

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПОШИРЕННЯ НАФТОПРОДУКТІВ У ВОДІ ПРАВОЇ ПРИТОКИ р.СВІЧІ

Забруднення поверхневих вод нафтопродуктами в межах виробничої діяльності нафтогазових підприємств, особливо при аварійних розливах, є гострою екологічною проблемою. Небезпека полягає в тому, що нафтопродукти швидко поширюються, проникають в поверхневі, підземні води та водозабірні споруди, що відбирають воду для водопостачання населення. Утворена нафтова плівка на поверхні води перешкоджає надходженню кисню та призводить до загибелі усього живого у водоймі.

Роботу присвячено дослідженню процесу поширення нафтопродуктів у воді правої притоки річки Свічі басейну Дністра. Розглянуто основні чинники, що сприяють міграції нафтопродуктів у водному середовищі. Мета – моделювання процесу міграції нафтопродуктів у воді правої притоки р. Свічі басейну Дністра для своєчасного прийняття управлінських рішень щодо екологічної безпеки водного об'єкту.

Проведено польові дослідження якості води річки Луцави на вміст нафтопродуктів внаслідок виникнення аварійної ситуації. В результаті виявлено перевищення нафтопродуктів у воді річки Луцави в 70-160 разів при нормі 0,05 мг/дм<sup>3</sup>. Створено просторову картографічну модель поширення нафтопродуктів у поверхневих водах Карпатського регіону, що дає змогу візуально оцінити швидкість міграції нафтового забруднення у водному об'єкті. Вперше встановлено функціональну залежність концентрації нафтопродуктів у р. Луцаві від відстані вздовж течії річки, що ґрунтується на проведенні регресійного аналізу досліджуваних показників, яка доводить залежність між вмістом нафтопродуктів та відстанню їх поширення у р. Луцаві. Результати дослідження можуть бути використані для прогнозування самоочищення поверхневих вод та швидкого прийняття управлінських рішень щодо локалізації нафтового забруднення.

**Ключові слова:** аварійні розливи; міграція; нафтопродукти; моделювання; самоочищення; регресійний аналіз

**Постановка проблеми.** Забруднення навколишнього середовища нафтою й нафтопродуктами є одним з найбільш масштабних видів впливу людини на навколишнє середовище. Небезпечність нафтопродуктів як техногенних забруднювачів зумовлюється здатністю вуглеводнів утворювати токсичні сполуки, що призводить до пригнічення водної флори та фауни за рахунок загального погіршення якості води. Ці зміни обумовлені наявністю у водному середовищі як нафтопродуктів, так і продуктів їх хімічного та біохімічного окислення, токсичність яких часто перевищує токсичність початкових нафтопродуктів. Основними причинами забруднення поверхневих вод нафтою та нафтопродуктами є аварійні розливи, негерметичність нафтопроводів, транспортне перевезення, скид неочищених стічних вод підприємствами нафтогазовидобувної промисловості.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Особливу увагу приділено моделюванню розливів нафтопродуктів на водну поверхню, що досліджували вітчизняні та закордонні науковці – Арсан О. М., Тимченко І. В. Ковальчук П. І., Герус А. В., Неронов О. А., Чуб І. А., Рижков С. С., Дендюк М. В., Бабаджанова О. Ф., Ковач В. О., Fay, J. A., Vejarano, A. C., Mearns, A. J., Jake R. Nelson, Tony H Grubestic та ін. [1-10].

Зазвичай дослідження проводились на прикладі великих річок та морів, проте вивченню процесу міграції нафтопродуктів у малих річках приділено недостатню увагу. Тому, моделювання поширення нафтопродуктів у малих річках Карпатського регіону, що знаходяться в межах нафтогазовидобутку є актуальним та необхідним.

**Постановка завдання.** Для ефективного усунення нафтового забруднення поверхневих вод необхідно володіти не тільки достовірною інформацією про джерело забруднення, а й здійснювати прогнозування поширення нафтової плями у водному середовищі.

Об'єктом дослідження обрано річку Луцаву, праву притоку р. Свічі басейну Дністра, що знаходиться в межах нафтогазовидобутку та приймає зворотні води від очисних споруд адміністративного корпусу НГВУ «Долинанафтогаз».

**Мета** – моделювання процесу міграції нафтопродуктів у воді правої притоки р. Свічі басейну Дністра для своєчасного прийняття управлінських рішень щодо екологічної безпеки водного об'єкту.

**Основні завдання дослідження:**

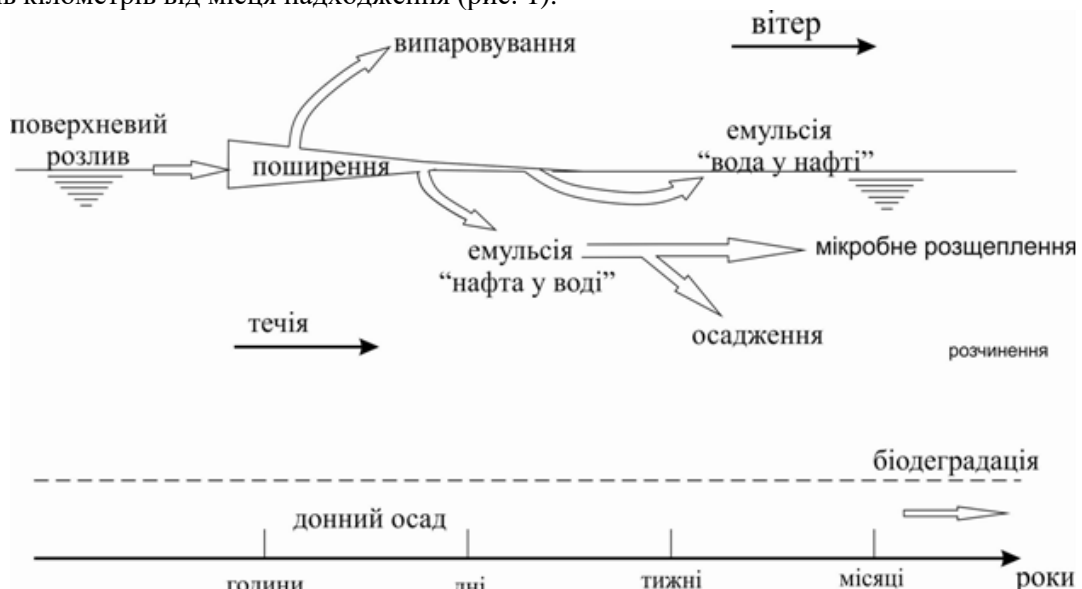
- 1) провести польові дослідження якості води річки Луцави на вміст нафтопродуктів внаслідок виникнення аварійної ситуації;
- 2) створити просторову картографічну модель поширення нафтопродуктів у воді правої притоки річки Свічі Карпатського регіону, що ґрунтується на обробці даних, отриманих при аналізі відібраних проб води;
- 3) встановити функціональну закономірність поширення нафтопродуктів у воді від відстані для річки Луцави, що дасть змогу скласти прогнозні карти самоочищення поверхневих вод басейну Дністра.

**Методи дослідження.** Для виконання основних завдань дослідження використано експериментальний метод (відбір та аналіз проб води р.Луцави), GPS-навігатор (для визначення координат точок відбору проб води), гравіметричний метод визначення нафтопродуктів у воді (для встановлення фактичної концентрації нафтопродуктів у пробі води), моделювання за допомогою програмного продукту Golden Surfer Software (для візуалізації поширення нафтового забруднення) та регресійний аналіз із використанням комп'ютерної програми Table Curve 2D (для отримання функціональних закономірностей).

**Виклад основного матеріалу.** Нафтопродукти мають вагомий вплив на якісні показники води та порушують цілісність гідроекосистеми, знижуючи її здатність до самоочищення. Основними чинниками, що сприяють міграції нафтопродуктів у водному середовищі, є склад нафтопродуктів, їх густина, в'язкість, розчинність, леткість, швидкість течії та метеорологічні фактори.

Нафтопродукти у водному середовищі мігрують в різних формах: у вигляді поверхневої плівки, в емульгованій формі, розчиненій формі і сорбованій завислими речовинами. Кількісне співвідношення міграційних форм нафти у воді не залишається постійним в часі і визначається не стільки механізмом надходження, скільки складом і властивостями нафтових вуглеводнів, гідродинамічним режимом, рівнем і характером фонові забрудненості водного об'єкту.

Зазвичай у момент надходження у водний об'єкт основна маса нафтопродуктів зосереджена в плівці, внаслідок чого на поверхні води появляються яскраво- і темнозабарвлені плями. Завдяки великій стійкості нафтові плівки здатні пересуватися під дією вітрів і течій на відстані до десятків і сотень кілометрів від місця надходження (рис. 1).



**Рис. 1.** Процес самоочищення поверхневих вод від нафтопродуктів [11]

Таким чином, нафта, що поступила у водний об'єкт, може здійснювати складний шлях, забруднюючи все нові і нові частини водного об'єкту. Зникнення плівки відбувається унаслідок випаровування летких фракцій (протягом кількох днів виносяться 25% плями), осідання на дно важчих фракцій і бактеріального окислення. Після видалення летких і розчинних речовин

залишкова фракція утворює емульсії двох типів: прямі – «нафта у воді» (якщо забруднення нафтопродуктами доповнюється стічними водами з поверхнево-активними речовинами) і зворотні – «вода в нафті». З часом відбувається перерозподіл між основними формами міграції, направлений у бік підвищення частки розчинених, емульгованих, сорбованих нафтопродуктів, і відповідним зменшенням їх вмісту в плівці. Емульгування нафти і нафтопродуктів відбувається в результаті хвильового перемішування і проникнення вуглеводнів у водну масу і в донні відкладення. Значні кількості нафтопродуктів, знаходячись в завислому стані, адсорбуються на частинках тонкодисперсних мінеральних і органічних завислих речовин і осідають спільно з ними на дно.

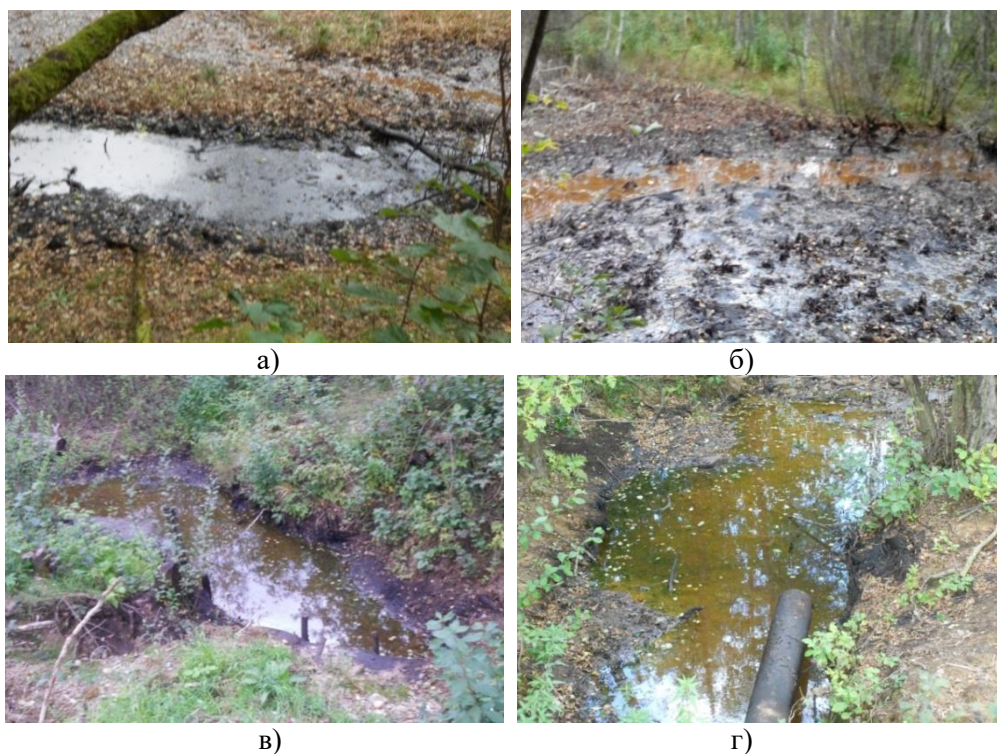
Нафтопродукти, що осіли на дно, поступають в харчовий ланцюг біоти, вступають у фізико-хімічну взаємодію з компонентами донних відкладів, надаючи різну (головним чином негативну) дію на бентосні організми і на стан інгредієнтів донних відкладів. Проте при високій концентрації органічних речовин, що надходять у річки, гідробіонти не встигають їх використовувати, внаслідок чого забруднення накопичуються і стан річок різко погіршується [12].

Таким чином, через деякий час після надходження у водний об'єкт в емульгованому і сорбованому завислими речовинами станах у водній масі знаходиться в середньому від 50 до 90% нафтопродуктів, в розчиненому – від 10 до 90%, плівкових нафтопродуктів не перевищує 1% .

Об'єкт дослідження обрано з врахуванням аварійної екологічної ситуації, що трапилася на території нафтогазовидобутку між селами Яворів та Солуків Долинського району Івано-Франківської області.

Річка Луцава бере свій початок в чагарниковій заболоченій місцевості за 6 км на південь від м. Долини та протікає у північно-східному напрямку. Довжина річки становить 15 км. Русло слабозвивисте, нерозгалужене з середньою швидкістю течії 0,2 м/с. Грунтовий покрив території басейну складений легкосуглинково-підзолистими ґрунтами, які місцями чергуються з лужними опідзоленими ґрунтами.

Небезпека аварійної екологічної ситуації полягала в тому, що відбувся прорив старих законсервованих свердловин в лісовій місцевості в 5-6 місцях на площі 40 м<sup>2</sup> , в результаті чого нафта стікала в річку Луцаву (рис. 2). А це, в свою чергу, стало джерелом забруднення не тільки води, а й ґрунтів, деградації рослинності та захворювання мешканців прилеглої території [13].



**Рис. 2. Полеві дослідження якості води р.Луцави при аварійній ситуації в межах впливу НГВУ «Долинанафтогаз» а) ділянка повністю покрита товстим шаром нафти; б) забруднення води та ґрунту сирою нафтою; в) потрапляння нафти у річку Луцаву; г) водовідвід у річку Луцаву**

Для оцінки екологічного стану річки Лушави проведено польові дослідження забрудненої території та відібрано 10 проб води з кроком 100 м від витoku нафти вздовж водного об'єкту. Під час візуальної оцінки об'єкта дослідження виявлено шар нафтопродуктів на поверхні стоячої води в яру, а також забруднений берег річки, що свідчить ще й про забруднення ґрунтів. Фото польових досліджень представлено в напрямку руху спостерігача від потічка Яр до водовідведення стічних вод НГВУ «Долина нафтогаз» до річки Лушави.

Розлита нафта утримується на поверхні води у вигляді плівки протягом тривалого часу. Відразу після розливу товщина шару нафти становить кілька сантиметрів. Під дією природних факторів (швидкості вітру, температури повітря) товщина нафтової плями зменшується до 1-0,1 мм, а розтікання під дією поверхневого натягу припиняється при товщині плівки 20-30 мкм [14].

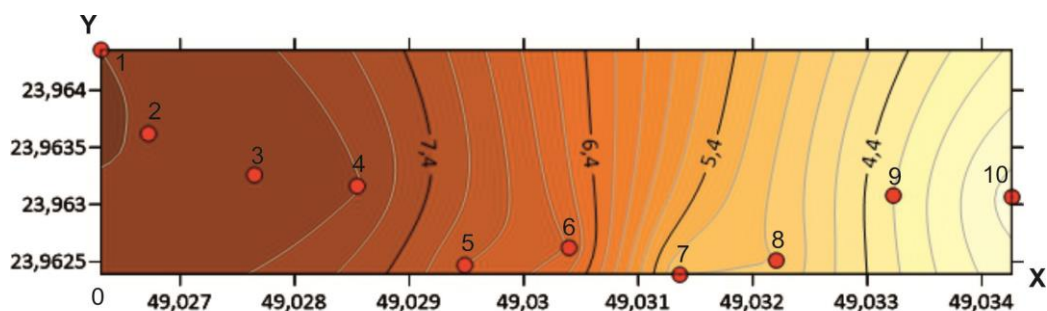
В результаті аналізу відібраних проб води виявлено перевищення нормативу ГДК по вмісту нафтопродуктів. Значення концентрації нафтопродуктів коливаються в межах 3,5-8 мг/дм<sup>3</sup>, що в 70-160 разів перевищує допустимі норми (при ГДК 0,05 мг/дм<sup>3</sup>). Максимальний показник концентрації нафтопродуктів спостерігався в пробі води №1 поблизу джерела забруднення та становив 8 мг/дм<sup>3</sup> (таблиця).

Таблиця

Результати дослідження проб води річки Лушави

Номер проби	Координати		Нафтопродукти, мг/дм <sup>3</sup>
1	49,026307	23,964353	8
2	49,026728	23,963627	7,99
3	49,0276533	23,963257	7,97
4	49,0285443	23,963162	7,82
5	49,0294810	23,962462	7,01
6	49,0303972	23,962620	6,80
7	49,0313589	23,962392	5,00
8	49,0322017	23,962507	4,92
9	49,0332274	23,963075	4,20
10	49,0342607	23,963059	3,50

Для візуальної оцінки якості води на досліджуваній ділянці річки Лушави вперше створено просторову картографічну модель поширення нафтопродуктів у воді (рис. 3). із зазначенням точок відбору проб води, побудованими за координатами ОХ та ОУ (за допомогою комп'ютерної програми Golden Software Surfer 15).



Умовні позначення

- точки відбору проб води
- ізолінії концентрацій нафтопродуктів
- ОХ, ОУ координати точок відбору проб води

Рис. 3. Просторова картографічна модель поширення нафтопродуктів у р. Лушаві



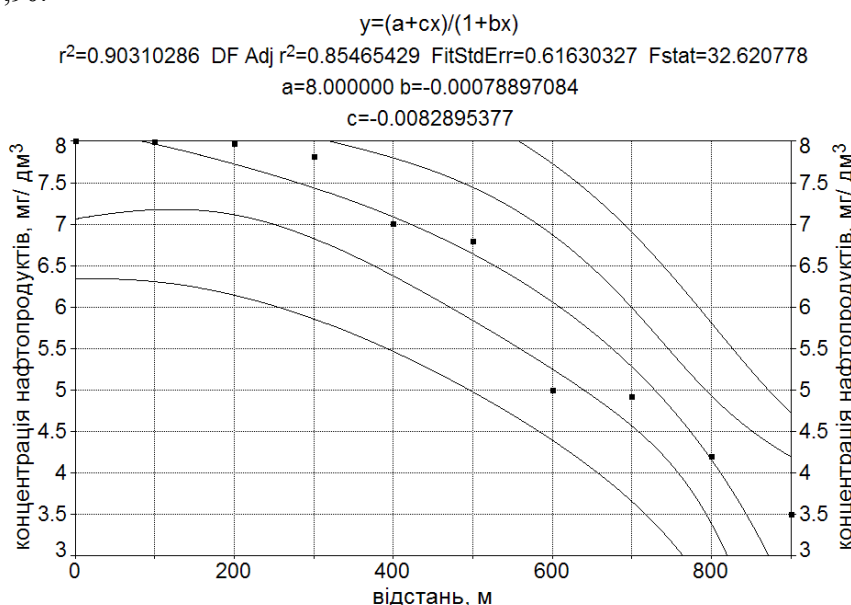
Залежно від ступеня забрудненості води проведено кольорову градацію вмісту нафтопродуктів у воді правої притоки річки Свічі. Хоча значення концентрації нафтопродуктів на досліджуваній водній ділянці зменшується, проте на відстанні 900 м від початкової точки спостереження вода ще досить забруднена (3,5 мг/ дм<sup>3</sup>).

Наступним етапом дослідження є проведення регресійного аналізу, що являється основним статистичним методом побудови математичних моделей об'єктів чи явищ за експериментальними даними. Регресійний метод вирішує два основні завдання: визначає за допомогою рівнянь регресії аналітичну форму зв'язку між варіацією ознак X і Y та встановлює ступінь щільності зв'язку між ознаками.

Проте перед знаходженням рівняння регресії потрібно встановити кореляційний зв'язок між досліджуваними величинами X (відстань, м) та Y (концентрація нафтопродуктів, мг/ дм<sup>3</sup>) річки Луцави. Основною ознакою наявності статистичного (кореляційного) зв'язку між випадковими величинами X та Y є відмінність від нуля коефіцієнту кореляції r.

З використанням програми Table Curve 2D обрано таке математичне рівняння (модель), яке найбільш повно відображає характер зв'язку між досліджуваними величинами явища поширення нафтопродуктів у воді.

В результаті, встановлено функціональну залежність концентрації нафтопродуктів у р. Луцаві від відстані вздовж течії річки, що підтверджується коефіцієнтом детермінації ( $D=r^2$ ), який становить 0,90.



**Рис. 4. Функціональна залежність процесу самоочищення поверхневих вод від нафтопродуктів**

Таким чином, сутність кореляційного аналізу полягає у знаходженні рівняння регресії між випадковими величинами (так звана лінія найкращого наближення), а також в оцінці виду і тисноти зв'язку між ними.

Тісноту зв'язку між випадковими величинами X та Y вважають слабкою, якщо  $|r| < 0,3$ ; тіснота зв'язку є задовільною, якщо  $|r| \geq 0,5$ ; якщо  $|r|$  лежить у межах від 0,5 до 0,7 – зв'язок між величинами вважають досить тісним; при  $|r| > 0,7$  – кореляційний зв'язок між досліджуваними ознаками дуже тісний. В даному випадку коефіцієнт кореляції ( $r$ )  $0,90 > 0,7$ , що свідчить про дуже тісний зв'язок між досліджуваними величинами.

За величиною коефіцієнта кореляції r можна оцінити не тільки тісноту кореляційного зв'язку, а й напрямок кореляції (пряма чи зворотна). Зокрема, при  $r > 0$  кореляційний зв'язок оцінюють як прямий; а при  $r < 0$  – як зворотній. Напрямок коефіцієнта кореляції r може змінюватись у межах від -1 до +1. Оскільки значення ( $r$ )  $0,90 > 0$ , то напрямок кореляції прямий.

Отже, кореляційний зв'язок показує тенденцію зміни концентрації нафтопродуктів у воді річки Луцави відносно відстані вздовж течії річки та дає можливість знайти рівняння регресії, яке найбільш повно відображає характер взаємодії між залежною і незалежною ознаками. Проте на

підставі кореляції можна стверджувати тільки про встановлення наявності та кількісне описання зв'язку, а не про існування між ними причинно-наслідкового зв'язку.

Рівняння регресії представляє аналітичне рівняння, яке визначає залежність результативної ознаки  $Y$  від ознаки факторної  $X$ .

Регресійний аналіз здійснювався за такою послідовністю:

- 1) формування вибірки значень  $X$  (відстань), довжина ряду якої  $n=10$ ;
- 2) формування вибірки значень  $Y$  (концентрація нафтопродуктів), довжина ряду  $n=10$ ;
- 3) за допомогою комп'ютерної програми Table Curve 2D встановлено функціональну залежність процесу самоочищення поверхневих вод від нафтопродуктів, що описується рівнянням:

$$C(n) = (8-0,008 \cdot L) / (1-0,0007 \cdot L), \quad (1)$$

де  $C(n)$  – концентрація нафтопродуктів, мг/дм<sup>3</sup>;

$L$  – відстань вздовж течії річки, м;

8; 0,008; 0,0007 – коефіцієнти регресії.

Для перевірки істотності зв'язку використано  $F$ -критерій Фішера, який базується на порівнянні величини вибірових дисперсій двох рядів даних. Розрахунок критерію Фішера проводять так, щоб більше значення дисперсії знаходилось у чисельнику, а менше значення – у знаменнику [15]:

$$F_{\text{емп}} = \frac{S_x^2}{S_y^2}. \quad (2)$$

Критичне значення коефіцієнта детермінації ( $D=r^2$ ) залежить від відсотка забезпеченості  $\alpha$  та кількості степенів вільності дисперсії  $k_1=m-1$  та  $k_2=n-m$ , де  $n$  – кількість елементів сукупності;  $m$  – кількість груп, на яку поділена сукупність. Із спеціальних статистичних таблиць у відповідності із визначеними значеннями степенів вільності ( $k_1=1$ ,  $k_2=8$ ) та рівня значущості 0,05 визначаємо табличне значення критерію Фішера ( $F_{\text{табл}}$ ). Отримані емпіричні значення критерію порівнюємо із критичними (табличними) значеннями:

- 1) якщо  $F_{\text{емп}} > F_{\text{табл}}$ , то зв'язок між досліджуваними величинами не випадковий (суттєвий);
- 2) якщо  $F_{\text{емп}} < F_{\text{табл}}$ , то зв'язок – випадковий (несуттєвий).

За результатами дослідження фактичне значення критерію Фішера  $F_{\text{емп}} > F_{\text{табл}}$  ( $32,6 > 5,3$ ), що свідчить про не випадковий (суттєвий) зв'язок між досліджуваними показниками.

Отже, проведено регресійний аналіз, який доводить залежність між вмістом нафтопродуктів та відстанню їх поширення у р. Луцаві.

**Висновки.** Проведено екологічний моніторинг якості води річки Луцави (правої притоки річки Свічі басейну Дністра) внаслідок виникнення аварійної ситуації на території Північно-Долинського нафтового родовища. Результати свідчать про забруднення досліджуваної водної ділянки річки Луцави у 70-160 разів, тому підприємству нафтогазової промисловості НГВУ «Долина нафтогаз» варто здійснювати прогноз небезпечних екологічних ситуацій в межах території нафтогазовидобутку, щоб мінімізувати їх негативний вплив на всі компоненти довкілля та ефективно реагувати на аварійні розливи нафтопродуктів.

Створено просторову картографічну модель поширення нафтопродуктів у поверхневих водах Карпатського регіону, що дає змогу візуально оцінити швидкість міграції нафтового забруднення у водному об'єкті. Вперше встановлено функціональну залежність концентрації нафтопродуктів у р. Луцаві від відстані вздовж течії річки, що ґрунтується на проведенні регресійного аналізу досліджуваних показників. Під дією природних факторів вміст нафтопродуктів у воді зменшується, проте на відстані 1000 м від епіцентру аварійної ситуації якість води р. Луцави не відповідає нормативам та є ще досить забрудненою.

Так як виникає загроза забруднення поверхневих вод при аварійних ситуаціях на підприємствах нафтогазової промисловості, тому подальші дослідження спрямовані на розробку комплексних заходів реагування при аварійних розливах нафтопродуктів та прогнозування якісних параметрів поверхневих вод в межах нафтогазовидобутку.

### Література

1 Арсан О.М., Горбатюк Л.О., Шаповал Т.М., Платонов М.О. та ін. Роль донних відкладів різного типу в міграції і трансформації нафтопродуктів та їх вплив на гідробіонтів // Гидробиологічний журнал. 2010. Т. 46, № 6. С. 67-74.

2 Тимченко І.В. Дослідження моделей розповсюдження нафтових забруднень в умовах обмежених акваторій // Електронний вісник Національного університету кораблебудування. Миколаїв: 2010. №1.

3 Ковальчук П.І., Герус А.В. Методологія математичного моделювання поширення забруднень в річках в умовах екологічних катастроф. Чисте місто, чиста ріка, чиста планета: матеріали IV Міжнародного екологічного форуму (м. Херсон, 13-14 вересня 2012 р.). Х.: 2012. С. 125-131.

4 Неронов О.А., Чуб І.А. Моделювання впливу часу локалізації та ліквідації аварійного розливу нафти на характеристики зони забруднення. Збірка наукових праць. Випуск 15, 2012. С. 98-103.

5 Рижков С. С. Тимченко І.В., Гіржева О. Л. Моделювання сценаріїв розвитку аварійних розливів шкідливих речовин у Бузько-Дніпровському суднохідному каналі // Екологічна безпека. 2013. Вип. 1. С. 16-19.

6 Дендюк М.В., Сало М. Ф., Тарасюк О.Л. Математичне моделювання розповсюдження забруднювальних речовин і річках // Науковий вісник НЛТУ України. м.Львів, 2013. Вип. 23.16. С.370-373.

7 Бабаджанова О.Ф. Павлюк Ю. Е., Сукач Ю. Г. Вертикальна міграція нафтопродуктів у поверхневих шарах ґрунту // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. Львів, 2015. № 11. С.110-115.

8 Ковач В. О. Математична модель розповсюдження нафти при аварійному розливі у водному об'єкті // Моделювання та інформаційні технології, 2018. Вип. 85. С. 89-94. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mtit\\_2018\\_85\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mtit_2018_85_15).

9 Bejarano, AC, Mearns, AJ (2015) Improving environmental assessments by integrating species sensitivity distributions into environmental modeling: Examples with two hypothetical oil spills. *Marine Pollution Bulletin* 93(1-2): pp. 172-182. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.01.022>

10 Jake R Nelson, Tony H Grubestic (2018). Oil spill modeling: Risk, spatial vulnerability, and impact assessment. *Progress in Physical Geography*, Vol. 42(1). P.112–127.

11 Hung Tao Shen, Poojitha D. Yapa, De Sheng Wang and others (1993) A mathematical model for oil slick transport and mixing in rivers. *Special Report 93-21*. P.78.

12 Шестопапов О. В., Бахарєва Г. Ю., Мамєдова О. О. та ін. Охорона навколишнього середовища від забруднення нафтопродуктами: навч. посіб. Х.: НТУ «ХП», 2015. 116 с.

13 Гринюк В.І. Забруднення поверхневих вод при аварійних ситуаціях в зоні впливу нафтогазової промисловості. Регіональні проблеми охорони довкілля: матеріали Міжнародної наукової конференції молодих вчених (м. Одеса, 30 травня -1 червня 2018 р.). О.: 2018. С.71-74.

14 Білокопитов Ю., Міцкевич А. Проблема очищення поверхневих і стічних вод від нафтопродуктів // Техногенна безпека. 2013. Вип. 198. Том 210. 147 с.

15 Анализ данных. Учебное пособие. М.: Мир науки, 2019. URL: <https://izd-mn.com/PDF/32MNNPU19.pdf>

**V. Hryniuk**

*Ivano-Frankivsk National  
Technical University of Oil and Gas*

## **MODELING THE PROCESS OF DISTRIBUTION OF PETROLEUM PRODUCTS IN THE WATER OF THE RIGHT TRIBUTARY OF THE RIVER SVICHA**

The pollution of surface water by oil products within the framework of production activities of oil and gas enterprises, especially in case of emergency spills, is an acute environmental problem. The danger is that petroleum products are rapidly spreading, penetrating surface, groundwater, and water intake structures that draw water for population water supply. The formed oil film on the surface of the water prevents the flow of oxygen and leads to the death of all living things in the reservoir.

The work is devoted to the study of the process of distribution of oil products in the water of the right tributary of the river Svicha of the Dniester basin. The main factors contributing to the migration of petroleum products in the aquatic environment were considered. The purpose of the article was to model the migration of petroleum products in the right tributary of the Svicha River in the Dniester basin for the timely management decisions on the environmental safety of the water body.

Field researches of the water quality of the river Lushava on the content of petroleum products as a result of an emergency have been carried out. As a result, the excess of petroleum products in the water of the river Lushava was found to be 70-160 times at the rate of 0.05 mg/dm<sup>3</sup>. For the first time, a spatial mapping model of the distribution of petroleum products in water has been created for the visual assessment of water quality in the studied river section. A regression analysis has been performed to prove the relationship between the content of the oil products and the distance of their distribution in the river Lushava. The results of the study can be used to predict the self-purification of surface water and quick management decisions on the location of oil pollution.

**Keywords:** emergency spills; migration; petroleum products; modeling; self-purification; regression analysis

### References

1 Arsan O.M., Horbatiuk L.O., Shapoval T.M., Platonov M.O. ta in. Rol donnykh vidkladiv riznogo typu v mihratsii i transformatsii naftoproduktiv ta yikh vplyv na hidrobiontiv // *Hydrobiologichnyi zhurnal*, 2010. T. 46, № 6. S. 67-74.

2 Tymchenko I.V. Doslidzhennia modelei rozpovsiudzhennia naftovykh zabrudnen v umovakh obmezhenykh akvatorii // *Elektronnyi visnyk Natsionalnoho universytetu korablebuduvannia, m. Mykolaiv. №1. 2010.*

3 Kovalchuk P.I., Herus A.V. Metodolohiia matematychnoho modeliuvannia poshyrennia zabrudnen v richkakh v umovakh ekolohichnykh katastrof. Chyste misto, chysta rika, chysta planeta: materialy IV Mizhnarodnoho ekolohichnoho forumu (m. Kherson, 13-14 veresnia 2012 r.). X.: 2012. S. 125-131.

4 Neronov O.A., Chub I.A. Modeliuvannia vplyvu chasu lokalizatsii ta likvidatsii avariinoho rozlyvu nafty na kharakterystyky zony zabrudnennia. Zbirka naukovykh prats. Vypusk 15, 2012. S. 98-103.

5 Ryzhkov S. S. Tymchenko I.V., Hirzheva O. L. Modeliuvannia stsenariiv rozvytku avariinykh rozlyviv shkidlyvykh rehovyn u Buzko-Dniprovskomu sudnokhidnomu kanali // *Ekolohichna bezpeka. 2013. Vyp. 1. C. 16-19. URL:*

6 Dendiuk M.V., Salo M. F., Tarasiuk O.L. Matematychno modeliuvannia rozpovsiudzhennia zabrudniuvalnykh rehovyn i richkakh // *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. m.Lviv, 2013. Vyp. 23.16. S.370-373.*

7 Babadzhanova O.F. Pavliuk Yu. E., Sukach Yu. H. Vertykalna mihratsiia naftoproduktiv u poverkhnevnykh sharakh hruntu // *Visnyk Lvivskoho derzhavnoho universytetu bezpeky zhyttiedialnosti. Lviv, 2015. № 11. S.110-115.*

8 Kovach V. O. Matematychna model rozpovsiudzhennia nafty pry avariinomu rozlyvi u vodnomu obiekti. Modeliuvannia ta informatsiini tekhnolohii, 2018. Vyp. 85. S. 89-94. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mtit\\_2018\\_85\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mtit_2018_85_15)

9 Bejarano, A.C., Mearns, A.J. (2015) Improving environmental assessments by integrating species sensitivity distributions into environmental modeling: Examples with two hypothetical oil spills. *Marine Pollution Bulletin* 93(1-2): pp. 172-182. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.01.022>.

10 Jake R. Nelson, Tony H. Grubestic (2018). Oil spill modeling: Risk, spatial vulnerability, and impact assessment. *Progress in Physical Geography*, Vol. 42(1). P.112–127.

11 Hung Tao Shen, Poojitha D. Yapa, De Sheng Wang and others (1993) A mathematical model for oil slick transport and mixing in rivers. *Special Report* 93-21. P.78.

12 Shestopalov O. V., Bakharieva H. Yu., Mamedova O. O. ta in. Okhorona navkolyshnoho seredovyscha vid zabrudnennia naftoproduktamy: navch. posib. Kh.: NTU «KhPI», 2015. 116 s.

13 Hryniuk V.I. Zabrudnennia poverkhnevnykh vod pry avariinykh sytuatsiakh v zoni vplyvu naftohazovoi promyslovosti. Rehionalni problemy okhorony dovkillia: materialy Mizhnarodnoi naukovo konferentsii molodykh vchenykh (m. Odesa, 30 travnia -1 chervnia 2018 r.). O.:2018. S.71-74.

14 Bilokopytov Yu., Mitskevych A. Problema ochyshchennia poverkhnevnykh i stichnykh vod vid naftoproduktiv. *Tekhnohenna bezpeka. 2013. Vyp. 198. Tom 210. 147 s.*

15 Analiz dannykh. Uchebnoe posobie. M.: Mir nauki, 2019. URL: <https://izd-mn.com/PDF/32MNNPU19.pdf>