

УДК 556.32:504.4.054

Daniil Marshall¹, graduate student of the Department of Environmental Protection and Labor Protection Technologies

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2984-3979> **e-mail:** daniil.marshall@icloud.com

Yaroslav Shevchuk², chief engineer

e-mail: yaroslav-shevchuk@ukr.net

¹Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

²Institute of Water Problems and Reclamation of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ASSESSMENT OF THE DETERMINATION OF GROUNDWATER POLLUTION PARAMETERS FROM DESTROYED AMELIORATIVE STRUCTURES, TAIL STORAGE AND FLOODED LANDFILLS

***Abstract.** As a result of the damage to the structures of the supporting front and the destruction of the protective screens on the reclamation systems, tailings storage facilities, and landfills due to military operations, processes of flooding and pollution of water resources are taking place on the territory of Ukraine. This issue requires an assessment and forecast of the further development of events at the damaged buildings. An integral component of such an assessment is the methodology of approaches to the filtration calculations of the consumption of polluted water through a closed protective screen using the analysis of migration due to the aquifer. In this work, the issues of the theoretical approach to the determination of head loss and filtration through a protective screen for the assessment and further forecast of groundwater pollution by filtration flow from tailings, landfills, and reclamation canals due to their flooding due to military actions are considered. Approaches to the determination of pressure loss through a shielded structure in the event of various types of damage and at various stages of water filtration from channels are given. According to the proposed formulas, the loss of water from the main channel of the Ingulets irrigation system and the filtration coefficient of the damaged lining due to the destruction of the dam of the Kakhovskaya Hydro Electric Station were determined. The results of the research will be useful in making management decisions regarding the protection of water bodies from pollution and in the restoration of damaged structures.*

***Key words:** influence of military operations; pollution of water resources; aquifer; screens of reclamation facilities; filtration losses.*

Д.І. Маршалл¹, Я.В. Шевчук²

¹Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, Україна

²Інститут водних проблем і меліорації НААН України, м. Київ, Україна

ОЦІНКА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАБРУДНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД ІЗ ЗРУЙНОВАНИХ МЕЛІОРАТИВНИХ СПОРУД, ХВОСТОСХОВИЩ ТА ЗАТОПЛЕНИХ СМІТТЄЗВАЛИЩ

***Анотація.** Внаслідок пошкоджень споруд підпорного фронту та руйнувань захисних екранів на меліоративних системах, хвостосховищах, сміттєзвалищах через воєнні дії на території України відбуваються процеси підтоплення та забруднення водних ресурсів. Дане питання потребує оцінки*

та прогнозу подальшого розвитку подій на пошкоджених спорудах. Невід'ємною складовою такої оцінки є методологія підходів до фільтраційних розрахунків витрат забрудненої води через пошкоджений захисний екран з метою аналізу міграції забруднень водоносним горизонтом. В даній роботі розглянуті питання теоретичного підходу щодо визначення втрат напору та фільтрації через захисний екран для оцінки і подальшого прогнозу забруднення підземних вод фільтраційним потоком з хвостосховищ, сміттєзвалищ, меліоративних каналів внаслідок їх затоплення через воєнні дії. Наведені підходи до визначення втрат напору через екрановану споруду при різного роду пошкодженнях і на різних стадіях фільтрації води з каналів. Визначено втрати води з магістрального каналу Інгулецької зрошувальної системи і коефіцієнт фільтрації пошкодженого облицювання за запропонованими формулами внаслідок руйнування дамби Каховської ГЕС. Результати досліджень стануть в нагоді при прийнятті управлінських рішень щодо захисту водних об'єктів від забруднення та при відновленні пошкоджених споруд.

Ключові слова: вплив воєнних дій; забруднення водних ресурсів; водоносний горизонт; екрани меліоративних споруд; фільтраційні втрати.

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.4.21-31>

Вступ

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. Козаровичі було зруйновано внаслідок воєнних дій греблю, що відділяла річку Ірпінь від Київського водосховища, перепад висот між 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 селх Козаровичі та Демидів, сміттєзвалища, а також підтоплено будівельні майданчики на заплаві Ірпеня (наприклад, ЖК Хутір Демидово), вигрібні ями [1]. Негативний вплив на екосистеми басейнів річок та погіршення якості питної води спостерігається і в інших регіонах України внаслідок воєнних дій, зокрема в Донецько-Придніпровському регіоні [2, 3]. Руйнування Каховської ГЕС російськими окупантами 6 червня 2023 року спричинило найбільшу рукотворну екологічну катастрофу в Європі протягом останніх десятиків років. У Дніпро потрапило понад 150 тонн машинної олії з Каховської ГЕС, а небезпеки, які спричинені водою, призведуть до змиву ґрунтового шару, вмісту вигрібних ям, знищення інфраструктури, руйнування біорізноманіття водних екосистем на прибережних територіях [4]. Також потребує ретельного аналізу стан руйнування меліоративних систем і великих каналів для зрошення з точки зору підпору та засмічення підземних горизонтів.

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

Мета досліджень

Мета даних досліджень – обґрунтування інженерних розрахунків для оцінки і прогнозування забруднення підземних вод фільтратом сміттєзвалищ та хвостосховищ внаслідок їх затоплення через воєнні дії. Результати досліджень стануть в нагоді при прийнятті управлінських рішень щодо захисту водних об'єктів від забруднення.

Постановка проблеми і результати досліджень

Питаннями оцінки та моделювання процесів розповсюдження підземними водами забруднюючих речовин внаслідок надзвичайних ситуацій на очисних спорудах, накопичувачах різного виду відходів, фільтрації із сміттєзвалищ різного роду в свій час займалися багато вітчизняних та закордонних вчених [5–9 та інш.]. Аналіз існуючих математичних моделей зазвичай складається з двох взаємопов'язаних блоків: гідродинамічного, або фільтраційного, і блоку трансформації забруднень у фільтруючому пористому середовищі при звичайному режимі експлуатації споруд. Фільтраційний блок вимагає при побудові математичної моделі схематизації геологічних умов, зважаючи на фільтраційні характеристики водоносних шарів і режим фільтрації (стаціонарний, нестаціонарний). Що стосується імовірності надзвичайної ситуації внаслідок воєнних дій на території країни, то аналіз досліджень різних авторів показав, що існуючі компоновально-конструктивні рішення захисту підземних вод від забруднення фільтратом з різного роду накопичувачів та сміттєзвалищ потребують удосконалення та підвищення їх ефективності.

При затопленні певної території на початковому періоді відбувається промочування зони аерації та попадання забруднень на поверхню підземного потоку, що будемо вважати першою стадією фільтрації з затоплених хвостосховищ та сміттєзвалищ. Час промочування і витрата води на затопленій поверхні визначається напором затоплення та коефіцієнтом фільтрації закольматованого або пошкодженого екрану. В результаті нестаціонарного режиму фільтрації відбувається підняття поверхні підземних вод до часу змикання цієї поверхні з дном захисної споруди (друга стадія фільтрації). Третя стадія фільтрації характеризується стаціонарним режимом міграції забруднень різного роду насиченим потоком підземних вод і часом попадання забруднень до поверхневих водних об'єктів. Ця стадія залежить від параметрів області фільтрації та структури водоносних шарів.

У випадку наявності захисного екрану очисної споруди при його порушенні найбільш ймовірними є дві форми руйнувань, а саме:

- у вигляді численних щілин і невеликих порушень цілісності, що знижує ефективність роботи захисної споруди, у деяких випадках аж до зведення її до нуля;
- у вигляді окремих отворів і дірок значного діаметра, що утворилися внаслідок потрапляння уламків від снарядів.

Робота експлуатації облицювання захисних споруд за різними методиками широко розглядалася в задачах фільтрації через меліоративні споруди [10–13 та інш.]. Зазвичай при цьому дослідниками розглядалися прямолінійні щілини та круглі отвори, оскільки всі інші види пошкоджень можуть бути зведені до таких форм.

Визначення витрати фільтрації через окремих елемент пошкодженого екрану можна визначити за формулою:

$$dq = k_{обл} \frac{H}{\delta \cdot dB}, \quad (1)$$

де $k_{обл}$ – усереднений, або умовний, коефіцієнт фільтрації захисного екрану, що має численні пошкодження, м/добу;

q – витрата, яка поступає в зону аерації через пошкоджений екран, м/добу;

B – ширина відстійника або хвостосховища в перерізі;

H – напор над пошкодженим облицюванням, м;

δ – товщина захисного екрану.

Усереднений, або умовний, коефіцієнт фільтрації $k_{обл}$ можна визначити за допомогою коефіцієнта ефективності захисного екрану η за формулою:

$$k_{обл} = \eta \cdot k'_{обл}, \quad (2)$$

де $k'_{обл}$ – значення коефіцієнта фільтрації облицювання до пошкодження, м/с.

Коефіцієнт ефективності захисного екрану з умовними прямолінійними щілинами може бути визначений за методикою, що наведена в роботі [10]:

$$\eta = \frac{2\delta}{l} \cdot \frac{\pi}{\operatorname{arch} \frac{2ch\left(\frac{2\pi\delta}{l}\right)}{1 - \sin\frac{\pi}{2}\left(1 - \frac{2m}{l}\right)}}. \quad (3)$$

В даній формулі – значення l – приблизна відстань між щілинами, м.

При наявності в екрані круглих отворів діаметром більше ніж 3 мм, коефіцієнт ефективності можна визначити за емпіричною формулою [10]:

$$\eta = \frac{1}{\omega_{[0,0107(d-3)+0,024]}}; \quad (4)$$

де d – діаметр дірки в екрані, см; ω – площа захисного покриття, в центрі якого утворився цей отвір.

Втрату напору при проходженні захисного екрану в залежності від умовного коефіцієнта фільтрації можна також визначати за методикою, яка пропонується в роботі [14].

$$h_{ост}(0, t) = -H + (H + \delta) \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{2}{\mu_n^2} \exp\left(-\mu_n^2 \frac{at}{\delta^2}\right) \right], \quad (5)$$

де μ_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 екрану.

У випадку затоплення несанкціонованого, або стихійного, сміттєзвалища, фільтраційну витрату можна визначити за формулою (1), де $k_{обл}$ приймаємо як коефіцієнт фільтрації закольматованого фільтратом зі сміттєзвалища шару ґрунту, товщиною δ . Але при цьому, при розрахунку за відомою формулою Ф.І. Пікалова, запропоновано додавати до величини напору H вакуум під закольматованим шаром (h_v), який може бути прийнятий таким, що дорівнює висоті капілярного підняття для незакольматованого ґрунту [13]. Коли

підземний горизонт розташований нижче подвійної висоти капілярного підняття води в незакольматованому ґрунті, приймаємо $h_v = 0$.

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

$$Q_\phi = \bar{Q}_\phi \cdot \left(1 + \frac{b}{\sqrt{t}}\right); \quad (6)$$

$$\bar{Q}_\phi = k_b \left(1 + 0,5 \frac{H_k}{B}\right) [B + 2(H - h_{ocm})]; \quad (7)$$

де H_k – висота капілярної кайми, м; k_b – коефіцієнт вологопереносу, який характеризує швидкість руху вологи в зоні аерації, м/доб. Коефіцієнт вологопереносу визначається за відомою формулою С.Ф. Авер'янова [17]:

$$k_b = k \left(\frac{\theta_e - \theta_{MM}}{\theta_n - \theta_{MM}}\right)^n; \quad (8)$$

де θ_e , θ_{MM} , θ_n – вологоємність порід у природному стані, максимальна молекулярна і повна; k – коефіцієнт фільтрації при повному водонасиченні; n – емпіричний коефіцієнт (дорівнює 3,5).

Параметр насичення b знаходиться за формулою:

$$b \approx 0,6 \sqrt{\frac{\theta_l H_k + 1,4(H - h_{ocm})}{k_b}}. \quad (9)$$

Оцінюючи характер міграції забруднень в підземних водах, необхідно брати до уваги тип ландшафту, вид та час, за який забруднювач досягне рівня підземних вод і почне мігрувати до споживачів водних ресурсів [13, 15]:

$$t_1 = \frac{\mu}{k} (H_0 - H_k); \quad (10)$$

де H_0 – потужність зони аерації під спорудою.

Друга стадія фільтрації формування бугра ґрунтових вод характеризується часом

$$t_2 = \frac{\pi^2}{4} b^2 \left[\frac{H_0}{[H_0]} - 1\right]^2 \text{ діб}; \quad (11)$$

де $[H_0]$ – величина, яка дорівнює висоті «бугра» ґрунтових вод. Згідно з [16], цю величину розраховуємо за формулою:

$$[H_0] = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \frac{b \bar{Q}_\phi}{\sqrt{k h \mu}}, h_{cp} = \frac{h_{min} + h_{max}}{2}; \quad (12)$$

де h_{cp} – середня потужність ґрунтового потоку під каналом; h_{min} – потужність водоносного горизонту до наповнення каналу, м; h_{max} – максимальна потужність водонасиченої частини, м; μ – коефіцієнт ненасиченості водонасичення, часток одиниці.

Сумарні витрати води із споруди (каналу) визначаються за формулою [17]:

$$v_{1-2} = \bar{Q}_\phi \left(1 + \frac{2b}{\sqrt{t_1+t_2}}\right) (t_1 + t_2). \quad (13)$$

Коли маємо значні пошкодження захисної споруди у вигляді окремих отворів і дірок значного діаметра, то витрату на рівень підземних вод можна знаходити за відомими формулами для третьої стадії фільтрації, коли відсутня зона аерації. Розрахунок ведеться з використанням методу фільтраційних опорів з врахуванням будови водоносних шарів і їх гідрологічних параметрів [10]:

$$q = \frac{T(H+\delta+H_0)}{\Phi_k + \Phi_{\text{обл}} + \sqrt{\frac{Tz_0}{\varepsilon_0}}}; \quad (14)$$

де Φ_k і $\Phi_{\text{обл}}$ – фільтраційні опори, які враховують гідродинамічну недосконалість споруди і фільтраційний опір екрану пошкодженої споруди. Значення Φ_c знаходимо за методикою, яка детально викладена в роботах [13, 15] в залежності від геологічної будови водоносної товщі;

T – середня водопровідність водоносної товщі, м²/с;

z_0 – критична глибина залягання рівня ґрунтових вод при $\varepsilon_0 = 0$, м;

ε_0 – інтенсивність випаровування на поверхні ґрунту.

Фільтраційний опір пошкодженого екрану можна визначити теоретично як відношення втрат напору при проходженні фільтраційного потоку через облицювання до витрати цього потоку:

$$\Phi_{\text{обл}} = \left[\frac{h_k}{h_k + \left(h_k + \delta \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\mu_n^2} \cos'' \mu_n \frac{x}{\delta} \exp(-\mu_n^2 \frac{at_n}{\delta}) \right)} - 1 \right] \times \frac{TH+H_0+\delta}{\bar{q}}; \quad (15)$$

де \bar{q} – односторонній відтік від каналу, але без облицювання.

В роботі [10] представлено фільтраційні опори різних конструкцій облицювань і кріплень каналів зрошувальних систем.

Результати обговорення

Значна частина забруднень потрапила у відкриту Інгулецьку зрошувальну систему. Після опускання рівня води внаслідок затоплення водою Каховського водосховища фільтраційна вода містить мастила, добрива від змиву з сільськогосподарських полів, органічні забруднення тощо. Процес фільтрації почався, як тільки рівень ґрунтових вод, що опускається, досяг дна споруди. Схематизація гідрогеологічних умов в аналізованому регіоні розглядалася в роботах [18, 19]. За перший шар приймався водоносний горизонт з вільною поверхнею, що залягає в товщі лесовидних суглинків середньої потужності, який підстиляється слабопроникним водотривким шаром червоно-бурих глин. Умовний коефіцієнт фільтрації бетонного облицювання $K_{\text{обл}}$ згідно з результатами розрахунків не перевищує 10⁻² м/с, а коефіцієнт ефективності захисного облицювання не перевищує значення 0,05. Результати досліджень зведені в таблицю 1.

Таблиця 1. Фільтраційні витрати забрудненої води з Інгулецького магістрального каналу

Найменування пікету Інгулецького магістрального каналу	Тип облицювання	Фільтраційні втрати з 1 м ² з врахуванням втрати ефективності екрану, м ² /добу, станом на 2018 р. [20]	Фільтраційні втрати з 1 м ² відповідно до додатку Р ДБН В.2.4-1-99 [21] для каналу без облицювання, м ² /добу	Фільтраційні втрати з 1 м ² відповідно до формули (14), м ² /добу
К 1+40	п.с.з/б плита/ л.с бетон	0,087	0,117	0,091
ПК 15	п.с.з/б плита/ л.с бетон	0,081	0,108	0,102
ПК 44	з/б плита	0,099	0,133	0,126
ПК 64	з/б плита	0,105	0,140	0,126
ПК 77	з/б плита	0,096	0,129	0,119
ПК 107	бетон	0,072	0,097	0,092
ПК 156	з/б плита. без облиц. дна	0,097	0,130	0,121
ПК 156	з/б плита	0,078	0,104	0,099
ПК 198	з/б плита. без облиц. дна	0,75	0,103	0,098
ПК 198	з/б плита. без облиц. дна	0,78	0,104	0,099
ПК 198	з/б плита. без облиц. дна	0,078	0,104	0,099
ПК 226	з/б плита	0,078	0,104	0,099
ПК 258	з/б плита. без облиц. дна	0,084	0,113	0,098
ПК 286	з/б плита. без облиц. дна	0,78	0,104	0,099
ПК 296	з/б плита	0,099	0,132	0,125
ПК 335	з/б плита	0,79	0,105	0,100
ПК 359	з/б плита	0,79	0,105	0,100
ПК 367	з/б плита	0,101	0,135	
ПК 400	з/б плита. без облиц. дна	0,78	0,104	0,099
ПК 429	з/б плита. без облиц. дна	0,795	0,106	0,101
ПК 453	з/б плита	0,087	0,116	0,110

Результати розрахунків за наведеними формулами свідчать про те, що облицювання практично втратило свою захисну дію внаслідок тривалої експлуатації і при руйнуванні внаслідок воєнних дій. Тому в інженерних розрахунках для оцінки потрапляння забруднення в підземні горизонти та при подальшому відновленні магістрального каналу можна не брати до уваги захисну здатність облицювання.

Висновки

На основі узагальнення сучасних методів та досвіду розрахунків фільтраційних втрат з захисних пошкоджених споруд було проаналізовано теоретичний підхід до оцінки витрат стічних вод через наявні пошкодження при аварійній ситуації на об'єкті. Проведені розрахунки по окремих ділянках магістрального каналу Інгулецької зрошувальної системи показали, що коефіцієнт фільтрації пошкодженого облицювання внаслідок тривалої експлуатації та проходження воєнних дій на території зрошувальної системи не перевищує 10^{-2} м/с, а коефіцієнт ефективності захисного облицювання не перевищує значення 0,05.

Подальші дослідження щодо оцінки ступеня забруднення водних ресурсів через підземне живлення та прогнозування параметрів забруднення необхідно розглядати через формування гідрохімічних процесів.

Даний підхід дозволяє розробити рекомендації щодо ефективного інженерного захисту підземних вод від забруднення фільтраційним потоком підземного водоносного горизонту внаслідок надзвичайних ситуацій та воєнних дій на території держави.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Вольвач Я., Медведєв О. – Підрив дамби, який врятував Київ – [Електронний ресурс]. – Дата звернення 23.05.2023. – Режим доступу: <https://nv.ua/ukr/ukraine/events/shcho-vidbuvayetsya-v-seli-demidiv-yake-zatopili-shchob-vryatuvati-kijiv-novini-ukrajini-50238773.html>
2. Ніколаєва І., Ленько Г., Лободзінський О. (2019). Дослідження поточного стану хвостосховищ Донбасу щодо їхнього можливого аварійного впливу на водні об'єкти в умовах військових дій. ОВСЄ, Міністерство енергетики та захисту довкілля. 52 с.
3. Стан басейну Сіверського Дінця та фактори впливу в умовах військових дій. Технічний звіт / ОВСЄ, Міністерство екології та природних ресурсів України, 2018. 88. [Електронний ресурс]. – Дата звернення 23.05.2023. – Режим доступу: <https://www.osce.org/files/f/documents/8/a/419462.pdf>
4. О. Вечканова. Офіційно: росіяни підірвали Каховську ГЕС. Що відбувається, всі подробиці. (2023). – [Електронний ресурс]. – Дата звернення 30.05.2023. – Режим доступу: <https://telegraf.com.ua/mestnyiy/2023-06-06/5794325-ofitsiyno-rosiyani-pidirvali-kakhovsku-ges-ok-pivden>
5. Олійник О.Я., Калугін Ю.І. (2005). Деякі результати теоретичних досліджень процесів масообміну в пористих середовищах. "Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки", Київ, 5, 100–112.
6. Волошкіна, О.С., Крємез, В.С., Олійник, О.Є. (2012). Теоретичне обґрунтування фільтрації ґрунтових вод і міграції забруднень і добрив у районах зрошення земель. Екологічна безпека і природокористування, 10, 5–24.
7. Щербак О.В., Яковлев Є.О., Долін В.В. (2018). Моделювання гідрогеофільтраційного поля ґрунтових вод у зоні впливу металургійного виробництва. "Мінеральні ресурси України", 3, 19–25.
8. Телима С.В. (2002). Про деякі аспекти дослідження геофільтрації в багатошарових водоносних системах методом математичного моделювання. "Містобудування та терит. планування", 11, 138–146.
9. Telyma, S.V., Voloshkina, O.S., Bereznyska, Y.U.O., Efimenko, V.M. (2020). Modeling of the riverside groundwater intakes exploitation taking into account of the stream flow changes // *Geoinformatics 2020 – XIXth International Conference // "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects"*, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo084>

10. Проектування протифільтраційних облицювань і кріплень каналів зрошувальних систем. Посібник до ДБН "Меліоративні системи та споруди", Інститут гідротехніки і меліорації ААНУ, (2006) 2.4-1-99, 79 с.
11. Manzoor Ahmad, Jamil Ahmad Tariq, Abid Rashid, Muhammad Rafiq, Naveed Iqbal. (2004). Study of seepage losses from irrigation canals using radioactive tracer technique. – [Electronic resource]. – Retrieved 01.06.2023 from https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/38/039/38039641.pdf
12. Xudong H., Xiugui W., Zhu Y., Jiesheng H., Liqing Y. (2019). An Experimental Study on Concrete and Geomembrane Lining Effects on Canal Seepage in Arid Agricultural Areas. "Zhifu Chang and Feng Fu" // 12(9), 2343; <https://doi.org/10.3390/w12092343>
13. Олейник А.Я. Геогидродинамика дренажа. Киев, Наукова думка, 1984. 284 с.
14. Березницька, Ю.О., Волошкіна, О.С. (2011). Моделювання підтоплення із споруд з екранами для оцінки ефективності природоохоронних заходів. Екологічна безпека і природокористування, 7, 168–175.
15. Телима С.В., Олійник Є.О., Курганська С.М., Харламова О.В. (2015). Моделювання і розрахунки внутрішньодренної гідравліки при роботі підземних водозаборів і дренажів, "Екологічна безпека та природокористування". Київ: ІТІГП, 19, 33–43.
16. Корвер А., Лоренц Е., Ф'юстер Е., Галбрейт Д., Генш Р., Матта Дж., Петер М. (2022). Посібник з технологій водопостачання в умовах надзвичайних ситуацій, UASANS, 1, 228.
17. Подвігіна О.О., Загриценко А.М. (2019). Розрахунок втрат води з каналу і визначення прогнозного положення рівня ґрунтових вод в умовах зрошення. Методичні рекомендації для виконання лабораторних робіт з дисципліни "Меліоративна гідрогеологія" для студентів напряму підготовки 6.040103, Геологія / Донецьк: ДВНЗ Національний гірничий університет, 18. – [Електронний ресурс]. – Дата звернення 12.06.2023. – Режим доступу: https://gig.nmu.org.ua/en/stud/metod_MLG.pdf
18. Телима С.В. (2015). Прогнозування водно-сольового режиму ґрунтових вод на землях зрошення на основі даних натурних спостережень. Наук-техн. збірник "Містобудування та територіальне планування". Київ, КНУБА, 57, 443–449.
19. Telyma S., Voloshkina O., Anpilova Y., Efimenko V., Yakovliev Y. (2020). Forecasting emergency situations connected with regional flooding by groundwater in southern Ukraine / 16th International May Conference on Strategic Management 170. – [Electronic resource]. – Retrieved 15.06.2023 from <http://mksm.sjm06.com>
20. Ворошнов С. М., Шевчук Я. В., Юзюк О. Ю. (2018). Сучасний технічний стан каналів Інгулецької зрошувальної системи та нові конструкції облицювань із використанням геосинтетичних матеріалів. "Механізація та електрифікація сільського господарства", 8, 232–240.
21. ДБН В.2.4-1-99 "Меліоративні системи та споруди", Затверджено Наказом Держбуду України від 25.06.1999, 15.

Стаття надійшла до редакції 20.07.2023 і прийнята до друку після рецензування 22.10.2023

REFERENCE

1. Volvach Ya, Medvedev O. Blowing up the dam that saved Kyiv. Retrieved 23.05.2023 from <https://nv.ua/ukr/ukraine/events/shcho-vidbuvayetsya-v-seli-demidiv-yake-zatopili-shchob-vryatuvati-kijiv-novini-ukrajini-50238773.html> [in Ukrainian].
2. Nikolayeva, I., Lenko, G., Lobodzinskyi, O. (2019). Study of the current state of Donbas tailings repositories regarding their possible emergency impact on water bodies in the context of military operations. OSCE, Ministry of Energy and Environmental Protection [in Ukrainian].

3. The state of the Siversky Donets basin and influencing factors in the conditions of military operations. (2018). Technical report, Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine [in Ukrainian].
4. Vechkanova, O. (2023). It's official: the Russians blew up the Kakhovskaya HPP. What's On, Full Details. Retrieved 30.05.2023 from <https://telegraf.com.ua/mestnyiy/2023-06-06/5794325-ofitsiyno-rosiyani-pidirvali-kakhovsku-ges-ok-pivden> [in Ukrainian].
5. Oliinyk, O.Ya., Kalugin, Yu.I. (2005). Some results of theoretical studies of mass transfer processes in porous media. *Problems of water supply, drainage and hydraulics*, 5, 100-112 [in Ukrainian].
6. Voloshkina, O.S., Kremez, V.S., Oliinyk, O.E. (2012). Theoretical justification of groundwater filtration and migration of pollutants and fertilizers in the areas of irrigated lands. *Environmental safety and natural resources*, 10, 5–24 [in Ukrainian].
7. Shcherbak, O.V., Yakovlev, E.O., Dolin, V.V. (2018). Modeling of the groundwater hydrogeofiltration field in the zone of influence of metallurgical production. *Mineral Resources of Ukraine*, 3, 19-25 [in Ukrainian].
8. Telima, S.V. (2002). On some aspects of the study of geofiltration in multilayer aquifer systems by the method of mathematical modeling. *Urban Planning and Territorial Planning*, 11, 138-146 [in Ukrainian].
9. Telyma, S.V., Voloshkina, O.S., Berezhnytska, Yu.O., Efimenko, V.M. (2020). Modeling of the riverside groundwater intakes exploitation taking into account of the stream flow changes. In *XIXth International Conference «Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects»*, (pp. 1–5). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo084>
10. Design of anti-filtration facings and fastenings of channels of irrigation systems. Guide to the DBN "Reclamation systems and structures". Institute of hydraulic engineering and reclamation of the National Academy of Sciences. (2006) 2.4-1-99, 79 [in Ukrainian].
11. Manzoor Ahmad, Jamil Ahmad Tariq, Abid Rashid, Muhammad Rafiq, Naveed Iqbal. (2004). Study of seepage losses from irrigation canals using radioactive tracer technique. Retrieved 01.06.2023 from https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/38/039/38039641.pdf
12. Xudong, H., Xiugui, W., Zhu, Y., Jiesheng, H., Liqing Y. (2019). An Experimental Study on Concrete and Geomembrane Lining Effects on Canal Seepage in Arid Agricultural Areas. *Zhifu Chang and Feng Fu*, 12(9), 2343. <https://doi.org/10.3390/w12092343>
13. Oleynyk, A.Ya. (1984). Geohydrodynamics of drainage. Kyiv: Naukova dumka [in Russian].
14. Berezhnytska, Yu.O., Voloshkina, O.S. (2011). Modeling of inundation from structures with screens to assess the effectiveness of environmental protection measures. *Environmental safety and natural resources*, 7, 168-175 [in Ukrainian].
15. Telima, S.V., Oliinyk, E.O., Kurganska, S.M., Kharlamova, O.V. (2015). Modeling and calculations of intradrain hydraulics during operation of underground water intakes and drainages. *Environmental safety and natural resources*, 19, 33-43 [in Ukrainian].
16. Korver, A., Lorenz, E., Fyster, E., Galbraith, D., Gensch, R., Matta, J., Peter, M. (2022). Handbook on water supply technologies in emergency situations, UASANS, 1, 228 [in Ukrainian].
17. Podvihina, O.O., Zagrytsenko, A.M. (2019). Calculation of water losses from the canal and determination of the forecast position of the groundwater level under irrigation conditions. Methodological recommendations for performing laboratory work in the discipline "Remedial hydrogeology" for students of the training direction 6.040103, Geology. Donetsk, National Mining University. Retrieved 12.06.2023 from https://gig.nmu.org.ua/en/stud/metod_MLG.pdf [in Ukrainian].
18. Telima, S.V. (2015). Forecasting the water-salt regime of groundwater on irrigated lands based on data from field observations. Scientific and technical collection. *Urban planning and territorial planning*, 57, 443-449 [in Ukrainian].

19. Telyma, S., Voloshkina, O., Anpilova, Y., Efimenko, V., Yakovliev, Y. (2020). Forecasting emergency situations connected with regional flooding by groundwater in southern Ukraine. In *16th International May Conference on Strategic Management*. Retrieved 15.06.2023 from <http://mksm.sjm06.com>
20. Voroshnov, S.M., Shevchuk, Y.V., Yuzyuk, O.Yu. (2018). Current technical condition of the channels of the Ingulets irrigation system and new lining designs using geosynthetic materials. *Mechanization and Electrification of Agriculture*, 8, 232-240 [in Ukrainian].
21. DBN V.2.4-1-99 "Melioration systems and structures". Approved by Order of the State Building of Ukraine dated 06.25.1999 No. 15 [in Ukrainian].

The article was received 20.07.2023 and was accepted after revision 22.10.2023

Маршалл Данііл Ігорович

аспірант кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці Київського національного університету будівництва та архітектури

Адреса робоча: Повітрофлотський проспект, 31, м. Київ, 03037, Україна

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2984-3979> **e-mail:** daniil.marshall@icloud.com

Шевчук Ярослав Власович

головний інженер Інституту водних проблем і меліорації НААН України

Адреса робоча: 03022, Україна, м. Київ, вул. Васильківська, 37

e-mail: yaroslav-shevchuk@ukr.net