



*В. І. Шуригін, В. В. Карабин*

*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, Україна*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0324-4433> – В. І. Шуригін

<https://orcid.org/0000-0002-8337-5355> – В. В. Карабин



[v.shurygin@ldubgd.edu.ua](mailto:v.shurygin@ldubgd.edu.ua)

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІГРАЦІЇ ВУГЛЕВОДНІВ У АЛЮВІАЛЬНИХ ВІДКЛАДАХ РІКИ СТРИЙ ВНАСЛІДОК ОДНОРАЗОВОГО СКИДУ НАФТИ

**Постановка проблеми.** З розвитком нових гірничих технологій, а також при збільшенні об'ємів транспортування нафти та нафтопродуктів, зростає кількість небезпек, пов'язаних з надходженням вуглеводневих сполук у водні об'єкти та на поверхню ґрунту. Особливо небезпечні розливи сполук вуглеводневого складу, що утворюються в річках поблизу (над) водозаборів питної води. Тоді, внаслідок аварійних виливів нафти чи нафтопродуктів без питного водопостачання можуть бути залишені одночасно декілька населених пунктів. Річка Стрий, яка є найбільшою карпатською притокою річки Дністер та через яку проходить 5 нафтопроводів та 1 продуктопровід, зазнає суттєвих антропогенних змін, що призводить до збільшення екологічної небезпеки та підвищення ризику виникнення аварійних ситуацій у випадку надходження забруднювальних речовин, зокрема вуглеводневого складу. Прогнозування поширення забруднювачів у системах «вода-порода» та «порода-вода» базується на рівняннях дифузії та передбачає точні дані щодо коефіцієнтів розподілу забруднювача.

**Мета дослідження** – експериментально встановити коефіцієнти розподілу концентрації вуглеводнів нафти у системі «вода-порода» в алювіальних відкладах першої надзаплавної тераси річки Стрий.

**Методи досліджень.** Для досягнення мети статті використано теоретичні (аналіз, синтез, порівняння), польові (профільний та морфологічний) та експериментальні (спостереження, гравіметричний) методи.

**Основні результати досліджень.** Встановлено, що надходження нафти на поверхню надзаплавної тераси р. Стрий порушує стан екологічної безпеки водної системи та створює ризики виникнення надзвичайної ситуації екологічної генези. Максимальний об'єм вуглеводнів нафти, котрим може насититись 100 г твердої фази, становить 15 мл, а концентрація вуглеводнів нафти – 21,90 мг/г. Бар'єрні властивості першої надзаплавної тераси р. Стрий є низькими через її невелику товщину та високі фільтрувальні властивості окремих горизонтів.

**Висновки.** Отримані результати є важливими для математичного моделювання масопереносу нафти у гірських річкових системах, вносять вклад у розвиток теорії екологічної безпеки та геохімії техногенезу.

**Ключові слова:** екологічна безпека, вуглеводні, коефіцієнти розподілу забруднювачів, геохімія техногенезу, річка Стрий.

*V. I. Shuryhin, V. V. Karabyn*

*Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine*

## EXPERIMENTAL STUDIES OF HYDROCARBON MIGRATION IN ALLUVIAL SEDIMENTS OF THE RIVER STRYI AS A RESULT OF A SINGLE OIL DISCHARGE

**Introduction.** With the development of new mining technologies, as well as with increased volumes of transportation of oil and oil products, the number of dangers associated with the entry of hydrocarbon compounds into water bodies and onto the soil surface is increasing. Spills of hydrocarbon compounds formed in rivers near (above) drinking water intakes are especially dangerous. Then, as a result of emergency spills of oil or oil products, several settlements may be left without drinking water supply at the same time. The Stryi River, which is the largest Carpathian tributary of the Dniester River and through which 5 oil pipelines and 1 product pipeline pass, is undergoing significant anthropogenic changes, which leads to an increase in environmental hazards and an increase in the risk of emergency situations in the event of the entry of pollutants, in particular hydrocarbon composition. Forecasting the distribution of pollutants in the «water-rock» and «rock-water» systems is based on diffusion equations and provides accurate data on pollutant distribution coefficients.

**The purpose of the research** is to experimentally determine the coefficients of distribution of the concentration of hydrocarbons in the "water-rock" system in the alluvial deposits of the first floodplain terrace of the Stryi River.

**Methods.** To achieve the goal of the article, theoretical (analysis, synthesis, comparison), field (profile and morphological) and experimental (observation, gravimetric method) methods were used.

**Results.** It was established that the inflow of oil to the surface of the floodplain terrace of the Stryi River violates the state of ecological safety of the water system and creates risks of an emergency situation of ecological origin. The maximum volume of hydrocarbons that can saturate 100 g of the solid phase is 15 ml, and the concentration of hydrocarbons is 21.90 mg/g. The barrier properties of the first floodplain terrace of the Stryi River are low due to its small thickness and high filtration properties of individual horizons.

**Conclusions.** The results obtained by us are important for mathematical modeling of mass transfer of oil in mountain river systems, contribute to the development of theories of environmental safety and geochemistry of technogenesis.

**Keywords:** environmental safety, hydrocarbons, pollutant distribution coefficients, geochemistry of technogenesis, Stryi River.

**Вступ.** Діяльність людини призводить до інтенсивного забруднення основних компонентів природного середовища – атмосфери, літосфери, гідросфери. Найбільш гостро проблеми екологічної рівноваги стоять у регіонах із розвинутою нафтовидобувною галуззю промисловості та територіями транспортування нафти та нафтопродуктів. Основними джерелами забруднення в районах видобутку нафти є легкі вуглеводні, сполуки сірки ( $H_2S$ ), та тверді частинки [1, 2]. Легкі фракції нафти, що потрапили у водоймища, утворюють на водній поверхні плівку, що утруднює вільний газообмін між повітрям і водою. Важкі фракції створюють вторинне забруднення: осідаючи на дно, вони зв'язують мул, утворюючи грудки, що довго не руйнуються. Розкладання нафти потребує додаткового кисню, зменшуючи тим самим його розчинену у воді кількість нижче за допустимі межі, що спричиняє загибель бентосу [3, 4].

При потрапленні нафти в ґрунт різко зростає співвідношення між вуглецем та азотом, що погіршує азотний режим ґрунтів та порушує кореневе живлення рослин. Крім того, вбираючись у ґрунт, нафта забруднює підземні води, внаслідок чого витісняється кисень, необхідний для життєдіяльності рослин та мікроорганізмів. Самоочищення ґрунту шляхом біологічного розкладання нафти відбувається повільно і, отже, родючий шар ґрунту тривалий час не відновлюється [5].

За даними національної акціонерної компанії «Нафтогаз України» за 2021 рік територією України транспортовано 15,7 млн тонн нафти, здійснюється розробка понад 140 вуглеводневих родовищ у 12 областях України, зокрема у Дніпровсько-Донецькій западині, на Юзівській площі, а також у Карпатському регіоні та в акваторії Чорного моря. В Україні щорічно споживається до 10 млн тонн нафти та нафтопродуктів, 40 тис. тонн з яких становлять офіційно зафіксовані втрати внаслідок виливів [6].

Транспортування нафти трубопровідним транспортом на українські НПЗ та її транзит до країн Східної та Центральної Європи здійснюється системою магістральних нафтопроводів, загальна довжина яких становить 4,7 тис. км. [7]. При їх експлуатації на всіх етапах виникають загрози, пов'язані з аварійним виливом нафти, що може супроводжуватись її потраплянням у водні об'єкти.

З метою підвищення рівня техногенно-екологічної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям на підприємствах нафтогазового комплексу створені та функціонують протиаварійні формування та служби, добровільні пожежні дружини, призначені відповідальні особи за протипожежний стан, розроблені положення та інструкції, проводяться інструктажі та перевірки знань з питань пожежної та техногенної безпеки. З метою оперативного реагування на можливі аварійні ситуації, пов'язані з витоками нафти і нафтопродуктів, здійснюється періодична внутрішньотрубна діагностика та комплексне приладове обстеження нафтопроводів, а при виявленні дефектів та пошкоджень – своєчасна їх ліквідація; проводяться планово-профілактичні ремонти насосів та електродвигунів на нафтоперекачувальних агрегатах; постійно проводяться обстеження трубопроводів на наявність незаконних «врізок», відводів з трубопроводів та ємностей для збору та зберігання нафти чи нафтопродуктів; у випадку розгерметизації нафтопроводів з виливом вуглеводнів у довкілля організовується система постійнодіючого моніторингу і здійснюються заходи механічної та біологічної рекультивациі [8]. Усі ці заходи суттєво підвищують рівень екологічної та цивільної безпеки, проте ризики виникнення надзвичайних ситуацій екологічної генези на таких територіях все ще залишаються дуже значними, отже існує необхідність створення адекватних математичних моделей прогнозування поширення забруднювачів вуглеводневого складу на окремих районах.

Водночас, ступінь адекватності математичної моделі масопереносу забруднюючих речовин у річковій системі буде залежати від якісних вхідних параметрів фільтрувальних властивостей гірських порід, параметрів розподілу вуглеводнів у системі «вода-порода». З цією метою автори провели низку польових та експериментальних досліджень.

*Об'єкт дослідження* – процес розподілу вуглеводнів у системі «вода-порода» внаслідок її одноразового скиду у терасу річки Стрий.

*Мета дослідження* – дослідити гранулометричні параметри відкладів тераси річки Стрий та експериментально встановити коефіцієнти розподілу концентрації вуглеводнів у системі «вода-порода» в алювіальних відкладах першої надзаплавної тераси річки Стрий.

**Методи досліджень.** Для досягнення поставленої мети використано теоретичні (аналіз, синтез, порівняння), польові (профільний та морфологічний) та експериментальні (спостереження, гравіметричний) методи.

Опис відслонення алювіальних відкладів зроблено у польових умовах з використанням профільного та морфологічного методів. Для діагностування генетичних горизонтів основними критеріями були зміни гранулометричного складу, зміни кольору, структури порід, щільності шарів. Генетичні горизонти надзаплавної тераси виділено у природних відслоненнях (частково нами розчищених) вздовж річки Стрий. Довжина відрізка обстеження – 500 м. Ділянка досліджень розташована на лівому березі річки Стрий на віддалі 2000 м від місця впадіння річки Опір у річку Стрий.

Річка Стрий є надзвичайно важливим елементом використання прісної води, частиною санітарно-побутового забезпечення, функціонування місцевих екосистем, а відтак має важливе значення для екологічної безпеки місцевих територій. Вода з Семигинівського водозбору питних вод, що розташований на терасі річки Стрий, надходить до міст Львів, Трускавець, Моршин. Іншою особливістю річки Стрий є розташування у межах його водозбору об'єктів нафтогазової промисловості, а отже існує небезпека виникнення аварій, які можуть призвести до значного вуглеводневого забруднення [9].

У лабораторних умовах при моделюванні аварійного розливу визначено концентрацію вуглеводнів гравіметричним методом, встановлено гранулометричний склад відкладів ситовим методом. Далі для лабораторних експериментів сформовано усереднену пробу з трьох генетичних горизонтів ґрунту.

Вміст вуглеводнів визначено відповідно до МВВ № 081/12-0645-09 [10] з деякими змінами у нашій модифікації. Перед вимірюванням масової концентрації вуглеводнів проводилось попереднє змішування із зразками порід з першої надзаплавної тераси річки Стрий з подальшим перемішуванням, відстоюванням для насичення породи нафтою та виділення рідкої фази. Похибка результатів вимірювань не перевищує 10%.

Для визначення максимальної насиченості об'єм вливної нафти змінювали з 3 до 20 мл з кроком у 2,5 мл (n=8). Час змішування змінювали від 0,5 до 72 год (n=9).

Для визначення коефіцієнтів розподілу вуглеводнів у системах «вода-порода» (1) та «порода-вода» (2) генетичних горизонтів алювіальних відкладів першої надзаплавної тераси річки Стрий використано формули:

$$K_{в-п} = \frac{(V_{в} + V_{н}) \cdot (m_{н} - m_{н.в.})}{m_{т.ф.} \cdot m_{н.в.}}; \quad (1)$$

$$K_{п-в} = 1/K_{в-п}, \quad (2)$$

де:  $K_{в-п}$  – коефіцієнт розподілу вуглеводнів в системі «вода-порода»,  $K_{п-в}$  – коефіцієнт розподілу в системі «порода-вода»,  $V_{в}$  – об'єм води,  $V_{н}$  – об'єм вуглеводнів,  $m_{т.ф.}$  – маса твердої фази,  $m_{н}$  – маса вуглеводнів,  $m_{н.в.}$  – масова частка вуглеводнів у воді після змішування.

Лабораторні дослідження проведено у науково-дослідній лабораторії екологічної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності [11].

#### **Результати досліджень та їх обговорення.**

Згідно з даними регіональної доповіді про стан НПС [12], через річку Стрий проходять 6 нафтопродуктопроводів, а в межах берегової смуги розташовані 50 населених пунктів (таблиця 1), що створює суттєве техногенне навантаження на водну артерію [13].

Таблиця 1

Загальна характеристика річок Львівської області, через які проходять трубопроводи

Назва річки	Протяжність по території регіону, км	Річковий басейн, до якого відноситься річка	Кількість населених пунктів вздовж берегової смуги, од.	Кількість гребель (водосховищ) од.	Кількість трубопроводів, що проходять через річку, од.			
					газо-	нафто-	аміако-	продукто-
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Великі річки</b>								
Дністер	207	Дністер	66	2	17	3	-	3
<b>Усього</b>	<b>207</b>		<b>66</b>	<b>2</b>	<b>17</b>	<b>3</b>	<b>-</b>	<b>3</b>
<b>Середні річки</b>								
Західний Буг	184	Західний Буг	43	2	3	3	-	-
Стрий	232	Дністер	50	-	10	5	-	1
Іква	16,6	Стир	6	-	1	1	-	-
Стир	66,8	Дніпро	13	-	2	1	-	-
<b>Усього</b>			<b>115</b>	<b>2</b>	<b>16</b>	<b>10</b>	<b>-</b>	<b>1</b>

Зокрема, нафтопровід «Броди-Держкордон» на ділянці 157 – 165 км проходить вздовж русла річки Стрий та частково – у межах другої зони санітарної охорони Стрийського водозабору прісних підземних вод. Водозабір забезпечує питною водою понад 500 тис. споживачів – частину жителів Львова, жителів Трускавця, Моршина, Стрия та Дрогобича. У випадку пошкодження нафтогону на цій ділянці існує ризик вилливу нафти та забруднення річки із потраплянням нафти у підрусліві споруди водозабору [14].

На першій надзаплавній терасі р. Стрий авторами статті закладено ґрунтовий профіль та проведено опис морфологічної будови профілю алювіальних відкладів надзаплавної тераси річки

Стрий. Висота тераси на ділянці досліджень коливається від 0,7 до 2 м. При створенні опису морфологічної будови профілю алювіальних відкладів надзаплавної тераси річки Стрий у польових умовах ми визначили 4 основні горизонти: гумусово-аккумулятивний (Hd+H), глибинами залягання 0-15 см, 15-32 см, 32-114 см та 114-147 см відповідно (рис. 1). Детальний опис ґрунтових горизонтів подано в опублікованому дослідженні [11]. У лабораторних умовах при моделюванні аварійного розливу гравіметричним методом у суміші порід з вказаних вище горизонтів ґрунтового профілю визначено концентрацію вуглеводнів та коефіцієнти розподілу залежно від об'єму та часу.



Рисунок 1 – Ґрунтовий профіль першої надзаплавної тераси річки Стрий

Фільтрувальні властивості порід розрізу доцільно охарактеризувати за результатами гранулометричного аналізу, який ми здійснили у трьох генетичних горизонтах алювіальних відкладів першої надзапальної тераси

річки Стрий (рис. 2-4). Фільтрувальні властивості породи підвищуються зі збільшенням кількості частинок великого розміру і знижуються зі збільшенням кількості дрібних частинок.

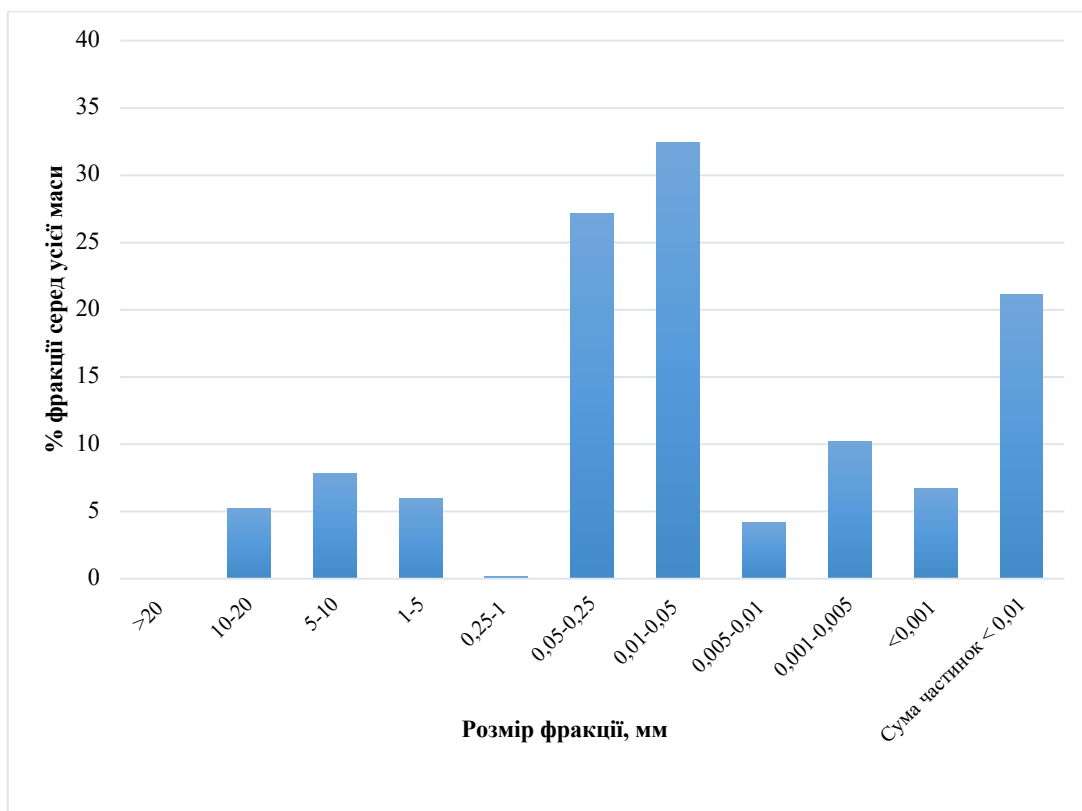


Рисунок 2 – Гранулометричний склад гумусового горизонту (Hr) першої надзапальної тераси річки Стрий

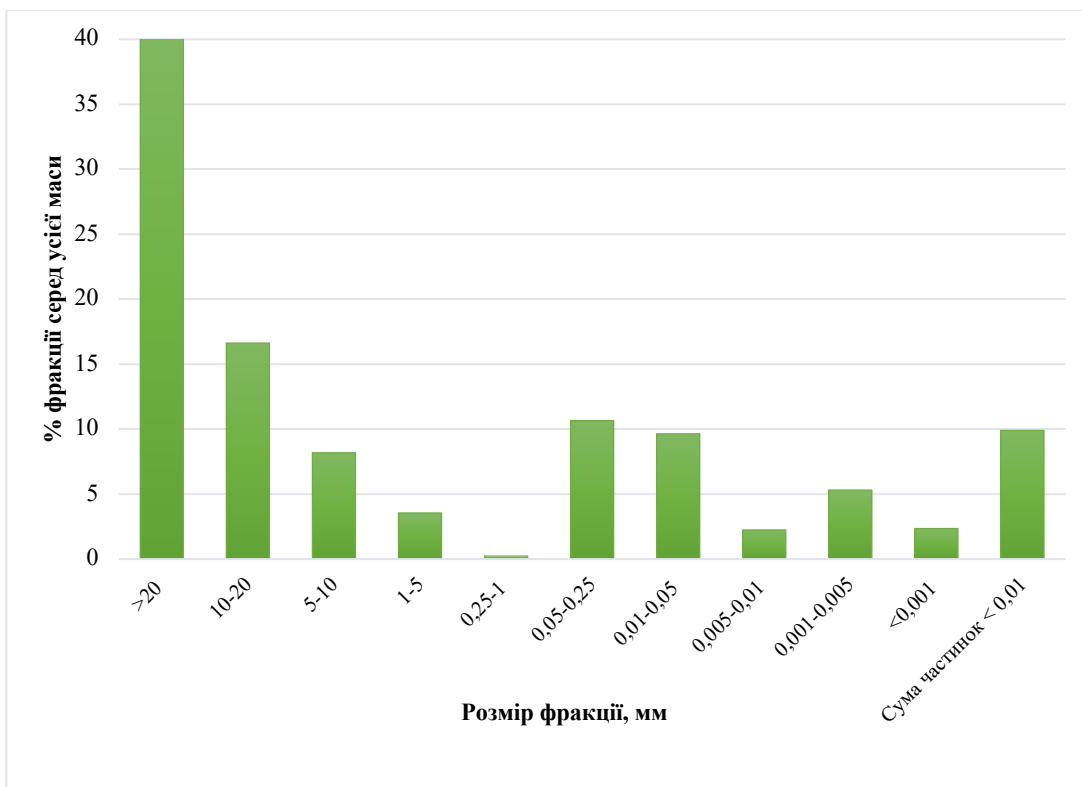
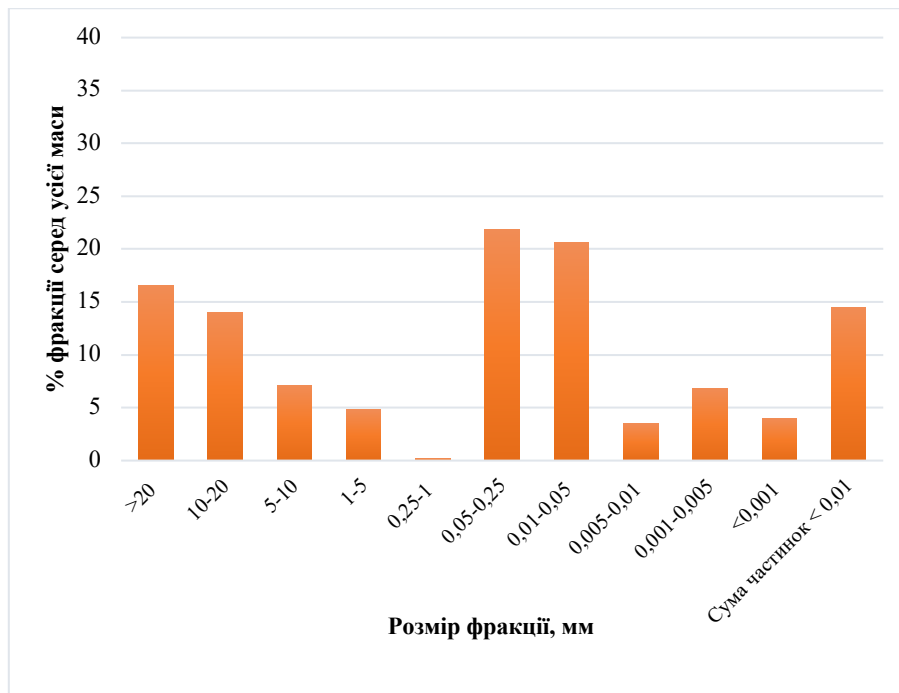


Рисунок 3 – Гранулометричний склад перехідний до породи горизонту (Ph) першої надзапальної тераси річки Стрий

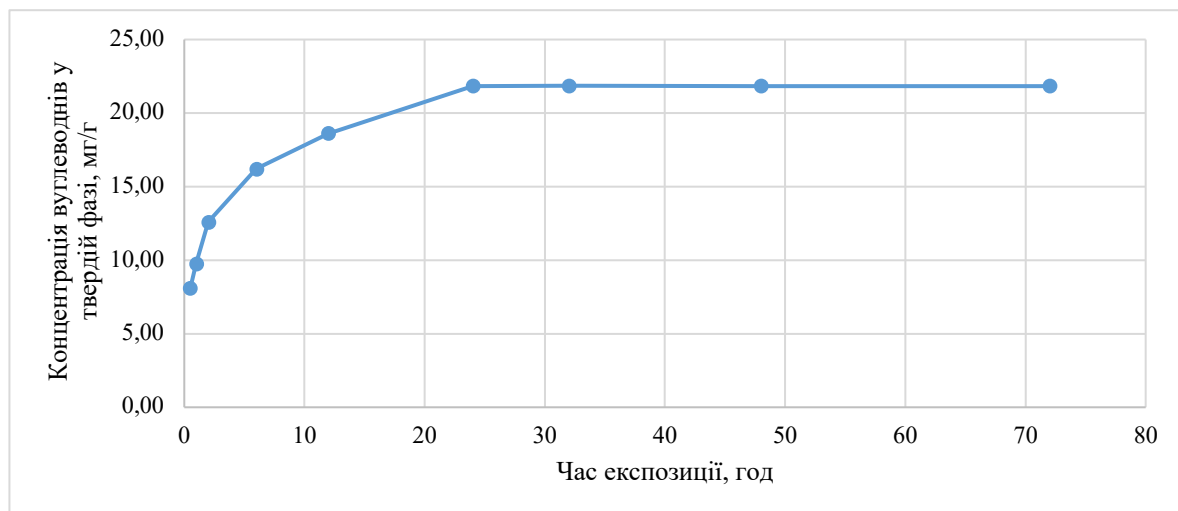


**Рисунок 4** – Гранулометричний склад ґрунтової породи (Р) першої надзаплавної тераси річки Стрий

За результатами гранулометричного аналізу встановлено, що найвищими фільтрувальними властивостями характеризується гумусовий горизонт (H<sub>p</sub>). Найнижчі фільтраційні властивості встановлено для перехідного до ґрунтової породи (Ph). Тобто протекторні властивості ґрунтового розрізу зменшуються згори вниз. Загалом, протекторні властивості алювіальних відкладів

першої надзаплавної тераси є низькими через невелику товщину тераси та високі фільтраційні властивості окремих горизонтів (Ph, P).

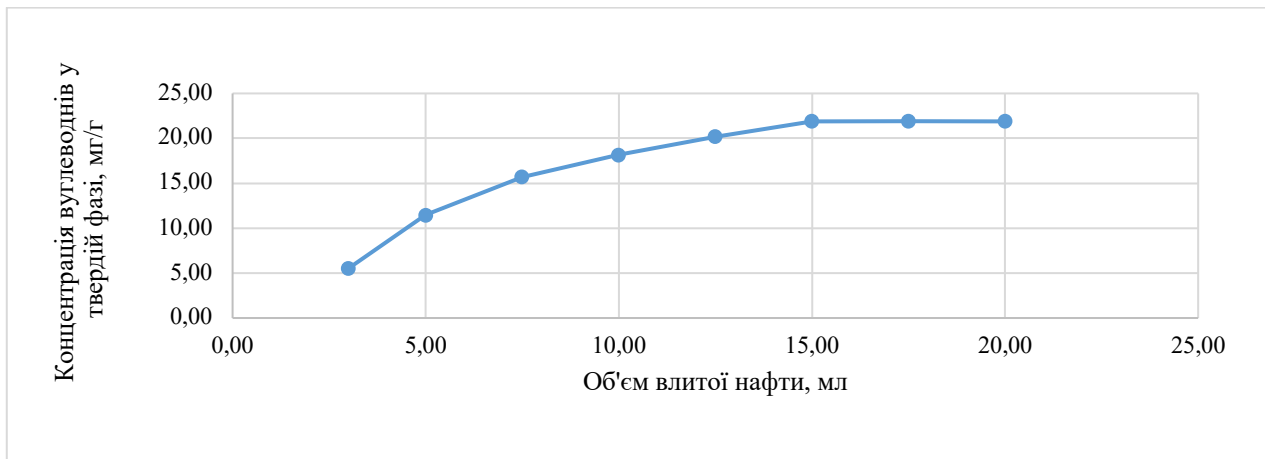
У лабораторних умовах при моделюванні аварійного розливу гравіметричним методом визначено концентрацію вуглеводнів та коефіцієнти розподілу залежно від часу та об'єму.



**Рисунок 5** – Залежність концентрації вуглеводнів у твердій фазі від часу змішування

Згідно з графіком зміни концентрації (рис. 5) встановлено, що час змішування, необхідний для максимального насичення 15 мл нафти, становить 24 години, причому концентрація вуглеводнів у твердій фазі – 21,06 мг/г, решта вуглеводнів

(38328,60 мг/г) залишається у рідкій фазі незалежно від часу змішування. Відповідно, коефіцієнт розподілу вуглеводнів у системі «вода-порода» після настання рівноваги становить 1,17, а у системі «порода-вода» – 0,85.



**Рисунок 6** – Залежність концентрації вуглеводнів у твердій фазі після змішування від об'єму витої нафти

Згідно з графіком зміни концентрації (рис. 6) встановлено, що максимальний об'єм вуглеводнів, котрим може насититись 100 г твердої фази становить 15 мл, а концентрація вуглеводнів – 21,90 мг/г, решта залишається у рідкій фазі незалежно від подальшої зміни об'єму.

Отримані нами результати створюють надійну наукову основу для математичного моделювання масопереносу нафти у гірських річкових системах подібних до річки Стрий, наповнюють бази даних експериментальних досліджень, можуть бути корисними для розвитку теорій екологічної безпеки, геохімії техногенезу [15-16].

#### Висновки

1. Надходження вуглеводнів на поверхню надзаплавної тераси р. Стрий порушує стан екологічної безпеки водної системи та створює ризики виникнення надзвичайної ситуації екологічної генези.

2. Максимальний об'єм вуглеводнів, котрим може насититись 100 г твердої фази, становить 15 мл, а концентрація вуглеводнів – 21,90 мг/г. Максимальне насичення твердої фази відбувається при експозиції 24 години. Після настання рівноваги коефіцієнт розподілу вуглеводнів у системі «вода-порода» становить 1,17, а у системі «порода-вода» – 0,85.

3. Відклади тераси річки Стрий здатні слугувати бар'єром на шляху надходження вуглеводнів внаслідок їх одноразового скиду у концентрації до 21,06 мг/г.

#### Список літератури:

1. Карабин В.В. «Теоретично-методичні аспекти регіональної оцінки стану геологічного середовища в районах розвідки та видобутку вуглеводнів». Мінеральні ресурси України. 2000. Вип. 2. С. 11-13.

2. Malovanyu M., Petrushka K., Petrushka I. «Improvement of Adsorption-Ion-Exchange Processes for Waste and Mine Water Purification». Chemistry &

Chemical Technology. 2019. Vol. 13, no. 3, pp. 372-376. <https://doi.org/10.23939/chcht13.03.372>

3. Yang Z., Shah K., Fieldhouse B., Mirnaghi F., Hollebone B. P., Lambert P., ... Yang, C. «Characterization, occurrence and natural attenuation of spilled light synthetic crude oil in a boreal freshwater ecosystem». Fuel. 2021. Vol. 285, 119276. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119276>

4. Hu, X.; Cai, W.-J.; Rabalais, N. N.; Xue, J. «Coupled oxygen and dissolved inorganic carbon dynamics in coastal ocean and its use as a potential indicator for detecting water column oil degradation». Deep Sea Res. Part II. 2016. Vol. 129, pp. 311–318.

5. Karabyn V., Popovych V., Shainoha I., Lazaruk Ya. «Long-term monitoring of oil contamination of profile-differentiated soils on the site of influence of oil-and-gas wells in the central part of the Boryslav-Pokuttya oil-and-gas bearing area». Pet Coal. 2019. Vol. 61, no. 1, pp. 81-89.

6. Статистичний щорічник України. (2019). Державна служба статистики України. URL: [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua) (дата звернення: 04.10.2022).

7. Транспортування нафти. Національна акціонерна компанія «Нафтогаз України». URL: [www.naftogaz.com/business/oil-transit-and-transportation-business-unit](http://www.naftogaz.com/business/oil-transit-and-transportation-business-unit) (дата звернення: 04.10.2022).

8. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2018 році. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: [mep.gov.ua/timeline/Zviti.html](http://mep.gov.ua/timeline/Zviti.html) (дата звернення: 04.10.2022).

9. Шуригін В. І., Карабин В. В. «Експериментальні дослідження розподілу бензолу у системі «вода-порода» у товщі першої надзаплавної тераси річки Стрий». Науковий вісник НЛТУ України. 2022. Вип. 32, ч. 3. С. 32-36.

10. МВВ № 081/12-0645-09. Води зворотні, поверхневі, підземні. Методика виконання вимірювань масової концентрації нафтопродуктів гравіметричним методом. Чинний від 2010-02-03.

URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=76578](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=76578).

11. Свідоцтво № РЛ 091/21 вид. 30 листопада 2021 р.

12. Регіональна доповідь про стан НПС. Департамент екології та природних ресурсів Львівської обласної державної адміністрації. URL: <https://deplv.gov.ua/regionalna-dopovid-pro-stan-nps/> (дата звернення: 04.10.2022).

13. Shuryhin V., Rak Yu., Karabyn V. «Analysis of factors and development of methods for managing the environmental and civil safety of transboundary transportation of oil and oil products through pipelines». *ScienceRise*. 2020. No. 5, pp. 51-56.

14. Укртрансгаз введе в експлуатацію ділянку нафтопроводу «Дружба». Українська Енергетика. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/ukrtransnafta-vvede-v-ekspluatatsiiu-dilianku-naftoprovodu-druzhba> (дата звернення: 04.10.2022).

15. Cole H.V.S., Anguelovski I., Connolly J.J.T., García-Lamarca M., Perez-del-Pulgar C., Shokry G., Triguero-Mas M. «Adapting the environmental risk transition theory for urban health inequities: An observational study examining complex environmental riskscapes in seven neighborhoods in Global North cities» *Social Science and Medicine*. 2021. Vol. 277, art. no. 113907. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2021.113907>

16. Долін В.В. «Сучасні проблеми геохімії техногенезу». *Геохімія техногенезу*. 2019. Вип. 1, ч. 29. С. 6-12. [doi.org/10.15407/geotech2019.29.006](https://doi.org/10.15407/geotech2019.29.006).

#### References:

1. Karabyn V. V. (2000). Theoretical and methodological aspects of the regional assessment of the state of the geological environment in the areas of hydrocarbon exploration and production. *Mineral resources of Ukraine*, 2, 11-13.

2. Malovanyu, M., Petrushka, K., & Petrushka, I. (2019). Improvement of Adsorption-Ion-Exchange Processes for Waste and Mine Water Purification. *Chemistry & Chemical Technology*, 13(3), 372-376. <https://doi.org/10.23939/chcht13.03.372>

3. Yang, Z., Shah, K., Fieldhouse, B., Mirnaghi, F., Hollebhone, B. P., Lambert, P., Goldthorp, M., Brown, C. E., & Yang, C. (2021). Characterization, occurrence and natural attenuation of spilled light synthetic crude oil in a boreal freshwater ecosystem. *Fuel*, 285, 119276. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119276>

4. Hu, X.; Cai, W.-J.; Rabalais, N. N.; Xue, J. (2016) Coupled oxygen and dissolved inorganic carbon dynamics in coastal ocean and its use as a potential indicator for detecting

water column oil degradation. *Deep Sea Res. Part II*, 129, 311–318.

5. Karabyn, V., Popovych, V., Shainoha, I. & Lazaruk, Ya. (2019). Long-term monitoring of oil contamination of profile-differentiated soils on the site of influence of oil-and-gas wells in the central part of the Boryslav-Pokuttya oil-and-gas bearing area. *Pet Coal*, 61(1), 81-89.

6. Statistical yearbook of Ukraine. State Statistics Service of Ukraine. Retrieved from: [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua)

7. Oil Transit and Transportation. Naftogaz of Ukraine. Retrieved from: <https://www.naftogaz.com/business/oil-transit-and-transportation-business-unit>

8. National report on the state of the natural environment in Ukraine in 2018. Ministry of energy and environment protection of Ukraine. Retrieved from: <https://mepr.gov.ua/timeline/Zviti.html>

9. Shuryhin, V.I., & Karabyn, V.V. (2022). Experimental studies of benzene distribution in the «water-soil rock» system in the thickness of the first floodplaine terrace of the Stryi River. *Scientific Bulletin of UNFU*, 32(3), 32-36. <https://doi.org/10.36930/40320305>

10. MVV № 081/12-0645-09 Vody zvorotni, poverkhnevi, pidzemni. *Metodyka vykonannya vymyruvan masovoi kontsentratsii naftoproduktiv hravimetrychnym metodom*. Retrieved from: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=76578](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=76578) [ in Ukrainian].

11. Certificate No. RL 091/21 issued November 30, 2021

12. Regional report on the state of the natural environment in the Lviv region in 2019. Department of Ecology and Natural Resources of the Lviv Regional State Administration. Retrieved from: <https://deplv.gov.ua/regionalna-dopovid-pro-stan-nps/>

13. Shuryhin, V., Rak, Yu., Karabyn, V. (2020). Analysis of factors and development of methods for managing the environmental and civil safety of transboundary transportation of oil and oil products through pipelines. *ScienceRise*, 5, 51-56.

14. Ukrtransnafta will commission a section of the Druzhba oil pipeline. *Ukrainian Energy*. Retrieved from: [ua-energy.org/uk/posts/ukrtransnafta-vvede-v-ekspluatatsiiu-dilianku-naftoprovodu-druzhba](https://ua-energy.org/uk/posts/ukrtransnafta-vvede-v-ekspluatatsiiu-dilianku-naftoprovodu-druzhba)

15. Cole, H. V. S., Anguelovski, I., Connolly, J. J. T., García-Lamarca, M., Perez-del-Pulgar, C., Shokry, G., & Triguero-Mas, M. (2021). Adapting the environmental risk transition theory for urban health inequities: An observational study examining complex



environmental riskscapes in seven neighborhoods in  
Global North cities. *Social Science  
& Medicine*, 277, DOI:  
113907. doi.org/10.1016/j.socscimed.2021.113907

16. Dolin V.V. (2019). Modern issues for  
geochemistry of technogenesis (in place of foreword).  
*Geochemistry of technogenesis*, 1(29), 6-12.  
<https://doi.org/10.15407/geotech2019.29.006>

© В. І. Шурігін, В. В. Карабін, 2022.

**Науково-методична стаття.**

Надійшла до редакції 17.10.2022.

Прийнято до публікації 12.12.2022.