



УДК 504.4.054(622.323/.324+621.644.074)(477)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.16>

ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІГРАЦІЇ НАФТИ ВНАСЛІДОК ЇЇ НЕПЕРЕРВНОГО НАДХОДЖЕННЯ У ГІРСЬКУ РІЧКУ (НА ПРИКЛАДІ РІЧКИ СТРИЙ)

В. І. Шуригін¹, В. В. Карабин²

Річка Стрий, найбільша карпатська притока річки Дністер, через яку пролягає 5 нафтопроводів та 1 продуктопровід, піддається значущим антропогенним впливам. Це призводить до збільшення екологічного ризику та підвищення ймовірності аварій в разі викиду забруднюючих речовин, зокрема вуглеводневого складу. Основною метою дослідження є прогнозування параметрів міграції забруднювачів вуглеводневого складу, використовуючи як приклад нафту Карпатського нафтогазоносного регіону. Для досягнення мети використано теоретичні (аналіз, синтез, порівняння), польові (профільний та морфологічний) та експериментальні (спостереження, гравіметричний) методи дослідження. За допомогою математичної моделі, яка враховує вплив донних відкладів, проведено комплексне дослідження міграції нафти внаслідок її постійного викиду в гірську річку. Модель міграції включає два рівняння, що точно описують рух забруднюючих речовин у річковій системі, враховуючи такі фактори, як швидкість течії, дифузія, сорбція та десорбція річковими донними відкладами. За допомогою лабораторних експериментів визначено параметри розподілу, які визначають поведінку нафти в системі «вода – донні відклади». Використовуючи вдосконалене комп'ютерне моделювання, створено детальні просторово-часові профілі концентрації нафти як у воді, так і в донних відкладах. Встановлено послідовні закономірності в змінах концентрації вуглеводнів нафти, які тісно пов'язані зі специфічним складом донних відкладів річки. Зокрема, встановлено, що на 30 хвилин після початку неперервного надходження максимальний вміст вуглеводнів нафти становить 0,84 г/дм³. У районі гирла річки Стрий на 30 хвилин максимальний вміст вуглеводнів нафти становить 0,72 г/дм³. Окрім того, визначено, що швидкість поширення забруднюючих речовин вуглеводневого складу річковою системою менша від середньої швидкості течії, чим підтверджується вплив донних відкладів на параметри міграції цих забруднюючих речовин і важливість їх врахування при прогнозуванні в умовах надзвичайних ситуацій. Знайдені параметри міграції забруднюючих речовин вуглеводневого складу можна екстраполювати на різні інші річкові системи гірських регіонів.

Ключові слова: екологічна безпека, нафта, дифузія, міграція, математична модель.

¹ ад'юнкт кафедри екологічної безпеки
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів)
e-mail: v.shurygin@ldubgd.edu.ua
ORCID: 0000-0003-0324-4433

² доктор технічних наук, професор,
професор кафедри цивільного захисту та протимінної діяльності
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів)
e-mail: v.karabyn@ldubgd.edu.ua
ORCID: 0000-0002-8337-5355

PREDICTION OF PARAMETERS OF OIL MIGRATION DUE TO ITS CONTINUOUS FLOW INTO A MOUNTAIN RIVER (ON THE EXAMPLE OF THE STRYI RIVER)

V. I. Shuryhin, V. V. Karabyn

The Stryi River, the largest Carpathian tributary of the Dniester River, through which 5 oil pipelines and 1 product pipeline run, is subject to significant anthropogenic impacts. This leads to an increase in environmental risk and an increase in the likelihood of accidents in the event of a release of pollutants, including hydrocarbons. The main objective of the study is to predict the migration parameters of hydrocarbon pollutants, using oil from the Carpathian oil and gas region as an example. To achieve this goal, we used theoretical (analysis, synthesis, comparison), field (profile and morphological) and experimental (observation, gravimetric) research methods. Using a mathematical model that takes into account the influence of bottom sediments, a comprehensive study of oil migration due to its constant release into a mountain river was conducted. The migration model includes two equations that accurately describe the movement of pollutants in the river system, taking into account factors such as flow velocity, diffusion, sorption, and desorption by river sediments. Using laboratory experiments, the distribution parameters that determine the behavior of oil in the water-sediment system were determined. Using advanced computer modeling, detailed spatial and temporal profiles of oil concentration in both water and sediments were created. Consistent patterns in changes in the concentration of oil hydrocarbons were established, which are closely related to the specific composition of the river bottom sediments. In particular, it was found that at 30 minutes after the start of continuous inflow, the maximum content of oil hydrocarbons is 0.84 g/dm³. At the mouth of the Stryi River, the maximum oil hydrocarbon content at 30 minutes is 0.72 g/dm³. In addition, it was determined that the rate of spreading of hydrocarbon pollutants through the river system is less than the average flow rate, which confirms the influence of bottom sediments on the migration parameters of these pollutants and the importance of taking them into account when predicting in emergency situations. The found parameters of migration of hydrocarbon pollutants can be extrapolated to various other river systems in mountainous regions.

Key words: environmental safety, oil, diffusion, migration, mathematical model.

Вступ

Річкові екосистем є важливим елементом як місцевих екосистем так і глобальної екосистеми. Екологічна безпека річки, на яку впливають локальні та регіональні природні і техногенні процеси, є критичною для здоров'я населення річкового басейну (Карабин В. та ін., 2015; Posthuma et al., 2020; Bhattacharjee et al., 2022; Шуригін В. та ін., 2023). Екологічна безпека річкових екосистем істотно залежить від наявності органічних забруднювачів вуглеводневого складу. Катастрофічні розливи нафти та нафтопродуктів мають значні наслідки для річкових екосистем (Adams et al., 2020; Шевченко та ін., 2021; Лобойченко та ін., 2021a). Джерела та інтенсивність забруднення поверхневих вод вуглеводнями зростають з розвитком нових технологій, наприклад технологій видобутку сланцевої нафти та сланцевого газу (Лазарук та ін., 2020) та з катастрофічними повеннями і паводками, внаслідок яких відносно локалізовані джерела забруднення вуглеводнів потрапляють у водний потік (Стародуб та ін., 2018). Особливо ризиковані витоки хімічних речовин, що містять вуглеводні, спостерігаються у річках, які знаходяться близько водозаборів для питної води.

Тоді без питного водопостачання можуть бути позбавлені одночасно кілька населених пунктів. Тому постійний моніторинг якості води річкових систем є необхідною умовою їх екологічної безпеки (Chowdury et al., 2019; Одноріг та ін., 2020; Park et al., 2020; Лобойченко та ін., 2021b).

Окрім цього, у випадках катастрофічного надходження вуглеводнів у річкові системи існують небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій пов'язаних із руйнуванням системи питного водопостачання населених пунктів (Dodman et al., 2022).

Однією з важливих водних потоків у західному регіоні України є річка Стрий. Вода з водозаборів цієї річки надходить до міст Львів, Трускавець, Дрогобич.

Басейн річки Стрий знаходиться на неоднорідній і складній геологічній основі карпатського флішу. Для річок в басейні Стрия характерним є значна кількість паводків протягом року за рахунок випадання короткочасних та інтенсивних опадів у теплий період року, короткочасного танення снігу в горах під час зимових відлиг та загального танення снігового покриву у весняний період. Коливання річкового стоку носять як сезонний, так і багаторічний характер.

Урахування тривалих циклічних змін у рівні стоку та їх просторово-часових змін є важливим і практичним аспектом у гідрологічних та водогосподарських розрахунках. Це має значення для забезпечення водопостачання різних галузей економіки, встановлення норми стоку для річок з недостатнім набором спостережень та можливості прогнозування небезпечних гідрометеорологічних явищ (Почаєвець та ін., 2014).

Відомо, що на річках Прикарпатського регіону за рік проходить від 3 до 8 паводків різної інтенсивності (Сусідко та ін., 1998; Ромащенко та ін., 2002).

Проаналізувавши виділений повний цикл водності, що включає фазу високої та низької водності і триває 29 років, можна помітити, що за цей період пройшло в середньому по басейну 6 руслоруйнуючих паводків з катастрофічними наслідками, 14 руслоруйнуючих, 77 руслоформууючих, 98 руслоконтролюючих та 32 руслозберігаючих паводки, тобто близько 100 активних паводків та близько 120 пасивних (Почаєвець та ін., 2014).

Очевидно, за таких паводків вода виходила з заплави на тераси і забруднювачі, локалізовані на терасах ріки, потрапляли у водний потік. Щоб прогнозувати параметри міграції вуглеводнів у водний потік ріки необхідна адекватна математична модель, яка б включала найвагоміші параметри міграції забруднювачів у водному потоці ріки та водночас була нескладною для користування в умовах надзвичайних ситуацій.

Як забруднювач обрано нафту Карпатського нафтогазоносного регіону, яка характеризується присутністю значної кількості ароматичних вуглеводнів (Сіренко та ін., 2017) та високою стійкістю до біодеградації (Русин та ін., 2003).

Матеріал і методи

Для досягнення поставленої мети дослідження використано різноманітні методи. Серед них теоретичні методи, такі як аналіз, синтез та порівняння, які допомогли узагальнити та систематизувати отриману інформацію. Польові методи, зокрема профільний та морфологічний аналіз, котрі дозволили дослідити фізичні характеристики об'єктів на місцевості. Експериментальні методи, включаючи спостереження та гравіметричний метод, допомогли зібрати нові дані та провести виміри. При їх взаємодії отримано комплексне розуміння предмета дослідження.

На досліджуваній ділянці (рис. 1) русло річки Стрий має звивисту форму та часткове розгалуження. Глибина русла коливається від 0,5 до 2,9 м, а швидкість течії становить від 1,4 до 4,6 м/с. Дно русла характеризується неоднорідністю і складається з каміння діаметром від 15 до 25 см, що призводить до накопичення великої кількості галькових наносів. Ширина русла варіюється від 15 до 60 м, а річкова долина простягається на відстань 650 м. Береги річки є обривистими, знаходячись на висоті 1,5–2 м над рівнем води. На досліджуваній ділянці річка Стрий має пологий нахил. В цьому регіоні спостерігається значна бокова ерозія. Геологічна будова досліджуваної ділянки включає техногенні, алювіальні та нижньокрейдові відклади. Для оцінки процесів перенесення та накопичення гравійно-галькових відкладів у руслі та долині річки можна використовувати дані моніторингових спостережень і замірів. Важливою особливістю рівневого режиму річки є її схильність до повеней, які можуть відбуватися у будь-яку пору року (Волосецький та ін., 2013).

У польових умовах здійснено опис відслонення алювіальних відкладів. Для виділення горизонтів використано профільний і морфологічний методи дослідження. Основними критеріями діагностування генетичних горизонтів були зміни кольору, зміни гранулометричного складу, щільності шарів, структури порід. У природних відслоненнях, де ми частково провели розчистку, виділено генетичні горизонти надзаплавної тераси вздовж річки Стрий. Довжина відрізка обстеження – 500 м. Ділянка досліджень розташована на лівому березі річки Стрий на віддалі 2000 м від місця впадання річки Опір у Стрий.

У лабораторних умовах встановлено гранулометричний склад відкладів ситовим методом та під час моделювання аварійного розливу визначено концентрацію нафти гравіметричним методом.

Визначили вміст нафти згідно із (МВВ № 081/12-0645-09) з деякими змінами, які ми внесли у нашій модифікації. Метод вимірювання масової концентрації нафтопродуктів, у нашому випадку – нафти Карпатського нафтогазоносного регіону, у поверхневих, підземних та зворотних водах ґрунтується на екстрагуванні із проби води, органічних речовин хлороформом, випарюванні хлороформу, розчиненні залишку в гексані, відділенні полярних сполук, рослинних і тваринних жирів, легких

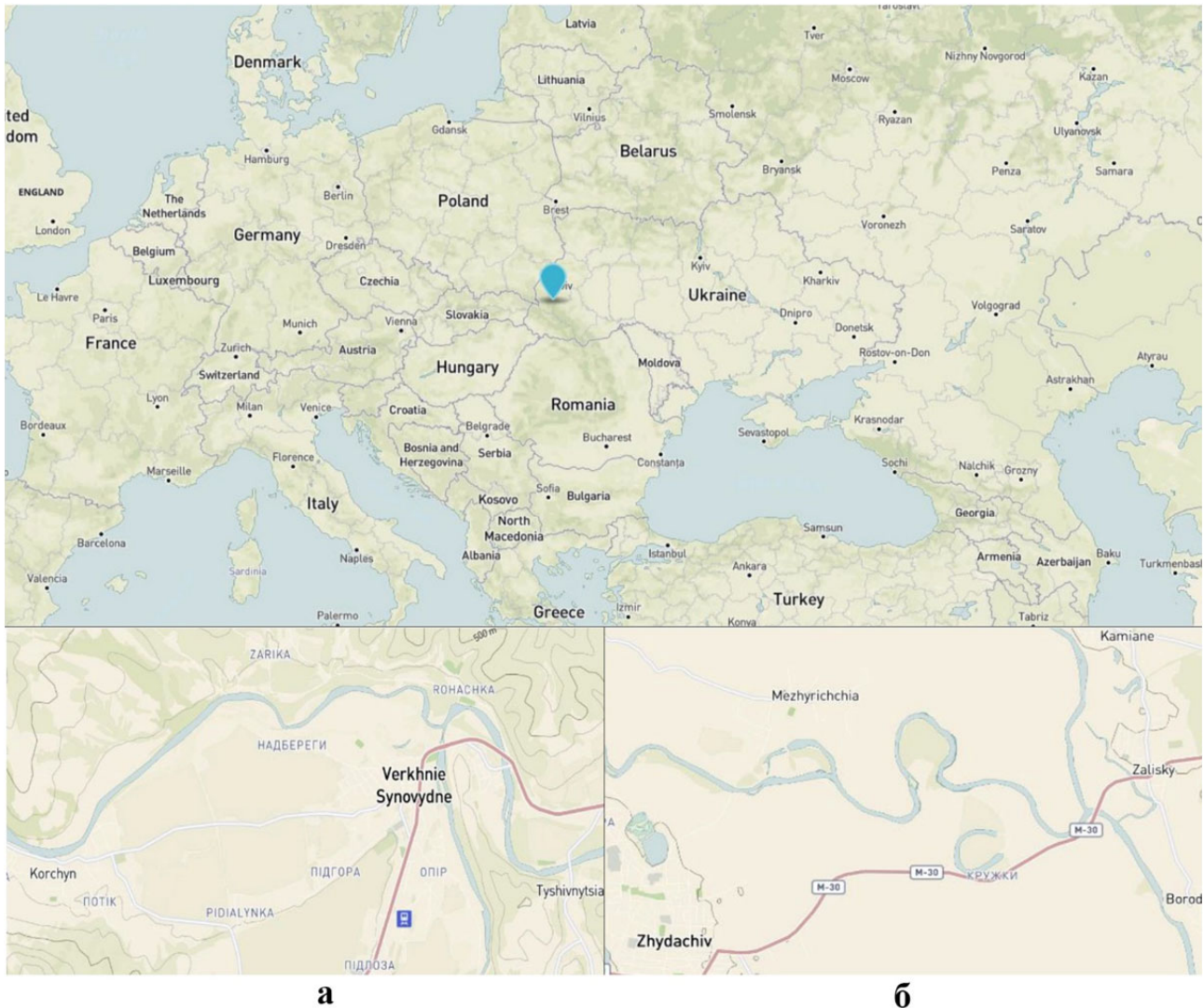


Рис. 1. Оглядова карта району досліджень: середня частина річки Стрий (а) та район гирла річки Стрий (б).

вуглеводнів на колонці з алюмінію оксидом, випарюванні гексану та гравіметричному вимірюванні маси залишку. Розрахунковим методом встановлюють масову концентрацію нафтопродуктів у вихідній пробі води. Перед вимірюванням масової концентрації нафти проводили попереднє змішування із зразками порід з першої надзапальної тераси у відношенні (за масою) 1:12, з подальшим перемішуванням. Наступним етапом було відстоювання для насичення породи нафтою та виділення рідкої фази. Похибка результатів вимірювань не перевищує 10% ($n = 3$).

Для визначення коефіцієнта дифузії нафти у воді та донних відкладах використовувалась експериментальна просторова гідродинамічна модель, у яку поміщено зразки донних відкладів з місця досліджень. Вода рухається в напрямку осі з сталою

швидкістю. Нафта подається неперервно. Проводиться вимірювання концентрацію нафти у воді та донних відкладах в різних точках системи в залежності від часу. Отримані дані використовуються для розрахунку градієнта концентрації нафти і визначення коефіцієнтів дифузії із застосуванням закону Фікка. Результати аналізуються та порівнюються з літературними значеннями.

Лабораторні дослідження проводили в науково-дослідній лабораторії екологічної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (Свідоцтво № РА 091/21 від 30.11.2021).

Результати

Математичне моделювання є одним із ключових методів прогнозування поширення нафтопродуктів у річкових системах. Цей метод використовує математичні формули та алгоритми для визначення того,

як нафтопродукти поширюються в річкової системі та як вони впливають на окремі компоненти системи. Одним із найпоширеніших математичних моделей процесу поширення нафтопродуктів у річкових системах є системи диференціальних рівнянь. Такі рівняння описують, як нафтопродукти рухаються та розсіюються в річкової системі, і можуть включати використання таких параметрів, як швидкість і концентрація нафтопродуктів (Robson et al., 2004; Hu et al., 2006; Wang et al., 2023).

Більшість математичних моделей міграції забруднювачів у річковому потоці не враховують вплив донних відкладів на рух забруднюючих речовин у воді. Проте такий чинник є особливо значним у водах гірських річок, які характеризуються значними швидкостями, турбулентністю руху води та малими розмірами поперечного перерізу, а отже, більшим контактом річкової води з донними відкладами. Для прогнозування міграції забруднювачів вуглеводневого складу взято за основу математичну модель, розроблену авторами для одноразового скиду забруднювачів у водний потік (Кузик та ін., 2023), та адаптовано її до умов неперервного лінійного надходження забруднювачів.

Запропонована авторами математична модель (1) складається з двох диференціальних рівнянь в часткових похідних. Перше рівняння враховує швидкість течії річки та описує процеси дифузії забруднювачів у воді, а також їх сорбції та десорбції в системі «вода – донні відклади». Друге рівняння описує процеси дифузії забруднювачів у донних відкладах, а також їх сорбції та десорбції в системі «донні відклади – вода».

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial t} = D_w \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v_w \frac{\partial C}{\partial x} - k_r C + k_w c \\ \frac{\partial c}{\partial t} = D_r \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + k_r C - k_w c \end{cases} \quad (1)$$

де:

$C = C(x, t)$ – концентрація забруднюючої речовини у річкової воді, мг/дм³;

$c = c(x, t)$ – концентрація забруднюючих речовин у донних відкладах річки, мг/дм³;

$x = 0$ – точка відліку в часі, 0 с;

$x(t)$ – відстань від початкової точки, м;

D_w – коефіцієнт дифузії забруднюючої речовини у воді, м²/с;

D_r – коефіцієнт дифузії забруднюючої речовини в донних відкладах, м²/с;

k_w – коефіцієнт розподілу забруднюючої речовини в системі «вода – донні відклади»;

k_r – коефіцієнт розподілу забруднюючої речовини в системі «донні відклади-вода»;

v_w – швидкість води в річці, м/с.

Початкові умови.

1. Для першого рівняння задамо початкову умову, яка вказує на відсутність забруднювача у воді:

$$C(x, 0) = 0 \quad (2)$$

2. Для другого рівняння початкова умова буде відображати той факт, що у донних відкладах у початковий момент часу забруднювач відсутній:

$$c(x, 0) = 0 \quad (3)$$

3. Швидкість руху води у річці приймемо сталою:

$$v_w = const \quad (4)$$

4. Приймемо сталими хімічний склад води у річці, літологічний та хімічний склад донних відкладів.

Граничні умови.

У початку відліку задамо граничну умову першого роду (5), яка описує постійне надходження забруднювача у воду в цій точці, а відсутність забруднювача у донних відкладах опишемо граничною умовою першого роду (6):

$$C(0, t) = C^* \left(2 \frac{0,5e^t}{1 + 0,5(e^t - 1)} - 1 \right) \quad (5)$$

де C^* – максимальна концентрація забруднюючої речовини у воді в результаті скиду, мг/дм³;

$$c(0, t) = 0 \quad (6)$$

Чисельне рішення математичної моделі.

За результатами математичного моделювання неперервного лінійного надходження нафти у р. Стрий отримано наступні результати (вибірково) (рис. 2, 3).

На 60 с після початку неперервного надходження нафти у річкову систему середньої її частини максимальний вміст нафти у воді становить 0, 24 г/дм³ та спадає до 0 г/дм³ на відстані 116 м від джерела скиду. На 1800 с після початку неперервного надходження максимальний вміст нафти становить 0, 84 г/дм³ та спадає до 0 г/дм³ на відстані 2700 м від джерела скиду (див. рис. 2).

На 60 с після початку неперервного надходження нафти у районі гирла річки Стрий максимальний її вміст у воді стано-

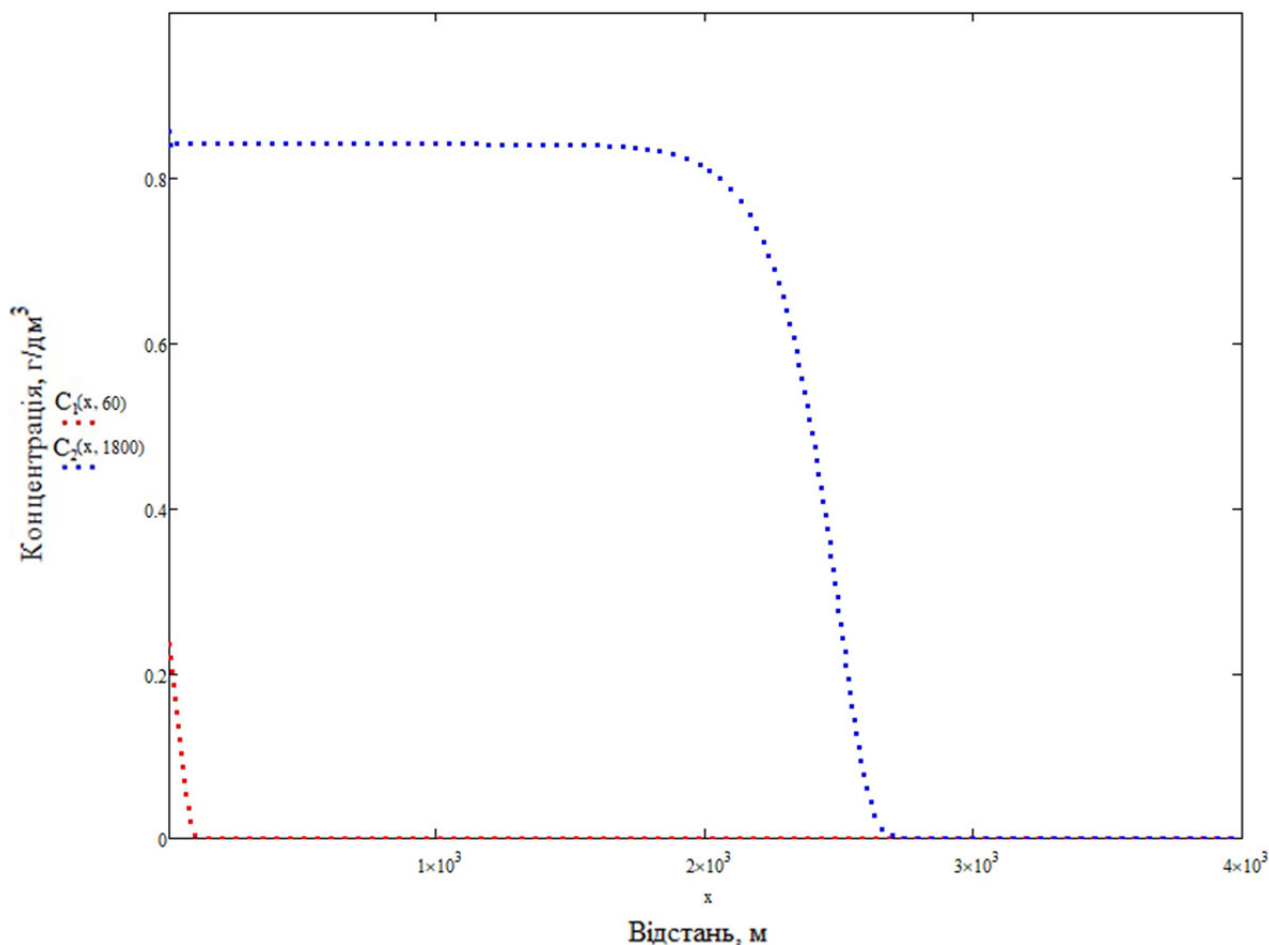


Рис. 2. Зміна концентрації нафти внаслідок неперервного надходження забруднювача на 60 (C_1) та 1800 (C_2) секундах у воді середньої частини річки Стрий

вить 0,2 г/дм³ та спадає до 0 г/дм³ на відстані 96 м від джерела скиду. На 1800 с після початку неперервного надходження максимальний вміст нафти становить 0,72 г/дм³ та спадає до 0 г/дм³ на відстані 2100 м від джерела скиду (див. рис. 3).

Обговорення

Прогнозування міграції нафти у гірських річках Карпатського регіону є вкрай важливою прикладною проблемою для цілей екологічної безпеки та цивільного захисту. У статті здійснено спробу такого прогнозування на новій теоретичній основі, яка передбачає врахування впливу донних відкладів. Врахування таких впливів особливо важливо для умов мілководних рік, якими здебільшого є ріки Карпатського регіону. За результатами моделювання, які описані вище, можна розрахувати швидкість руху забруднювача. Відповідно до розробленої моделі швидкість руху забруднювачів вуглеводневого складу становить 1,5 м/с, що в 1,33 рази менше від швидкості течії. У пригірловій частині

ріки швидкість руху забруднювачів вуглеводневого складу становитиме 1,17 м/с, що у 1,71 рази менше швидкості течії. Ці дані підтверджують вплив донних відкладів на параметри міграції забруднюючих речовин вуглеводневого складу і важливість їх врахування при прогнозуванні в умовах надзвичайних ситуацій.

Висновки

1. Розроблено математичну модель для вивчення зміни концентрації забруднювача вуглеводневого складу у річці, викликану неперервним надходженням цього забруднювача у систему «вода – донні відклади». Модель описується двома диференціальними рівняннями. Перше рівняння враховує процеси дифузії забруднювача у воді, сорбції та десорбції у системі «вода – донні відклади», з урахуванням швидкості течії річки. Друге рівняння визначає процеси дифузії забруднювача у донних відкладах та сорбції-десорбції у системі «донні відклади – вода».

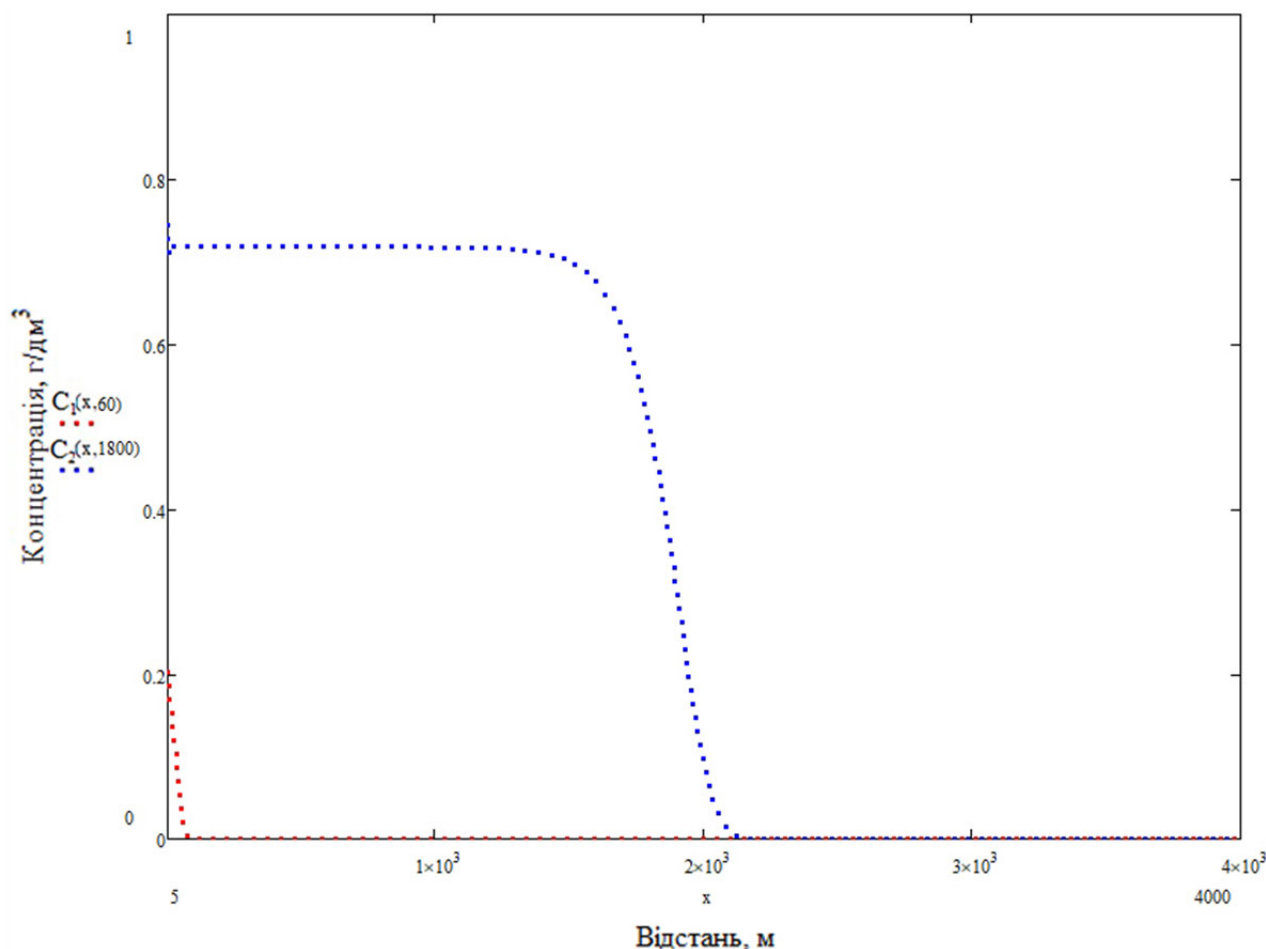


Рис. 3. Зміна концентрації нафти внаслідок неперервного надходження забруднювача на 60 (C_1) та 1800 (C_2) секундах у воді в районі гирла річки Стрий

2. Отримано чисельні розв'язки математичної моделі, які відображаються у вигляді графіків, що показують залежності концентрації нафти від відстані. Такі залежності були отримані для двох ділянок річки Стрий: середньої її частини та в районі гирла.

3. Вивчено закономірності зміни концентрації забруднювача в залежності

від складу донних відкладів річки та її течії.

4. Розроблена модель може застосовуватися для прогнозування стану забруднень річок у випадку надзвичайних ситуацій, пов'язаних із скидом нафти чи нафтопродуктів працівниками екологічних інспекцій, басейнових управлінь, підрозділів цивільного захисту.

Список використаної літератури

Волосецький Б.І., Шпирналь Т.Г. Дослідження перенесення гравійно-галькових мас у руслі р. Стрий за даними геодезичного моніторингу. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2013. Вип. 77. С. 115–121.

Карабин В.В. Закономірності зміни макрокомпонентного хімічного складу вод ріки Білого Черемошу. *Збірник наукових праць УкрДГРІ*. 2015. №1. С. 114–121.

МВВ № 081/12-0645-09 Води зворотні, поверхневі, підземні. Методика виконання вимірювань масової концентрації нафтопродуктів гравіметричним методом. [Електронний ресурс]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/docpage.html?id_doc=76578 (дата звернення 27.11.2023).

Почаєвець О.О., Розлач З.В. Паводки на річках басейну Стрия та їх вплив на морфологічні зміни русел. *Меліорація і водне господарство*. 2014. Вип. 101. С. 259–272.

Ромащенко М.І., Савчук Д.П. Водні стихії. Карпатські повені. Статистика, причини, регулювання. *Аграрна наука*. 2002., Т. 304.

- Русин І.Б., Мороз О.М., Карабин В.В., Кулачковський О.Р., Гудзь С.П. Біодеградація вуглеводнів нафти дріжджами *Candida*. *Мікробіологічний журнал*. 2003. Т. 65. № 6. С. 36–42.
- Сусідко М.М., Лук'янець О.І. Можливості оцінювання річкового стоку в Карпатах на найближчі роки з урахуванням його багаторічних коливань. *Наукові праці УкрНДГМІ*. 1998. Вип. 246. С. 46–55.
- Фізико-хімія паливно-мастильних матеріалів: монографічний підручник (спеціальний курс лекцій). Г.О. Сіренко, В.І. Кириченко, І.В. Сулима. Івано-Франківськ : Супрун В. П., 2017. 508 с.
- Adams R.H., Ojeda-Castillo V., Guzmán-Osorio F., Álvarez-Coronel G., Domínguez-Rodríguez V. Human health risks from fish consumption following a catastrophic gas oil spill in the Chiquito River, Veracruz, Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2020. Vol. 192. №12. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08742-z>.
- Bhattacharjee, S., Dutta, T. An overview of oil pollution and oil-spilling incidents. *Advances in Oil-Water Separation*. 2022. P. 3–15. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89978-9.00014-8>.
- Chowdury M.S.U., Emran T.B., Ghosh S., Pathak A., Alam M.M., Absar N., Andersson K., Hossain M.S. IoT Based Real-time River Water Quality Monitoring System. *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 155. P. 161–168. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.08.025>.
- Dodman D., Hayward B., Pelling M., et al. Cities, Settlements and Key Infrastructure. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. 2023. P. 907–1040. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.008>.
- Hu W., Jørgensen S.E., Zhang F. A vertical-compressed three-dimensional ecological model in Lake Taihu, China. *Ecological Modelling*. 2006. Vol. 190. № 3-4. P. 367–398. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.02.024>.
- Kuzyk A., Karabyn V., Shuryhin V., Sushko Y., Stepova K., Karabyn O. The River System Pollutant Migration in the Context of the Sudden One-Time Discharge with Consideration of the Bottom Sediments Influence (Case of Benzene Migration in the Stryi River, Ukraine). *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2023. Vol. 24. № 1. P. 46–54. <https://doi.org/10.12912/27197050/154909>.
- Lazaruk Y., Karabyn V. Shale gas in Western Ukraine: Perspectives, resources, environmental and technogenic risk of production. *Pet Coal*. 2020. Vol. 62. № 3 P. 836–844.
- Loboichenko_a V., Leonova N., Shevchenko R., Kapustnik A., Yeremenko S., Pruskyi A. Assessment of the impact of natural and anthropogenic factors on the state of water objects in urbanized and non-urbanized areas in Lozova District (Ukraine). *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2021. Vol. 22 № 2. P. 59–66. <https://doi.org/10.12912/27197050/133333>.
- Loboichenko_b V., Leonova N., Shevchenko R. et al. Spatio-temporal study of the ecological state of water bodies located within the detached objects of the urbanized territory of Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2021. Vol. 22. № 6. P. 36–44. <https://doi.org/10.12912/27197050/141610>.
- Odnorih Z., Manko R., Malovanyy M., Soloviy K. Results of surface water quality monitoring of the Western Bug river basin in Lviv Region. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. Vol. 21. №3. P. 18–26. <https://doi.org/10.12911/22998993/118303>.
- Park J., Kim K.T., Lee W.H. Recent Advances in Information and Communications Technology (ICT) and Sensor Technology for Monitoring Water Quality. *Water*. 2020. Vol. 12. №. 2. P. 510. <https://doi.org/10.3390/w12020510>.
- Posthuma L., Zijp M.C., De Zwart D., Van de Meent D., Globevnik L., Koprivsek M., Focks A., Van Gils J., Birk S. Chemical pollution imposes limitations to the ecological status of European surface waters. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. №. 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71537-2>.
- Robson B., Hamilton D. Three-dimensional modelling of a Microcystis bloom event in the Swan River estuary, Western Australia. *Ecological Modelling*. 2004. Vol. 174. № 1-2. P. 203–222. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.01.006>.
- Shevchenko R. I. et al. Review of up-to-date approaches for extinguishing oil and petroleum products. *SOCAR Proceeding*. 2021. SI 1. P. 169–174. <https://doi.org/10.5510/OGP2021SI100519>.
- Shuryhin V., Karabyn V., Kuzyk A. Prediction of Benzene Migration Parameters Resulting from Continuous Flow in a Mountain River. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2023. Vol. 24. № 8. P. 73–81. <https://doi.org/10.12912/27197050/171529>.
- Starodub Y., Karabyn V., Havrys A., Shainoga I., Samberg A. Flood risk assessment of Chervonograd mining-industrial district. *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XX. SPIE*. Berlin, Germany, 2018. P. 10783. <https://doi.org/10.1117/12.2501928>.

Wang X., Wang Y., Guo F., Wang D., Bai Y. Physicochemical characteristics of particulate matter emitted by diesel blending with various aromatics. *Fuel*. 2020. Vol. 275. P. 117928. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117928>.

References (translated & transliterated)

Volosetskyi, B.I., & Shpyrnal, T.H. (2013). Doslidzhennia perenesennia hraviino-halkovykh mas u rusli r. Stryi za danymy heodezychnoho monitorynhu [Study of gravel and pebble masses transfer in the Stryi River channel based on geodetic monitoring data]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznmannia [Geodesy, cartography and aerial photography]*, 77, 115–121 [in Ukrainian].

Karabyn, V.V. (2015). Zakonomirnosti zminy makrokomponentnoho khimichnoho skladu vod riky Biloho Cheremoshu [Patterns of changes in macrocomponent chemical composition of the waters of the White Cheremosh River]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDGRI [Collection of scientific works of UkrSGRI]*, 1, 114–121 [in Ukrainian].

MVV № 081/12-0645-09 Vody zvorotni, poverkhnevi, pidzemni. Metodyka vykonannia vymiriuvan masovoi kontsentratsii naftoproduktiv hravimetrychnym metodom [Return water, surface water, groundwater. Methodology for measuring the mass concentration of oil products by the gravimetric method]. [Electronic resource] URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/docpage.html?id_doc=76578. (access date 27.11.2023) [in Ukrainian].

Pochaievets, O.O., & Rozlach, Z.V. (2014). Pavodky na richkakh baseinu Stryia ta yikh vplyv na morfolohichni zminy rusel [Floods on the rivers of the Stryi basin and their impact on morphological changes of riverbeds]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo [Melioration and Water Management]*, 101, 259–272 [in Ukrainian].

Romashchenko, M.I., & Savchuk, D.P. (2002). Vodni stykhii. Karpatski poveni. Statystyka, prychny, rehuliuвання [Water elements. Carpathian floods. Statistics, causes, regulation]. *Ahrarna nauka [Agrarian Science]*, 304 [in Ukrainian].

Rusyn, I.B., Moroz, O.M., Karabyn, V.V., Kulachkovskyi, O.R., & Hudz, S.P. (2003). Biodehradatsiia vuhlevodniv nafty drizhdzhamy Candida [Biodegradation of petroleum hydrocarbons by Candida yeast]. *Mikrobiolohichni zhurnal [Microbiological Journal]*, 65 (6), 36–42 [in Ukrainian].

Susidko, M.M., & Lukianets, O.I. (1998). Mozhlyvosti otsyniuвання richkovoho stoku v Karpatakh na naiblyzhchi roky z urakhuvanniam yoho bahatorichnykh kolyvan [Possibilities of estimation of river runoff in the Carpathians for the nearest years taking into account its long-term fluctuations]. *Naukovi pratsi UkrNDHMI [Scientific works of UkrRHMI]*, 246, 46–55 [in Ukrainian].

Sirenko, H.O., Kyrychenko, V.I., & Sulyma, I.V. (2017). Fyzyko-khimiia palyvno-mastylnykh materialiv: monohrafichni pidruchnyk (spetsialnyi kurs lektsii) [Physicochemistry of fuels and lubricants: a monographic textbook (special course of lectures)]. Ivano-Frankivsk : Suprun V. P. [in Ukrainian].

Adams, R.H., Ojeda-Castillo, V., Guzmán-Osorio, F., Álvarez-Coronel, G., & Domínguez-Rodríguez, V. (2020). Human health risks from fish consumption following a catastrophic gas oil spill in the Chiquito River, Veracruz, Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192 (12). <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08742-z> [in English].

Bhattacharjee, S., & Dutta, T. (2022). An overview of oil pollution and oil-spilling incidents. *Advances in Oil-Water Separation*, 3–15. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89978-9.00014-8> [in English].

Chowdury, M.S.U., Emran, T.B., Ghosh, S., Pathak, A., Alam, M.M., Absar, N., Andersson, K., & Hossain, M.S. (2019). IoT Based Real-time River Water Quality Monitoring System. *Procedia Computer Science*, 155, 161–168. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.08.025> [in English].

Dodman, D., Hayward, B., & Pelling, M. et al. (2023). Cities, Settlements and Key Infrastructure. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, 907–1040. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.008> [in English].

Hu, W., Jørgensen S.E., & Zhang, F. (2006). A vertical-compressed three-dimensional ecological model in Lake Taihu, China. *Ecological Modelling*, 190 (3-4), 367–398. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.02.024> [in English].

Kuzyk, A., Karabyn, V., Shuryhin, V., Sushko, Y., Stepova, K., & Karabyn, O. (2023). The River System Pollutant Migration in the Context of the Sudden One-Time Discharge with Consideration of the Bottom Sediments Influence (Case of Benzene Migration in the Stryi River, Ukraine). *Ecological*

Engineering & Environmental Technology, 24(1), 46–54. <https://doi.org/10.12912/27197050/154909> [in English].

Lazaruk, Y., & Karabyn, V. (2020). Shale gas in Western Ukraine: Perspectives, resources, environmental and technogenic risk of production. *Pet Coal*, 62. (3), 836–844 [in English].

Loboichenko^a, V., Leonova, N., Shevchenko, R., Kapustnik, A., Yeremenko, S., & Pruskyi, A. (2021). Assessment of the impact of natural and anthropogenic factors on the state of water objects in urbanized and non-urbanized areas in Lozova District (Ukraine). *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 22 (2), 59–66. <https://doi.org/10.12912/27197050/133333> [in English].

Loboichenko^b, V., Leonova, N., & Shevchenko, R. et al. (2021). Spatio-temporal study of the ecological state of water bodies located within the detached objects of the urbanized territory of Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 22 (6), 36–44. <https://doi.org/10.12912/27197050/141610> [in English].

Odnorih, Z., Manko, R., Malovanyy, M., & Soloviy, K. (2020). Results of surface water quality monitoring of the Western Bug river basin in Lviv Region. *Journal of Ecological Engineering*, 21 (3), 18–26. <https://doi.org/10.12911/22998993/118303> [in English].

Park, J., Kim, K.T., & Lee, W.H. (2020). Recent Advances in Information and Communications Technology (ICT) and Sensor Technology for Monitoring Water Quality. *Water*, 12. (2), 510. <https://doi.org/10.3390/w12020510> [in English].

Posthuma, L., Zijp, M.C., De Zwart, D., Van de Meent, D., Globevnik, L., Koprivsek, M., Focks, A., Van Gils, J., & Birk, S. (2020). Chemical pollution imposes limitations to the ecological status of European surface waters, *Scientific Reports*, 10 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71537-2> [in English].

Robson, B., & Hamilton, D. (2004). Three-dimensional modelling of a Microcystis bloom event in the Swan River estuary, Western Australia. *Ecological Modelling*, 174 (1-2), 203–222. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.01.006> [in English].

Shevchenko, R.I. et al. (2021). Review of up-to-date approaches for extinguishing oil and petroleum products. *SOCAR Proceeding*, 1, 169–174. <https://doi.org/10.5510/OGP2021SI100519> [in English].

Shuryhin, V., Karabyn, V., & Kuzyk, A. (2023). Prediction of Benzene Migration Parameters Resulting from Continuous Flow in a Mountain River. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 24 (8), 73–81. <https://doi.org/10.12912/27197050/171529> [in English].

Starodub, Y., Karabyn, V., Havrys, A., Shainoga, I., & Samberg, A. (2018). Flood risk assessment of Chervonograd mining-industrial district. *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XX. SPIE*. Berlin, Germany, p. 10783. <https://doi.org/10.1117/12.2501928> [in English].

Wang, X., Wang, Y., Guo, F., Wang, D., & Bai, Y. (2020). Physicochemical characteristics of particulate matter emitted by diesel blending with various aromatics. *Fuel*, 275, p. 117928. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117928> [in English].

Отримано: 05.12.2023

Прийнято: 18.12.2023