

В.О. Ковач, Київ  
А.В. Яцишин, Київ  
Є.Б. Краснов, Київ  
І.Б. Краснова, Київ

## ФІЗИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ НАФТОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПРИ РОЗЛИВІ У ПОВЕРХНЕВОМУ ВОДНОМУ ОБ'ЄКТІ

**Abstract.** The work is devoted to the study of factors influencing the spread and transformation of oil spill in a surface water object. The main processes that occur with spilled oil on the surface of the water body are: evaporation, dispersion, dissolution, oxidation, emulsification, biological decomposition and precipitation in the form of the sediment. The behavior of spilled oil is also significantly influenced by external factors such as: wind speed, wave height, flow velocity, radiation heat exchange on the edge of a film of spilled oil – air and water – air temperatures. The interaction of the oil spill with the shore of the water object is investigated. The conceptual scheme of behavior of oil pollution in a surface water object is developed. Visualization of the dynamics of the above-mentioned physical and chemical processes, as well as changes in the oil viscosity of the second group when spilling at sea is shown. Graphically and quantitatively, the comparison of oil spill transformations under the influence of wind at speeds of 5 m/s and 20 m/s, as well as under the influence of flow at a speed of 1 knot and 2,5 knots is made. The influence of oil on the marine ecosystem is described.

### Вступ

На сьогоднішній день нафта займає провідне місце в світовому паливно-енергетичному господарстві оскільки вона є найважливішим джерелом рідкого палива, мастил, сировиною для синтетичних матеріалів тощо. Проте, на жаль, всі стадії нафтокористування супроводжуються всезростаючими масштабами забруднення навколишнього середовища нафтою та нафтопродуктами. Особливу небезпеку для екосистеми планети являють розливи нафтопродуктів у морях і океанах, що набули глобального характеру як внаслідок аварій, так і внаслідок недосконалості технологій морського видобутку, обробки та транспорту нафтопродуктів. Також значні обсяги нафтопродуктів викидаються у море ріками з побутовими та дощовими стоками, а також внаслідок аварій та технологічних скидів на підприємствах, розташованих на берегах річок. За даними Міжнародної морської організації щорічно в Світовий океан потрапляє від 2 до 10 млн тонн нафти і нафтопродуктів. Вкриваючи воду тонкою плівкою, нафта перешкоджає проникненню у воду кисню, чим завдає величезної шкоди мешканцям води і часто призводить до їх масової загибелі. Іноді аварійні розливи нафти супроводжуються загорянням і горінням нафтопродуктів, що призводить до

40 © В.О. Ковач, А.В. Яцишин, Є.Б. Краснов, І.Б. Краснова

виникнення великих гнаних вітром пожеж на водній поверхні. Це особливо небезпечно при аваріях для людей, які потрапляють у воду й терплять лихо, а також персоналу технічних плаваючих засобів різного призначення, що перебувають у морі. Нафтове забруднення завдяки своїм властивостям та за відповідних кліматичних умов може здійснювати негативний вплив на біосферу протягом багатьох років. Для ліквідації наслідків значного розливу нафти потрібні десятки млрд. доларів. Попередження таких надзвичайних ситуацій (НС) є загальносвітовою проблемою [1 – 3].

### **Літературний огляд**

Вагомий внесок у вирішення теоретичних і практичних задач попередження та ліквідації НС, пов'язаних із розливами нафти у водних об'єктах, зробили такі науковці, як І.А. Мерициди, Ю.Л. Воробьев, В.Ф. Мартынюк, А.Ф. Егоров, А.И. Альхименко, Г.Г. Матишов, В.И. Биненко, А.И. Гриценко, А.И. Вылкован, В.В. Яковлев, С.В. Маценко, Г.С. Кесельман, С.М. Нунупаров, А.Д. Курносов, Д. Кормак, А. Нельсон-Смит, M. Fingas, J.W. Doerffer, W. Davidson, J.A. Fay, R. Weisberg та ін. [4–24]. Але в роботах даних вчених висвітлюються переважно питання організаційного характеру, та не приділяється увага розробці методів моніторингу розливів нафти та нафтопродуктів з точки зору теорії управління.

### **Постановка задачі**

В роботах [25 – 27] авторами розроблено типову структуру та описано можливості використання нових інформаційно-технічних методів (ІТМ) моніторингу навколишнього природного середовища в умовах НС техногенного характеру. Робота [28] присвячена розробці ІТМ попередження НС терористичного характеру на об'єктах критичної інфраструктури. В роботі [29] описані можливості використання експертних методів та систем для попередження надзвичайних ситуацій на критично важливих об'єктах. Питанню розробки ефективних методів попередження НС природного та техногенного характеру, пов'язаних із розливами нафти та нафтопродуктів на об'єктах нафтокористування, на сьогоднішній день в сфері екологічної безпеки та цивільного захисту, нажаль, приділено мало уваги. У зв'язку з цим авторами статті було прийнято рішення розпочати роботу з розробки таких ІТМ. І першим кроком до досягнення поставленої мети є розробка фізичної моделі розтікання нафтової плями у поверхневому водному об'єкті (ПВО) (ріка, озеро, море, океан) в результаті НС на об'єкті нафтокористування (нафтові платформи, танкери, нафтопроводи тощо), чому і присвячена дана стаття.

### **Вирішення задачі**

Нафта, що потрапила у ПВО, розтікається і переміщається по його поверхні, зазнаючи при цьому ряд хімічних і фізичних змін. Ці зміни нафти

починаються безпосередньо з моменту потрапляння її на поверхню води і тривають, в залежності від типу нафти, що розлилася, і гідрометеорологічних умов, протягом майже всього періоду перебування нафти на воді. На рис. 1 показані процеси, що відбуваються з розливою нафтою у ПВО.

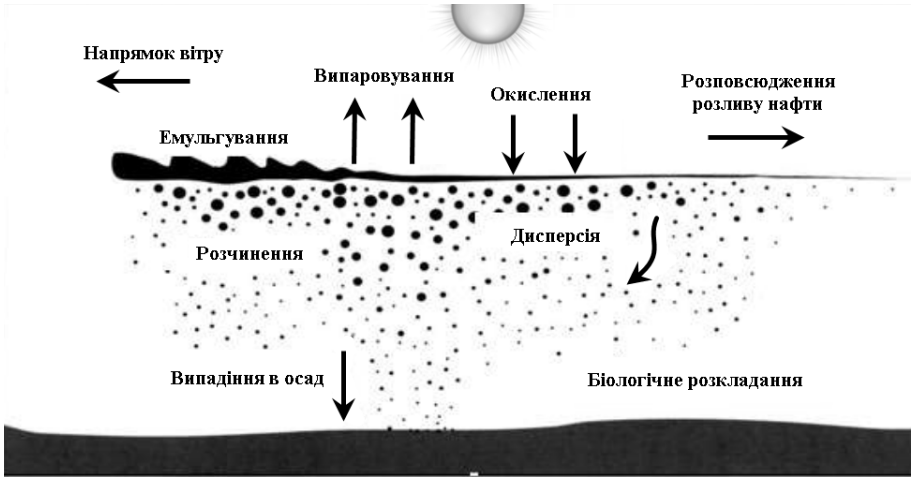


Рис. 1. Процеси, які відбуваються з нафтою при розливі у ПВО

На рис. 2 показана залежність інтенсивності основних процесів, що відбуваються з нафтовим забрудненням, від часу знаходження плями у морі.

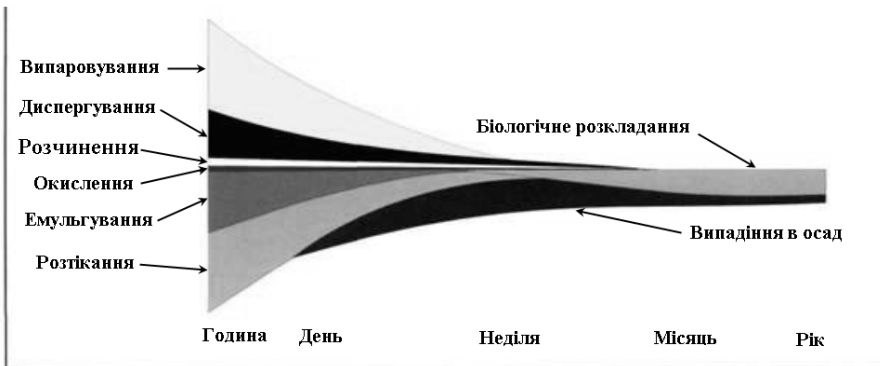


Рис. 2. Динаміка фізичних процесів, які відбуваються з нафтою, після розливу у ПВО

Аналіз даних, представлених на рис. 2, дозволяє зробити висновок, що основні процеси (випаровування, розсіювання, розчинення, окислення, емульгування, розтікання) в період до 1 дня досить інтенсивні і тільки

змішування вже важких фракцій із зависсю у воді і окремими компонентами дна (мул, пісок, дрібний гравій) відбуваються протягом від декількох днів до місяця і більше.

Розглянемо більш детально особливості всіх основних процесів, що впливають на поведінку нафтової плями на поверхні ПВО.

**Розтікання** нафти є основним фактором, що впливає на зміну нафтового поля при розливі. Рівномірне розтікання в усіх напрямках від центру поля при спокійній воді має найбільшу динаміку в початковий період розливу. Швидкість розтікання нафти залежить від її кількості, в'язкості, поверхневого натягу і гідродинамічних умов процесу: температури води, швидкості вітру, хвилювання.

Автори робіт [30, 31] показали, що сира нафта теоретично може розтікатися до утворення мономолекулярного шару. Сира нафта в природних водоймах, очевидно, ніколи не досягає такого стану, хоча типовий райдужний відблиск, що часто спостерігається, свідчить про її здатність до утворення дуже тонких плівок.

У початковій стадії розтікання нафти обумовлено головним чином дією питомої ваги, якій протидіє сила інерції. Після розтікання нафти до критичної товщини близько 8 мм найбільш важливим фактором, що сприяє розповсюдженню нафти, стає поверхневий натяг. Надалі поширення нафтової плівки гальмується тонким шаром води. До того моменту, коли товщина сліку стане рівною товщині цього водного шару, в'язкість стає основним фактором, що перешкоджає розтіканню, і в зв'язку з цим швидкість останнього помітно знижується.

На практиці було помічено, що при розтіканні нафта втрачає свої летючі і водорозчинні компоненти, що буде знижувати тенденцію залишкової нафти, яка характеризується більш високою в'язкістю і температурою застигання, до подальшого розтікання незважаючи на те, що хвилювання на морі буде дробити слік на більш дрібні частини. Отже, розтікання нафти – самогальмуюче явище, загальна картина якого ускладнюється утворенням емульсій.

**Випаровування** – фізико-хімічний процес, що призводить до масопереносу вуглеводнів нафти з морської поверхні в атмосферу. Це найважливіший вихідний атмосферний процес, в результаті якого всі легкі фракції нафти випаровуються протягом перших кількох годин після розливу.

Швидкість випаровування є функцією тиску насиченої пари кожного компонента нафти, його концентрації, товщини плівки нафти, швидкості вітру і температури. Інша важлива роль цього процесу полягає в зміні фізичних і хімічних властивостей нафти (щільності, в'язкості, вмісту води і т.д.).

Швидкість випаровування залежить від складу і фізичних властивостей нафти, геометрії сліка, часу, температури, вітрової та хвильової діяльності. Найбільш інтенсивне випаровування відбувається в перші години після потрапляння нафти в море. Втрати нафти при випаровуванні становлять 1/3 – 2/3 від всієї маси нафтового сліка. До кінця першої доби випаровується 50%

сполук, що містять 13 – 14 атомів вуглецю; до кінця 3-го тижня випаровується 50% сполук з 17 атомами вуглецю. В процесі випаровування, який може тривати місяці й роки, в'язкість залишку нафти збільшується, утворюються нафтові агрегати [6, 7].

По мірі зменшення маси розлитої нафти за рахунок її випаровування в'язкість нафти, що залишилась, зростає. На рис. 3, за даними [32], представлена залежність, по осі ординат якої відкладена кінематична в'язкість нафти при 15 °С, а по осі абсцис – час після розливу нафти. Дані малюнку показують, що істотна зміна в'язкості для нафти другої групи закінчується через 10 годин, в подальші 10 годин зміна кінематичної в'язкості не суттєва, після 20 годин – практично залишається постійною.

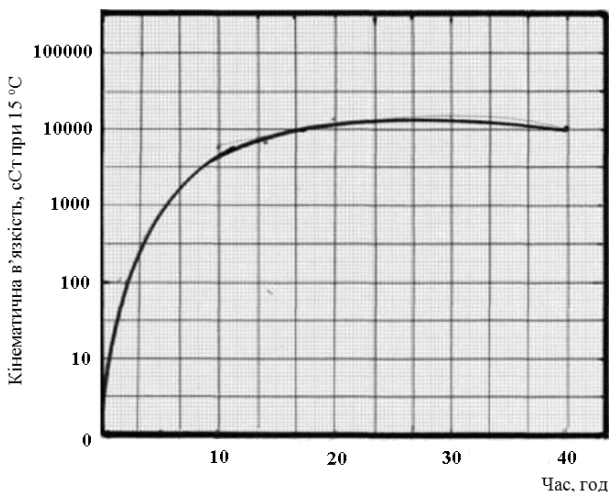


Рис. 3. Зміна в'язкості нафти другої групи при розливах на морі

За даними [33], при розливі нафти другої групи протягом 20 годин випаровується порядку 3/4 нафти. Залишки останньої, що складаються з високомолекулярних парафінів при щільності більше 1020 кг/м<sup>3</sup>, у вигляді сліка тонуть. Приблизно через 25 – 30 годин під впливом зовнішніх факторів (утворення емульсій і часткове занурення сліків) в'язкість плаваючої нафти дещо знижується (рис. 3).

Таким чином, при плануванні операції з ліквідації розливу нафти слід враховувати, що ефективність її проведення безпосередньо залежить від часу реагування. Тому заходи з ліквідації необхідно здійснити в максимально короткий термін.

**Емульгування** – фізико-хімічний процес, що призводить до утворення емульсій, та який спричиняє суттєві зміни властивостей і характеристик нафти. Це результат того, що полярні і асфальтенові сполуки поведуться як

поверхнево-активні речовини. В сирій нафті вони стабілізовані застосуванням ароматичних розчинників, а в міру того, як ці розчинники вичерпуються під впливом атмосферних впливів, асфальтени починають випадати в осад, зменшують поверхневий натяг на поверхні вода-нафта і ініціюють процес емульгування.

Велика частина розподіленої в воді нафти знаходиться в вигляді емульсії типу «нафта у воді» (пряма емульсія). При розливах нафти утворюється також емульсія типу «вода в нафті» (зворотна емульсія). Незважаючи на подібні умови утворення, ці два типи мають суттєві відмінності. Утворення прямої емульсії може призвести до зникнення нафти з поверхні води. Однак при припиненні дії факторів, що сприяють емульгуванню (наприклад, при зменшенні хвилювання моря), нафтова пляма може відновлюватися, нафта спливе на поверхню води. Утворення прямої емульсії пов'язано з розподілом дрібних крапель нафти (0,001 – 0,003 мм) в масі води, що сприяє біологічному розкладанню нафти [4, 11].

Таким чином, емульгування – важливий фактор у фізичній поведінці розлитої у воді нафти. Емульсія легко утворюється при механічному перемішуванні двох взаємно нерозчинних рідин, в результаті чого диспергована фаза виявляється суспендованою у вигляді крапельок в однорідній фазі.

**Розчинення** – це процес, при якому компоненти нафти з низькою молекулярною вагою переходять в об'єм води. Швидкість розчинення залежить від вітру, стану моря і властивостей нафти (щільності, в'язкості, температури замерзання, поверхневого натягу, розчинності). Значення розчинності окремих фракцій представлені в [14].

Хоча цей процес починається відразу після розливу, він тривалий і впливає на мешканців моря. Розчиненню піддаються не тільки самі компоненти нафти, але і продукти їх окислення. Аналіз даних дозволяє зробити висновок про слабку розчинність в цілому окремих фракцій нафти в воді. Однак легкі фракції розчиняються у воді в більшій мірі в порівнянні з важкими. Ароматичні складові компонентів нафти мають найбільшу розчинність. Втрати сирої нафти, пов'язані з розчиненням, можуть становити до 5 – 7 % загальної маси розлитої нафти. Розчинені вуглеводні найбільш шкідливі до біодеструкції.

Розчинність вуглеводнів знижується на порядок на кожні два додаткових атома вуглецю від  $100 \text{ млн}^{-1}$  для  $C_6$  до  $0,001 \text{ млн}^{-1}$  для  $C_{16}$ . У той же час при розливі нафти компоненти останньої можуть перебувати як в розчинному, так і в диспергованому стані, особливо при впливі на нафту енергії вітру і хвилі.

Продукти процесу окислення розчинні у воді, що підвищує токсичність останньої. До того ж результату приводить і формування емульсій. Емульсія легко утворюється при механічному перемішуванні двох взаємно нерозчинних рідин. За даними досліджень, виконаних як в нашій країні, так і за кордоном, середній діаметр крапель становить близько 0,5 мкм з об'ємом, рівним  $6 \cdot 10^{14} \text{ мл}^3$  і розміром поверхні  $8 \cdot 10^9 \text{ см}^2$ .

Таким чином, 1 мл нафти може дати  $15 \cdot 10^{12}$  крапель із загальною поверхнею 12 м<sup>2</sup>. Емульсія «вода в нафти», яка утворюється в природних умовах, надзвичайно стійка. При цьому емульсії, що містять 30 – 50% води, легколетючі, з вмістом 50 – 80% в'язкі. В обох випадках токсичність забрудненої нафтою води зберігається тривалий час [13, 15].

**Окислення** – це процес розкладання розливої нафти. Розрізняють біо- і фотохімічне окислення. Біохімічне окислення представляє собою реакції розкладання нафти в результаті впливу кисню повітря і води, а також життєдіяльності бактерій, грибків і інших мікроорганізмів. Найбільш помітно окислення киснем повітря відбувається на поверхні води, сповільнюється при переході нафти в глиб води і відсутнє на дні. У Світовому океані виявлено майже 200 видів бактерій, цвілевих грибків і дріжджів, які можуть розкласти нафту. Швидкість розкладання обумовлена температурою води і наявністю поживних речовин. Нижче 4 °С розкладання нафти практично відсутнє, а вище 15 °С (нормальні умови) його швидкість не перевищує 1 – 10 мг/м<sup>3</sup> на добу.

Фотохімічне окислення здійснюється при спільному впливі сонячного світла і кисню. Швидкість цього виду окислення зазвичай не перевищує 10 – 50 % швидкості біорозкладання.

Фотохімічне окислення сприяє полімеризації нафти і утворенню смоляних кульок розмірами від декількох сантиметрів. Кульки є продуктами різного ступеня розкладання нафти. Їх утворення закінчується приблизно протягом 100 днів з часу розливу (35% розливої нафти) [1, 20].

**Осадження** – це процес, що викликається підвищенням густини нафти внаслідок атмосферних впливів і взаємодією зі зваженими опадами або вихідним біологічним матеріалом. В результаті осадження на морському дні утворюються відкладення адсорбованих частинок нафтових опадів.

Забруднення в донних опадах можуть характеризувати інтегральні наслідки тривалого антропогенного навантаження в мілководних зонах. На стадії седиментогенеза і раннього діагенеза перетворення розчинених, зважених і обложених нафтових забруднень в окислювальних і відновних обставинах направлено в сторону виборчого збереження малополярних з'єднань. При цьому у всіх формах міграції відбувається накопичення більш стійких до біодеградації окислених компонентів – смол і асфальтенів.

При високих концентраціях і через специфічний склад сорбовані на зависі та депоновані в опадах нафтові забруднення можуть впливати не тільки на біоту моря, але і на процеси седиментогенеза і діагенеза. Ця проблема потребує спеціального вивчення.

Підвищенням вмістом нафтових забруднень характеризується, зокрема, межа розділення «вода-завись», де нафти може бути на кілька порядків більше, ніж в середньому в об'ємі вод. На частку сорбованих на морській зависі нафтових компонентів може припадати до 60 і більше відсотків всіх нафтових забруднень моря, з яких кілька відсотків може знаходитись на грубій зависі. Остання є основною формою, в якій нафта переходить в

донний осад. Ці процеси відбуваються, головним чином, в прибережній зоні моря, де багато зависі і водні маси піддані інтенсивному перемішуванню. Одночасно йде процес біоседіmentaції – вилучення емульгованої нафти планктоном і осадження її на дно із залишками організмів і їх метаболітами. Крім того, осідають на дно і акумулюються в донних відкладеннях важкі компоненти нафти, вміст яких в нафтозалишках може досягати 50 – 70% їх маси [2, 12, 20].

Осадоутворення сприяє частковому очищенню вод від нафти і одночасно – забрудненню дна ПВО. При цьому важливу роль відіграють полярні компоненти нафти, вміст яких на зависі досягає 450 мг і більше на 100 г сухої маси.

Можливе утворення нафтових агрегатів у вигляді твердих грудок або кульок, що складаються з високомолекулярних сполук важких фракцій нафти (смола, асфальтени, карбени, карбоїди) і механічних домішок. Ці агрегати утворюються з сирової нафти після випаровування і розчинення відносно легких фракцій, їх хімічної і біологічної трансформації. На утворення цих агрегатів йде до 5 – 10% розливої сирової нафти і до 20 – 50% нафтозалишків. Нафтові агрегати можуть транспортуватися по дну моря і виноситися на пляжі. Час життя нафтових агрегатів може складати від місяця до року [8].

**Взаємодія нафти з берегом.** Коли слік, що пливе, досягає берега, його подальша доля залежить як від стану нафти, так і від характеру берега. При незначному забрудненні основна маса нафти буде виноситися хвилями на берег до відмітки в залежності від енергії та висоти хвилі. Добре вивітрені або важкі нафти, змішуючись при цьому з мінеральними і рослинними частинками, утворюють нафтові коржі. У спекотну погоду або в разі свіжого розливу нафтові коржі стають тоншими, і нафта більш легко вмокнується в скельні ущелини, пісок або гальку. На кам'янистому березі нафта проникає на 0,5 – 1 м між камінням і її видалити дуже важко. У вологий пісок нафта проникає гірше, але хвилі можуть заносити її зверху новими порціями піску, створюючи подібну до геологічного нашарування шарувату структуру. В цьому випадку сильно забруднений берег протягом короткого часу після забруднення може виявитися чистим, а нафта, що міститься в ньому, виявляється пізніше, після видалення поверхневих шарів під час шторму або сезонних переміщень піску. Нафта прилипає до біссусних ниток мідій, зовнішньої рогової оболонки раковин, водоростей, що ростуть біля самого урізу води, вибирається також в суху пористу породу. Скельні поглиблення в центрі зони осушення естуарія, які служать притулком для тварин і рослин, не пристосованих до місцевих умов проживання на відкритому березі, покриваються товстою плівкою нафти [2].

Експериментальним шляхом встановлено, що плівка нафти здійснює несуттєвий вплив на газообмін через поверхню води, покритої плівкою нафти. Це не дивно, оскільки кисень приблизно однаково розчинний у воді і в більшості вуглеводневих сумішах [24].

На поведінку розливої у ПВО нафти також суттєво впливають і зовнішні



фактори, такі як: швидкість вітру, висота хвилі, швидкість течії, радіаційний теплообмін на межі плівка розлитої нафти – повітря, температура води та повітря.

Нижче наводяться результати розрахунків впливу окремих зовнішніх чинників, зазначених вище, на швидкість розтікання нафти при її розливі на поверхню морської води, утворення форми плями нафти з урахуванням величини розливу і швидкості її емульгування.

**Вплив швидкості вітру на характеристики нафтової плями.** На рис. 4 – 5 представлені результати розрахунку зміни форми плями розлитої нафти при швидкостях вітру 5 і 20 м/с з урахуванням часу після початку розливу. Вихідні дані для розрахунків наступні: розлив – 1 т, густина нафти – 786 кг/м<sup>3</sup>, напрямок вітру – північно-західний, швидкість течії – 1 вузол, швидкість вітру – 5 м/с, температура води – 3 °С, температура повітря – -5 °С, густина води – 1020 кг/м<sup>3</sup>, висота хвилі – 0 м.

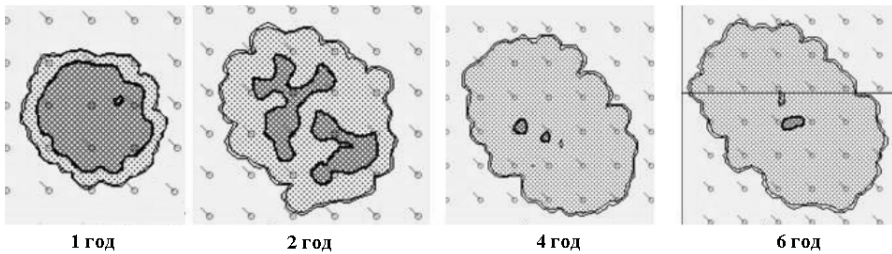


Рис. 4. Трансформація плями нафти під впливом вітру зі швидкістю 5 м/с

Результати видозміни плями під дією північно-західного вітру зі швидкістю 5 м/с представлені в табл. 1.

Таблиця 1  
Динаміка основних характеристик плями нафти під дією вітру зі швидкістю 5 м/с

Час, год	1	2	4	6
Довжина по вертикалі, м	35	46,3	56,8	61,1
Довжина по горизонталі, м	29,4	36	41,3	40
Відношення довжини по вертикалі до довжини по горизонталі, м	1,19	1,29	1,37	1,5
Площа плями, м <sup>2</sup>	733	1229	1694	1968
Максимальна товщина плями, мм	3,7	2,9	2	1,8

Аналіз отриманих даних показав, що при розливі тонни нафти форма плями досить швидко під впливом вітру перетворюється в еліпс. По мірі збільшення швидкості вітру його формування відбувається швидше. Одночасно інтенсивно утворюється емульсія. При товщині плівки близько 2 мм через 4 години при швидкості вітру 5 м/с розлита нафта повністю емульгує.

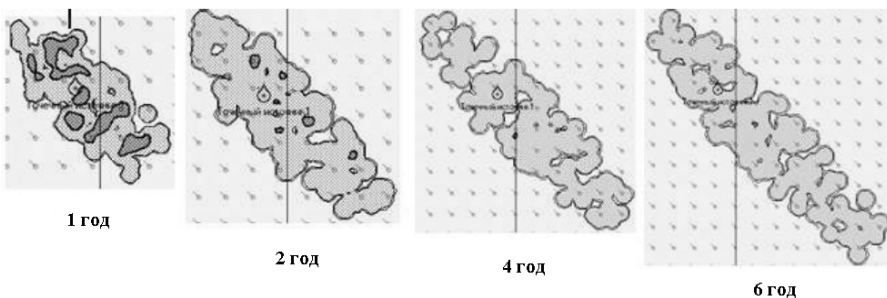


Рис. 5. Трансформація плями нафти під впливом вітру зі швидкістю 20 м/с

Результати видозміни плями під дією північно-західного вітру зі швидкістю 20 м/с представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Динаміка основних характеристик плями нафти під дією вітру зі швидкістю 20 м/с

Час, год	1	2	4	6
Довжина по вертикалі, м	58,1	96	143	148
Довжина по горизонталі, м	27,8	29,2	34,3	37,8
Відношення довжини по вертикалі до довжини по горизонталі, м	2	3,29	4,17	3,92
Площа плями, м <sup>2</sup>	1246	2190	2960	3637
Максимальна товщина плями, мм	3,4	2,3	1,6	1,17

Порівняння отриманих результатів при 5 і 20 м/с дозволяє зробити висновок, що швидкість вітру має суттєвий вплив на зміну форми плями, площу і товщину плівки, а також на швидкість утворення емульсії.

**Вплив швидкості течії.** Вплив швидкості течії, рівного 1 вузлу, на зміну форми і основних параметрів плями, що утворилася, з урахуванням часу при розливі 1 тонни нафти наводяться на рис. 6.

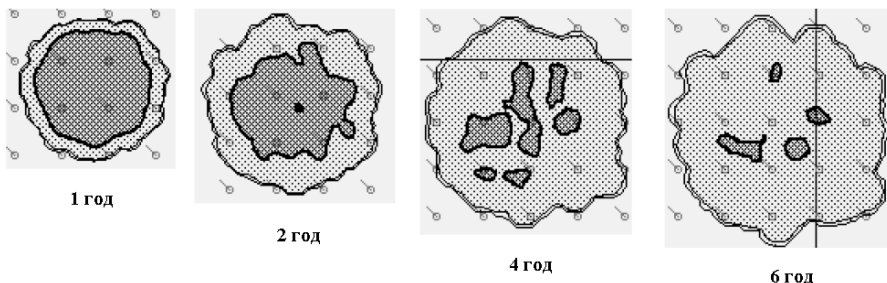


Рис. 6. Трансформація плями нафти під впливом течії зі швидкістю 1 вузол

Виконані розрахунки показали, що пляма представляє собою площу, близьку до кругоподібної форми, яка збільшується по мірі збільшення часу від моменту розливу.

Результати видозміни плями під течії зі швидкістю 1 вузол представлені в табл. 3.

Таблиця 3

Динаміка основних характеристик плями нафти під дією течії зі швидкістю 1 вузол

Час, год	1	2	4	6
Довжина по вертикалі, м	30	36,2	42,6	46,6
Довжина по горизонталі, м	30	34,9	41,5	42
Відношення довжини по вертикалі до довжини по горизонталі, м	1	1,04	1,03	1,1
Площа плями, м <sup>2</sup>	654	950	1280	1479
Максимальна товщина плями, мм	3,8	2,9	2,7	1,8

На рис. 7 представлені форми плям нафти при швидкості течії, що дорівнює 2,5 вузла, з урахуванням часу з моменту розливу.

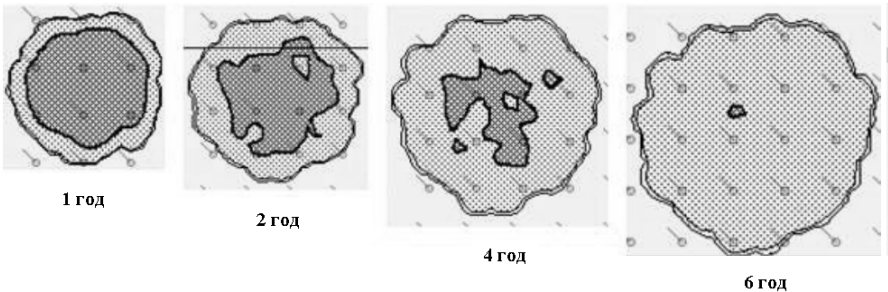


Рис. 7. Трансформація плями нафти під впливом течії зі швидкістю 2,5 вузла

Результати видозміни плями під течії зі швидкістю 2,5 вузла представлені в табл. 4.

Таблиця 4

Динаміка основних характеристик плями нафти під дією течії зі швидкістю 2,5 вузла

Час, год	1	2	4	6
Довжина по вертикалі, м	32	39	41	44,4
Довжина по горизонталі, м	31,2	36,5	40	44
Відношення довжини по вертикалі до довжини по горизонталі, м	1,03	1,07	1,02	1
Площа плями, м <sup>2</sup>	713	1025	1250	1446
Максимальна товщина плями, мм	3,9	2,4	2	1,6

Отримані дані дозволяють зробити висновок про те, що при розливі нафти в 1 т швидкість утворення емульсії мало залежить від зміни швидкості течії в зазначених межах.

Виконані аналогічні розрахунки при розливі 2 т нафти при тих же швидкостях течії морської води дали близькі кінцеві результати, що дозволяє зробити висновок про несуттєвий вплив швидкості течії на основні параметри плями розлитої нафти.

### **Вплив висоти хвилі на зміну основних параметрів плями нафти.**

Оцінку впливу висоти хвилі на зміну основних параметрів плями нафти здійснено шляхом проведення відповідних розрахунків для висот хвиль рівних 1 і 2 м. Результати показали, що висота хвилі в зазначених межах несуттєво впливає на форму плями, на зміну його форми і площі розливу, та зміну товщини плівки в часі.

Механізм утворення емульсії по суті однаковий при її утворенні від енергії вітру. Слід при цьому зазначити деякі відмінності при впливі вітру і води на межі з нафтою. Густина повітря і нафти відрізняються приблизно в 8 разів, наявність агдезії між нафтою і водою збільшує тертя між цими шарами. Цим і визначається невелика відносна швидкість нафтової плями по відношенню до водної поверхні при впливі на нього вітрового навантаження. Цим же можна пояснити утворення еліпсоподібної форми плями по мірі збільшення часу після розливу. Утворення емульсії при впливі енергії вітру пов'язано з локальними розривами нафтової плівки з наступним перемішуванням нафти з водою. Тому чим тонше плівка нафти, тим інтенсивніше йде процес емульгування [9].

На межі нафта-вода також можливе утворення емульсії, механізмом її утворення зокрема є дифузійні процеси на межі нафта-вода. Певну роль при утворенні емульсії відіграють як окремі фракції нафти (парафіни, ароматичні компоненти), так і окремі домішки, що знаходяться в нафті.

Утворені в природних умовах емульсії мають надзвичайну стійкість. Емульсії, що містять 30 – 50% води, досить летючі, а емульсії з вмістом води до 50 – 80% утворюють стійкий протягом декількох місяців мус [14].

**Вплив температури води, повітря, радіаційного опромінення та швидкості вітру на структурну зміну розлитої нафти і випаровування.** Нафта представляє собою досить складну механічну суміш фракцій, температура кипіння кожної фракції залежить від кількості атомів вуглецю в молекулі останньої. Тому при розливі нафти фракції, що містять до 8 атомів вуглецю в молекулі, досить швидко випаровуються. Швидкість випаровування, таким чином, залежить від структури нафти. Так, кувейтська нафта, якою був завантажений танкер «Горрі Каньйон», швидко втратила фракції нафти з температурою кипіння до 300 °С, при цьому її маса зменшилася більш ніж на 30%. Сира нафта Брега (Лівія) при температурі нижче 200 °С при її розливі так само інтенсивно випаровується і її маса зменшується до 35%.

Такий високий відсоток випаровування фракцій розлитої нафти пов'язаний в першу чергу з впливом енергії вітру і сонячної радіацією. При наявності вітру і хвилі з гребеня зриваються крапельки нафти, утворюючи аерозоль, яка переноситься на досить великі відстані [12, 18].

Для низькоширотних регіонів, до яких відноситься Середземно-Чорноморський басейн, значний вплив на швидкість випаровування розлитої нафти здійснює енергія сонячної радіації, особливо в весняно-літній період. При опроміненні сонячним променями нафтової плями, її температура буде

вищою температури води завдяки високому термічному опору нафти, крім того, енергія ультрафіолетової частини сонячного спектра випромінювання перевищує енергію внутрішньо молекулярних зв'язків важких фракцій нафти. При розриві останніх утворюються радикали [14] з більш низькою температурою кипіння і випаровування, що прискорює процес зростання густини решти сліка, що залишився, і його затоплення.

**Вплив нафти на екосистему моря.** При розливі нафти частини її, утворивши емульсію і занурені залишки нафти, з густиною, що перевищує густину води, можуть істотно порушувати всі екосистеми моря. Малов'язкі нафтові фракції можуть проникати через породи оболонки клітин і легко розповсюджуватись в міжклітинному просторі мікро- і макроорганізмів. Значною токсичністю володіють розчинні компоненти нафти, хоча в сирій нафті їх вміст не перевищує 0,01%. Фітотоксичний вплив нафтових забруднень зростає в наступному порядку: нерозгалужені парафіни, олефіни, циклопарафіни та ароматичні вуглеводні.

Ще більш токсичні неуглеводневі високомолекулярні речовини нафтового походження, підвищені концентрації яких характерні для забруднень після розливу нафти.

Поряд з нафтовими плівками особливу небезпеку для моря і водних організмів представляють компоненти нафти, що концентруються в поверхневому мікрошарі вод (ПМШ), товщиною близько 300 – 500 мкм. Екологічні наслідки концентрування нафти в ПМШ можуть бути особливо серйозними як в зв'язку з приуроченістю до ПМШ найбільш чутливих видів, форм і стадій розвитку багатьох гідробіонтів, так і в зв'язку з порушенням обміну енергією, вологою і газами між морем і атмосферою.

Нафтові забруднення, що потрапляють в море, розподіляються в ньому нерівномірно, концентруючись в прибережних районах, в морських організмах, на зваженій у воді речовині і в донних відкладах, на поверхнях розділів вода – атмосфера, вода – суша, вода – донні відкладення, і зонах гідрофронтів, де відбуваються найбільш активні геохімічні процеси і розвиваються рясні за чисельністю і різноманітністю форм спільноти морських організмів [11, 13, 15, 16].

### **Висновки**

Основними фізико хімічними процесами, що відбуваються з розливою нафтою на поверхні ПВО, є: випаровування, диспергування, розтікання, розчинення, окислення, емульгування, біологічне розкладання та випадіння в осад.

На поведінку розливої у ПВО нафти також суттєво впливають і зовнішні фактори, такі як: швидкість вітру, висота хвилі, швидкість течії, радіаційний теплообмін на межі плівка розливої нафти – повітря, температура води та повітря.

Встановлено, що швидкість зростання площі нафтової плями пропорційна різниці густини води і нафтопродукту, значенням температури

води і атмосфери, об'єму нафтопродукту, обернено пропорційна в'язкості нафтопродукту, висоті поверхневих хвиль, швидкості поверхневих течій і приводного вітру.

1. Manual on Oil Pollution: Combating oil spills / International Maritime Organization. – Exeter: Polestar Wheatons, 2005 – 212 p.
2. Oil Spill Monitoring Handbook / edited by: S. Hook, G. Batley, M. Holloway, P. Irving, A. Ross. – Canberra: CSIRO. – 288 p.
3. Ковач В.О. Аналіз надзвичайних ситуацій, пов'язаних із розливами нафти внаслідок аварій танкерів та інших суден / В.О. Ковач // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ ім Г.Є. Пухова НАН України. – Вип. 77. – К.: 2016. – С.73-82.
4. Техника и технологии локализации и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов: справочник / И.А. Мерициди, В.Н. Ивановский, А.Н. Прохоров и др.; под ред. И.А. Мерициди. – СПб.: НПО «Профессионал», 2008. – 824 с.
5. Воробьев Ю.Л. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. – 2-е изд., стереотипное / Ю.Л. Воробьев, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов. – М.: Институт риска и безопасности, 2007. – 368 с.
6. Мартынюк В.Ф. Защита окружающей среды в чрезвычайных ситуациях: учеб. пособ. для вузов / В.Ф. Мартынюк, Б.Е. Прусенко. – М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им И.М. Губкина, 2003. – 336 с.
7. Егоров А.Ф. Анализ риска, оценка последствий аварий и управление безопасностью химических, нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств / А.Ф. Егоров, Т.В. Савицкая. – М.: КолосС, 2010. – 526 с.
8. Альхименко А.И. Охрана среды при освоении ресурсов Мирового океана / А.И. Альхименко. – Л.: Судостроение, 1982. – 120 с.
9. Матишов Г.Г. Научно-методические подходы к оценке воздействия газонефтедобычи на экосистемы морей Арктики (на примере Штокмановского проекта) / Г.Г. Матишов, Б.А. Никитин и др. – Апатиты: КНЦ РАН, 1997. – 393 с.
10. Биненко В.И. Чрезвычайные ситуации в современном мире и проблемы безопасности жизнедеятельности / В.И. Биненко, Г.Н. Храмов, В.В. Яковлев. – СПб.: СПбГПУ, 2004. – 400 с.
11. Гриценко А.И. Экология. Нефть и газ / А.И. Гриценко, Г.С. Аكوпова, В.М. Максимов. – М.: Наука, 1997. – 598 с.
12. Вылкован А.И. Современные методы и средства борьбы с разливами нефти: научно-практическое пособие / А.И. Вылкован, Л.С. Венцюлис, В.М. Зайцев, В.Д. Филатов – СПб.: Центр-Техинформ, 2000. – 204 с.
13. Яковлев В.В. Нефть, газ, последствия аварийных ситуаций / В.В. Яковлев. – СПб.: СПбГПУ, 2003. – 414 с.
14. Маценко С.В. Ликвидация разливов нефти и нефтепродуктов на море и внутренних акваториях. Расчет достаточности сил и средств: методические рекомендации / С.В. Маценко, Г.Г. Волков, Т.А. Волкова.– Новороссийск: МГА им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2009. – 78 с.
15. Кесельман Г.С. Защита окружающей среды при добыче, транспорте и хранении нефти и газа / Г.С. Кесельман, Э.А. Махмудбеков. – М.: Недра, 1981. – 256 с.
16. Нунупаров С.М. Предотвращение загрязнения моря с судов / С.М. Нунупаров. – М.: Транспорт, 1985. – 288 с.
17. Курносов А.Д. Защита внутренних водных путей и прибрежного шельфа морей от загрязнения нефтью и нефтепродуктами: учеб. пособие / А.Д. Курносов; под ред.

- В.А. Седых. – Новосибирск: Сибирское Соглашение, 2005. – 248 с.
18. *Кормак Д.* Борьба с загрязнением моря нефтью и химическими веществами / Д. Кормак; пер. с англ. А. Я. Державца. – М.: Транспорт, 1989. – 365 с.
19. *Нельсон-Смит А.* Нефть и экология моря / А. Нельсон-Смит; пер. с англ. под ред. Симонова А.И. – М.: Прогресс, 1977. – 302 с.
20. *Fingas M.* The Basics of Oil Spill Cleanup / M. Fingas. – New York: CRC Press Published, 2012. – 286 p.
21. *Doerffer J.W.* Oil Spill Response in the Marine Environment / J.W. Doerffer. – Oxford: Pergamon Press, 1992. – 391 p.
22. *Davidson W.* Oil Spill Response: A Global Perspective / W. Davidson, K. Lee, A. Cogswell. – Berlin: Springer Science & Business Media, 2008. – 365 p.
23. *Fay J.A.* Physical processes in the spread of oil on a water surface / J.A. Fay // Proceedings of Joint Conference On Prevention And Control Of Oil Spills. – Washington, D.C.: The American Petroleum Institute, 1971. – P.463-467.
24. *Weisberg R.* Tracking subsurface oil in the aftermath of the Deepwater Horizon well blowout / R. Weisberg, L. Zheng, Y. Liu // Monitoring and Modeling the Deepwater Horizon Oil Spill: A Record-Breaking Enterprise. – Washington, D.C.: American Geophysical Union, 2011. – P.205-215.
25. *Popov O.O.* Informational and technical methods of environmental monitoring in condition of technogenic emergency situation / М.М. Diviziniuk, О.О. Popov, V.O. Kovach, O.V. Bliashenko, K.V. Smetanin // Системи обробки інформації. – 2015. – Вип. 10(135). – С.182-186.
26. *Попов О.О.* Нові методи моніторингу довкілля для попередження техногенних надзвичайних ситуацій / О.О. Попов, В.О. Ковач, А.В. Яцишин, С.О. Бурлака // Техногенна безпека та цивільний захист. – 2015. – № 9. – С.116-123.
27. *Попов О.О.* Інформаційно-технічні методи попередження надзвичайних ситуацій на техногенних об'єктах / Ю.Ю. Гончаренко, О.О. Попов, В.О. Ковач, С.О. Бурлака // Захиста інформації. – 2016. – Вип. 22. – С.122-134.
28. *Гончаренко Ю.Ю.* Інформаційно-технічний метод попередження надзвичайних ситуацій терористичного характеру на критично важливих об'єктах / Ю.Ю. Гончаренко, О.О. Попов, О.М. Мірошник, С.О. Бурлака // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ ім Г.С. Пухова НАН України. – Вип. 76. – К.: 2016. – С.52-59.
29. *Попов О.О.* Можливості використання експертних методів та систем для попередження надзвичайних ситуацій на критично важливих об'єктах / О.О. Попов, В.О. Ковач, А.В. Яцишин, М.В. Малков, С.О. Бурлака // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ ім Г.С. Пухова НАН України. – Вип. 77. – К.: 2016. – С.41-54.
30. *Berridge S.A.* The properties of persistent oil at sea / S.A. Berridge, R.A. Dean, R.G. Fallows, A. Fish. – London: Institute of Petroleum, 1968. – 300 p.
31. *Dennis J.V.* Oil pollution survey of the United States Atlantic coast / J.V. Dennis. – Washington: American Petroleum Institute, 1959. – 85 p.
32. Environmental Effects of Oil Spills [Електронний ресурс] / Сайт «The International Tanker Owners Pollution Federation Limited». – Режим доступу: <http://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/environmental-effects/>. – Дата доступу 01.10.2018. – Загол. з екрану
33. *Baker J.M.* Comparative toxicities of oils, oil fractions and emulsifiers / J.M. Baker // The Ecological Effects Of Oil Pollution On Littoral Communities. – 1970. – P.78-87.

*Поступила 24.08.2018р.*