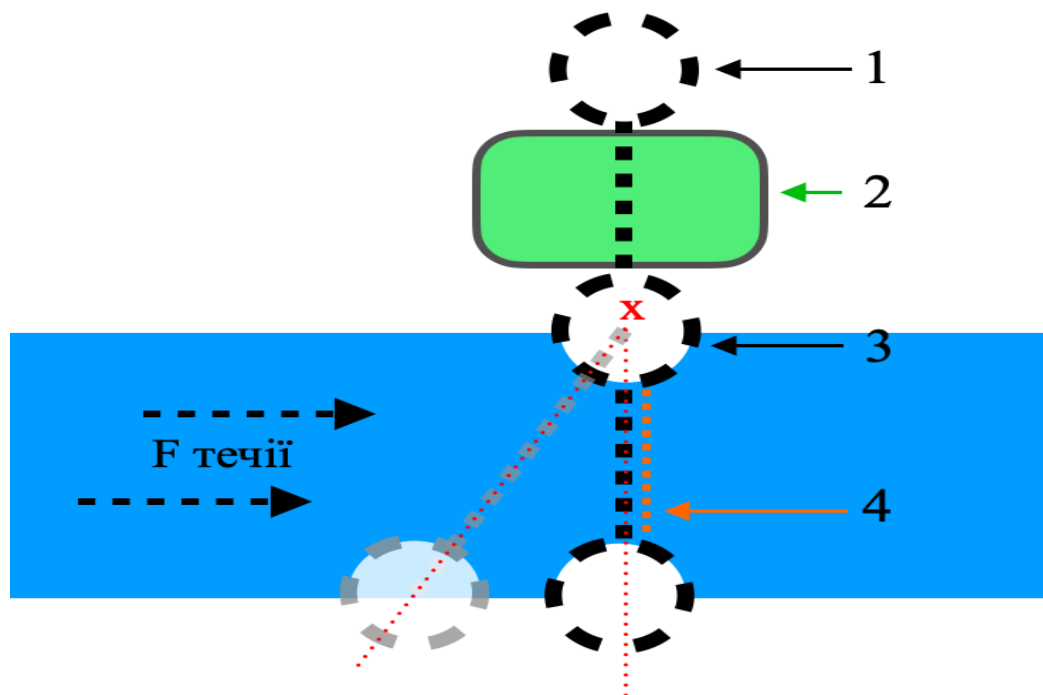
Окрім наявності другого етапу у вигляді системи глиняних фільтрів, та певного типу першого етапу системи виокремлення механічних засмічень, система повертання природніх механічних елементів залишається однаковою. Як висновок можна зазначити що дані системи відрізняються саме шляхом проведення виокремлення механічних засмічень і варіюються в залежності від параметрів річки та вимог до проведення відповідних процедур фільтрації та очистки.

#### **4.3.1. Захоплювальна система**

Серед чотирьох запропонованих моделей захоплювальна система очищення річки від механічних засмічень є найлегшою для реалізації та може бути адаптована до більшості типів русла та прилеглого ландшафту. Фундаментальна відмінність кожної з систем – шлях та метод винесення механічного засмічення з течії до сортувальної зони. Дана модель передбачає застосування двох точок-опор на обох берегах річки (під кутом, або перпендикулярно, у залежності від застосованих матеріалів та максимальної  $F$  течії річки), між якими фіксується плавучий ланцюг-лебідка. Даний ланцюг-

лебідка з обертальним механізмом на кожній з опор та приводом на опорі на функціональному березі, дозволить використовувати його як опору для переміщення крупнодисперсної сітки, зафіксованої у верхніх шарах течії.

Сітки мали своє застосування повсякмісно як примітивний і доволі ефективний метод зупинки та збирання засмічень. Важливо провести лінію що розмежовує процес зупинки та збирання, адже застосування сіток у системі пов'язане з високим ризиком помилок у системі, надмірних та непередбачуваних засмічень та пошкоджень. У зв'язку з описаними умовами експлуатації, такий метод буде доцільним на малих та деяких середніх річках без очікуваних інтенсивних повенів. Проста конструкція та порівняно швидкі темпи монтажу системи дозволяють розглянути її як опцію для умовно екстреного втручання. Причиною подібного втручання може бути разовий інцидент, локальна катастрофа або інша подія що має контрольований об'єм та тип впливу на водний об'єкт.



**Рис. 4.2.** Схема функціонування концепту захоплювальної системи (1 – опора та початок вісі, 2 – зона очистки та сортування, 3 – основна функціональна опора, 4 – сітка, x – кут нахилу відносно течії річки що визначається у кожному окремому випадку)

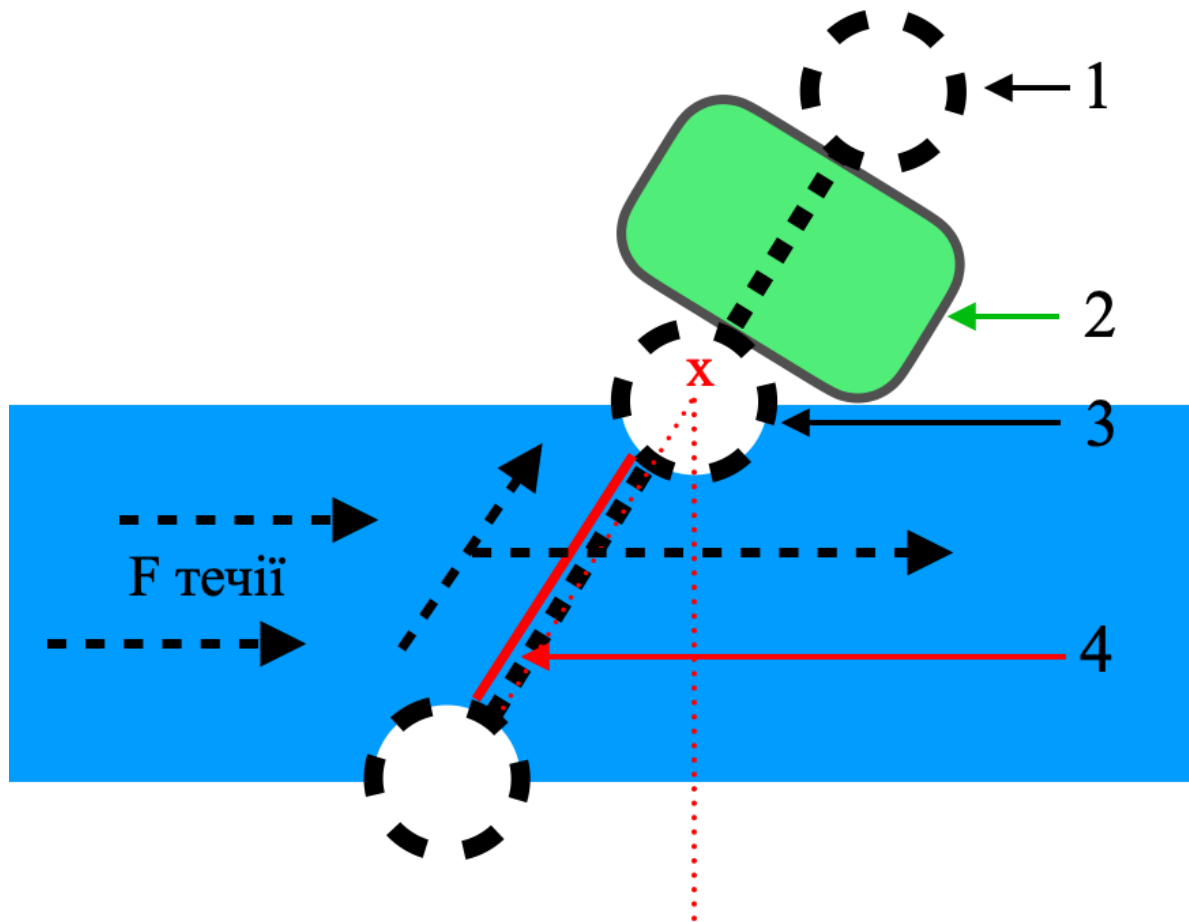
Дана система пропонує застосування сіток 25x25 см у 1 м верхнього шару води та 1 м вище за рівень води. Застосовуючи як опору плавучий ланцюг та два додаткові основні троси вище та нижче рівня води, сітки здатні накопичувати механічні елементи приймаючи форму фільтраційного парусу. Опори також обладнані системами визначення навантаження на усі три наявні вісі-троси. Визначення постійного та моментного навантаження дозволяє зробити систему полу-автоматичною. Полу-автоматичність полягає у здатності системи, застосовуючи показники датчиків тиску на троси, визначати ліміт навантаження та ініціювати заміну сітки, а заповнена буде згрупована до функціонального берегу рухомим карабіном, що приводиться у дію приводом на функціональному берегу.

#### **4.3.2. Кутово-конвеєрна система**

Запропонована система виокремлення механічних засмічень з річкової системи представляє собою механічний бар'єр конвеєрного типу, що є частиною загального комплексу поводження з механічними засміченнями у річці. Зазначена система є першим з двох елементів системи, що дозволяє виокремити засмічення з річки з мінімальною шкодою для річкової системи. Комплекс, частиною якого є зазначена система складається з наступних елементів:

- виокремлення механічних засмічень;
- сортування, висушування та підготовки;
- глиняної фільтрації у зоні з відповідними екранами.

Запропонована система, окрім ролі у загальному комплексі поводження з річковими засміченнями, може бути самостійною системою виокремлення механічних часток з річки. Дана модель має як концептуальну схему (рис. 4.3), так і більш деталізовану (рис 4.4), що пов'язано з найвищими показниками універсальності враховуючи контекст бойових дій в умовах українського довкілля.



**Рис. 4.3.** Схема функціонування концепту кутово-конвеєрної системи (1 – опора та початок вісі, 2 – зона очистки та сортування, 3 – основна функціональна опора, 4 – зона контакту поверхні конвеєру з течією,  $x$  – кут нахилу відносно течії річки що визначається у кожному окремому випадку)

Концепція споруди полягає у розміщенні конвеєру під кутом до річкової течії (кут має бути виставлений відповідно до параметрів течії річки, її максимальних та мінімальних показників на рік) на рівні поверхні води. Реалізація конвеєрної системи можлива завдяки опорним елементам системи та ланцюгу плавучих елементів, у самій стрічці, що у комплексі зафіксують стрічку що складається з послідовних елементів на рівні поверхні води. Річкова течія буде сприяти винесенню засмічень на систему, а та в свою чергу, завдяки конвеєрній конструкції, розміщенню самої системи під кутом (відносно берега), та лопастному енерго-приводу, забезпечить потрапляння механічних елементів у

зону збору на суходолі. Після звалювання засмічення, сітка-стрічка продовжуватиме рух до річки після розвороту у кінці шляху.

Як видно з плану споруди (схема 1 та 2), пусковий комплекс складається з трьох опорних елементів системи (А, В, С) та зони очистки сітки-стрічки (D).

Елементи А, В, С обладнані конвеєрними влами та системами фіксації сітки-стрічки задля забезпечення її циркуляції.

Шлях сітки-стрічки починається з елемента С, де вона вже знаходиться в воді на 50 % і далі рухається до точки В, при цьому, забираючи з собою накопичуване сміття. Елемент В обладнаний системою пе регортання сітки стрічки на 90 градусів задля приведення її з вертикального до горизонтального положення (задля транспортування механічних забрудників до зони D). У зоні D, спеціальний механізм розвертає сітку-стрічку на 180 градусів задля скидування засмічень з неї у зону прийому. Після очистки, сітка-стрічка продовжує рух у перевернутому положенні до точки А, де вона повертається в початкову позицію задля оберту навколо механізму.

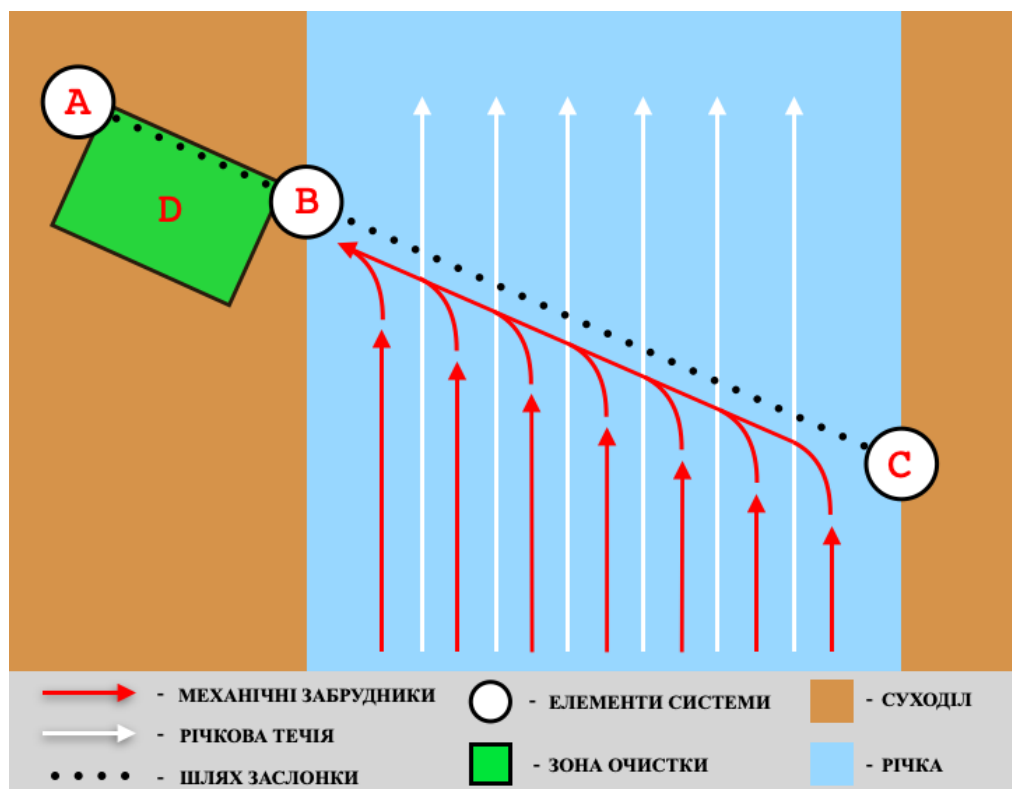


Схема 4.4. План кутово-ковесрної системи (згори)

Після розвертання, сітка-стрічка знову переводиться в горизонтальне положення у точці В задля запобігання контакту сітки-стрічки з можливими специфічними засміченнями в основній сітці, на той момент (можливі великогабаритні засмічення, натягіння сітки, та інше).

Після проведення сортування деяка частина природніх механічних елементів може потребувати повернення до річкової течії. У такому випадку можливо:

- розміщення додаткового конвеєрного комплексу для внесення природніх механічних елементів нижче за течією від глиняного комплексу;
- зацикловування системи навколо глиняного комплексу неперервним круговим ланцюгом.

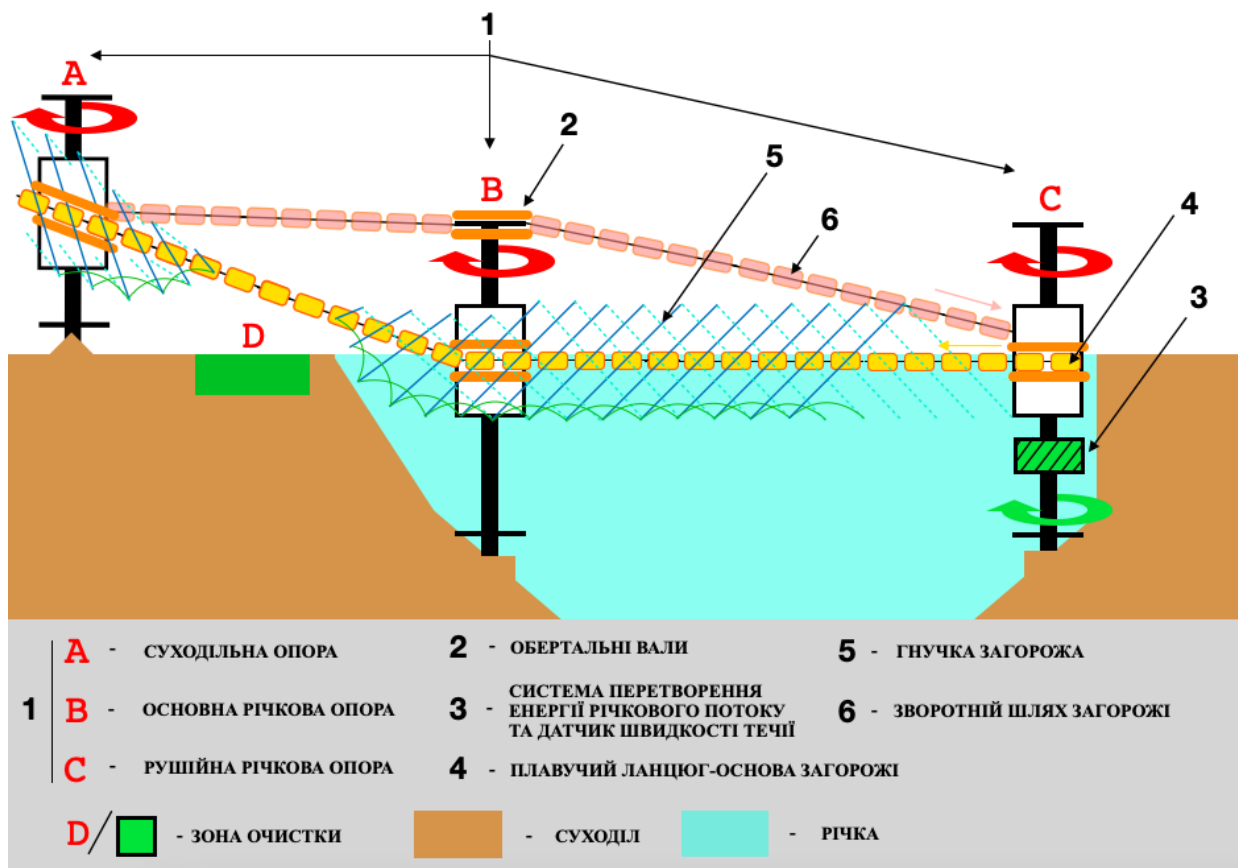


Схема 4.5. План кутово-ковеевної системи (у розрізі)

Важливо відзначити що початкована ідея сформована даним чином через доречність її у «environment friendly» вигляді та доступності у розміщенні та експлуатації. Додаткові ускладнення можуть мати як позитивні ефекти, так і

негативні у наслідок ускладнення системи, що може підвищити ризики помилки у ній.

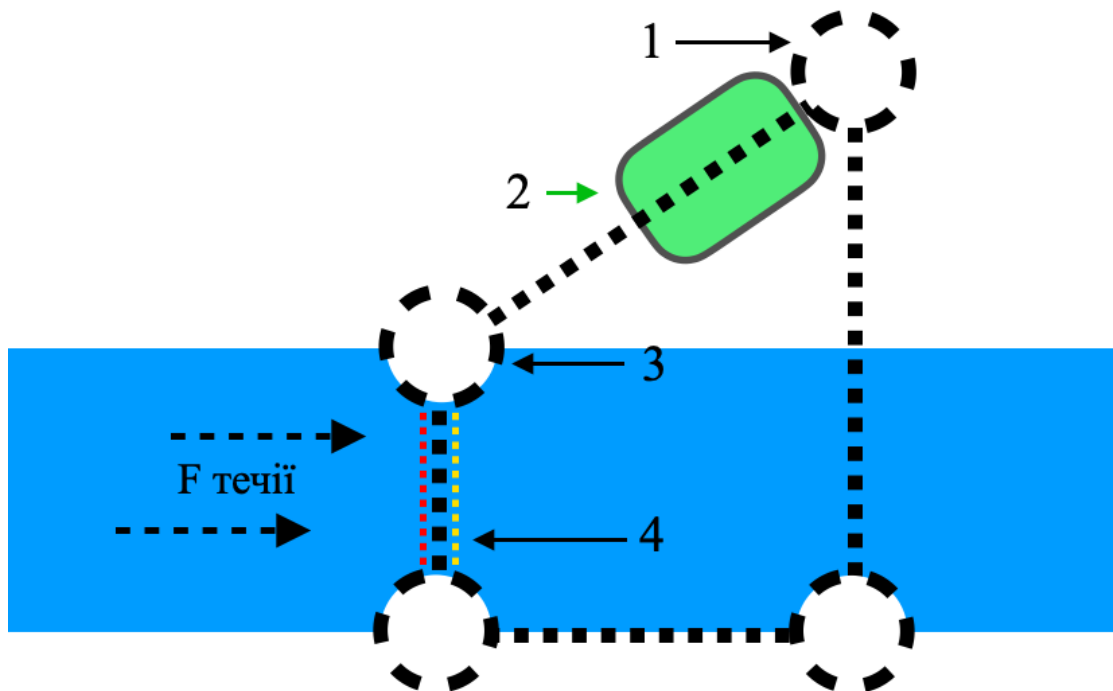
### 4.3.3. Веерна система

Веерна система може бути сприйнята у вигляді ускладненої захоплювальної системи. Відмінність полягає у більш ефективному застосуванні на каналах та у інших типах прямих та контрольованих річкових систем. Дана система, на відміну від перших двох, має циклічний принцип роботи. Річкова течія, в першу чергу, виносить засмічення на фільтрувальний екран що складається з двох рівнів 80x80 см та 25x25 см металевих решіток на відстані один метр, відповідно розташовані до течії таким чином задля поступового зменшення дисперсності засмічень.

Відмінність веерної системи, також, полягає у додатковій опорі, що у конвеєрному типі може бути застосована як опора системи внесення природніх механічних компонентів. У веєрній системі розміщено по дві опори на двох берегах річки у формі квадрату, що дозволяє зробити процес циклічним.

Аналогічно іншим прикладам систем, дана має систему датчиків навантаження на систему, і за принципом подібним до захоплювальної системи після досягнення відповідного рівня навантаження – система буде приведена в дію. Екран повністю зафіксований у рамці довжиною відстані між берегами починає зміщення за годинниковою стрілкою переміщуючи накопичені засмічення до берега. Водночас з початком зміщення наповненого екрану до берегу, вже очищений та підготований екран буде займати місце попередника. Після повної зміни позицій засмічений екран переходить у режим обслуговування та розділяється на дві складові решітки над зону сортування для вивільнення накопичених засмічень. Після обробки екранів, вони циклічно за формою квадрату починають рух (за необхідності вони застосовуються як шлях внесення виокремлених природніх механічних часток. Даний цикл обертання побудовано навколо другого етапу (глиняна фільтрація), що дозволяє максимально компактизувати систему споруд, що не тільки зменшує загальний

вплив на довкілля, але і робить систему значно придатнішою до екстреного обслуговування.



**Рис. 4.6.** Схема функціонування концепту веєрної системи (1 – опора та початок вісей, 2 – зона очистки та сортування, 3 – основна функціональна опора, 4 – система сіток)

Як зазначено на рис. 4.6. та як було зазначено у описі раніше – дану модель можна назвати значно ускладненою захоплювальною системою з нерухомими сітками, однак по усім ознакам захоплювальна система у повному комплекті з комплексом внесень деяких виокремлених засмічень представлятиме собою більшу частину комплексу веєрної системи, що робить веєрну систему ефективнішою, а захоплювальну – простішу у зведенні та експлуатації (за умови відсутності комплексу внесення).



#### 4.3.4. Фільтрувально-очисна система

Фільтрувально-очисна система, як було зазначено, є жорстким типом системи і передбачає повне зведення русла та течії у штучну протоку з повною фільтрацією та подальшим контрольованим спрямуванням течії води до системи глиняних екранів. У даній системі також передбачена система внесення виокремлених природніх механічних часток, вона виводиться далі за вихід води з фільтраційної зони задля недопущення засмічень безпосередньо за очисними спорудами.

Фільтраційні споруди такого типу самі по собі мали б серйозний вплив на довкілля, однак концепція їх застосування засновується на умовах стану довкілля рівня природньої катастрофи, коли події що передували ініціації проекту розміщення подібних споруд знищили більшу частину природніх систем та сприяли потраплянню надмірної кількості механічних забруднень. Фактичний досвід річок Ірпінь, Дніпро, Десна дозволяє оцінити масштаби та необхідні підходи, але не дозволяють оцінити ступінь деяких змін що мають місце у таких річках як Сіверський Донець. Сіверський Донець та його малі притоки є основою забезпечення регіону водою. Враховуючи специфіку регіону басейну річки Сіверський Донець, вона там потребується як для побутових та аграрних цілей, так і для промислових, враховуючи кількість шахт та підприємств пов'язаних з водозабором з даного водного об'єкту.

Приклад річки Сіверський Донець не тільки демонструє вітальність деяких водних об'єктів для регіону, але і демонструє специфічні умови довкілля що вносять абсолютно непередбачувані змінні у процес аналізу та оцінки стану водного об'єкту, що передує прийняттю певного рішення про зведення тих чи інших фільтраційних споруд. Деякі притоки річки, як і саме її русло було фатально вражено наслідками бойових дій що тривають досі, і їх реальний масштаб можна буде оцінити тільки через роки діагностичного моніторингу та проведення досліджень. У тих випадках коли малого чи середнього розміру річка опинилась у описаному положенні, до неї доцільно застосувати фільтраційно-очисний підхід. Головним приводом до невикористання даного

підходу в умовно здорових сталих системах є турбота про функціонуєчі системи (кожен з типів систем залишає більше 50% площі зрізу русла для підтримання природніх процесів міграції та обміну). Другий етап у даному типі системи, так само як і в попередній трьох, також залишає більше 50% простору для протікання природніх процесів. У питанні застосування глиняних екранів – система складається з черги рядків колон з фільтраційними модулями, відповідно незважаючи на високу інтенсивність оминання даних фільтраційних колон, їх кількість та вихірний тип руху води, пов'язаний з розміщенням власне цього комплексу, забезпечить потрапляння максимальної кількості води до кожного фільтраційного модулю.

#### **4.3.5. Система глиняних екранів**

Досліджені властивості глини у питаннях сприяння очищенню водних об'єктів, має доцільність застосування даних властивостей природніх матеріалів у запропонованих системах як складову що йде після механічного очищення і не буде піддаватись значним механічним навантаженням з боку механічних компонентів-елементів течії. Застосування такого комбінованого підходу витікає також з основ взаємозв'язку механічного та хімічного забруднення. Небажані механічні елементи антропогенного та/або природнього походження, що виокремлюються з течії мають вплив на стан водного об'єкту не тільки через свої механічні, але і хімічні властивості. Як зазначалось раніше – навіть антропогенно спровокована надмірна кількість природніх механічних засмічень матиме наслідки несистемні, а на сьогодні знайти річкову систему абсолютно неуразену антропогенними факторами практично неможливо. Великі скупчення як природніх, так і штучних механічних компонентів течії призводять до запуску парникового процесу, що також має непрямий вплив на стан системи. Особливо цей вплив також розповсюджується і на самі механічні елементи. Подібний вплив стає абсолютно небезпечним за сучасних умов коли суміш механічних елементів на річках поєднує у собі як органічні компоненти, так і пластик, залишки ПММ, інвазивні організми та абсолютно непередбачувані

компоненти, що за тривалого впливу комплексу факторів довкілля почнуть проявляти приховані до цього властивості (токсичні типу аерозольних, хімічних або інших).

Застосування глиняних екранів задля впливання на стан якості водних ресурсів у різному масштабі, як і інших матеріалів природнього походження, не є новаторською практикою та досліджувалась дослідниками як в останні роки [251–256], так і до цього [257–267]

Як було описано раніше, проведені дослідження підтверджують концепцію доцільності застосування глиняних матеріалів у спорудах на водних об'єктах, а у даному випадку – ефективність даних властивостей глини застосовується напряму на окремому комплексі. Основу ідеї складає концепція фільтраційних колон, що розміщуються у руслі річки таким чином щоб утворити систему перешкод що не займатиме більше 50 % площі поверхні води. Колони розташовуються у послідовності, що відповідає специфіці русла та навколишнього ландшафту. Важливим є застосування кількості колон, достатньої для створення 4–6 шарів перепон, котрих буде достатньо для утворення турбулентного ефекту, під час якого вода перемішуватиметься з повітрям, і у хаотичному потоці буде потрапляти на нові глиняні екрани-фільтри. Важливо врахувати необхідність часткового штучного збільшення русла навколо даного комплексу через очікуваний підвищений рівень води.

Обслуговування цієї частини відбувається завдяки платформі-решітці що повністю покриває етап фільтраційних колон, та відкриває доступ до кожної з низ на поверні згори. У цьому ж місці біля кожної колони знаходяться приводи під'йому модулів для їх чистки або заміни. Після проходження через останній фільтраційний модуль на своєму шляху, вода спрямовується назад до свого звичайного русла, де минаючи точку додаткового додавання природніх механічних елементів повертається до нормального стану і починає відновлення своїх характеристик.

## Висновки до розділу 4

1. Сьогодні в Україні налічує безліч явищ та ситуацій що ще не були проаналізовані та не спостерігались за допомогою сучасного технологічного забезпечення. Річкові системи як і водні об'єкти в цілому були суттєво уражені в чисельних регіонах країни, і на сьогодні до дослідження придатна універсальна складова усіх ситуацій – класичне фізико-хімічне/механічне та хімічне забруднення. Враховуючи масштаби України та варіабельність умов довкілля на вітчизняній території – багато водних об'єктів потребуватимуть значного індивідуального підходу для ефективного проведення моніторингу, подальшого аналізу та програмуванню кризис-менеджменту ситуації. Сталою залишається універсальність застосування приладів для механічного очищення водних об'єктів та зменшення вмісту інвазивних сполук у воді.

2. Виходячи з необхідності вирішення питання поверхневого засмічення річок, що можуть бути як регулярного походження, так і наслідком воєнних дій, з врахуванням запиту на максимально оптимізовану систему було розроблено Систему Поверхневого Очищення Річок (СПОР). Під час розробки даної системи було враховано необхідність наявності наступних параметрів:

- 1) Максимальна автоматизованість. Досліджуючи наявні методи механічного очищення річок, можна відзначити що найефективніші з них використовують людську працю задля управління системою, а не у ролі функціональної складової. Окрім того, запланований процес очистки водного об'єкту має на меті незпинну та цілодобову роботу на визначеній ділянці. У зазначеному режимі роботи, залучення персоналу має бути максимально раціональним та результативним.
- 2) Мінімальна вартість виробництва та експлуатації споруд та приладів. Оптимізація витрат на досягнення мети є фундаментальною вимогою у мирні часи, а в умовах післявоєнного стану - стає критичною необхідністю в рамках неординарного стану державного бюджету та фінансових потоків загалом. Досягнення зазначеної мети можливе шляхом відмови від

зведення споруд та переходом до мобільного та спрощеного формату подібних систем.

- 3) Запропоновані моделі є шляхами вирішення однієї з задач даного дослідження – засміченню річкових систем. За умови необхідності своєчасного впливу на стан водного об'єкту в наслідок надмірного шкодочинного впливу, запропоновані системи можуть бути ефективнішими за комплексні споруди та примітивні кустарні методи. Важливо відзначити що роль даних шляхів комплексніша аніж тільки виокремлення механічних забруднень, такі системи впливають на увесь довкіллевий комплекс, що може бути як ефективним інструментом, так і шкодочинним фактором, через що запропоновані моделі варіабельні та заплановані чином найпридатнішим для локальної адаптації.
- 4) Застосування глиняних матеріалів, описане у даному розділі, не є новою тематикою, однак саме критичні ситуації як бойові дії в Україні та інших регіонах світу стимулювали дослідження у темах суміжних, що на сьогодні поступово дозволяє створювати моделі систем фільтраційної очистки водних об'єктів з застосуванням глиняних матеріалів, ефективність яких у досліджуваному питанні було доведено у роботі.

Основні положення розділу 4 опубліковані автором у наукових працях [1,5,9]. Список використаних джерел у розділі 4 наведено у загальному списку використаних джерел [227–267].

## ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні вирішено актуальне науково-практичне завдання щодо удосконалення захисту водних ресурсів від забруднення та засмічення на деокупованих територіях за рахунок застосування природних глинистих матеріалів в поєднанні з дренажними спорудами та автоматизованої системи відокремлення механічних засмічень з водної екосистеми.

1. Встановлено, що внаслідок довготривалої експлуатації відкритих меліоративних каналів та проходження воєнних дій на півдні України, облицювання на більшості споруд практично відсутнє. Проведені розрахунків за нормативними документами засвідчили, що усереднений коефіцієнт фільтрації пошкодженого облицювання Інгулецького магістрального каналу має значення  $1 \cdot 10^{-2}$  м/добу. Аналіз тенденції погіршення показників якості води згідно існуючих даних моніторингу поверхневих вод, свідчить про значне перевищення ГДК іонів важких металів, зокрема іонів міді.

2. Проведені лабораторні дослідження сорбційних властивостей зразків природних глинистих матеріалів з двох родовищ білої глини (Першотравневе і Актове, Миколаївська область) і червоної глини (с.Яблунівка, Черкаська область) для двох режимів фільтрації крапельної та підпертої фільтрації під фільтруючою спорудою по відношенню до іонів міді, які підтвердили їх здатність до застосування в процесах очищення від забруднень у водному середовищі. Дослідження проводилися за допомогою методики, що встановлює колометричні методи визначення масової концентрації міді від 0,02 до 0,5 мг/дм<sup>3</sup> з реактивом діетилдітіокарбамату.

3. Побудовані ізотерми адсорбції глинистих зразків для двох стадій фільтрації (крапельної та підпертої) та отримані постійні коефіцієнти ізотерм адсорбції Фрейндліха. Визначено збільшення величин коефіцієнтів фільтрації зразків в умовах підпертої фільтрації (на  $0,7 \cdot 10^{-6}$  м/с,  $9,8 \cdot 10^{-6}$  м/с та  $1,18 \cdot 10^{-5}$  м/с відповідно для трьох зразків і, відповідно; зменшення сорбційних властивостей зразків на 23 %. Суттєве збільшення фільтраційних властивостей облицювання за допомогою природних матеріалів на стадії підпертої фільтрації потребує

врахування на проектній стадії відновлення захисних споруд та внесення коректив в відомчі будівельні норми.

4. За допомогою програмного продукту OriginPro8 був зроблений аналіз змін температурних показників на території півдня України протягом періоду 1881–2020 років і отримана залежність прогнозних даних середньорічної температури атмосферного повітря на період до 2160 року, а також зміни температурних показників води в Каховському водосховищі до підриву греблі Каховської ГЕС та доведено необхідність враховувати зміни температурних показників, як таких, що впливають на якість поверхневих вод в містах водозаборів різного призначення.

5. На основі проведеного пошукувачем аналізу існуючих рішень і сучасних методів фільтраційних розрахунків було запропоновано методику розрахунку фільтраційних втрат на відкритому магістральному каналі, яка включає фільтраційний опір облицювання глинистим екраном та перехоплення дренажних вод приканальним трубчастим дренажем. Побудовано розрахунковий графік, який характеризує ефективність застосування екрану з природних глинистих матеріалів в залежності від параметрів екрану, його ущільнення та співвідношення коефіцієнтів фільтрації екрану та ґрунту.

6. Методику було апробовано на ділянці Інгулецького магістрального каналу, що проходить у виємці-насипу. Отримані прогнозні зони впливу магістрального каналу, які свідчать, що при відсутності протифільтраційного облицювання через 5, 10 і 25 років, вплив каналу буде розповсюджуватися на 592,7 м, 754,6 м та 988,3 м відповідно. Загалом, вплив втрат каналу з обох боків від нього, вздовж траси буде поширюватися смугою, ширина якої коливатиметься приблизно від 600,0 м через 5 років до 1000 м через 25 років. З урахуванням облицювання з місцевих матеріалів, вплив зменшиться і через 5 років становитиме 510 м, через 10 років – 660,6 м і через 25 років – 891,4 м. Отримані дані підкреслюють також необхідність облаштування приканального дренажу в умовах дефіциту водних ресурсів регіону, оскільки така схема дозволяє повторне використання дренажних вод для різних потреб після

відповідної водопідготовки та запобігає підтопленню території.

7. Запропоновано чотири різні варіанти системи відокремлення механічних засмічень з водного об'єкту з екранами для фільтрації, які побудовані на загальному підході: двоетапна система яка відокремлює механічні елементи із течії річки, спрямуванні цієї води на глиняні екрани, проведення сортувально-сушильних процедур та повернення у річку нижче за течією. Було запропоновано наступні схеми: захоплювальна система, кутово-конвеєрна система, веєрна система, фільтрувально-очисна система, для кожної з яких приведена схема та описано переваги та недоліки їх роботи

8. Результати дисертаційних досліджень були передані для застосування на підприємстві ТОВ «АТЛАНТ-БУД» у частині щодо сорбційних властивостей місцевих глинистих матеріалів та методу розрахунку товщини глинистого екрану, також були передані та розглянуті щодо подальшої можливості для випробування при облаштуванні відстійника стічних вод на агропромисловому об'єкті ТОВ «Украгроінвестбуд» (Додаток С).



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стельмах В. МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ ВОД В УКРАЇНІ В УМОВАХ ВОЄННОГО ЧАСУ. *Collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ»*. – 2023. – №. August 18, 2023; Cambridge, UK. – С. 308-311.
2. Трохименко Г. Г. Дослідження накопичення важких металів у донних відкладеннях Бузького лиману за допомогою атомно-абсорбційної спектрофотометрії Г. Г. Трохименко, Н. В. Циганюк. *Інновації в суднобудування та океанотехніці* : 7-ма міжнар. наук.-техн. конф., Миколаїв, 5–8 жовт. 2011 р. : тез. доп. – Миколаїв : НУК, 2011. – С. 446–448.
3. Richa M. et al. Impact of industrial estates on water resources. *International Journal of Environmental Science and Development*. – 2016. – Т. 7. – №. 12. – С. 933-939.
- 4 Masood N., Hudson-Edwards K., Farooqi A. True cost of coal: Coal mining industry and its associated environmental impacts on water resource development. *Journal of Sustainable Mining*. – 2020. – Т. 19. – №. 3. – С. 1.
5. Yue W. et al. Industrial water resources management based on violation risk analysis of the total allowable target on wastewater discharge. *Scientific reports*. – 2017. – Т. 7. – №. 1. – С. 5055.
6. Garg S. et al. Impact of industrial wastewater on environment and human health. *Advanced Industrial Wastewater Treatment and Reclamation of Water: Comparative Study of Water Pollution Index during Pre-industrial, Industrial Period and Prospect of Wastewater Treatment for Water Resource Conservation*. – 2022. – С. 197-209.
7. Hasan H. A. et al. A review of biological drinking water treatment technologies for contaminants removal from polluted water resources. *Journal of Water Process Engineering*. – 2020. – Т. 33. – С. 101035.
8. Balaram V. et al. Pollution of water resources and application of ICP-MS techniques for monitoring and management—A comprehensive review. *Geosystems and Geoenvironment*. – 2023. – С. 100210.

9. Miller G.T., Spoolman S.E. Water resources and water pollution. *Environmental Science*, fifteenth ed. Cengage Learning, Boston. - 2016. - C. 268-269.
10. Alkhadher, S.A.A.; Suratman, S.; Al-Hazmi, H.E.; Zakaria, M.P.; Szeląg, B.; Majtacz, J.; Drewnowski, J. Unlocking the Secrets of River Pollution: Analyzing Organic Pollutants in Sediments—Experimental Study. *Water* **2023**, *15*, 2216. <https://doi.org/10.3390/w15122216>
11. Sharma Rohit, Kumar Raghvendra, Satapathy Suresh Chandra, Al-Ansari Nadhir, Singh Krishna Kant, Mahapatra Rajendra Prasad, Agarwal Anuj Kumar, Le Hiep Van, Pham Binh Thai; Analysis of Water Pollution Using Different Physicochemical Parameters: A Study of Yamuna River; *Frontiers in Environmental Science*, vol. 8, 2020. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2020.581591>
12. Strokal, M., Bai, Z., Franssen, W. *et al.* Urbanization: an increasing source of multiple pollutants to rivers in the 21st century. *npj Urban Sustain* **1**, 24 (2021). <https://doi.org/10.1038/s42949-021-00026-w>
13. Qiaoqiao Zhou, Nan Yang, Youzhi Li, Bo Ren, Xiaohui Ding, Hualin Bian, Xin Yao; Total concentrations and sources of heavy metal pollution in global river and lake water bodies from 1972 to 2017; *Global Ecology and Conservation*, vol. 22, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00925>
14. P.T. Harris, L. Westerveld, B. Nyberg, T. Maes, M. Macmillan-Lawler, L.R. Appelquist; Exposure of coastal environments to river-sourced plastic pollution; *Science of The Total Environment*, vol. 769, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145222>
15. Md Anawar, H.; Chowdhury, R. Remediation of Polluted River Water by Biological, Chemical, Ecological and Engineering Processes. *Sustainability* **2020**, *12*, 7017. <https://doi.org/10.3390/su12177017>
16. Daniel Valero, Biruk S. Belay, Antonio Moreno-Rodenas, Matthias Kramer, Mário J. Franca, The key role of surface tension in the transport and quantification of plastic pollution in rivers, *Water Research*, vol. 226, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.119078>
17. Yeleliere E., Cobbina S. J., Duwiejuah A. B. Review of Ghana's water

resources: the quality and management with particular focus on freshwater resources. *Applied Water Science*. – 2018. – T. 8. – C. 1-12.

18. Moridi A., Kerachian R., Zokaei M. Assessment of Iran's water resources quality (2004-2014). *Iran-Water Resources Research*. – 2017. – T. 12. – №. 4. – C. 23-35.

19. Ostad-Ali-Askari K., Shayannejad M. Quantity and quality modelling of groundwater to manage water resources in Isfahan-Borkhar Aquifer. *Environment, Development and Sustainability*. – 2021. – T. 23. – №. 11. – C. 15943-15959.

20. Cao X. et al. A linear additivity water resources assessment indicator by combining water quantity and water quality. *Ecological Indicators*. – 2021. – T. 121. – C. 106990.

21. Gaaloul N., Eslamian S., Katlance R. Impacts of climate change and water resources management in the southern mediterranean countries. *Water Productivity Journal*. – 2021. – T. 1. – №. 1. – C. 51-72.

22. Holden J. (ed.). *Water resources: an integrated approach*. – Routledge, 2019.

23. Best J. Anthropogenic stresses on the world's big rivers. *Nature Geoscience*. – 2019. – T. 12. – №. 1. – C. 7-21.

24. Falcone J. A., Murphy J. C., Sprague L. A. Regional patterns of anthropogenic influences on streams and rivers in the conterminous United States, from the early 1970s to 2012. *Journal of Land Use Science*. – 2018. – T. 13. – №. 6. – C. 585-614.

25. Vigiak O. et al. Probability maps of anthropogenic impacts affecting ecological status in European rivers. *Ecological Indicators*. – 2021. – T. 126. – C. 107684.

26. López-Pacheco I. Y. et al. Anthropogenic contaminants of high concern: Existence in water resources and their adverse effects. *Science of the Total Environment*. – 2019. – T. 690. – C. 1068-1088.

27. Ashraf B. et al. Quantifying anthropogenic stress on groundwater resources. *Scientific reports*. – 2017. – T. 7. – №. 1. – C. 12910.

28. Akhtar N. et al. Various natural and anthropogenic factors responsible for

water quality degradation: A review. *Water*. – 2021. – Т. 13. – №. 19. – С. 2660.

29. Gudmundsson L., Seneviratne S. I., Zhang X. Anthropogenic climate change detected in European renewable freshwater resources. *Nature Climate Change*. – 2017. – Т. 7. – №. 11. – С. 813-816.

30. Medeu A. R. et al. Anthropogenic load on water resources of Kazakhstan. *Eurasian Journal of BioSciences*. – 2020. – Т. 14. – №. 1.

31. Schillinger J, Özerol G, Güven-Griemert Ş, Heldeweg M. Water in war: Understanding the impacts of armed conflict on water resources and their management. *WIREs Water*. 2020; 7:e1480. <https://doi.org/10.1002/wat2.1480>

32. Water Resources in the Antropocene: Cause for War or Cooperation? Dr. Waseem Ahmad Qureshi, 30 Minn. *J. Int'l L.* 43 (2020-2021)

33. Shumilova, O., Tockner, K., Sukhodolov, A. *et al.* Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nat Sustain* **6**, 578–586 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01068-x>

34. Deepak Rawtani, Gunjan Gupta, Nitasha Khatri, Piyush K. Rao, Chaudhery Mustansar Hussain, Environmental damages due to war in Ukraine: A perspective; *Science of The Total Environment*, vol. 850, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157932>

35. Тимченко І. В., Крисінська Д.О. ШЛЯХИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ. *ПРИРОДНИЧІ НАУКИ: ПРОЄКТИ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПЕРСПЕКТИВИ*. – С. 119.

36. Зайцев Ю. О. и др. Вплив бойових дій на вміст валових форм важких металів у ґрунтах Сумського та Охтирського районів Сумської обл. *Агроекологічний журнал*. – 2022. – №. 3. – С. 136-149.

37. Тужик Б. ВПЛИВ БОЙОВИХ ДІЙ НА РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТАХ. Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених і студентів «Екологічна безпека держави». – Т. 17. – С. 16-17.

38. Рибалова О. В., Золотарьова С. О. Вплив військових дій на забруднення ґрунтів важкими металами : дис. – Національний університет цивільного захисту

України, 2022.

39. ІВАНИЦЬКА А., КУЛИК Т., ШКЛЯР В. БІОЛОГІЧНА РЕКУЛЬТИВАЦІЯ У ВІДНОВЛЕННІ ҐРУНТІВ ПІСЛЯ БОЙОВИХ ДІЙ. Інноваційні екологобезпечні технології рослинництва в умовах воєнного стану: Матеріали ІІ Всеукраїнської науково-практичної конференції (Київ 31 серпня 2023 року). 2023. 202 с. – 2023. – С. 81.

40. Ray, Chittaranjan, Jay Jasperse, and Thomas Grischek. "Bank filtration as natural filtration." *Drinking Water Treatment: Focusing on Appropriate Technology and Sustainability* (2011): 93-158.

41. Vaughan, Peter H., and Hermusia F. Soares. "Design of filters for clay cores of dams." *Journal of the Geotechnical Engineering Division* 108.1 (1982): 17-31.

42. Petrosyan, Tigran L. "INVESTIGATION OF CLAY SOIL MECHANICAL SUFFOSION PROTECTED WITH A FILTER." *Bulletin of High Technology* N2 26 (2023): 71-84.

43. Valero, Daniel, et al. "The key role of surface tension in the transport and quantification of plastic pollution in rivers." *Water research* 226 (2022): 119078.

44. Goel, P. K. *Water pollution: causes, effects and control*. New age international, 2006.

45. Idzelis, Raimondas Leopoldas, Kristina Greičiūte, and Dainius Paliulis. "Investigation and evaluation of surface water pollution with heavy metals and oil products in Kairiai military ground territory." *Journal of environmental engineering and landscape management* 14.4 (2006): 183-190.

46. Svendsen, Niels G., Prasanta K. Kalita, and Dick L. Gebhart. "Military Maneuver Effects on Water Quality and Non-Point Source Pollution: Implications for Training Land Use." *2006 ASAE Annual Meeting*. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006.

47. Ble, Louan Odile, et al. "State of water pollution of the Kan river, after the 2010 military-political crisis in Côte d'Ivoire." (2022): 878-890.

48. Orel, Serhiy. "SENSITIVITY ANALYSIS IN RISK ASSESSMENT OF DRINKING WATER CHEMICAL POLLUTION CAUSED BY MILITARY

ACTIVITIES." *Science & Military Journal* 14.1 (2019).

49. Skalny, Anatoly V., et al. "Environmental and health hazards of military metal pollution." *Environmental research* 201 (2021): 111568.

50. Pereira, Paulo, et al. "Russian-Ukrainian war impacts the total environment." *Science of The Total Environment* 837 (2022): 155865.

51. Shumilova, Oleksandra, et al. "Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure." *Nature Sustainability* 6.5 (2023): 578-586.

52. Hapich, Hennadii, et al. "Water security consequences of the Russia-Ukraine war and the post-war outlook." *Water Security* 21 (2024): 100167.

53. Zhang, Chengxin, et al. "Satellite spectroscopy reveals the atmospheric consequences of the 2022 Russia-Ukraine war." *Science of The Total Environment* 869 (2023): 161759.

54. Sousa, Ronaldo, et al. "The cost of war for biodiversity: a potential ecocide in Ukraine." *Frontiers in Ecology & the Environment* 20.7 (2022).

55. Yakushkina, M. I., and O. M. Masiuk. "HOW THE WAR AFFECTS THE HYDROECOSYSTEM OF UKRAINE." *Registered: State scientific institution Ukrainian Institute of Scientific and Technical Expertise and Information (certificate No. 609 dated December 22, 2022)*: 110.

56. Pokhyl, O. O., and O. M. Masiuk. "COMBAT ACTIONS IMPACT ON THE ECOSYSTEMS OF UKRAINE." *Registered: State scientific institution Ukrainian Institute of Scientific and Technical Expertise and Information (certificate No. 609 dated December 22, 2022)*: 79.

57. Melnyk, Oksana, et al. "Risks of toxic environmental pollution from military operations." *Food security: modern challenges and mechanisms to ensure* (2023): 25.

58. Biyashev, Birzhan, et al. "Chemical analysis of the state of Ukrainian soils in the combat zone." *International Journal of Environmental Studies* (2023): 1-9.

59. Paukstys, B., and V. Belickas. "Detection of groundwater contamination at former military sites in Lithuania." *Regional Approaches to Water Pollution in the Environment*. Dordrecht: Springer Netherlands, 1996. 71-90.

60. Weir, Doug. "How Does War Damage the Environment?." *Environmental Education: An Interdisciplinary Approach to Nature* (2023): 181.
61. Al-Ansari, Nadhir, et al. "Quality of surface water and groundwater in Iraq." *Earth Sciences and Geotechnical Engineering* 11.2 (2021): 161-199.
62. Baba, Alper, Ruwad AL Karem, and Hamidreza Yazdani. "Groundwater resources and quality in Syria." *Groundwater for Sustainable Development* 14 (2021): 100617.
63. Madhav, Sughosh, et al. "Water pollutants: sources and impact on the environment and human health." *Sensors in water pollutants monitoring: Role of material* (2020): 43-62.
64. Morin-Crini, Nadia, et al. "Worldwide cases of water pollution by emerging contaminants: a review." *Environmental Chemistry Letters* 20.4 (2022): 2311-2338.
65. Dowlati M. et al. Water resources resilience model in climate changes with community health approach: Qualitative study. *Case studies in chemical and environmental engineering*. – 2023. – Т. 8. – С. 100521.
66. Adamopoulos I. et al. Climate change and adverse public health impacts on human health and water resources. *Environmental Sciences Proceedings*. – 2023. – Т. 26. – №. 1. – С. 178.
67. Obasi P. N., Akudinobi B. B. Potential health risk and levels of heavy metals in water resources of lead–zinc mining communities of Abakaliki, southeast Nigeria. *Applied Water Science*. – 2020. – Т. 10. – №. 7. – С. 1-23.
68. Patel N. et al. Nitrate contamination in water resources, human health risks and its remediation through adsorption: a focused review. *Environmental Science and Pollution Research*. – 2022. – Т. 29. – №. 46. – С. 69137-69152.
69. Смалій О. В. Стан використання водних ресурсів басейну річки Сіверський Донець. *ВІСНИК VISNIK*. – 2016. – С. 214.
70. Лобода Н. С., Козлов М. О. Оцінка водних ресурсів річок України за середніми статистичними моделями траєкторій змін клімату RCP4. 5 та RCP8. 5 у період 2021-2050 роки. *Український гідрометеорологічний журнал*. – 2020. – Т. 25. – С. 93-104.

71. Shukla, Saurabh, et al. "Environment and health hazards due to military metal pollution: A review." *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* (2023): 100857.
72. Melnyk, Oksana, et al. "Risks of toxic environmental pollution from military operations." *Food security: modern challenges and mechanisms to ensure* (2023): 25.
73. Inyinbor Adejumo, A., et al. "Water pollution: effects, prevention, and climatic impact." *Water challenges of an urbanizing world* 33 (2018): 33-47.
74. Dojlido, Jan, and Gerald A. Best. *Chemistry of water and water pollution*. Ellis Horwood Limited, 1993.
75. Morin-Crini, Nadia, et al. "Worldwide cases of water pollution by emerging contaminants: a review." *Environmental Chemistry Letters* 20.4 (2022): 2311-2338.
76. Zamora-Ledezma, Camilo, et al. "Heavy metal water pollution: A fresh look about hazards, novel and conventional remediation methods." *Environmental Technology & Innovation* 22 (2021): 101504.
77. Stokal, Vita, Anna Kurovska, and Maryna Stokal. "More river pollution from untreated urban waste due to the Russian-Ukrainian war: a perspective view." *Journal of Integrative Environmental Sciences* 20.1 (2023): 2281920.
78. Yanxun, Song, et al. "Analysis of the groundwater and soil pollution by oil leakage." *Procedia Environmental Sciences* 11 (2011): 939-944.
79. Kayode-Isola, T. M., et al. "Response of resident bacteria of a crude oil-polluted river to diesel oil." *American-Eurasian Journal of Agronomy* 1.1 (2008): 6-9.
80. Mendelssohn, Irving A., et al. "Oil impacts on coastal wetlands: implications for the Mississippi River Delta ecosystem after the Deepwater Horizon oil spill." *BioScience* 62.6 (2012): 562-574.
81. Damásio, Joana B., et al. "Comparing the response of biochemical indicators (biomarkers) and biological indices to diagnose the ecological impact of an oil spillage in a Mediterranean river (NE Catalunya, Spain)." *Chemosphere* 66.7 (2007): 1206-1216.
82. Jernelöv, Arne. "The threats from oil spills: now, then, and in the future." *Ambio* 39.5 (2010): 353-366.



83. Schillinger, Juliane, et al. "Water in war: Understanding the impacts of armed conflict on water resources and their management." *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water* 7.6 (2020): e1480.

84. Bu-Olayan, A. H., et al. "Effects of the Gulf War oil spill in relation to trace metals in water, particulate matter, and PAHs from the Kuwait Coast." *Environment international* 24.7 (1998): 789-797.

85. Moskovchenko, Dmitriy V., Aleksey G. Babushkin, and Andrey A. Yurtaev. "The impact of the Russian oil industry on surface water quality (a case study of the Agan River catchment, West Siberia)." *Environmental Earth Sciences* 79.14 (2020): 355.

86. Guo, Weijun, et al. "Long-term petroleum hydrocarbons pollution after a coastal oil spill." *Journal of Marine Science and Engineering* 10.10 (2022): 1380.

87. Tan, Yi, et al. "Analysis of groundwater pollution in a petroleum refinery energy contributed in rock mechanics through ANFIS-AHP." *International Journal of Energy Research* 46.15 (2022): 20928-20938.

88. McCauley, Rita N. "THE BIOLOGICAL EFFECTS OF OIL POLLUTION IN A RIVER 1." *Limnology and Oceanography* 11.4 (1966): 475-486.

89. Becker, Anna Maria, Silke Gerstmann, and Hartmut Frank. "Perfluorooctane surfactants in waste waters, the major source of river pollution." *Chemosphere* 72.1 (2008): 115-121.

90. Samecka-Cymerman, A., and A. J. Kempers. "Biomonitoring of water pollution with *Elodea canadensis*. A case study of three small Polish rivers with different levels of pollution." *Water, Air, and Soil Pollution* 145 (2003): 139-153.

91. Goel, P. K. *Water pollution: causes, effects and control*. New age international, 2006.

92. Md Anawar, Hossain, and Rezaul Chowdhury. "Remediation of polluted river water by biological, chemical, ecological and engineering processes." *Sustainability* 12.17 (2020): 7017.

93. Haddeland I. et al. Global water resources affected by human interventions and climate change //Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2014. – T.

111. – №. 9. – С. 3251-3256.

94. García-Ruiz J. M. et al. Mediterranean water resources in a global change scenario //Earth-Science Reviews. – 2011. – Т. 105. – №. 3-4. – С. 121-139.

95. Schewe J. et al. Multimodel assessment of water scarcity under climate change //Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2014. – Т. 111. – №. 9. – С. 3245-3250.

96. Geissen V. et al. Emerging pollutants in the environment: a challenge for water resource management //International soil and water conservation research. – 2015. – Т. 3. – №. 1. – С. 57-65.

97. Cheng K. et al. Analysis of the spatial variation and identification of factors affecting the water resources carrying capacity based on the cloud model //Water Resources Management. – 2018. – Т. 32. – С. 2767-2781.

98. Archundia D. et al. Water resources affected by potentially toxic elements in an area under current and historical mining in northwestern Mexico //Environmental Monitoring and Assessment. – 2021. – Т. 193. – С. 1-20.

99. Волошкіна О.С., Ткаченко Т.М., Василенко Л.О, Жукова О.Г.Збалансоване природокористування та ресурсозбереженняО.С.Волошкіна, Т.М.Ткаченко, Л.О.Василенко, О.Г.Жукова – К. : КНУБА, 2022

100. ЕКОТЕХНОГЕННІ НАСЛІДКИ РУЙНУВАННЯ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД. ПРОГНОЗИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВІДНОВЛЕННЯ. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, КИЇВ, 20 червня 2023 - 136 с.  
<https://drive.google.com/file/d/16Lr4eXDwnO0go8maanXvEn0mgyV2RIkX/view>

101. Наслідки руйнування Каховської ГЕС на супутникових знімках: до і після [Електронний ресурс]. BBC News Україна. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-65848696>. Дата публікації 8 червня 2023 р.

102. Сценарії затоплення навколишніх територій при прориві дамби Каховської ГЕС [Електронний ресурс]. Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку. URL: <http://wdc.org.ua/uk/kakhovska-hpp-flooding-scenarios>. Дата публікації 9 червня 2023 р.

103. Махар показала нові супутникові знімки наслідків підриву Каховської ГЕС [Електронний ресурс]. New Voice Україна. URL: <https://nv.ua/ukr/ukraine/events/kahovska-ges-z-yavilisya-novi-suputnikovii-znimki-ostanni-novini-50332545.html>. Дата публікації 17 червня 2023 р. 02:07.

104. Незворотні зміни. Як знищення греблі Каховської ГЕС нашкодить українській екології [Електронний ресурс]. BBC News Україна. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-65858913>. Дата публікації 10 червня 2023 р.

105. Ризики для ЗАЕС: «Енергоатом» і МАГАТЕ відреагували на підрив Каховської ГЕС [Електронний ресурс]. Радіо Свобода. URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/news-enerhoatom-i-mahate-zaes-ryzyky/32446471.html>.

106. Економічні та соціальні наслідки руйнування Каховської ГЕС: оцінка на 8 червня [Електронний ресурс]. Економіка України. URL: <https://thepage.ua/ua/economy/naslidki-rujnuvannya-kahovskij-ges-ocinka-na-8-cheravnua>. Дата публікації 8 червня 2023 р. 18:51

107. Гулійчук Д. Після Каховської ГЕС окупанти підірвали ще одну дамбу: саме тут зсу успішно просувалися [Електронний ресурс]. ТСН. URL: <https://tsn.ua/ato/pislya-kahovskoyi-ges-okupanti-pidirvali-sche-odnu-dambu-same-tut-zsu-uspishno-prosuvalisya-2348011.html> Дата публікації 12.06.2023.

108. Ключові ризики водопостачання, що виникли внаслідок руйнування Каховської ГЕС. Шляхи та заходи їх подолання./Олександр КРАВЧЕНКО, Світлана ПОТАПЕНКО, Тетяна КУБА, Лілія БАТРАК // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, КИЇВ, 20 червня 2023 - 12-13с. <https://drive.google.com/file/d/16Lr4eXDwnO0go8maanXvEn0mgyV2RIkX/view>

109. Якими є наслідки російського теракту на Каховський ГЕС для дикої природи. UNCG/Українська природоохоронна група. Електронний доступ: <https://uncg.org.ua/iakymy-ie-naslidky-rosijskoho-teraktu-na-kahovskij-ges-dlia-dykoi-pryrody/>

110. Підрив Каховської ГЕС: попередні висновки і можливі наслідки. Екологія. Право. Людина. Електронний доступ: <http://epl.org.ua/announces/pidryv-kahovskoyi-ges-poperedni-vysnovky-i-mozhlyvi-naslidky/>

111. О. Барсукова. У Новій Каховці затопило зоопарк "Казкова Діброва": загинули майже всі тварини. Українська правда. Електронний доступ: <https://life.pravda.com.ua/society/2023/06/6/254695/>

112. Підрив дамби, який врятував Київ (електронний ресурс) - Дата звернення 23.05.2023 - <https://nv.ua/ukr/ukraine/events/shcho-vidbuvayetsya-v-seli-demidiv-yake-zatopili-shchob-vryatuvati-kijiv-novini-ukrajini-50238773.html>

113. Дослідження поточного стану хвостосховищ Донбасу щодо їхнього можливого аварійного впливу на водні об'єкти в умовах військових дій/ І.Ніколаєва, Г. Ленько, О. Лободзінський. К – 2019, ОБСЄ, Міністерство енергетики та захисту довкілля. – 52 с.

<https://www.osce.org/files/f/documents/b/b/456847.pdf>

114. Стан басейну Сіверського Дінця та фактори впливу в умовах військових дій. Технічний звіт/ ОБСЄ, Міністерство екології та природних ресурсів України, 2018, -88с. <https://www.osce.org/files/f/documents/8/a/419462.pdf>

115. Якість води в Інгульці та Південному Бузі погіршалася за низкою показників (електронний ресурс) - Дата звернення 23.05.2023 <https://unn.ua/news/yakist-vodi-v-ingultsi-ta-pivdennomu-buzi-pogirshilasya-zanizkoju-pokaznikiv-mindovkillya-perechislilo-vidkhilennya-vid-normi>

116. Зміни якості води у водоймах півдня України, після підриву росіянами Каховської ГЕС (електронний ресурс) - Дата звернення 23.06.2023 <https://in.kherson.ua/zminy-yakosti-vody-u-vodojmah-pivdnya-ukrayiny-pislya-pidryvu-rosiyanamy-kahovskoyi-ges/>

117. Організації Міндовкілля продовжують моніторингові спостереження змін якості вод на Півдні України (електронний ресурс) - Дата звернення 23.06.2023 <https://mepr.gov.ua/organizatsiyi-mindovkillya-prodovzhuyut-monitoringovi-sposterezhennya-zmin-yakosti-vod-na-pivdni-ukrayiny/>

118. Дані державного моніторингу поверхневих вод (електронний ресурс) -

Дата звернення 23.09.2023 <https://data.gov.ua/dataset/surface-water-monitoring>

119. О.Я.Олійник, Ю.І.Калугін. Деякі результати теоретичних досліджень процесів масообміну в пористих середовищах. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*-К.КНУБА, 2005-Вип.5-С.100-112

120. О.С.Волошкіна Теоретичне обґрунтування фільтрації ґрунтових вод і міграції забруднень і добрив у районах зрошення земель/О.С.Волошкіна, В.С.Кремез, О.Є.Олійник. *Екологічна безпека і природокористування*. – 2012. – №10. – С.5–24.

121.Щербак О. В, Яковлев Є. О., Долін В. В. Моделювання гідрогеофільтраційного поля ґрунтових вод у зоні впливу металургійного виробництва. *Мінеральні ресурси України*, .№ 3, 2018 – С.19-25.

122. Телима С.В. Про деякі аспекти дослідження геофільтрації в багатошарових водоносних системах методом математичного. *Містобудування та терит. планув.* - 2002. - Вып. 11. - С. 138-146

123. Modeling of the riverside groundwater intakes exploitation taking into account of the stream flow changes/Telyma, S.V., Voloshkina, O.S., Bereznytska, Y.U.O., Efimenko, V.M.//Geoinformatics 2020 - XIXth International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects", 2020, p.1– 5 DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo084>

124. N.E. Zhukovsky. Leakage of water through dams//M.: *Gostekhizdat*, 1950. Т. 7. Page 297-332.

125. P.Ya. Polubarinova-Kochina. Theory of the movement of subsoil waters. M.: *Gostekhizdat*, 1952. 676 pages; the 2nd prod. M.: Science, 1977. 664 pages.

126. V.I. Aravin, S.N. Numerov. The theory of the movement of liquids and gases in the non-deformable porous environment. M.: *Gostekhizdat*, 1953. 616 pages.

127. Development of researches on the theory of filtering in the USSR (1917–1967). M.: *Science*, 1967. 545 pages.

128. G.K. Mikhaylov, V.N. Nikolayevsky. The movement of liquids and gases in porous environments. Mechanics in the USSR in 50 years. M.: *Science*, 1970. Т. 2. Page 585 – 648.

129. P.Ya. Kochina. Chosen works. Hydrodynamics and theory of filtering. *M.: Science*, 1991. 351 pages.

130. P.Ya. Polubarinova-Kochina, V.G. Pryazhinskaya, V.N. Emikh. Mathematical methods in questions of irrigation – *M.: Science*, 1969.

131. E.N. Bereslavskii. About some hydrodynamic models connected with a problem of Zhukovsky about flow of a groove. *Dokl. RAS*. 2013. Volume 448. No. 5, page 529-533

132. E.N. Bereslavskii. About some mathematical models connected with a problem of Zhukovsky about flow of a groove. *Applied mathematics and mechanics*. 2014. T.78. Issue 3.S. 394-400.

133. E. N. Bereslavskii. Modeling the Movement of Groundwater from the Pits, Surrounded with Tongues of Zhukovsky. *International Journal of Teoretical and Applied Mathematics (USA)*.2017. V.3. № 4. pp.124–137.

134. V.G. Pryazhinskaya. The movement of subsoil waters in a rectangular jumper with an impenetrable vertical wall. *Izv. Academy of Sciences of the USSR. Mechanics and mechanical engineering*. 1964. No. 2. Page 41-49.

135. M.: Ying t of mechanics problems. RAS. 1996. *Pre-print* No. 567. 122 pages.

136. E.N. Bereslavskii, P.Ya. Kochina. About the differential equations of a class of Fuchs which are found in some problems of mechanics of liquids and gases. *Izv. RAS. Mechanics of liquid and gas*. 1997. No. 5. Page 9-17.

137. Сучасний технічний стан каналів Інгулецької зрошувальної системи та нові конструкції облицювань із використанням геосинтетичних матеріалів / С. М. Ворошнов, Я. В. Шевчук, О. Ю. Юзюк. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. - 2018. - Вип. 8. - С. 232-240. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/mesg\\_2018\\_8\\_30](http://nbuv.gov.ua/UJRN/mesg_2018_8_30)

138. Волошкіна, О., Жукова, О., & Маршалл, Д. (2023). Теоретичне обґрунтування оцінки забруднення поверхневих водних ресурсів підземним стоком внаслідок воєнних дій. *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*, (101), 5–10. <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2023.101.0101>

139.\_Проектування протифільтраційних облицювань і кріплень каналів зрошувальних систем. Посібник до ДБН В2.4-1-99 «Меліоративні системи та споруди», К.: Інститут гідротехніки і меліорації ААНУ, 2006 – 79с.

140. STUDY OF SEEPAGE LOSSES FROM IRRIGATION CANALS USING RADIOACTIVE TRACER TECHNIQUE/Manzoor Ahmad Jamil Ahmad Tariq Abid Rashid\* Muhammad Rafiq Naveed Iqbal. *PINSTECH-170 Revision* 1 June 2004.- [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/ Public/38/039/38039641.pdf12/](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/38/039/38039641.pdf12/)

141. An Experimental Study on Concrete and Geomembrane Lining Effects on Canal Seepage in Arid Agricultural Areas / Xudong Han, Xiugui Wang, Yan Zhu, Jiesheng Huang, Liqing Yang, Zhifu Chang and Feng Fu//*Water* 2020, 12(9), 2343; <https://doi.org/10.3390/w12092343>

142. Олейник А.Я. Геогидродинамика дренажа. Киев : Наукова думка, 1984. 284 с

143. Розрахунок фільтрації в зоні гідроспоруд/ Ляшко І.І., Мистецький Г.Є., Олійник О.Я.- 2-ге видання, доповнене- Київ:Будівельник.1980.-152С.

144. Березницька Ю.О., Волошкіна О.С. Моделювання підтоплення із споруд з екранами для оцінки ефективності природоохоронних заходів. *Екологічна безпека і природокористування*. – 2011. – №7. – С. 168-175.

145. Березницька Ю.О., Волошкіна О.С. Застосування методу фільтраційних опорів при розрахунках рівня ґрунтових вод підтоплених територій. *Екологічна безпека і природокористування*. – 2010. – №5. – С. 75–83.

146. Массалітіна Є.В. Операційне числення. Теорія та методика розв'язування задач. Методичний посібник для студентів технічних спеціальностей/ Є.В. Массалітіна, О.О. Кільчинський. - К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. – 90 с.

147. Моделювання і розрахунки внутрішньодренної гідравліки при роботі підземних водозаборів і дренажів / С.В. Телима, Є.О. Олійник, С.М. Курганська, О.В. Харламова. *Екологічна безпека та природокористування* : зб. наук. праць. / Ін-т телекомунікацій і глоб. інформ. простору ; Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. ; – Київ : ІТІГП, 2015. – Вип.19 . – С. 33-43

148. Телима С.В. Прогнозування водно-сольового режиму ґрунтових вод на землях зрошення на основі даних натурних спостережень. Наук-техн.збірник “Містобудування та територіальне планування”. Київ, КНУБА. 2015, вип..57.-С.443-449.

149. FORECASTING EMERGENCY SITUATIONS CONNECTED WITH REGIONAL FLOODING BY GROUNDWATER IN SOUTHERN UKRAINE. Sergii Telyma, Olena Voloshkina, Yevheniia Anpilova, , Volodymyr Efimenko, Yevhenii Yakovliev /16th International May Conference on Strategic Management – IMCSM2020 <http://mksm.sjm06.com>

150. Розрахунок втрат води з каналу і визначення прогнозного положення рівня ґрунтових вод у умовах зрошення. Методичні рекомендації для виконання лабораторних робіт з дисципліни «Меліоративна гідрогеологія» для студентів напряму підготовки 6.040103 Геологія/ О.О.Подвігіна, А.М.Загриценко – Д.:ДВНЗ Національний гірничий університет, 2014.-19с. [https://gig.nmu.org.ua/en/stud/metod\\_MLG.pdf](https://gig.nmu.org.ua/en/stud/metod_MLG.pdf)

151. Маршалл Д., Шевчук Я.В.Оцінка визначення параметрів забруднення підземних вод із зруйнованих меліоративних споруд, хвостосховищ та затоплених сміттєзвалищ. *Екологічна безпека та природокористування*: зб. Наук. Праць / М-во освіти і науки України, Київ, нац. Ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. Ін форм. простору. – К., 2023. – Вип. 48. – С21-31. DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.4.21-31>

152. О. ВОЛОШКІНА, Д. МАРШАЛЛ, Я. ШЕВЧУК. Теоретичне обґрунтування визначення параметрів забруднення підземних вод із зруйнованих меліоративних споруд, хвостосховищ та затоплених сміттєзвалищ. ЕКОТЕХНОГЕННІ НАСЛІДКИ РУЙНУВАННЯ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД.ПРОГНОЗИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВІДНОВЛЕННЯ. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, КИЇВ, 20 червня 2023, КНУБА, С.19-20 <https://drive.google.com/file/d/16Lr4eXDwnO0go8maanXvEn0mgYV2RIkX/view2>.

153. Numerical Canal Seepage Loss Evaluation for Different Lining and Crack Techniques in Arid and Semi-Arid Regions: A Case Study of the River Nile, Egypt.



Elsayed Elkamhawy, Martina Zelenakova, Ismail Abd-Elaty/ *Water* 2021, 13(21), 3135; <https://doi.org/10.3390/w13213135>

154. El-Molla, D.A.; El-Molla, M.A. Seepage losses from trapezoidal earth canals with an impervious layer under the bed. *Water Pract. Technol.* 2021, 16, 530–540.

155. Zhang, Q.; Chai, J.; Xu, Z.; Qin, Y. Investigation of irrigation canal seepage losses through use of four different methods in Hetao irrigation district, China. *J. Hydrol. Eng.* 2017, 22, 05016035.

156.Теліма С. В. (2006) Проблеми підтоплення ґрунтовими водами південних регіонів України. Вплив Каховського водосховища, магістральних каналів та зрошувальних систем. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 6, 14-32.

157. Modeling of Pollution Spreading Problems on Irrigated Lands. Serhii Telyma, Olena Voloshkina, Olena Zhukova, Rostyslav Sipakov. *Conference: World Environmental and Water Resources Congress 2023*, -pp. 493 – 508, DOI: [10.1061/9780784484852.048](https://doi.org/10.1061/9780784484852.048)

158. О.В. Морозов, В.В. Морозов, Є.В. Козленко. СИСТЕМНИЙ ПІДХІД У ДОСЛІДЖЕННЯХ ТЕХНІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАКРИТОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖУ /№ 2 (2021): *Таврійський науковий вісник*. Серія: Технічні науки . <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.2.8>

159. Інгулецька зрошувальна система: стан, проблеми та перспективи розвитку :монографія / Є.В. Козленко та ін. ; за ред. О.В. Морозова. Херсон : Айлант, 2020. 204 с.

160. Методичні рекомендації до розрахунків захисту територій від підтоплення в зоні зрошення (1986) . Київ, Мінводгосподарство УРСР, 392.

161.Клімов С.В. (2018) Локалізація впливу дренажних систем за допомогою дренажно-екранних модулів: Монографія. Рівне: НУВГП, 249.

162.Трач Ю., Титковська-Оверко М., Речек Л.; Мішель М. (2021) Порівняння адсорбційної здатності українського туфу та базальту з видаленням

цеоліту-марганцю з водного розчину. *Журнал екологічної інженерії*, 22, 161–168. <https://doi.org/10.12911/22998993/132605> .

163. Манзур, А., Джаміль, А., Тарік, А., Мухаммад, Р., Навід, І. (2004) Дослідження втрат просочування з іригаційних каналів з використанням радіоактивних індикаторів. Редакція PINSTECH-170, 1 червня 2004 р. Режим доступу:

[https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/ Public/38/039/38039641.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/38/039/38039641.pdf)

164. Matselyuk, E.M., Charniy, D.V., Levytska, V.D., Marisyk, S.V. (2021) New technological solutions for water supply systems in modern conditions. *Reclamation and water management*, 2, 201-209. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202102-303>.

165. Sadek, M.; Hagagg, K. Impact of reduced flow on 137Cs behavior in Ismailia Canal and surrounding groundwater systems. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2020, 27, 44279–44291.

166. Abd-Elhamid, H.; Abdelaty, I.; Sherif, M. Evaluation of potential impact of Grand Ethiopian Renaissance Dam on Seawater Intrusion in the Nile Delta Aquifer. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2019, 16, 2321–2332.

167. Waller, P.; Yitayew, M. *Irrigation and Drainage Engineering*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2015.

168. Eltarabily, M.G.; Moghazy, H.E.; Abdel-Fattah, S.; Negm, A.M. The use of numerical modeling to optimize the construction of lined sections for a regionally-significant irrigation canal in Egypt. *Environ. Earth Sci.* 2020, 79, 80.

169. Mowafy, M.H. Seepage losses in Ismailia canal. In Proceedings of the Sixth International Water Technology Conference, Alexandria, Egypt, 23–25 March 2001.

170. Telyma S.V. (2006) Problems of groundwater flooding of the southern regions of Ukraine. Impact of the Kakhov reservoir, main canals and irrigation systems. *Problems of water supply, drainage and hydraulics*, 6, 14-32.

171. Daniil Marshall, Olena Zhukova. WAYS OF RATIONAL USE OF WATER RESOURCES IN THE CONDITIONS OF POST-WAR RECLAMATION

SYSTEMS IN THE SOUTH OF UKRAINE/ *EP.2023;Volume 8, Number 4*: pp.205-209, - <https://doi.org/10.23939/ep2023.04.205>

172. Телима С.В. Проблеми підтоплення південних районів України ґрунтовими водами. Вплив Каховського водосховища, магістральних каналів та зрошувальних систем. Наук.техн.зб. “Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки”, К., КНУБА, 2006, вип..6.-С.14-32.

173. Маршалл Д. І., Деякі питання відновлення зрошувальних систем Півдня України. Матеріали XV Міжнародна науково-технічна конференція “ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ”, 21-22 вересня 2023 року, Миколаїв, 79-80с. [drive.google.com/file/d/1SaTD\\_tsl\\_0R31OX9g486oZR6PKyPqzg1/view](drive.google.com/file/d/1SaTD_tsl_0R31OX9g486oZR6PKyPqzg1/view)  
<https://sites.google.com/nuos.edu.ua/15-environmental-conference/збірник-тез-конференції>

174. Козленко Є. В., Морозов О. В., Морозов В. В. (2021) Дренажний стік як додаткове джерело водних ресурсів на Інгулецькій зрошувальній системі. *Аграрні інновації* , 5, 52-59. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrар.innov.2021.5.9>

175. Козленко, Є. В. (2020) Інгулецька зрошувальна система: стан, проблеми та перспективи розвитку : моногр. Херсон: Айлант, 204.

176. Морозов, О. В. (2020) Оцінка якості зрошувальної води в системі еколого-оздоровчого моніторингу. *Водні біоресурси та аквакультура. Сільськогосподарські науки* , 2, 192–209.

177. Морозов, В. В. (2018) Обґрунтування критеріїв якості поливної води для ґрунтів Інгулецького зрошуваного масиву. *Таврійський науковий вісник* , 99, 88–93.

178. Хоружий П. Д., Левицька В. Д., Стасюк С. Р., Нор В. В., Хомуцька Т. П. (2020) Удосконалення технологій знезалізнення та підземного водопостачання в автоматизованих системах сільськогосподарського водопостачання. *Меліорація та водне господарство* , 1 (вип. 111), 186-194. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-227>.

179. Посібник з технологій водопостачання в умовах надзвичайних ситуацій. Арно Корвер, Лоренц Еверс, Ерік Ф’юстер, Деклан Галбрейт, Роберт

Генш, Джей Матта, Марина Петер / 1 видання , 228с. 67[https://www.emergency-wash.org/water/images/pdf/Water\\_Compndium\\_Ukraine.pdf](https://www.emergency-wash.org/water/images/pdf/Water_Compndium_Ukraine.pdf)

180. Волошкіна О.С., Жукова О.Г., Кордуба І.Б., Маршалл Д.І. Методичні підходи до оцінки забруднення поверхневих водних об'єктів в зоні дії гірничо-видобувних підприємств (на прикладі Донецько-Придніпровського регіону)/ Екологічна безпека та природокористування: зб. Наук. Праць / М-во освіти і науки України, Київ, нац. Ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. Ін форм. простору. – К., 2021. – Вип. 39. – С.69-75  
DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.3.69-75>

181. Маршалл Д. Фільтраційні розрахунки захисних споруд для відновлення деокупованих територій.Збірник наукових праць. Науковий журнал «ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ», №5, 2023, С.9-14

182. Ресурсозберігаючі технології водопостачання / П.Д. Хоружий, Т.П. Хомуцька, В.П. Хоружий. – К: *Аграрна наука*, 2008. – 534 с. Режим доступу: <https://drive.google.com>

183. Маршалл Д. Зміни якісних показників стану водних ресурсів в рамках впливу боових дій на функціонування очисних споруд та ключові аспекти їх відбудови та відновлення./ Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction» («Зелене будівництво»). Київ: Київський національний університет будівництва і архітектури. 2023, С 501 – 502.  
[https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/30/greenconst\\_2\\_23.pdf](https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/30/greenconst_2_23.pdf)

184. Олена Волошкіна, Ірина Кордуба, Данііл Маршалл, Олена Жукова. Прогнозування роботи відкритих систем охолодження енергетичних об'єктів в умовах глобального підвищення температурних показників. Міжнародна, науково-практична конференція “ЕКОЛОГІЯ, РЕСУРСИ, ЕНЕРГІЯ”: 23-24 листопада 2023р., - 16-17 с. Київ, Україна.

<https://www.knuba.edu.ua/faculties/fise/kafedra-vodopostachannya-ta-vodovidvedennya/konferenciyi-knuba-kafedra-vodopostachannya-ta-vodovidvedennya/>

185. Волошкіна О.С., Маршалл Д.І., Ковальова А.В. СТВОРЕННЯ КОМПЛЕКСУ ПІДХОДІВ ДО ЗАХИСТУ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ З ВРАХУВАННЯМ СУЧАСНИХ ВИКЛИКІВ ДОВКІЛЛЮ/Всеукраїнська науково-практичної інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологічно сталий розвиток урбосистем: виклики та рішення в контексті євроінтеграції України», ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2–3 листопада 2023 р- 145-147с.

[https://ecology.kname.edu.ua/images/Materialy\\_conferenciy/Conference\\_NUUEK\\_2023\\_November\\_.pdf](https://ecology.kname.edu.ua/images/Materialy_conferenciy/Conference_NUUEK_2023_November_.pdf)

186. Трач Ю. Сорбція іонів  $Mn^{2+}$  природними немодифікованими матеріалами: ізотерми сорбції, нелінійний метод. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2020. No 1 (89) С. 62–73.

187. Сакалова Г. В., Василінич Т. М. Дослідження ефективності очищення стічних вод від іонів важких металів з використанням природних адсорбентів : монографія. Вінниця: ВДПУ ім. Михайла Коцюбинського, 2019. 92 с.

188. Kovo G. Akpomie, Folasegun A. Dawodu. Potential of a low-cost bentonite for heavy metal abstraction from binary component system. Beni-Suef University. *Journal of Basic and Applied Sciences*. 2015. Vol. 4, issue 1.Pp. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2015.02.002>.

189. О. М. Хоменко, О. В. Єгорова, О. О. Мислюк. Аналіз сорбційної здатності природних сорбентів по відношенню до водних розчинів сполук важких металів. *Ukrainian hydrometeorological journal*, 2021, 28, 111-119 doi: 10.31481/uhmj.28.2021.10

190. Trach Y., Chernyshev D., Biedunkova O., Trach R., Statnik I. Modeling of Water Quality in West Ukrainian Rivers Based on Fluctuating Asymmetry of the Fish Population, *Water*, 2022, vol. 14, nr 21, s.1-20. ISSN 2073-4441. <https://doi.org/10.3390/w14213511>

191. Гідрохімічний режим та якість води Інгульця в умовах техногенегу. В.К. Хільчевський, Р.Л. Кравчинський, О.В. Чунар'ов. – К.:Ніка-Центр, 2012. –

180 с

192. Абрамова Н.М. Хімічний склад та якість поливної води у каналах Інгулецької зрошувальної системи / НМ. Абрамова // Вісник аграрної науки Причорномор'я. - Миколаїв, 2008. – Вип. 1. – С. 137-141.

193. Що знайшли у водах басейну Дніпра? (електронний ресурс, дата звернення 12.03.2024) - <https://ecosoft.ua/ua/blog/chto-nashli-v-vodakh-basseyna-dnepra/>

194. Волошкіна, О., Жукова, О., & Маршалл, Д. (2023). Теоретичне обґрунтування оцінки забруднення поверхневих водних ресурсів підземним стоком внаслідок воєнних дій. *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*, (101), 5–10. <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2023.101.0101>

195. Маршалл Д.І., Шевчук Я.В. Оцінка визначення параметрів забруднення підземних вод із зруйнованих меліоративних споруд, хвостосховищ та затоплених сміттєзвалищ/ Екологічна безпека та природокористування: зб. Наук. Праць / М-во освіти і науки України, Київ, нац. Ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. Ін форм. простору. – К., 2023. – Вип. 48. – С21-31. DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.4.21-31>

196. Hillier S. Clay Mineralogy // Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks / G. Middleton, M. Church, M. Coniglio et al. Dordrecht : Springer, 2003. P. 139–142.

197. Мала гірничча енциклопедія : у 3 т./ За ред. В. С. Білецького. Донецьк : Східний видавничий дім, 2004–2013.

198. Guggenheim S., Adams J., Bain D. et al. Summary of Recommendations of Nomenclature Committees Relevant to Clay Mineralogy: Report of the Association Internationale Pour L'Etudes Des Argiles (AIPEA) Nomenclature Committee for 2006. *Clay Minerals*. 2006. № 41. P. 863–877.

199. Онищенко В. А. Все почалося з глини // *Кераміка України* / Уклад. М. А. Серб. Київ : Логос Україна, 2009. С. 5–12.

200. Гайко Г. І., Білецький В. С. Історія гірництва. Київ; Алчевськ : Видавничий дім «Києво-Могилянська академія» ; ЛАДО, 2013. 542 с.

201. Khan A., Lemmen C. Bricks and Urbanism in the Indus Valley Rise and Decline // arXiv. 2013. P. 1–13. URL: <https://arxiv.org/abs/1303.1426>

202. Кривенко П. В., Пушкарьова К. К., Барановський В. Б. та ін. Будівельне матеріалознавство. 3-тє вид. перероб. та допов. Київ : Ліра-К, 2015. 624 с.

203. С.В. Шаповал, А.А. Баранова Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт «Фізико-механічні властивості природних будівельних матеріалів і цегли» / Харківський нац. унів. міського господарства ім. О.М. Бекетова.- Укладачі: С.В. Шаповал, А.А. Баранова // Х.:ХНУМГ О.М. Бекетова, 2015.- 34с.

204. Л.А. Хрокало, Т.М. Пилипенко Адсорбційні властивості фармацевтичних препаратів: активованого вугілля і білого вугілля [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://journals.nubip.edu.ua>

205. АДСОРБЦІЙНА ЗДАТНІСТЬ КОСМЕТИЧНИХ ГЛИН Єва Бабкіна, Владислав Мартиненко Керівники – Н.І. Горбунова, Ю.В. Ісаєнко, Л.П. Павлова Фаховий коледж Національного фармацевтичного університету м. Харків, Україна (електронний ресурс) <https://college.nuph.edu.ua/wp-content/uploads/2021/04/%D0%91%D0%B0%D0%B1%D0%BA%D1%96%D0%BD%D0%B0-%D0%9C%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE-%D0%93%D0%BE%D1%80%D0%B1%D1%83%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0-%D0%86%D1%81%D0%B0%D1%94%D0%BD%D0%BA%D0%BE-%D0%9F%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0.pdf>

206. P.B. Tchounwou et al., *Experientia Suppl.* 101, 133 (2012); [https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6).

207. V. Popovych, A. Gapalo. *Ecol. Eng.* 22(5), 96 (2021); <https://doi.org/10.12911/22998993/135872>. [3] B. Kaźmierczak, J. Molenda, M. Swat, *Environ. Technol. Innov.* 23, 101737 (2021); <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101737>.

208. Y. Yuana, Zh. An, R. Zhang, X. Wei, B. Lai. *J. Clean. Prod.* 293, 126215 (2021); <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126215>.

209. E. Cerrahoğlu Kaçakgil, S. Çetintaş. *Sustain. Chem. Pharm.* 22, 100468

(2021); <https://doi.org/10.1016/j.scp.2021.100468>.

210. R. Jayasree et al., *Chemosphere* 285, 131502 (2021); <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131502>.

211. A. Kontsur, Yu. Rudyk, L. Sysa, Ya. Kyryliv, *Ecological Safety* 25, 38 (2018); <https://doi.org/10.30929/2073-5057.2018.1.38-45>.

212. L.V. Sysa, K.V. Stepova, M.A. Petrova, A.Z. Kontsur, *Issues of Chemistry and Chemical Technology* 5, 126 (2019); <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2019-126-5-126-134>.

213. К. Степова, Л. Сиса, Р. Конанець. Нелінійне моделювання сорбції іонів Феруму бентонітом в рамках теоретичних моделей. *ФІЗИКА І ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА* Т. 23, № 2 (2022) С. 270-276 DOI: 10.15330/pcss.23.2.270-276

214. Langmuir, J. *Am. Chem. Soc.* 40, 1361 (1918); <https://doi.org/10.1021/ja02242a004>.

215. H.M.F. Freundlich, *Z. Phys. Chem.* 57, 385 (1906); <https://doi.org/10.1515/zpch-1907-5723>

216. B. Al-Duri, G. McKay. *Chem. Eng. J.* 38, 23 (1988); [https://doi.org/10.1016/0300-9467\(88\)80050-9](https://doi.org/10.1016/0300-9467(88)80050-9).

217. H. Moon, W.K. Lee. *J. Colloid. Interface Sci.* 96(1), 162 (1983); [https://doi.org/10.1016/0021-9797\(83\)90018-8](https://doi.org/10.1016/0021-9797(83)90018-8).

218. O. Redlich, D.L. Peterson, *J. Phys. Chem.* 63, 1024 (1959); <https://doi.org/10.1021/j150576a611>.

219. A.P. Matthews, W.J. Jr. Weber, *AIChE Symp. Ser.* 73, 91 (1976).

220. Аналітична і фізико-колоїдна хімія.Адсорбційні процеси. (електронний ресурс) -

[https://elearning.sumdu.edu.ua/free\\_content/lectured:eb3ba2f9c8c4751fb7ceecdce87ed213c32f662c/20190203154149//712466/index.html#:~:text=%D0%9D%D0%B0%D0%B9%D0%B1%D1%96%D0%BB%D1%8C%D1%88%20%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D1%8E%20%D0%B7%20%D1%8F%D0%BA%D0%B8%D1%85%20%D1%94,1%2Fn%2C%20](https://elearning.sumdu.edu.ua/free_content/lectured:eb3ba2f9c8c4751fb7ceecdce87ed213c32f662c/20190203154149//712466/index.html#:~:text=%D0%9D%D0%B0%D0%B9%D0%B1%D1%96%D0%BB%D1%8C%D1%88%20%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D1%8E%20%D0%B7%20%D1%8F%D0%BA%D0%B8%D1%85%20%D1%94,1%2Fn%2C%20)

221. A. Kontsur, L. Sysa, M. Petrova, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 6, 26 (2017); <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.116090>.

222. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу



«Фізико-хімічні основи процесів очищення води. Частина 2. Фізико-хімічні методи очищення води» для студентів напряму підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування»/Укл. Гомеля М. Д., Шаблій Т. О., Носачова Ю. В. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. -74 с. – Укр. Мовою. [https://eco-paper.kpi.ua/images/documents/metodichki/eco/3k/fiz\\_xim\\_osnovi\\_och\\_vod- LR\\_2.pdf](https://eco-paper.kpi.ua/images/documents/metodichki/eco/3k/fiz_xim_osnovi_och_vod- LR_2.pdf)

223. С.Б. Большанина, І.Г. Воробйова, Н.М. Гловин, М.С. Мальований. Дослідження здатності глинистих сорбентів до адсорбції іонів цинку // Вісник КрНУ ім. М. Остроградського. Випуск 3/2013(80). С.203-206. 37. С.Б. Большанина, В.Д. Івченко, І.Г. Воробьева Застосування адсорбції іонів Fe<sup>3+</sup> та Fe<sup>2+</sup> глинистими мінералами в природоохоронних технологіях / Актуальні проблеми дослідження довкілля / V Міжнародна наукова конференція 23-25 травня 2013, Суми, 2013, т.2 — С.267-270.

224. С.Б. Большанина, В.Д. Івченко, І.Ю. Матюшенко Вплив кислотності середовища на процес видалення іонів Fe<sup>2+</sup> та Fe<sup>3+</sup> з водних розчинів мінеральними сорбентами / IV ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ З'ЇЗД ЕКОЛОГІВ З МІЖНАРОДНОЮ УЧАСТЮ (Екологія/ Ecology), 25-27 вересня, 2013. Збірник наукових статей.- Вінниця: Видавництво-друкарня ДІЛО, 2013.-552 с.

225. Soni A.K., Yanovska A.A., Bolshanina S.B. Adsorbption of Zn<sup>2+</sup> ions by alginatehydroxyapatite microspheres / II Ukrainian-Polish scienstific conference "Membrane and Sorption processes and technologies". Abstracts / Editors: Sobczuk H., Vakuliuk P. - KyivNaUKMA, 2015. - P. 240-242.

226. Большанина С.Б., Івченко В.Д., Яновська Г.О. Кінетика адсорбційних процесів на глинистих мінералах / V-й всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology - 2015), 23-26 вересня, 2015. Збірник наукових праць. - Вінниця: ТОВ "Нілан-ЛТД", 2015. - 280 с., С. 158

227. Кириченко О. М. Активація глинистих сорбентів у технологіях адсорбційного очищення стоків. Сучасні технології у промисловому виробництві: матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету технічних систем та

енергоефективних технологій (м. Суми, 14-17 квітня 2015 р.): у двох частинах / редкол. О.Г. Гусак, В.Г. Євтухов. - Суми: Сумський державний університет, 2015. - Ч. 1. - С. 104.

228. A.A. Yanovska, S.B. Bolshanina, A.S. Stanislavov, V.N. Kuznetsov, A.B. Mospan, V.Yu. Illiashenko, Yu.V. Rogulsky Synthesis and characterization of Cu loaded hydroxyapatite - alginate microspheres / Матеріали Всеукраїнської конференції з міжнародною участю «Хімія, фізика і технологія поверхні» і семінару «Наноструктуровані біосумісні / біоактивні матеріали» – Київ, 2017. – 190 с., с.173

229. Richa M. et al. Impact of industrial estates on water resources. *International Journal of Environmental Science and Development*. – 2016. – Т. 7. – №. 12. – С. 933-939.

230. Masood N., Hudson-Edwards K., Farooqi A. True cost of coal: Coal mining industry and its associated environmental impacts on water resource development. *Journal of Sustainable Mining*. – 2020. – Т. 19. – №. 3. – С. 1.

231. Miller S. A., Horvath A., Monteiro P. J. M. Impacts of booming concrete production on water resources worldwide. *Nature Sustainability*. – 2018. – Т. 1. – №. 1. – С. 69-76.

232. Yue W. et al. Industrial water resources management based on violation risk analysis of the total allowable target on wastewater discharge. *Scientific reports*. – 2017. – Т. 7. – №. 1. – С. 5055.

233. Garg S. et al. Impact of industrial wastewater on environment and human health //Advanced Industrial Wastewater Treatment and Reclamation of Water: Comparative Study of Water Pollution Index during Pre-industrial, Industrial Period and Prospect of Wastewater Treatment for Water Resource Conservation. – 2022. – С. 197-209.

234. Hasan H. A. et al. A review of biological drinking water treatment technologies for contaminants removal from polluted water resources. *Journal of Water Process Engineering*. – 2020. – Т. 33. – С. 101035.

235. Balaram V. et al. Pollution of water resources and application of ICP-MS

techniques for monitoring and management—A comprehensive review. *Geosystems and Geoenvironment*. – 2023. – C. 100210.

236. Miller G. T., Spoolman S. E. Water resources and water pollution. *Environmental Science*, fifteenth ed. Cengage Learning, Boston. – 2016. – C. 268-269.

237. Patang, Patang, and Andi Puspa Sari Idris. "Analysis of Mechanical Water Filtration Systems for River Water Quality." *The International Journal Of Science & Technoledge* 7.1 (2018): 7-13.

238. Wegelin, Martin. "Surface water treatment by roughing filters." (1996).

239. Zularisam, A. W., A. F. Ismail, and Razman Salim. "Behaviours of natural organic matter in membrane filtration for surface water treatment—a review." *Desalination* 194.1-3 (2006): 211-231.

240. Kawamura, Susumu. *Integrated design and operation of water treatment facilities*. John Wiley & Sons, 2000

241. Jaramillo, Marcela. "Riverbank filtration: an efficient and economical drinking-water treatment technology." *Dyna* 79.171 (2012): 148-157.

242. Ray, Chittaranjan, Gina Melin, and Ronald B. Linsky, eds. *Riverbank filtration: improving source-water quality*. Vol. 43. Springer Science & Business Media, 2003.

243. O'Connor, John T., and Thomas L. O'Connor. "Removal of microorganisms by rapid sand filtration." *H2O'C Engineering, Columbia, Missouri* (2001): 23-35.

244. Lapointe, Mathieu, et al. "Understanding and improving microplastic removal during water treatment: impact of coagulation and flocculation." *Environmental science & technology* 54.14 (2020): 8719-8727.

245. Santhosh, Chella, et al. "Role of nanomaterials in water treatment applications: a review." *Chemical Engineering Journal* 306 (2016): 1116-1137.

246. Konieczny, Krystyna, et al. "Coagulation—ultrafiltration system for river water treatment." *Desalination* 240.1-3 (2009): 151-159.

247. Pizzichetti, Angela Raffaella Pia, et al. "Evaluation of membranes performance for microplastic removal in a simple and low-cost filtration

- system." *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 3 (2021): 100075.
248. Conesa, Juan A., and Nuria Ortuño. "Reuse of water contaminated by microplastics, the effectiveness of filtration processes: A review." *Energies* 15.7 (2022): 2432.
249. Campanale, Claudia, et al. "Microplastics and their possible sources: The example of Ofanto river in southeast Italy." *Environmental Pollution* 258 (2020): 113284.
250. Na, Sang-Heon, et al. "Microplastic removal in conventional drinking water treatment processes: Performance, mechanism, and potential risk." *Water Research* 202 (2021): 117417.
251. Diana, Selvie, et al. "Ceramic Membrane-Based on Fly Ash-Clay For River Water Treatment." (2022).
252. Lartey, Lesley Kwasi Seyram. "Design of a water filtration system for particulate adsorption, heavy metal removal, and water quality analysis." (2021).
253. Kaurwar, Amrita, et al. "Effect of Local Industrial Waste Additives on the Arsenic (V) Removal and Strength of Clay Ceramics for Use in Water Filtration." *Re-Use and Recycling of Materials*. River Publishers, 2022. 141-152.
254. Sarkodee, Augustus Poku. *Mechanical Optimization of Ceramic-based Composites for Water Filtration*. Diss. Ashesi University, 2022.
255. Cabrera, Sandra Motta, et al. "Industrial application of ceramic nanofiltration membranes for water treatment in oil sands mines." *Separation and Purification Technology* 256 (2021): 117821.
256. Jarvis, Peter, et al. "Ceramic vs polymeric membrane implementation for potable water treatment." *Water Research* 215 (2022): 118269.
257. Loi-Brügger, A., et al. "Ceramic membranes for direct river water treatment applying coagulation and microfiltration." *Water Science and Technology: Water Supply* 6.4 (2006): 89-98.
258. Lerch, André, et al. "Direct river water treatment using coagulation/ceramic membrane microfiltration." *Desalination* 179.1-3 (2005): 41-50.
259. Yao, Wenmin, et al. "Multiscale study of physical and mechanical

properties of sandstone in three Gorges reservoir region subjected to cyclic wetting–drying of yangtze river water." *Rock Mechanics and Rock Engineering* 53.5 (2020): 2215-2231.

260. Lv, Guoye, and Yunlong Shi. "Effect of ecological concrete applied to water pollution control of urban river." *Desalination and Water Treatment* 121 (2018): 6-13.

261. Rajapakse, Jay. "Handmade clay balls and recycled crush glass as alternative media in water filtration." *World Academy of Science, Engineering and Technology Proceedings, Volume 60: International Conference on Water, Energy and Environment 2011*. World Academy of Science, Engineering and Technology (WASET), 2011.

262. Wen-Yong, Wu, et al. "Reclaimed water filtration efficiency and drip irrigation emitter performance with different combinations of sand and disc filters." *Irrigation and drainage* 64.3 (2015): 362-369.

263. Hakami, Mohammed Wali, et al. "Ceramic microfiltration membranes in wastewater treatment: filtration behavior, fouling and prevention." *Membranes* 10.9 (2020): 248.

264. Zhao, Yan-xia, et al. "Characterization and mitigation of the fouling of flat-sheet ceramic membranes for direct filtration of the coagulated domestic wastewater." *Journal of hazardous materials* 385 (2020): 121557.

265. Goswami, Kakali Priyam, and G. Pugazhenth. "Credibility of polymeric and ceramic membrane filtration in the removal of bacteria and virus from water: A review." *Journal of environmental management* 268 (2020): 110583.

266. Akosile, S. I., et al. "Performance evaluation of locally produced ceramic filters for household water treatment in Nigeria." *Scientific African* 7 (2020): e00218.

267. Ewis, Dina, et al. "Adsorption of organic water pollutants by clays and clay minerals composites: A comprehensive review." *Applied Clay Science* 229 (2022): 106686.

## ДОДАТКИ

Додаток А



МІНЕКОНОМІКИ  
 ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
 «ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
 НАУКОВО-ВИРОБНИЧИЙ  
 ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦІЇ, МЕТРОЛОГІЇ,  
 СЕРТИФІКАЦІЇ ТА ЗАХИСТУ ПРАВ СПОЖИВАЧІВ»  
 (ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ»)

вул. Метрологічна, 4, м. Київ, 03143

Свідоцтво про уповноваження № П-9-2019 від 14 лютого 2019 р.

## СВІДОЦТВО

про повірку законодавчо регульованого засобу вимірювальної техніки

№ 35-02 / 9377Чинне до 08.02.2024 рокуНазва та умовне позначення Ваги електронніANG 200CЗав. № 71Виробник AXIS, ПольщаЗа результатами повірки встановлено, що засіб вимірювальної техніки  
(далі – ЗВТ) відповідає вимогам ГОСТ 24104-88

(назва нормативно-правового акта,

"Весы лабораторные общего назначения и образцовые. Общие  
що містить вимоги до метрологічних характеристик і значення метрологічнихтехнические условия" за 2-им класом

характеристик (клас точності, похибки, діапазон вимірювання), особливості застосування ЗВТ)

 $N_mГЗ = 0.01 г; НГЗ = 200 г; d = 0.0001 г;$ 

Додаток: на \_\_\_ стор. у \_\_\_ прим.

Персонал, який виконував  
роботи з повірки

(підпис)

Чередниченко О.П.

(ініціали, прізвище)

Місце відбитка  
повірного тавра

8 лютого 2023 р.



**МІНЕКОНОМІКИ**  
 ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
 «ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ВИРОБНИЧИЙ  
 ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦІЇ, МЕТРОЛОГІЇ, СЕРТИФІКАЦІЇ  
 ТА ЗАХИСТУ ПРАВ СПОЖИВАЧІВ»  
 (ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ»)

вул. Метрологічна, 4, м. Київ, 03143  
 Свідоцтво про уповноваження № П-9 2019 від 14 лютого 2019 р.

### СВІДОЦТВО

про перевірку законодавчо регульованого засобу вимірювальної техніки

№ 37/ 0106

Чинне до « 13 » 02 2024 р.

Назва та умовне позначення

**Фотоелектроколориметр**

**КФК-2**

Зав. №

**9002599**

Виробник

**ЗОМЗ**

За результатами перевірки встановлено, що засіб вимірювальної техніки

(далі – ЗВТ) відповідає вимогам **МПУ 029/11-2014**

(назва нормативно-правового акта / нормативного,

**«Рекомендації. Метрологія. Фотометри загального призначення.**

документа, що містить вимоги до метрологічних характеристик і значення метрологічних

**Методика перевірки». від 0 до 100 % Т,  $\Delta = \pm 1\%$ , крім  $\lambda = 590$  нм**

характеристик (клас точності, похибки, діапазон вимірювання), особливості застосування ЗВТ)

Додаток: на — стор. у — прим.

Персонал, який виконував  
 роботи з перевірки

(підпис)

**Є. Ю. Степаненко**

(ініціали, прізвище)

Місце відбитка  
 повірочного тавра

« 13 » 02 2023 р.

Лабораторні значення концентрації іонів міді , мг/дм<sup>3</sup>/коефіцієнтів  
фільтрації, \*10<sup>-6</sup> м/с для трьох зразків глин

З 15.12.2023р. по 05.01 2024 р.- стадія крапельної фільтрації в зразках, з  
06.01.2024 по 21.01 2024 – стадія підпертої фільтрації.

Родовище / дата	15.12 .2023	16.12 .2023	19.12 .2023	20.121 .2023	21.12 2023	22.12 2023	23.12 2023	24.12 2023	26.12 2023	27.12 2023	28.12 2023	29.12 2023	01.01 2024	04.01 2024	05.01 2024
Першотравне одовище, Миколаївська обл.(біла глина)	0,92 / 0,5	0,63 / 0,46	0,31 / 1,01	0,42 / 1,89	0,7 / 1,02	0,51 / 0,8	0,33 / 0,8	0,37 / 1,28	0,36 / 1,23	0,37 / 1,38	0,29 / 1,23	0,33 / 1,27	0,36 / 1,22	2,9 / 1,3	1,92 / 1,2
Актове родовище, Миколаївська обл.(біла глина)	0,17 / 0,8	0,19 / 0,66	0,89 / 0,96	1,07 / 0,38	0,62 / 0,93	0,26 / 0,33	0,304 / 0,8	0,52 / 0,5	0,46 / 0,92	0,34 / 0,74	0,36 / 0,7	0,5 / 0,6	0,92 / 0,78	1,07 / 1,05	2,15 / 1,078
Актове родовище, Миколаївська обл.(червона глина)	0,23 / 3,1	0,15 / 7,8	0,2 / 3,4	0,184 / 6,4	0,23 / 3,0	0,1 / 3,6	0,232 / 2,0	0,14 / 3,7	0,17 / 4,8	0,54 / 5,3	0,14 / 4,5	0,766 / 4,4	0,73 / 4,7	0,55 / 4,0	0,5 / 2,8

Родовище, дата	06.01. 2024	07.01. 2024	11.01. 2024	12.01. 2024	14.01. 2024	15.01. 2024	18.01. 2024	19.01. 2024	20.01. 2024	21.01. 2024	22.01. 2024
Першотравне одовище, Миколаївська обл.(біла глина)	1,92 / 1,2	2,32 / 1,87	1,605 / 1,55	1,49 / 2,4	1,92 / 1,99	1,98 / 2,0	1,91 / 1,9	1,82 / 2,4	2,35 / 2,0	1,59 / 1,75	2,24 / 1,66
Актове родовище, Миколаївська обл.(біла глина)	6,6 / 9,3	4,5 / 10,0	3,11 / 11,9	2,4 / 10,4	1,98 / 10,3	1,98 / 5,8	1,97 / 2,14	2,11 / 7,6	2,17 / 6,0	1,8 / 4,2	2,16 / 4,15
Актове родовище, Миколаївська обл.(червона глина)	4,9 / 14,3	1,52 / 11,8	0,8 / 11,9	0,96 / 11,1	1,07 / 9,8	1,0 / 9,3	0,66 / 10,7	0,92 / 10,3	0,78 / 12,3	0,92 / 12,3	0,89 / 10,0





ТОВ «АТЛАНТ-БУД»  
Україна, 01135, м. Київ,  
вул. Дегтярівська 21 а,  
телефон/факс: 050-388-12-44  
Код ЄДРПОУ 35592733  
Р/р 26003167647 в АТ «Райффайзен Банк Аваль» м.  
Київ МФО 380805  
ПІН № 355927326594 Свідоцтво № 200130972

#### Довідка

Про передачу результатів дисертаційної роботи Маршалла Д.І. «ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАХИСТУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ НА ДЕОКУПОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ ТА ЗАСМІЧЕННЯ», поданої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 – Екологія.

Отримані в дисертаційній роботі Маршалла Д.І. наукові результати в частині щодо сорбційних властивостей місцевих глинистих матеріалів від іонів важких металів були передані для впровадження в проектну документацію при відновленні водних об'єктів на міських територіях, а також використання даних матеріалів з метою протифільтраційного захисту при відновленні господарських об'єктів на засадах «зеленого будівництва»

Директор



Максимцов В. А.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Повітрофлотський пр. 31, м. Київ, 03037, тел. (044)241-55-80, факс (044) 248-32-65  
E-mail: knuba\_admin@ukr.net ; Web: http://www.knuba.edu.ua, код ЄДРПОУ 02070909

### ДОВІДКА

Про використання результатів дисертаційної роботи Маршалла Д.І.  
**«ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАХИСТУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ НА  
ДЕОКУПОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ ТА  
ЗАСМІЧЕННЯ»**

Отримані в дисертаційній роботі Маршалла Д.І. наукові результати в частині захисту територій від підтоплення та забруднення підземного водоносного горизонту використовуються в навчальному процесі Київського національного університету будівництва та архітектури при підготовці студентів, які навчаються за спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища», 101 «Екологія», 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» при викладанні навчальних дисципліни: «Екологічна безпека», «Інженерні методи захисту водних ресурсів», «Організація моніторингу екологічного стану та раціонального використання водних ресурсів».

Проректор з наукової роботи  
та інноваційного розвитку



  
Олександр КОВАЛЬЧУК

ТОВ Укragроінвест  
Україна, 08333, м.Київ,  
Вулиця Гетьмана Івана Сулими, 98Б

### ЛИСТ ПІДТРИМКИ

Щодо впровадження результатів дисертаційної роботи Маршалла Д.І. «ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАХИСТУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ НА ДЕОКУПОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ ТА ЗАСМІЧЕННЯ», поданої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 – Екологія.

У частині щодо сорбційних властивостей місцевих глинистих матеріалів та методу розрахунку товщини глинистого екрану, були передані та розглянуті з подальшою можливістю для випробування при облаштуванні відстійника стічних вод на агропромисловому об'єкті.

Генеральний директор  
ТОВ Укragроінвест



Петро ЛІВИЙ