

УДК 504.05:556

DOI [https://doi.org/10.15589/znп2025.2\(500\).54](https://doi.org/10.15589/znп2025.2(500).54)

**ECOLOGICAL CONSEQUENCES OF VEGETABLE OIL SPILLS
IN AQUATIC ECOSYSTEMS OF MYKOLAIV REGION IN CONDITIONS
OF MILITARY AGGRESSION: ANALYSIS AND FORECASTING USING
MATHEMATICAL MODELS**

**ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ РОЗЛИВІВ РОСЛИННИХ ОЛІЙ
У ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМАХ МИКОЛАЇВЩИНИ В УМОВАХ
ВІЙСЬКОВОЇ АГРЕСІЇ: АНАЛІЗ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ
МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ**

Svitlana Yu. Ushkats

svitlana.ushkats@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-5250-4505

Nataliia I. Magas

nataly.magas@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2579-1465

Sergiy S. Koval

sergiy.koval@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-3122-6024

Nataliia Yu. Zholobenko

ORCID: 0000-0003-3451-4360

С. Ю. Ушкац,

канд. фіз.-мат. наук, доцент

Н. І. Магась,

канд. техн. наук, доцент

С. С. Коваль,

канд. фіз.-мат. наук, доцент

Н. Ю. Жолобенко,

фахівець кафедри

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv**Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв*

Abstract. *The purpose* of this work is to study the ecological consequences of man-made accidents with vegetable oil spills in the aquatic ecosystem of the Mykolaiv region, especially in conditions of military aggression and to analyze the effective use of mathematical models for monitoring, assessment and forecasting of oil pollution.

The research methodology is based on a comprehensive approach that combines bibliometric analysis of scientific publications to determine the relevance of the problem. Geospatial cartographic modeling was used to forecast pollution. In order to determine the area of spills and monitor the state of the water area, analysis of remote sensing data of the Earth was used. The article presents cases of accidental leaks of vegetable oil into the aquatic ecosystem of the Bug Estuary in recent years and analyzes the prospects of existing integrated modeling systems for monitoring and assessing spills.

The results of the study showed that vegetable oil should be considered a man-made pollutant, in particular due to polymerization processes that slow down its degradation. despite previous ideas that vegetable oil spills do not pose a danger to the ecosystem. The relevance of this problem for the Mykolaiv region, which is a world exporter of vegetable oil and suffers significantly from military aggression, is emphasized. It is demonstrated that a comprehensive approach to solving the problem of reducing the negative impact of accidental spills requires a thorough study of the impact of oil on the ecosystem and the integrated application of mathematical models for monitoring and assessing the impact. Scientific novelty For the first time, the ecological consequences of vegetable oil spills in aquatic ecosystems of Ukraine under conditions of military aggression have been comprehensively studied, in particular on the example of the Bug Estuary. The impact of the oil polymerization process on its degradation has been analyzed and a systematic approach to monitoring and assessing pollution using integrated mathematical models has been proposed, which has not previously been sufficiently considered in the context of eliminating such accidents.

Practical significance The results of the study are part of a comprehensive scientific basis for the development and implementation of effective systems for monitoring and assessing vegetable oil spills. This will allow us to more accurately predict the spread of oil pollution, respond promptly, and minimize environmental and economic damage from man-made accidents, especially in conditions of military operations.

Key words: vegetable oil; spill; aquatic ecosystem pollution; environmental consequences; Mykolaiv; mathematical modeling.

Анотація. Метою даної роботи є дослідження екологічних наслідків техногенних аварій з розливами рослинної олії у водній екосистемі Миколаївщини, особливо в умовах військової агресії та аналіз ефективного застосування математичних моделей для моніторингу, оцінки та прогнозування олійних забруднень.

Методика дослідження ґрунтується на комплексному підході, що поєднав бібліометричний аналіз наукових публікацій для визначення актуальності проблеми. Для прогнозування забруднення використовувалось геопросторове картографічне моделювання. З метою визначення площі розливів та моніторингу стану акваторії було використано аналіз даних дистанційного зондування Землі. У статті представлено випадки аварійних витоків рослинної олії у водну екосистему Бузького лиману за останні роки та проаналізовано перспективність існуючих інтегрованих моделюючих систем для моніторингу й оцінки розливів.

Результати дослідження показали, що рослинну олію необхідно вважати техногенним забруднювачем, зокрема й через процеси полімеризації, що уповільнюють її деградацію. незважаючи на попередні уявлення, що розливи рослинних олій не становлять небезпеки для екосистеми. Підкреслено актуальність даної проблеми для Миколаївщини, яка є світовим експортером рослинної олії і значно страждає від військової агресії. Продемонстровано, що комплексний підхід до вирішення проблеми зменшення негативного впливу аварійних розливів вимагає ретельного вивчення впливу олій на екосистему та інтегрованого застосування математичних моделей для моніторингу та оцінки впливу.

Наукова новизна. Вперше комплексно досліджено екологічні наслідки розливів рослинних олій у водних екосистемах України в умовах військової агресії, зокрема на прикладі Бузького лиману. Проаналізовано вплив процесу полімеризації олій на її деградацію та запропоновано системний підхід до моніторингу та оцінки забруднень із залученням інтегрованих математичних моделей, що раніше недостатньо розглядалося у контексті ліквідації подібних аварій.

Практична значимість. Результати дослідження є частиною комплексного наукового підґрунтя для розробки та впровадження ефективних систем моніторингу й оцінки розливів рослинних олій. Це дозволить більш точно спрогнозувати розповсюдження олійних забруднень, оперативно зреагувати та мінімізувати екологічні та економічні збитки від техногенних аварій, особливо в умовах військових дій.

Ключові слова: рослинна олія; розлив; забруднення водної екосистеми; екологічні наслідки; Миколаїв; математичне моделювання.

ВСТУП

Світовий попит на рослинні олії вимагає щорічного збільшення обсягів виробництва через перехід світової економіки до більш екологічних джерел енергії, біопалива та декарбонізації. Але збільшення потужностей виробництва та інші чинники призводять до збільшення випадків аварійних розливів рослинних олій під час морських та річкових перевезень. Так, як рослинна олія не вважалася техногенним забруднювачем та за відсутності відповідних наукових досліджень її впливу на живі організми, до останніх років подібні розливи не розглядалися в контексті екологічної небезпеки. Але нещодавні дослідження провідних фахівців світової наукової спільноти порівнюють подібні розливи з нафтовими за впливом та наслідками. Все це вимагає необхідність глибокого аналізу даної проблеми та розробки ефективних підходів для запобігання подібним інцидентам та мінімізації їхніх наслідків [1; 2].

Розкладання рослинної олії у водній екосистемі відбувається переважно за рахунок мікробної біодеградації, хімічного окислення, а також гідрометеорологічних чинників. Однак, процес полімеризації, тобто зміни молекулярного складу олій, може значно уповільнювати або перешкоджати її природному розкладанню, збільшуючи негативний вплив забруднення. Для вчасного реагування, попередження та мінімізації наслідків подібних аварій, необхідний комплексний

підхід, що включає поглиблене дослідження фізико-хімічних та біологічних механізмів розкладання олій за різних умов, оцінку впливу рослинних розливів на біоту (гідробіоти, водні рослини), включно з тривалою токсичністю та акумулюванням, а також розробку та впровадження своєчасних короткострокових та довгострокових заходів щодо ліквідації техногенних аварій, що включають фізичні, хімічні та біологічні методи ремедіації.

Ця проблема набуває особливої актуальності для України та Миколаївщини через війну та наявність значної кількості підприємств олійного виробництва біля природних водойм, що багаторазово збільшує ймовірність виникнення аварійних розливів та підкреслює нагальність розробки ефективних стратегій реагування та відновлення [3].

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета дослідження: дослідити причини та визначити особливості негативного впливу рослинної олії як техногенного забруднювача на водну екосистему Бузького лиману.

Завдання:

1. Проаналізувати світові напрямки розвитку та нормативне регулювання щодо розливів рослинних олій.
2. Оцінити екологічні наслідки військової агресії на водні екосистеми Миколаївщини, зокрема в контексті техногенних аварій.

3. Дослідити механізми розкладання рослинної олії у водному середовищі.

4. Визначити можливості та обмеження існуючих математичних моделей для моніторингу поширення розливів.

5. Надати рекомендації щодо мінімізації впливу розливів та підвищення ефективності ліквідаційних заходів.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методи: бібліометричний аналіз наукових публікацій, картографічне моделювання, аналіз даних дистанційного зондування Землі та лабораторних досліджень.

Об'єкт дослідження: методи ліквідації наслідків забруднення природних водойм рослинною олією.

Предмет дослідження: рослинна олія як техногенний забруднювач природних водойм.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Катастрофічні руйнування інфраструктури населених пунктів, особливо прибережних міст, з критично важливими об'єктами, такими, як порти, промислові підприємства, нафтобази, складські комплекси через повномасштабне вторгнення в Україну та недостатня оцінка екологічних наслідків військових дій, обмежений доступ до інформації та недостатній моніторинг, все це призводить до масштабних та довгострокових наслідків для довкілля, економічних та екологічних збитків тощо. Це вимагає негайної уваги до розробки та імплементації ефективних механізмів документування, оцінки та мінімізації екологічних збитків.

Одним з негативних прикладів пошкодження промисловості є Миколаївський порт, що належить до ключових судноплавних об'єктів з розвинутою портовою інфраструктурою у прибережній зоні. Ця територія зазнала численних військових атак. Було пошкоджено Глиноземний завод, резервуари для зберігання палива, каустичної соди, склади аміачної селітри, а також два резервуари з рослинною олією одного з великих підприємств-експортерів Миколаєва та України – Товариства з обмеженою відповідальністю «ЕВЕРІ» (одноразовий обсяг зберігання рослинних олій складає 175 890 м³) (Рис. 1; 2).

Техногенна аварія, п'ята за останні п'ять років, що виникла внаслідок обстрілів та пошкодження цистерн об'ємом 619,709 тонн суміш з олії, протипожежної піни та інших небезпечних речовин забруднило припортову територію, загальною площею забруднення 549,8 м² та акваторію Бузького лиману, площею забруднення близько 750 м².

Фахівці з захисту водного середовища порівнюють розливи рослинної олії з аналогічними нафтовими за наслідками процесів біотрансформації олії

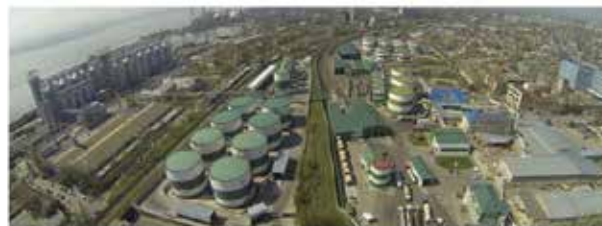


Рис. 1. Товариство з обмеженою відповідальністю «ЕВЕРІ» м. Миколаїв



Рис. 2. Гасіння пошкоджених резервуарів з олією ТОВ «ЕВЕРІ»

для гідробіонтів [1; 2]. У США розливи рослинної олії та контроль над ними кодифіковані відповідно до Постанови про запобігання, контроль та протидії розливам (SPCC). Міжнародна конвенція щодо запобігання забрудненню з суден (МАРПОЛ) у 2007 році переглянула правила Додатка II, включивши до них зміни в оцінці профілю небезпеки рослинних олій, проведеної групою експертів з наукових аспектів захисту морського середовища (ГЕСАМП). Нова оцінка профілю небезпеки включила рослинні олії до категорії Y, що означає, що вони вважаються шкідливими рідкими речовинами, скидання яких небезпечне або для морських ресурсів, або для здоров'я людини і може завдати шкоди благоустрою або іншим законним видам використання моря (ІМО, 2019) [3]. Тобто, розлив рослинної олії може мати такий самий руйнівний вплив на водну екосистему, як і нафта, що призведе до зменшення популяцій, забруднення водочисних споруд тощо.

Порівнюючи нафтові та рослинні розливи, можна зазначити їх відмінності через фізико-хімічні особливості цих вуглеводнів. Так, зазначається, що поверхнева плівка рослинної олії погано розчиняється у воді, її токсичність низька, а на водні живі організми впливає через блокування повітря. По-друге, рослинна олія значною мірою не випаровується, не утворює емульсій і не диспергується [4; 8].

У наукових публікаціях про аварійні витоки, були відзначені наслідки, що призводили до загибелі або зменшення популяції риб, ракоподібних і молюсків у забруднених водах [1]. Відбувалася зміна популяції водоростей, при цьому кількість толерантних видів збільшилася, а нетолерантних зменшилася.

Збільшення відбувалось через усунення конкурентів за рахунок дії продуктів розпаду олії. Більшість олії зникає (розсіюється або опускається на дно, полімеризується), а відновлення прибережних зон триває роками. В таких місцях знаходили птахів з ознаками виснаження та ушкодження пір'я, ондатр, бобрів та інших диких тварин, включно з черепахами, скунсами та білками. Також були випадки загибелі домашніх тварин, смерть яких була пов'язана з задихою, пошкодженням травного тракту та печінки [5; 9; 15].

Поведінка олійного розливу у водній екосистемі є явищем комплексним та зумовлене низкою взаємопов'язаних фізичних, хімічних та біологічних процесів. Ці процеси значною мірою визначаються як властивостями самої розлитої олії, так і природними гідрометеорологічними умовами, включаючи розмір хвиль, швидкість та азимут напрямку вітру, інсоляція. Додатково, на розсіювання та трансформацію розливу впливають характеристики витоку – його миттєвий або постійний характер, а також місце походження (поверхневий чи глибоководний). Окрім зазначених факторів, на динаміку олійного розливу впливають фізико-хімічні процеси вивітрювання та розтікання, випаровування, емульгування, розчинення, фотоокислення, біорозкладання та осадження (Рис. 3).

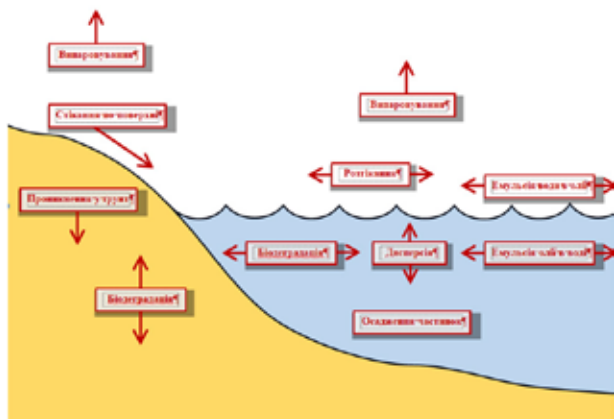


Рис. 3. Вплив розливу олії на навколишнє середовище

Крім того, адвекційні процеси також відіграють провідну роль у просторовому розповсюдженні та трансформації розливу. Комплексне розуміння цих механізмів є надзвичайно важливим для прогнозування поведінки розливів рослинних олій олійних плям та розробки ефективних методів їх ліквідації.

За даними досліджень, час знаходження олії в водій екосистемі, низька температура та зміна рН води, недостатній рівень кисню та наявність у воді важких металів й інших небезпечних домішок, все це уповільнює біорозкладання олії [6–12; 14].

Для дослідження та аналізу рівня забруднення вод Бузького лиману було використано дані обстеження та лабораторних досліджень відділу інструментально-лабораторного контролю Державної екологічної

інспекції Південно-Західного округу (Миколаївської та Одеської областей) та дані дистанційного спостереження землі. Оцінку впливу та розмір шкоди виконано згідно «Методики визначення збитків, заподіяних внаслідок забруднення та/або засмічення вод, самовільного користування водними ресурсами», затвердженої наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 21.07.2022 № 252 [7].

Відповідно до п. 2.4 Методики визначення збитків, заподіяних водним об'єктам (морські води) внаслідок забруднення речовинами у чистому вигляді у складі продукції чи сировини внаслідок збройної агресії Російської Федерації, розрахунок збитків (3) здійснюється за формулою:

$$3 = K_v \times K_{\text{ц}} \times K_{\text{я}} \times K_{\text{б}} \times K_{\text{д}} \times k_z \times [(M_{i1} \times \gamma_{i1}) + (M_{i2} \times \gamma_{i2}) + \dots + (M_{im} \times \gamma_{im})],$$

де K_v – коефіцієнт, що враховує збільшення шкоди водній екосистемі під час воєнного стану;

$K_{\text{ц}}$ – коефіцієнт, що враховує цінність морської акваторії;

$K_{\text{я}}$ – коефіцієнт, що враховує якісну різноманітність морських вод;

$K_{\text{б}}$ – коефіцієнт, що враховує фактор батиметричних умов району забруднення;

$K_{\text{д}}$ – коефіцієнт, що враховує вплив гідродинамічного фактору;

k_z – коефіцієнт ураженості морського середовища;

M_i – маса скинутої i -ї забруднюючої речовини у водний об'єкт у складі продукції чи сировини, т;

m – кількість забруднюючих речовин у складі продукції чи сировини;

γ_i – питомий економічний збиток від забруднення водних ресурсів, віднесений до 1 тонни умовної забруднюючої речовини, грн/т [7].

За результатами дослідження було встановлено, що площа забруднення акваторії Бузького лиману складала близько 750 м². Концентрація жирів та масла в районі причалів у місці забруднення, становили від 125,4 до 144,8 мг/дм³. Навпроти причалів 14,5 мг/дм³. Визначені концентрації значно перевищували значення фонові концентрації жирів та масла у воді лиману (СФ < 1 мг/дм³). Супутникові знімки зафіксували перший викид цього забруднення з гавані суднобудівного заводу «Нібулон» у Бузький лиман, утворивши пляму завдовжки приблизно 2 км² (Рис. 4).

Для стримування розливу було встановлено бонові загородження, що дозволило зібрати з поверхні води 675,8 м³ забруднюючої речовини. Незважаючи на зусилля з ліквідації забруднення, значна кількість олії залишилася на поверхні. Через деякий час бонові загородження було знято, що призвело до повторного викиду забруднюючих речовин до вод Бузького лиману. 3 29.10.2022 року в акваторії Бузького лиману спостерігалось утворення білої речовини – «густої, жирної піни», що межувала з береговою лінією (Рис. 5).



Рис. 4. Розгортання розливу соняшникової олії на терміналі «Евері» станом на 17.10.2022 року за даними MSI місії Copernicus Sentinel-2



Рис. 5. Територія забруднення узбережжя Бузького лиману, внаслідок розливу соняшникової олії на терміналі «Евері», станом на 31.10.2022 року за даними MSI місії Copernicus Sentinel-2

Поширення забруднюючих речовин вздовж 3,5-кілометрової ділянки узбережжя чітко видно на супутникових знімках від 31.10.2022 року. Наступного дня в акваторії лиману було виявлено ще більше випадків загибелі морських мешканців. Супутникові знімки показали подальше накопичення забруднюючих речовин у гавані суднобудівного заводу «Нібулон» у період з 01.11.2022 по 12.11.2022 року, а потім їхній викид у лиман 15.11.2022 р. Це був третій і останній викид, після чого припливні потоки перенесли забруднення на пляжі вище за течією (Рис. 6).

28 грудня 2024 року під час масованої атаки безпілотними апаратами м. Миколаєва було пошкоджено резервуар з рослинною олією ще одного експортера – ТОВ «ЕКОТРАНС», що спричинило забруднення земельної ділянки площею близько 7000 м². Додаткове забруднення зафіксовано поза межами резервуарного



Рис. 6. Поширення забруднення Бузького лиману полімеризованою олією за даними MSI місії Copernicus Sentinel-2



Рис. 7. Наслідки техногенної аварії на ТОВ «ЕКОТРАНС», м. Миколаїв

парку на площі близько 700 м². З акваторії лиману, станом на січень 2025 року, зібрали понад 100 тонн олії, встановлено бони для локалізації олійних плям, що в окремих ділянках сягали до 10 см олії, які через кілька тижнів зняли. За оцінками Міністерства захисту навколишнього середовища та природних ресурсів України, екологічні збитки розраховуються в розмірі 45 мільярдів гривень (Рис. 7).

Для моніторингу, аналізу та прогнозування розповсюдження розливів рослинної олії та їхній вплив на водні екосистеми використовують низку математичних моделей (Рис. 8).

Вибір конкретної моделі залежить від масштабу та об'ємів аварії, характеристик водної системи (річка, озеро, море), метеорологічних та гідрологічних даних, а також доступних компонентів обчислювальної системи. Для екстреної первинної оцінки використовують різні статистичні моделі, такі як:

- Моделі розтікання (Spreading Models), що описують гравітаційне поширення плівки олії поверхнею води під дією в'язкості та поверхневого натягу.
- Класичні моделі (наприклад, модель Fay's), що використовуються при дослідженні нафтових

Математичні моделі для моніторингу та прогнозування розповсюдження розливів рослинної олії в природних водоймах

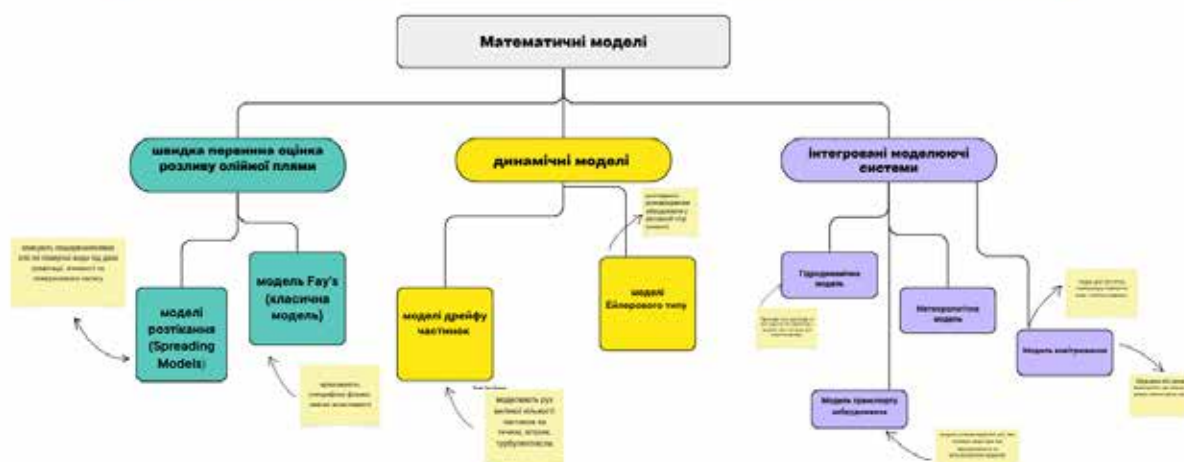


Рис. 8. Концептуальна схема аналізу розливів рослинної олії за допомогою математичного моделювання

розливів, але можуть бути адаптовані для рослинних олій, беручи до уваги специфіку фізико-хімічних властивостей (менша питома маса, інший коефіцієнт внутрішнього тертя порівняно з нафтою) тощо.

На наступному етапі дослідження, де потрібно врахувати складний стан руху водного середовища та процеси вивітрювання олії, пропонується застосувати динамічні моделі (Лагранжеві та Ейлерові підходи):

- Один з найпоширеніших підходів Моделі дрейфу частинок (Particle Tracking Models/Lagrangian Models), що моделюють рух значної кількості «частинок» олії, що переміщується за течією, вітром та турбулентним перенесенням. До кожної частинки можуть застосовуватися складені компоненти системи, що моделюють різні фізико-хімічні процеси (випаровування, емульгування, розчинення, біодеградація, осадження, фотоокислення, дроблення тощо). Це можуть бути програмне забезпечення, на кшталт: MONID, OpenDrift, SpillMod.

- Для детального дослідження розповсюдження забруднювача у фіксованій сітці (комірки). застосовують моделі Ейлерового типу (Eulerian Models). З часом концентрація олії в кожній комірці змінюється під дією руху деякої кількості речовини через об'ємний переріз рідини, дифузії та процесів вивітрювання. Зазвичай, вони надають більш детальну інформацію про розподіл концентрацій.

В цілому, найбільш ефективними вважаються інтегровані моделюючі системи, які об'єднують кілька моделей:

- Гідродинамічна модель: Прогнозує гідрологічні параметри у водоймі, такі, як течія тощо. Це є базою для моделей дрейфу.
- Метеорологічна модель: Надає дані про сонячну радіацію, вітер, температуру повітря та води тощо.

- Модель транспорту забруднювача: саме ця модель надає інформацію про розповсюдження плями олії (вхідні дані від гідродинамічної та метеорологічної моделей).

- Модель вивітрювання: Вбудована або окрема складова, що описує фізико-хімічні зміни олії.

ВИСНОВКИ

Україна входить до низки Європейських країн з найменшим забезпеченням власними природними водними ресурсами. Саме тому, першочерговим завданням є захист водних об'єктів від забруднення, особливо під час військових дій.

Основним завданням зниження впливу руйнування та порушення їх нормальної роботи, викликаних військовими діями, є їхня ідентифікація та оцінка ступеня небезпеки.

Отже, в перші години та дні після техногенної аварії, необхідно в екстреному режимі оцінити обсяг та джерело аварійного витоку, провести розвідку, якщо є умови, дистанційне зондування, фото фіксація, обстеження з човнів для визначення масштабів небезпечної події.

Другим етапом є встановлення бонових загоруджень й збір метео- та гідрологічних даних, таких, як напрямок та швидкість вітру, від яких залежить розповсюдження олійного забруднення, швидкість та напрямок течії, особливо у випадку Бузького лиману, температурний режим води та повітря, а також сонячна радіація, що впливає на фізико-хімічні процеси.

Розробка плану моніторингу з визначенням зони моніторингу, вибору точок відбору проб (зона максимального забруднення, зона розповсюдження, фонові точки, прибережні зони, вертикальне профілювання тощо) буде наступним етапом. Також важлива частота

відбору проб, на початкових етапах (перші 2–3 доби), надалі, після стабілізації – рідше (раз на добу, раз на 2–3 дні, раз на тиждень). Матеріали для стандартизованих лабораторних методів аналізу необхідно робити забори з поверхні води, на дні, виконуючи візуальну та лабораторну оцінку. Для системного та

комплексного підходу щодо оцінки, моніторингу та ліквідації аварійного олійного забруднення, рекомендовано використання ГІС-систем та математичних моделей, що є ключовим для оперативного реагування та мінімізації довгострокових екологічних наслідків.

REFERENCES

- [1] Norde, W., & Van Der Putten, L. (2015). Interfacial Properties of Proteins and Other Amphiphilic Biopolymers: From Macroscopic to Microscopic Scales. In G. K. S. P. Kumar, B. R. Jagannathan, S. Sarma, & R. J. R. B. N. M. B. V. (Eds.), *Interfacial Phenomena in Biological Systems* (pp. 67–100). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118989982.ch4>
- [2] Pan, K., Hu, Y., Deng, M., Zeng, J., Wu, S., & Li, L. (2022). A review of oil spill detection by remote sensing technology. *Environmental Research*, 214, 113985. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113985>
- [4] Hassan, M. I. (n.d.). *Revised MARPOL Annex II regulations – Another Non-Tariff Barrier Against Palm Oil*. МРОС. <https://www.mpoc.org.my/revised-marpol-annex-ii-regulations-another-non-tariff-barrier-against-palm-oil/>
- [5] Torres-García, M., García-Martín, J. F., Jiménez-Espadafor Aguilar, F. J., Barbin, D. F., & Álvarez-Mateos, P. (2020). Vegetable oils as renewable fuels for power plants based on low and medium speed diesel engines. *Journal of the Energy Institute*, 93(3), 953–961. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2019.08.006>
- [6] Popoola, B. M., Olanbiwoninu, A. A., & Fashogbon, R. O. (2022). Bioremediation of Vegetable Oil Contaminated Soil with Two Microbial Isolates. *Advances in Microbiology*, 12(4), 218–241. <https://doi.org/10.4236/aim.2022.124017>
- [7] Sharma, S., Mohler, J., Mahajan, S. D., Schwartz, S. A., Bruggemann, L., & Aalinkeel, R. (2023). Microbial Biofilm: A Review on Formation, Infection, Antibiotic Resistance, Control Measures, and Innovative Treatment. *Microorganisms*, 11(6), 1614. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11061614>
- [8] On the Approval of Hygienic Standards for Water Quality in Water Bodies for Drinking, Domestic, and Other Needs of the Population. (2022, May 2). Order of the Ministry of Health of Ukraine № 721 dated 02.05.2022. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22#n29>
- [9] Mudge, S. M. (1995). Deleterious effects from accidental spillages of vegetable oils. *Spill Science & Technology Bulletin*, 2(3), 187–191.
- [10] Mudge, S.M. (1998). Vegetable Oil Spills – Pollution or Over-Cautiousness. *Chemistry & Ecology*, 259.
- [11] Salam, D.A., Suidan, M.T., & Venosa, A.D. (2011). Effect of Antioxidants on the Fate and Impact of Spilled Vegetable Oils in Aquatic Environments. *AMOP (Arctic and Marine Oilspill Program)*, 786.
- [12] Fingas, M. (2015). Vegetable Oil Spills. *У Handbook of Oil Spill Science and Technology* (pp. 79–91). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781118989982.ch4>
- [13] Mudge, S.M., Salgado, M.A., & East, J. (1993). Preliminary Investigations into Sunflower Oil Contamination Following the Wreck of the M.V. Kimya. *Marine Pollution Bulletin*, 40.
- [14] Mudge, S.M., Goodchild, I.D., & Wheeler, M. (1995). Vegetable Oil Spills on Salt Marshes. *Chemistry & Ecology*, 127.
- [15] Tamothran, A.M., & Bhubalan, K. (2022). The degradation and toxicity of commercially traded vegetable oils following spills in aquatic environment. *Environmental Research*, 214(3), 113985.
- [16] Campo, P., Zhao, Y., & Suidan, M.T. (2007). Biodegradation kinetics and toxicity of vegetable oil triacylglycerols under aerobic conditions. *Chemosphere*, 68(11), 2054–2062.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Norde, W., & Van Der Putten, L. (2015). Interfacial Properties of Proteins and Other Amphiphilic Biopolymers: From Macroscopic to Microscopic Scales. In G. K. S. P. Kumar, B. R. Jagannathan, S. Sarma, & R. J. R. B. N. M. B. V. (Eds.), *Interfacial Phenomena in Biological Systems* (pp. 67–100). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118989982.ch4>
- [2] Pan, K., Hu, Y., Deng, M., Zeng, J., Wu, S., & Li, L. (2022). A review of oil spill detection by remote sensing technology. *Environmental Research*, 214, 113985. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113985>
- [4] Hassan, M. I. (n.d.). *Revised MARPOL Annex II regulations – Another Non-Tariff Barrier Against Palm Oil*. МРОС. <https://www.mpoc.org.my/revised-marpol-annex-ii-regulations-another-non-tariff-barrier-against-palm-oil/>
- [5] Torres-García, M., García-Martín, J. F., Jiménez-Espadafor Aguilar, F. J., Barbin, D. F., & Álvarez-Mateos, P. (2020). Vegetable oils as renewable fuels for power plants based on low and medium speed diesel engines. *Journal of the Energy Institute*, 93(3), 953–961. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2019.08.006>
- [6] Popoola, B. M., Olanbiwoninu, A. A., & Fashogbon, R. O. (2022). Bioremediation of Vegetable Oil Contaminated Soil with Two Microbial Isolates. *Advances in Microbiology*, 12(4), 218–241. <https://doi.org/10.4236/aim.2022.124017>
- [7] Sharma, S., Mohler, J., Mahajan, S. D., Schwartz, S. A., Bruggemann, L., & Aalinkeel, R. (2023). Microbial Biofilm: A Review on Formation, Infection, Antibiotic Resistance, Control Measures, and Innovative Treatment. *Microorganisms*, 11(6), 1614. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11061614>

- [8] Про затвердження Гігієнічних нормативів якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 2.05.2022 № 721. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22#n29>
- [9] Mudge, S. M. (1995). Deleterious effects from accidental spillages of vegetable oils. *Spill Science & Technology Bulletin*, 2(3), 187–191.
- [10] Mudge, S.M. (1998). Vegetable Oil Spills – Pollution or Over-Cautiousness. *Chemistry & Ecology*, 259.
- [11] Salam, D.A., Suidan, M.T., & Venosa, A.D. (2011). Effect of Antioxidants on the Fate and Impact of Spilled Vegetable Oils in Aquatic Environments. *AMOP (Arctic and Marine Oilspill Program)*, 786.
- [12] Fingas, M. (2015). Vegetable Oil Spills. У *Handbook of Oil Spill Science and Technology* (pp. 79–91). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781118989982.ch4>
- [13] Mudge, S.M., Salgado, M.A., & East, J. (1993). Preliminary Investigations into Sunflower Oil Contamination Following the Wreck of the M.V. Kimya. *Marine Pollution Bulletin*, 40.
- [14] Mudge, S.M., Goodchild, I.D., & Wheeler, M. (1995). Vegetable Oil Spills on Salt Marshes. *Chemistry & Ecology*, 127.
- [15] Tamothran, A.M., & Bhubalan, K. (2022). The degradation and toxicity of commercially traded vegetable oils following spills in aquatic environment. *Environmental Research*, 214(3), 113985.
- [16] Campo, P., Zhao, Y., & Suidan, M.T. (2007). Biodegradation kinetics and toxicity of vegetable oil triacylglycerols under aerobic conditions. *Chemosphere*, 68(11), 2054–2062.

© Ушкац С. Ю., Магась Н. І., Коваль С. С., Жолобенко Н. Ю.
Дата надходження статті до редакції: 04.06.2025
Дата затвердження статті до друку: 12.06.2025