

УДК 665

## ПРОБЛЕМА ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНИХ ВОДОЙМ, ЗАБРУДНЕНИХ СТИЧНИМИ ВОДАМИ ОБ'ЄКТІВ СФЕРИ НАФТОПРОДУКТОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

*С. В. Бойченко*, д-р техн. наук, проф.; *Л. М. Черняк*, канд. техн. наук, доц.;  
*М. М. Радомська*, канд. техн. наук, доц.; *А. В. Бондарук*

Національний авіаційний університет  
Bondaruk-anastasia@ukr.net

*Наведено особливості забруднення нафтою водних екосистем та розглянуто способи очищення водойм шляхом використання сорбентів. Проведено порівняльний аналіз найбільш широко використовуваних неорганічних, синтетичних, природних органічних та органо-мінеральних сорбентів.*

**Ключові слова:** поверхневі води, забруднення водних екосистем, нафтопродукти, стічні води, методи очистки, сорбенти.

*The peculiarities of oil pollution of aquatic ecosystems are considered and methods of polluted waters treatment with sorbents are discussed. A comparative analysis of the most widely used inorganic, synthetic, natural organic and organic sorbents is conducted.*

**Keywords:** surface water, pollution of aquatic ecosystems, petrochemicals, wastewater, treatment methods, sorbents.

### Вступ

Нафта і нафтопродукти натеper є одними з найнебезпечніших забруднювачів природних водойм. Широке та різноманітне застосування нафтопродуктів призводить до того, що стічні води майже всіх промислових і транспортних підприємств у різних кількостях містять нафтові забруднення. Особливо великі об'єми забруднених нафтопродуктами вод утворюються при експлуатації систем охолодження нафтопереробних заводів.

Не менш важливою проблемою є створення простих, доступних та надійних методів контролю нафтопродуктів у водоймах. Відсутність цих методів значною мірою стримує вирішення проблеми очищення водойм від нафтопродуктів.

### Постановка проблеми

Запобігання потраплянню нафтопродуктів у навколишнє середовище шляхом знешкодження стічних водойм є одним з заходів, спрямованих на посилення екологічної безпеки держави. Існуючі технології очищення водойм від нафтопродуктів не повністю відповідають сучасним вимогам. Процеси відділення органічних домішок в нафтовловлювачах характеризуються невисокою продуктивністю та ефективністю. Фізично-хімічні методи потребують застосування

дорогих матеріалів та реагентів, значних енергетичних затрат. Застосування сорбентів значною мірою обмежується складністю процесів відновлення їх ємності. Тому існує необхідність вдосконалити існуючі методи очищення водойм від нафтопродуктів, створення нових підходів до вирішення проблеми [1].

### Аналіз досліджень і публікацій

Проблема забруднення природних водойм нафтою та нафтопродуктами та їх знешкодження у водних екосистемах з застосуванням сорбентів є комплексною темою, що висвітлена у наукових працях таких учених і практиків, як: Г. О. Білявський, О. П. Хохотва, А. В. Шеметова, О. В. Кравченко, О. М. Бугаєнко, А. В. Хохлова. Однак цей напрямок досліджень залишається актуальним і сьогодні, особливо в умовах надзвичайно високого рівня забруднення водних екосистем.

Негативні наслідки діяльності нафтопереробних заводів та інших об'єктів нафтового комплексу можуть поширюватись на поверхневі, ґрунтові та підземні води. Забруднення формується безпосередньо за рахунок нафтопродуктів, що зберігаються на території підприємств, а також через стічні та зливові води, забруднені ними. Аналіз виробничих даних дозволяє виділити такі основні шляхи надходження нафтопродуктів

у водні об'єкти: витоки з резервуарів для зберігання продукції, складів, відстійників, лінійних комунікацій, призначених для переміщення нафтопродуктів у межах складів або від резервуарів до пунктів видачі, з системи збирання стічних вод, а також міграція забруднювачів з поверхневих водних об'єктів в підземні і навпаки. Варто відзначити, що основним напрямком переносу забруднення з підземних у поверхневі води є: забруднення через витоки крізь порушення ізоляції резервуарів та трубопроводів часто важко виявити та контролювати; стічні води, що містять забруднення, також, в першу чергу, потрапляють у підземні й ґрунтові води.

Якщо забруднення підземних, ґрунтових вод унаслідок витоків з резервуарної ділянки можна уникнути встановленням сучасного обладнання, то втрати на лінійній частині є невід'ємною частиною діяльності підприємств даного типу. Тут втрати нафтопродуктів відбуваються через ущільнення засувок та компенсаторів, внаслідок аварій, а також через отвори ізоляції, які виникають під дією корозії. Систематичні аварії, зумовлені зменшенням товщини та перфорацією стінок трубопроводів, є характерними при тривалій експлуатації. Хоча втрати через отвори в стінках трубопроводів незначні, для всього трубопроводу вони можуть досягати 50 % загальних втрат [2].

### **Нафта та нафтопродукти як забруднювачі біосфери**

Небезпечність нафтопродуктів як техногенних забруднювачів зумовлюється здатністю вуглеводнів утворювати токсичні сполуки у ґрунтах, поверхневих та підземних водах. У ґрунтах забруднених нафтою та нафтопродуктами порушується екологічна рівновага в ґрунтовій системі, відбувається зміна морфологічних та фізико-хімічних характеристик ґрунтових горизонтів, змінюються водно-фізичні властивості ґрунтів, порушується співвідношення між окремими фракціями органічної речовини ґрунту, знижується продуктивність земель тощо. Внаслідок цього погіршується водний, повітряний та поживний режим, порушується кореневе живлення рослин, гальмується їх ріст і розвиток, що спричиняє загибель [3].

Поступове збільшення концентрації нафтопродуктів на поверхні ґрунту сукупно з процесами випаровування та розкладання їх летких фракцій призводить до накопичення вуглеводнів, що важко розкладаються, таких як тверді парафіни, циклічні та ароматичні вуглеводні, смоли й асфальтени, які закупорюють пори ґрунтового покриву.

Особливої шкоди водоймам завдають нафта й нафтопродукти, які утворюють на поверхні води плівку, що перешкоджає газообмінові між водою та атмосферою й знижує вміст у воді кисню. У результаті розливу 1 т нафти плівкою покривається 12 км<sup>2</sup> води. Згустки мазуту, осідаючи на дно, вбивають донні мікроорганізми, які беруть участь у процесі самоочищення води. Внаслідок гниття донних осадів, забруднених органічними речовинами, виділяються шкідливі сполуки, зокрема сірководень, що отруюють усю воду в річці чи в озері [4].

### **Особливості забруднення нафтою водних екосистем**

Нафта та нафтопродукти являють собою суміш надзвичайно токсичних вуглеводнів, які можуть перебувати у різних міграційних формах. Так, у воді нафтопродукти можуть піддаватися одному з таких процесів: асиміляції водними організмами, седиментації, емульгуванню, утворенню нафтових агрегатів, окисленню, розчиненню і випаровуванню. Спосіб та інтенсивність трансформації нафтопродуктів у водних об'єктах залежить від способу їх потрапляння у водойми, відстані від пунктів скиду забруднених стічних вод, особливостей гідрохімічного режиму водойм. При цьому змінюється забарвлення, смак, запах, в'язкість води, поверхневий натяг, зменшується вміст кисню, з'являються шкідливі органічні речовини, вода здобуває токсичні властивості і становить загрозу не тільки для людини.

У цілому, еволюція забруднення води нафтопродуктами залежить від їх складу, температури, солоності і кислотності середовища води, які визначають шлях і кінетику розпаду органічних речовин. Так, у підземних водах внаслідок більш низьких температур, меншого вмісту кисню і мікроорганізмів основними способами самоочищення є сорбція та іонний обмін з оточуючими породами. А при забрудненні поверхневих водойм нафтопродукти розтікаються по поверхні води і формують плівку, з якої поступово виводяться легкі фракції за рахунок випаровування (протягом кількох днів виносяться 25 % плями), а низькомолекулярні компоненти виводяться з плями в результаті розчинення [5–7].

Після видалення летких і розчинних речовин залишкова фракція утворює емульсії двох типів: прямі — «нафта у воді» (якщо забруднення нафтопродуктами доповнюється стічними водами з ПАР) і зворотні — «вода в нафті». В'язкі зворотні емульсії стабілізуються високомолекулярними сполуками типу смол і асфальтенів та під впливом абіотичних процесів злипаються в агрегати розмірами від 1 мм до 10 см, які довго зберігаються у воді.

Втрати на формування агрегатів — 5–10 % нафтопродукту [6]. Одночасно частина важкої фракції осідає на дно, легші компоненти сорбуються на твердих частинках і теж осідають, нагромаджуючись в донних відкладах. Під впливом гідрометеорологічних чинників вони можуть знову перейти в товщу води, діючи як вторинне джерело забруднення [5].

Важливою особливістю забруднення нафтопродуктами є здатність концентрувати інші забруднення, наприклад, важкі метали і пестициди, та формувати умови для протікання різноманітних хімічних реакцій, коли плівка нафтопродукту розподіляється на великій площі [6].

Процеси біодеградації нафтопродуктів у поверхневих водоймах відбуваються, на відміну від хімічної деградації, не інтенсивно і торкаються лише нелетких розчинних компонентів з розгалуженою структурою або високим ступенем заміщеності [5]. Що стосується впливу нафтопродуктів на водні екосистеми загалом, то відмічаються і позитивні, і негативні наслідки [7]. З одного боку, формуються своєрідні донні угруповання зі складною структурою, підвищеною різноманітністю і продуктивністю за рахунок легкосасвоюваної органіки. А більш токсичні компоненти палив викликають утворення угруповань з низькою різноманітністю, спрощеною структурою і зниженою продуктивністю донних ценозів [7].

Загальну дію нафти на живі організми можна розділити на 5 категорій:

1. Безпосереднє отруєння з летальним результатом.
2. Серйозні порушення фізіологічної активності.
3. Ефект прямого обволікання живого організму нафтопродуктами.
4. Хворобливі зміни, викликані впровадженням вуглеводнів в організм.
5. Зміни в біологічні особливості середовища проживання.

Особливістю нафтових забруднень є здатність захоплювати і концентрувати важкі метали, пестициди. Коли нафта розливається на великій площі, то велика вірогідність протікання різних реакцій, так як розчинені в нафті речовини отримують можливість брати участь у різних хімічних процесах.

### **Проблема очищення стічних вод від нафтопродуктів**

На сьогодні очистку поверхневих вод від нафти та вуглеводнів здійснюють, застосовуючи механічні, фізично-хімічні та біохімічні методи очищення. У такому цільовому використанні вказані методи мають ряд суттєвих недоліків. Хімічні методи передбачають уведення у воду

хімічних реагентів. У результаті хімічних реакцій, які відбуваються в процесі очищення, стає можливим утворення токсичніших речовин, ніж вихідні. Механічні методи видаляють лише нафту на поверхні та нафтошлами. Емульгована та розчинна нафта не вилучається, тому таке очищення малоефективне. Флотаційне очищення передбачає введення у воду ПАР, що збільшують розміри емульгованих частинок, унаслідок чого відбувається додаткове забруднення води. Біологічне окислення можна ефективно використовувати за низьких концентрацій нафти у поверхневій воді, лише в певному інтервалі рН та температур [8]. З усіх спеціальних методів очищення води адсорбційні методи є простішими, доступнішими та ефективнішими.

Найбільш доцільним методом для видалення нафтових забруднювачів вважається метод адсорбційної очистки з використанням адсорбентів різного типу. Перевагами методу є висока ефективність, різноманітність форм (гранули, волокна тощо) та широкий спектр видів адсорбентів, що можуть забезпечити очищення води до будь-якого потрібного рівня.

Зараз у світі нараховується близько 200 видів сорбентів для ліквідації нафтового забруднення, які можна класифікувати за різними ознаками: за походженням (сировиною), дисперсністю, призначенням, за переважним способом утилізації. Якість сорбентів визначається переважно за їх ємністю відносно нафти, ступенем гідрофобності, плавучістю після сорбції нафти чи нафтопродуктів, можливістю десорбції, регенерації чи утилізації сорбенту.

Для визначення якості нафтових сорбентів використовують три основних показника: нафтопоглинання, водопоглинання та ступінь віджиму нафти. У процесі поглинання нафти волокна сорбентів здатні розсуватися, створюючи специфічну структуру, яка після збирання нафтопродукту починає поступово стискатися під дією сили тяжіння і відціджувати до 90 % зібраного нафтопродукту.

Як неорганічні сорбенти (табл. 1) використовують відходи виробництва і матеріали природного походження. Для них характерна низька вартість і можливість великотоннажного виробництва. З іншого боку, якість неорганічних сорбентів неприйнятна з погляду екологічних критеріїв. Передусім вони мають дуже низьку ємність (70–150 % по нафті) і абсолютно не утримують легкі фракції бензину, гасу, дизельного палива. При ліквідації розливів нафтопродуктів на воді неорганічні сорбенти тонуть разом з поглинутою речовиною, не вирішуючи проблеми очищення води від забруднень.

Практично єдиними методами утилізації цих сорбентів є їх промивання екстрагентами або водою з поверхнево-активними речовинами, а також випалювання [9].

Синтетичні сорбенти (табл. 2) виготовляють на основі віскози, гідратцелюлози, пінополіуретану, поліпропіленових волокон. Найчастіше їх використовують в країнах з високорозвинутою нафтохімічною промисловістю.

Як показують дані табл. 2, всі волокнисті сорбенти характеризуються високим ступенем віджиму поглиненої нафти. Недоліком сорбентів з волокнистою структурою є досить високе водопоглинання, що обумовлено низькою гідрофобністю поверхні. Даний недолік може бути усунутий уведенням спеціальних гідрофобізуючих добавок.

Подрібнення сорбційного матеріалу є найбільш простим способом збільшення площі його поверхні і поглинальної здатності по відношенню до нафти і нафтопродуктах. Межа подрібнення нафтових сорбентів залежить від природи використовуваного матеріалу, складу і становить не менше 0,1 мкм. Синтетичні матеріали мають високу нафтоємність. Проте, більшість синтетичних матеріалів є токсичними (що обмежує їх використання у вигляді тонких порошків), особливо у випадку загоряння.

Органічні та органо-мінеральні сорбенти (табл. 3) на сьогодні вважаються найбільш перспективними.

Найчастіше використовують деревну тріску і тирсу, модифікований торф, шерсть, макулатуру, відходи виробництва льону тощо.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика різних видів неорганічних сорбентів

Неорганічний сорбент	Нафтопоглинання, г/г	Водопоглинання, г/г	Ступінь віджиму нафти, %
Спінений нікель	2,9	3	0
Графіт модифікований	40,0–60,0	0,5–10,0	10,0–65,0
Перліт	5,0–7,0	0,5	0
Скловолокно	5,4	1,7	60

Таблиця 2

Порівняльна характеристика різних видів синтетичних сорбентів

Синтетичний сорбент	Нафтопоглинання, г/г	Водопоглинання, г/г	Ступінь віджиму нафти, %
Пінополістирол: волокно	7,0–12,0	6,0–11,5	80–90
Поліпропілен: волокно	12,0–40,0	1,0–6,0	40,0–80,0
Шини подрібнені	3,6	7,2	55

Таблиця 3

Порівняльна характеристика різних видів органічних сорбентів

Органічний сорбент	Нафтопоглинання, г/г	Водопоглинання, г/г	Ступінь віджиму нафти, %
Січка з листя очерету	6,1	4,6	31
Пшенична солома	4,1	4,3	36
Лушпиння з гречки	3,0–3,5	2,2	44
Сухий мох	3,5–5,8	3,1–3,5	–
Шерсть	8,0–10,0	4,5	87
Тирса	1,7	4,3	10,0–20,0
Торф	17,7	24,3	74

Основними перевагами таких сорбентів є екологічна чистота та безпечність, широка сировинна база, висока нафтоємність порівняно з високою вартістю [10].

### Висновок

У результаті інтенсивного використання людством водних ресурсів відбуваються кількісні і якісні зміни гідросфери. На сьогодні в країні зовсім не залишилось поверхневих водойм, які за

екологічним станом можна віднести до водойм першої категорії. Вагомий внесок у забруднення водної екосистеми вносять нафтопродукти, що призводять до надзвичайно критичного стану природно-територіальних комплексів.

У результаті забруднення відбувається різке погіршення якості води у водних об'єктах, природні водоймища втрачають здатність до самоочищення. Серед методів очищення водойм від нафтопродуктів перевагу слід надати органічним та органо-мінеральним сорбентами, враховуючи їх екологічну чистоту та безпечність, широку сировинну базу, високу нафтоємність порівняно з невисокою вартістю.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Автореф. дис... канд. техн. наук: 21.06.01 / О. П. Хохотва; Нац. техн. ун-т України «КПІ».* — К., 2004. — 20 с.
2. *Франчук Г. М. Аналіз даних про токсичність паливно-мастильних матеріалів для людини / Г. М. Франчук, М. М. Николяк // Вісник НАУ.* — 2007. — №3—4(33). — С. 54—58.
3. *Овчинникова И. Н. Экологический риск и загрязнение почв / И. Н. Овчинникова.* — М., 2003. — 364 с.
4. *Білявський Г. О. Основи екології: підручник / Г. О. Білявський, Р. С. Фурдуй, І. Ю. Костіков.* — 2-ге вид. — К.: Либідь, 2005. — 408 с.
5. *Lushnikov S. V. Oil Decontamination of Bottom Sediments Experimental Work Results / S. V. Lushnikov, Y. A. Frank, D. S. Vorobyov // Earth Sciences Research Journal.* — 2006. — Vol. 10. — № 1. — 2006. — P. 35—40.
6. *Дмитриев Е. А. Миграция нефтепродуктов в системе вода – донные отложения / Е. А. Дмитриев, М. С. Коваленко, Т. В. Шевченко // Экотехнология и ресурсосбережение.* — 2004. — №4. — С. 58—61.
7. *Ішук Ю. Л. Біорозщеплюваність нафтопродуктів і проблеми біосфери / Ю. Л. Ішук, Є. В. Кобилянський, Б. Ф. Кочірко // Нафтова і газова промисловість.* — 2004. — № 1. — С. 57—60.
8. *Стан довкілля в Україні. Інформаційно-аналітичний огляд. [Електронний ресурс] / Міністерство охорони навколишнього природного середовища України.* — 2008. — Режим доступу : <http://iac-menr.rgdata.com.ua>
9. *Неорганические адсорбенты из техногенных отходов для очистки сточных водпромышленных предприятий / В. Д. Гладун, Н. Н. Андреева, Л. В. Акатьева, О. Г. Драгина // Экология и промышленность.* — 2007. — № 5. — 20 с.
10. *Хлесткин Р.Н. Ликвидация разливов нефти при помощи органических сорбентов / Р. Н. Хлесткин, Н. А. Самойлов, А. В. Шеметов // Нефтяное хозяйство.* — 2006. — № 2. — С. 46—49.

### REFERENCES

1. *Thesis for the candidate of engineering sciences: 21.06.01 / O. P. Hohotva; National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute".* — K., 2004. — 20 p.
2. *Franchuk G.M. The analysis of fuels and lubricants human toxicity / G. M. Franchuk, M. M. Nykolyak. // NAU Proceedings.* — 2007. — № 3—4(33). — P. 54—58.
3. *Ovchinnikova I. N. Environmental risk and soil pollution / I. N. Ovchinnikova.* — M., 2003. — 364 c.
4. *Belyavskaya G. A. Fundamentals of Ecology: manual / G. A. Belyavskaya, R. S. Furdui, I. J. Kostikov.* — 2-nd ed. — K.: Lybed, 2005. — 408 p.
5. *Lushnikov S. V. Oil Decontamination of Bottom Sediments Experimental Work Results / S. V. Lushnikov, Y. A. Frank, D. S. Vorobyov // Earth Sciences Research Journal.* — 2006. — Vol. 10. — №1. — 2006. — P. 35—40.
6. *Dmitriev E. A. Migration of petrochemicals in the system "water-bottom sediments" / E. A. Dmitriev, M. S. Kovalenko, T. V. Shevchenko // Ecotechnology and resources conservation.* — 2004. — №4. — P. 58—61.
7. *Ishchuk Iu. L. Biodegradation of petrochemicals and problems of biosphere / Iu. L. Ishchuk, Ie. V. Kobylanskyi, B. F. Kochirko // Oil and gas industry.* — 2004. — №1. — P. 57—60.
8. *The environmental situation in Ukraine. Information-analytical review. [Electronic resource] / Ministry of Environmental Protection of Ukraine.* — 2008. — Mode of access: <http://iac-menr.rgdata.com.ua>
9. *Inorganic adsorbents from industrial wastes for sewage treatment, industrial enterprises / V. D. Gladun, N. N. Andreeva, L. V. Akateva, O. G. Dragina // Ecology and industry.* — 2007. — № 5. — 20 p.
10. *Hlestkin R. N. Oil spill liquidation with organic sorbents / R. N. Hlestkin, N. A. Samoilov, A. V. Shemetov // Oil industry.* — 2006. — № 2. — P. 46—49.

Стаття надійшла до редакції 18.11.2015