



В. І. Шуригін, В. В. Карабин

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, України

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ БЕНЗОЛУ У СИСТЕМІ "ВОДА-ПОРОДА" У ТОВЩІ ПЕРШОЇ НАДЗАПЛАВНОЇ ТЕРАСИ РІЧКИ СТРИЙ

Річка Стрий є найбільшою карпатською притокою Дністра і зазнає істотних антропогенних змін. Унаслідок видобування алювіальних відкладів відбувається руйнування захисно-регулювальних споруд на річці, підмивання берегових укріплень, пошкодження багатьох мостів, переходів трубопроводів, деформація русла і розмивання русла річки Стрий. Такі процеси є чинниками посилення екологічної небезпеки та підвищення ризику виникнення надзвичайних ситуацій у разі надходження забруднювальних речовин, зокрема вуглеводневого складу у відклади надзаплавних терас річки. Прогнозування поширення забруднювачів у системі "вода-порода" базується на рівняннях дифузії та передбачає точні дані щодо коефіцієнтів розподілу забруднювача у системі "вода-порода". Коефіцієнти розподілу забруднювачів серед іншого будуть залежати від гранулометричного складу породи, у нашому випадку від гранулометричного складу порід товщі надзаплавної тераси. Для досягнення мети цього дослідження використано теоретичні методи (аналіз, синтез, порівняння) та експериментальні (спостереження, ваговий метод). Встановлено концентрації бензолу, який серед забруднювачів вуглеводневого складу у великих дозах міститься у дизельному паливі та характеризується високою канцерогенністю. Складено ґрунтовий профіль та проведено опис морфологічної будови профілю алювіальних відкладів надзаплавної тераси річки Стрий. За лабораторних умов під час моделювання аварійного розливу визначено концентрацію бензолу та коефіцієнти розподілу у системах "вода-порода" та "порода-вода". Отримані коефіцієнти розподілу бензолу створюють надійну наукову основу для моделювання дифузійного переносу цього забруднювача у товщі першої надзаплавної тераси річки Стрий, а відтак і прогнозування міграції бензолу у басейні річки Стрий. Отримані експериментальні дані слугуватимуть надійною основою для моделювання та прогнозування дифузійного масопереносу бензолу крізь товщу надзаплавної тераси річки Стрий. Ці результати можна також екстраполювати на інші гірські річкові системи.

Ключові слова: екологічна безпека; алювіальні відклади; бензол; коефіцієнти розподілу забруднювачів; моделювання.

Вступ / Introduction

Стрий є великою за розмірами гірською річкою Карпат. Дослідження здійснено на першій надзаплавній терасі річку Стрий поблизу смт Верхнє Синьовидне вище від впадіння у Стрий річки Опір. На цій ділянці Стрий характеризується середнім багаторічним показником витрати води 43,2 м³/с, показником середньої багаторічної витрати наносів 148 т/км² за рік, показником природної складової стоку завислих наносів – 664. Річка Стрий зазнає істотних антропогенних змін, про що свідчить високий коефіцієнт трансформації потоку літологічного матеріалу – 2,0 [11]. Унаслідок видобування алювіальних відкладів значно деформується русло річки, що спричинило пониження позначок рівня дна в нижній частині Стрия на 0,25-0,4 м/рік та розмивання русла. Унаслідок видобування алювіальних відкладів відбувається підмивання берегових укріплень, руйнування захисно-регулювальних споруд, пошкодження багатьох мостів, переходів трубопроводів, деформація

русла і розмивання русла річки Стрий [10]. За даними досліджень моніторингу ерозійних процесів на річці Стрий у 2003 і 2011 рр. внаслідок інтенсивного паводка у 2008 р. виявлено значні руйнування берегової частини річкового русла та розмивання його дна. Ці процеси супроводжувалися перенесенням у нижню частину русла річки гравійно-галькових відкладів [16]. Такі процеси є чинниками збільшення екологічної небезпеки та підвищення ризику виникнення надзвичайних ситуацій у разі надходження забруднювачів, зокрема вуглеводневого складу у відклади надзаплавних терас річки [4, 5]. Також варто зазначити, що ризики підтоплення заплавних і надзаплавних терас річки Стрий є високими, а відтак задачі моделювання масопереносу забруднювачів вуглеводневого складу у таких товщах є актуальними. Серед таких забруднювачів важливим для моделювання є бензол, який у великих дозах міститься у дизпаливі.

Сутність проблеми полягає у тому, що забруднення надзаплавних гірських річок створює значні ризики різкого погіршення стану екологічної безпеки. Прогнозу-

Інформація про авторів:

Шуригін Владислав Ігорович, ад'юнкт, кафедра екологічної безпеки. Email: vlad_shurygin@ukr.net;

<https://orcid.org/0000-0003-0324-4433>

Карабин Василь Васильович, д-р техн. наук, доцент, кафедра цивільного захисту та комп'ютерного моделювання

екогеофізичних процесів. Email: vasyi.karabyn@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0324-4433>

Цитування за ДСТУ: 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, т. 32, № 3. С. 32–36.

Citation APA: 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>

вання міграції забруднювачів у таких прирічкових системах можливо здійснювати на основі теорії дифузійного масоперенесення. Для практичних розрахунків потрібні надійні експериментальні дані коефіцієнтів розподілу забруднювача у системі "вода-порода".

Об'єкт дослідження – процес розподілу бензолу у системі "вода-порода" у товщі першої надзаплавної тераси річки Стрий.

Предмет дослідження – процес міграції забруднювачів вуглеводневого складу, а саме бензолу, який використано для моделювання та прогнозування дифузійного масопереносу крізь товщу надзаплавної тераси річки Стрий.

Мета роботи – обґрунтувати коефіцієнти розподілу концентрації бензолу у системі "вода-порода" в алювіальних відкладах першої надзаплавної тераси річки Стрий.

Для досягнення зазначеної мети визначено таке основне завдання дослідження: експериментальним шляхом дослідити розподіл бензолу у системі "вода-порода" у товщі першої надзаплавної тераси річки Стрий.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для території досліджень характерна висока нафтогазоносність надр, що створює істотне навантаження на еко-

системи (рис. 1). Нагадаємо, нафтогазоносні надра – це розташована під поверхнею суші та дном водоймища частина земної кори, що простягається до глибин, доступних для геологічного вивчення та освоєння, яка містить нафту, газ та супутні їм компоненти. Зазвичай, ділянка нафтогазоносних надр обмежена по площі та глибині частина земної кори, на яку у встановленому порядку надається спеціальний дозвіл на користування нафтогазоносними надрами. Однак, розливи нафти та нафтопродуктів спричиняють дуже вагомні наслідки для екосистем [1], а відновлення природного середовища без втручання людини відбувається дуже тривалий час [6, 7, 8]. Зокрема, відновлення природного середовища на ділянці буріння свердловини Вільхівська-34 відбувалося 4-5 років. Тому прогнозування міграції вуглеводнів крізь товщу порід є важливим.

Згідно з дослідженнями [3, 15] прогнозування поширення забруднювачів у системі "вода-порода" базується на рівняннях дифузії та передбачає точні дані щодо коефіцієнтів розподілу забруднювача у системі "вода-порода". Коефіцієнти розподілу забруднювачів серед іншого будуть залежати від гранулометричного складу породи, у нашому випадку від гранулометричного складу порід товщі надзаплавної тераси.

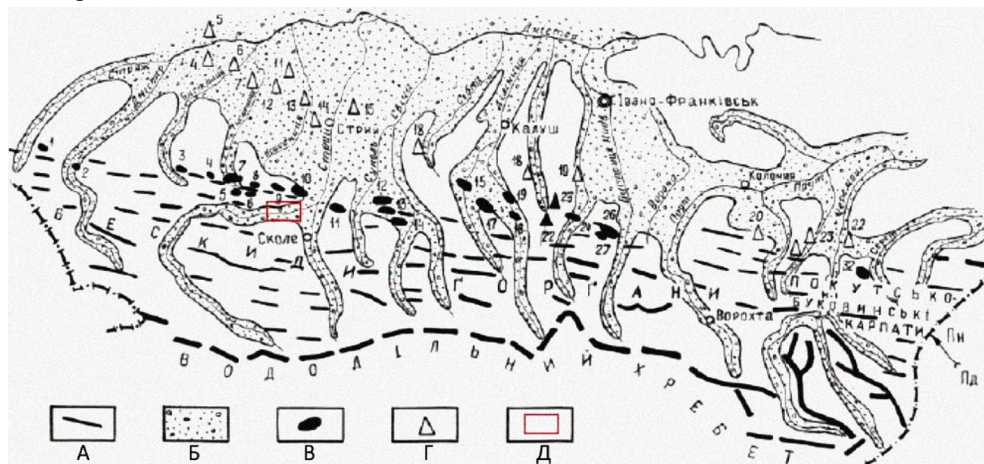


Рис. 1. Річки північно-східного макросхилу Українських Карпат / Rivers of the north-eastern macroslope of the Ukrainian Carpathians [9]: А – гірські хребти; Б – алювіальні відклади; В – нафтові родовища (1 – Стрільбицьке; 2 – Старосамбірське; 3 – Нагуєвицьке; 4 – Попельське; 5 – Східницьке і Ново-Східницьке; 6 – Урицьке; 7 – Бориславське; 8 – Іванківське; 9 – Орівсько-Уличнянське; 10 – Стинавське; 11 – Танявське; 12 – Північнодолинське; 13 – Долинське; 14 – Витвицьке; 15 – Верхньо-Струтинське; 17 – Спаське; 18 – Ріпнянське; 19 – Вільхівське; 24 – Старунсько-Дзвиняцьке; 26 – Битківське; 27 – Бабченське; 32 – Лопушнянське); Г – газові родовища (4 – Залужанське; 5 – Рудківське; 6 – Майницьке; 7 – Грушівське; 11 – Більче-Волицьке; 12 – Опарське; 13 – Кавське; 14 – Летнянське; 15 – Дашавське; 16 – Малогорожанське; 18 – Гринівське; 19 – Богородчанське; 20 – Яблунівське; 21 – Ковалівське; 22 – Черногузьке; 23 – Косівське); Д – місце забору проби

Надзаплавні тераси річок здебільшого складені алювіальними відкладами. Алювіальні відклади – це утворені постійними водотоками уламкові незцементовані відклади. Алювіальні відклади гірських річок зазвичай представлені валунами, галькою, піском. За ступенем окатаності валунів і гальки можна передбачати довжину перенесення геологічного матеріалу. Алювіальні відклади зазвичай характеризуються високими коефіцієнтами фільтрації, що визначає високу швидкість масопереносу хімічних речовин, зокрема забруднювачів.

У межах гірської частини Українських Карпат на території заплави річки Стрий поширені алювіальні дернові ґрунти. Заплава цієї річки є відносно молодого й умов для формування потужних лучно-болотних і алювіальних лучних ґрунтів ще немає, оскільки територія досліджень розташована відносно недалеко від витоків річки [14].

Алювіальні відклади поділяють на відклади руслової, заплавної, старичної фації. Галечники потужністю 6-8 м, котрі переважають на поверхні долини річки Стрий, формують заплаву і руслову фацію алювію. За даними Г. Р. Байрак [2], у гранулометричному вимірі відклади руслової фації річки Стрий представлені сумішшю гравію і гальки (50-60 %), з піщано-глинистими заповнювачами (15 %) та валунами (10 %). Товщина руслової фації першої надзаплавної тераси річки становить 3-5 м. Про наявність заповнювача свідчить досить широкий діапазон коефіцієнта фільтрації гравійно-галечникового матеріалу, котрий за дослідними даними становить $K_f = 5-20$ та навіть 50 м/добу. Ці величини здебільшого не перевищують 15 м/добу.

Матеріали та методи дослідження. Для досягнення мети дослідження використано теоретичні мето-

ди (аналіз, синтез, порівняння), польові (профільний і морфологічний) та експериментальні (спостереження, гравіметричний метод).

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. 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 падіння річки Опір у Стрий.

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

Вміст бензолу визначено відповідно до [13] з деякими змінами у нашій модифікації. Метод вимірювання масової концентрації нафтопродуктів, у нашому випадку – бензолу, 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 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 бензолу проводили попереднє змішування із зразками порід з першої надзаплавної тераси у відношенні (за масою) 1:12, з подальшим перемішуванням. Наступним етапом було відстоювання для насичення породи бензолом та виділення рідкої фази. Похибка результатів вимірювань не перевищує 10 % ($n = 3$).

Для визначення коефіцієнтів розподілу бензолу у системах "вода-порода" (1) та "порода-вода" (2) генетичних горизонтів алювіальних відкладів першої надзаплавної тераси річки Стрий користуємось формулами:

$$K_{e-n} = \frac{(V_e + V_\phi) \cdot (m_\phi - m_{\phi,e})}{m_{m\phi} \cdot m_{\phi,e}}; \quad (1)$$

$$K_{n-e} = 1 - K_{e-n}, \quad (2)$$

де: K_{e-n} – коефіцієнт розподілу бензолу в системі "вода-порода"; K_{n-e} – коефіцієнт розподілу в системі "порода-вода"; V_e – об'єм вливаючої води; V_ϕ – об'єм вливаючого бензолу; $m_{m\phi}$ – маса твердої фази; m_ϕ – маса вливаючого бензолу; $m_{\phi,e}$ – масова частка бензолу у воді після змішування.

Лабораторні дослідження здійснено у науково-дослідній лабораторії екологічної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (свідоцтво № РЛ 091/21 вид. 30 листопада 2021 р.).

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Складено ґрунтовий профіль (рис. 2) та проведено опис (табл. 1) морфологічної будови профілю алювіальних відкладів надзаплавної тераси річки Стрий. Було

встановлено, що висота тераси на ділянці досліджень змінювалась від 0,7 до 2 м.

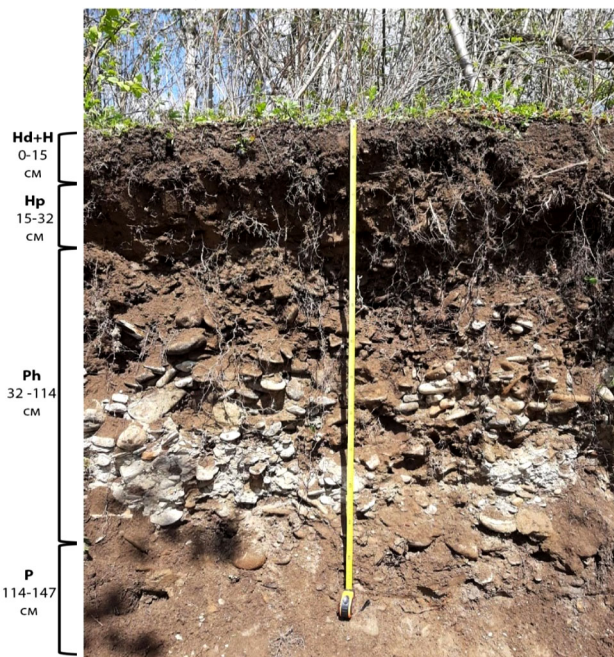


Рис. 2. Ґрунтовий профіль надзаплавної тераси річки Стрий / Soil profile of the floodplain terrace of the river Stryi

Табл. 1. Опис морфологічної будови профілю алювіальних відкладів надзаплавної тераси річки Стрий / Description of the morphological structure of the profile of alluvial deposits of the floodplain terrace of the Stryi River

Глибина, см	Індекс	Опис профілю алювіальних відкладів
0-15	<i>Hd+H</i>	Дернина; гумусово-аккумулятивний горизонт, бурий, сірувато-бурий, легкосуглинкового гранулометричного складу, пухкий; містить чисельні корінці рослин.
15-32	<i>Hp</i>	Гумусовий горизонт, ясно-бурий, супіщаний, присуття ринь розміром до 6 см, містить корінці рослин.
32-114	<i>Ph</i>	Горизонт перехідний до породи, сіро-бурий, супіщаний, присуття крупна ринь до 20 см; містить поодинокі корінці рослин.
114-147	<i>P</i>	Порода ґрунтотвірна – алювіальні відклади.

За результатами наших досліджень встановлено гранулометричний склад у трьох генетичних горизонтах алювіальних відкладів першої надзаплавної тераси річки Стрий (табл. 2).

Табл. 2. Гранулометричний склад трьох генетичних горизонтів алювіальних відкладів першої надзаплавної тераси річки Стрий / Particle size distribution of three genetic horizons of alluvial deposits of the first floodplain terrace of the Stryi River

Розмір фракції, мм	Горизонт ґрунту		
	<i>Hp</i> , %	<i>P</i> , %	<i>Ph</i> , %
>20	0,00	16,61	41,25
10-20	5,29	14,08	16,62
5-10	7,85	7,16	8,18
1-5	5,96	4,89	3,55
0,25-1	0,23	0,23	0,23
0,05-0,25	27,16	21,85	10,65
0,01-0,05	32,41	20,63	9,64
0,005-0,01	4,15	3,55	2,24
0,001-0,005	10,21	6,92	5,31
<0,001	6,75	4,07	2,35
Сума частинок <0,01	21,10	14,54	9,90

У лабораторних умовах під час моделювання аварійного розливу гравіметричним методом визначено концентрацію бензолу та коефіцієнти розподілу (табл. 3). Бензол має високу канцерогенність та у великих дозах міститься у дизпаливі [12].

Табл. 3. Концентрація бензолу та коефіцієнт розподілу у системах "вода-порода" та "порода-вода" трьох генетичних горизонтів алювіальних відкладів першої надзаплавної тераси річки Стрий під час моделювання аварійного розливу / Benzene concentration and partition coefficient in the "water-soil rock" and "soil rock-water" systems of the three genetic horizons of alluvial deposits of the first floodplain terrace of the Stryi River in the modeling of an emergency spill

Горизонт ґрунту	Концентрація бензолу у рідкій фазі, мг/л	Концентрація бензолу у породі, мг/г	Коефіцієнт розподілу у системі "вода-порода"	Коефіцієнт розподілу у системі "порода-вода"
<i>Hp</i>	17356,67	41,63	2,40	0,42
<i>P</i>	24317,10	28,66	1,18	0,85
<i>Ph</i>	28806,30	19,48	0,68	1,48

За результатами експериментів, найбільшу концентрацію бензолу у рідкій фазі, а відповідно і найменшу концентрацію бензолу у породі та найменше значення коефіцієнта розподілу бензолу у системі "вода-порода" встановлено у гумусовому горизонті.

Обговорення результатів дослідження. За результатами наших досліджень встановлено, що бензол у гумусовому шарі концентрується у співвідношенні 0,6:1:1 до концентрації бензолу у твердій фазі глибших горизонтів (*P*, *Ph*). Концентрації бензолу у рідкій фазі зменшуються згори вниз у співвідношенні 6:4:1, що корелює із співвідношенням сум пелітових частинок (<0,01 мм) 2:1,5:1. Тобто, було встановлено, що концентрації бензолу у рідкій і твердій фазах, а відтак і коефіцієнти розподілу у системі "вода-порода" залежать від гранулометричного складу відкладів.

Питання розподілу бензолу вивчало багато вчених. Досліджено розподіл бензолу у системі "вода-СО₂" за умов високих (90 бар) тисків [17]. Колектив авторів [5] запропонував новий напіваналітичний метод, заснований на фізичному експерименті, для розрахунку залежного від температури та тиску контактної кути площини розподілу фаз у системі "природний газ-вода-гірська порода".

Втім, досліджень розподілу бензолу у системі "вода-порода" в умовах поверхні Землі нам виявити не вдалось, що створює труднощі порівняння наших результатів з опублікованими.

Отже, за результатами виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – отримано надійні експериментальні результати для формування бази даних коефіцієнтів розподілу бензолу у системах "вода-порода" та "порода-вода". Згадані коефіцієнти необхідні для моделювання дифузійного масопереносу.

Практична значущість результатів дослідження – отримані експериментальні дані слугуватимуть надійною основою для моделювання та прогнозування дифузійного масопереносу бензолу крізь товщу надзаплавної тераси річки Стрий. Ці результати можна також екстраполювати на інші гірські річкові системи.

Висновки / Conclusions

1. Надходження на поверхню надзаплавної тераси гірської річки вуглеводнів є вкрай небезпечним через високу ймовірність потрапляння цих забруднювачів у воду.

2. Перша надзаплавна тераса річки Стрий не може бути надійним бар'єром на шляху вуглеводневого забруднення через невелику товщину (0,7-2 м).

3. У межах першої надзаплавної тераси річки Стрий виділено дерново-гумусово-аккумулятивний (Hd+H), гумусовий (Hp) горизонти, горизонт перехідний до породи (Ph) та горизонт ґрунотвірної породи (P).

4. Коефіцієнти розподілу бензолу у системі "вода-порода" змінюються від 0,68 до 2,4 у різних горизонтах і насамперед залежать від гранулометричного складу відкладів.

5. Бензол у твердій фазі гумусового горизонту концентрується у співвідношенні 0,6:1:1 до концентрації бензолу у глибших горизонтах (*P*, *Ph*). Концентрації бензолу у рідкій фазі зменшуються згори вниз у співвідношенні 6: 4: 1, що корелює із співвідношенням сум пелітових частинок (< 0,01 мм) 2:1,5:1 генетичних горизонтів надзаплавної тераси річки Стрий.

6. Отримані коефіцієнти розподілу бензолу у системі "вода-порода" створюють надійну наукову основу для моделювання дифузійного переносу цього забруднювача у товщі першої надзаплавної тераси річки Стрий, а відтак і прогнозування міграції бензолу у басейні річки Стрий.

References

- Babadzhanova, O. F., Pavliuk, Yu. E., & Sukach, Yu. G. (2015). Vertykalna mihratsiia naftoproduktiv u poverkhnevyykh sharakh ґрунту. *Visnyk LDU BZhd*, 11, 110–115. [In Ukrainian].
- Bairak, H. R. (2013). Zastosuvannia HIS dlia vizualizatsii pavodkonebezpechnykh raioniv iz vrakhuvanniam morfolohii ta litolohii richkovykh dolyn (na prykladi dolyn rik Prybeskydskoho Peredkarpattia). *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia. Mizhvidomch. nauk.-tekhn. zbirnyk*, 78(78), 43–48. [In Ukrainian].
- Faeli, Z., Montoya, B., & Gabr, M. (2022). Reactive Transport Modeling of Microbial Induced Calcium Carbonate Precipitation Utilizing Various Configurations of Injection Wells. *GeoCongress*, 178–188. <https://doi.org/10.1061/9780784484012.041>
- Fang, Z., Liu, Z., Zhao, S., Ma, Y., Li, X., & Gao, H. (2022). Assessment of Groundwater Contamination Risk in Oilfield Drilling Sites Based on Groundwater Vulnerability, Pollution Source Hazard, and Groundwater Value Function in Yitong County. *Water*, 14, 628. <https://doi.org/10.3390/w14040628>
- Jiang, L., Zhao, W., Huang, J., & et al. (2021). Effects of interactions in natural gas/water/rock system on hydrocarbon migration and accumulation. *Sci. Rep.*, 11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01653-0>
- Karabyn, V. V. (2000). Teoretychno-metodychni aspekty rehiionalnoi otsinky stanu heolohichnoho seredovyshcha v raionakh rozvidky ta vydobutku vuhleводniv. *Mineralni resursy Ukrainy*, 2, 11–13. [In Ukrainian].
- Karabyn, V., Kolodii, V., Yarontovskiy, O., Kozak, Yu., & Karabyn, O. (2007). Shchodo dynamiky zabrudnennia ґруntovykh vod Peredkarpattia u zoni tekhnohenezu rodovyshch nafty. *Pratsi naukovo-ho tovarystva imeni Shevchenka. Heolohichnyi zbirnyk*, 19, 182–190. [In Ukrainian].
- 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.

9. Kolodii, V. V. (2003). Ekolo-hidrokhemična kharakterystyka rik pivnichno-skhidnoho makroskhyly Ukrainy Karpāt. *Pratsi Naukovoho tovarystva im. Shevchenka. Ekolohichni zbirnyk. Ekolohichni problemy Karpatskoho rehionu*, 12, 126–135. [In Ukrainian].
10. Kovalchuk, I. P. (1997). Rehionalnyi ekolo-hemorfologichni analiz. Lviv: NAN Ukrainy. [In Ukrainian].
11. Kovalchuk, I., Pylypovych, O., & Venhrynovych, O. (2010). Kilksna otsinka mekhanichnoi denudatsii v Karpatskii chastyni basynu Dnistra: pryrodna ta antropohenna skladovi. *Fizychna heohrafiia ta heomorfologhiia*, 1(58), 76–85. [In Ukrainian].
12. Loomis, D., Guyton, K. Z., Grosse, Y., et al. (2017). Carcinogenicity of benzene. *Lancet Oncol*, 18(12), 1574–1575. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(17\)30832-X](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(17)30832-X)
13. MBB № 081/12-0645-09 Vody zvorotni, poverkhnevi, pidzemni. Metodyka vykonannya vymiruvan masovoi kontsentratsii naftoproduktiv hravimetrychnym metodom. Retrieved from: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=76578
14. Nakonechnyi, Yu., & Voitkiv, P. (2021). Morfolohichni osoblyvosti gruntiv zaplavy riky Stryi u mezhakh hirskei chastyny Ukrainy Karpāt. *Naukovi zapysky Sumskeho derzhavnogo pedahohichnoho universytetu imeni A. S. Makarenka. Heohrafichni nauky*, 2(2), 46–53. [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.5281/zenodo.478259>
15. Okoro, O., Lompe, K., Papineau, Sollic, I. M., Fradette L., & Barbeau, B. (2021). Simultaneous powdered activated carbon and coagulant injection during ballasted flocculation for trace benzene removal from diesel and gasoline-contaminated surface waters. *J. Water Process Eng.*, 40. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101846>
16. Volosetskyi, B. (2014). Heodezychnyi monitorynh pereformuvan elementiv dolynno-ruslovoho reliefu rik Karpatskoho rehionu. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva*, 2(28), 96–99. [In Ukrainian].
17. Zheng, L. (2010). Modeling Studies on the Transport of Benzene and H₂S in CO₂-Water Systems. *Lawrence Berkeley National Laboratory*. Retrieved from: <https://escholarship.org/uc/item/121205mq>

V. I. Shuryhin, V. V. Karabyn

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

EXPERIMENTAL RESEARCH OF BENZENE DISTRIBUTION IN THE "WATER-SOIL ROCK" SYSTEM IN THE THICKNESS OF THE FIRST FLOODPLAINE TERRACE OF THE STRYI RIVER

River ecosystems are quite vulnerable, and pollutants can easily migrate long distances due to sparse terraced deposits, creating risks of rapid contamination of large areas. In addition, drinking water intakes are often located on rivers which encourages increased attention to such hydroecosystems by environmental practitioners and scientists. The Stryi River is an extremely important element of fresh water use, part of sanitation, the functioning of local ecosystems, and therefore it is important for the environmental safety of local areas. Water from the Semyhnyivka drinking water intake, located on the terrace of the Stryi River, enters the cities of Lviv, Truskavets and Morshyn. Another feature of the Stryi River is the location of oil and gas facilities within its catchment area, so there is a risk of accidents that could lead to significant hydrocarbon pollution. Among the whole spectrum of hydrocarbon compounds, we have chosen benzene for research, which is contained in a significant amount in diesel fuel and is a toxic and carcinogenic substance. Therefore, the aim of the work is to substantiate the coefficients of distribution of benzene concentration in the "water-soil rock" system in the alluvial deposits of the first floodplain terrace of the Stryi River. To achieve the goal of research, the authors used such theoretical methods as analysis, synthesis and comparison, and also experimental methods, namely observation and weighing method. In the field conditions, outcrops were described, soil horizons were diagnosed and rock samples were taken from the first floodplain terrace of the Stryi River. In the laboratory, a set of studies was performed using the weighing method, which enabled calculating the distribution coefficients of benzene in the "water-soil rock" system. According to the results of research, we have revealed that the distribution coefficients of benzene in the "water-soil rock" system range from 2.4 to 23.9 in different horizons and primarily depend on the particle size distribution of sediments. The obtained benzene distribution coefficients in the "water-soil rock" system are key ones in the process of modeling the diffusion mass transfer of benzene through the thickness of the floodplain terrace of the Stryi River. The results of the research can also be extrapolated to other mountain river systems.

Keywords: environmental safety; alluvial deposits; benzene; pollutant distribution coefficients; modeling.