

Міністерство освіти і науки України
Чернівецький національний університет
Імені Юрія Федьковича

Навчально-науковий інститут біології, хімії та біоресурсів
Кафедра екології та біомоніторингу

**Ефективність застосування нафтосорбентів природного
походження**

Магістерська робота
Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Виконав:
студент 6 курсу 603 групи
спеціальності 101 Екологія
Максим ЛАРІН
Науковий керівник: доцент кафедри
екології та біомоніторингу, к.б.н.
Ірина СИТНІКОВА
Рецензент:

До захисту допущено:
Протокол засідання кафедри № ____
від «__» _____ 2022 р.
зав. кафедри _____ проф. Марія ФЕДОРЯК

Чернівці – 2022

АНОТАЦІЯ

Робота виконана на кафедрі екології та і бомоніторингу Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича протягом 2021-2022 років.

У роботі проаналізовано показники якості нафтових природних сорбентів: перліту, деревної тирси, активованого вугілля та біосорбенту «Еконадін». Визначено нафто- і водоємність сорбентів у статичних умовах, сорбційну здатність нафти з водної поверхності, плавучість, насипну густину. Розрахована економічна ефективність застосування досліджених сорбентів. Вивчено здатність сорбентів до очищення нафтового забруднення у морській і річковій воді та залежно від часу контакту сорбенту та нафти.

Робота викладена на 37 сторінках друкованого тексту. Результати досліджень представлені у таблиці та 12 рисунках. Список використаної літератури налічує 52 джерела у тому числі 42 іноземних.

Ключові слова: сорбенти, нафтове забруднення води, перліт, активоване вугілля, деревна тирса, біопрепарат «Еконадін», нафтоємність, водоємність, плавучість, насипна густина, морська та річкова вода.

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів наукових досліджень інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Вікторія ЛЕВЧЕНКО

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	
1.1. Небезпечність забруднення середовища нафтою та нафтопродуктами.....	5
1.2. Застосування природних сорбентів для очищення нафтових забруднень.....	7
1.3. Хімічний склад і фізичні властивості нафти.....	11
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	
2.1. Методи дослідження.....	14
2.2. Характеристика нафти та досліджуваних сорбентів.....	16
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ.	19
ВИСНОВКИ.....	31
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	32
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Одним з найнебезпечніших забруднювачів природних вод нафта і нафтопродукти займають одне з провідних місць. Забруднення водного середовища відбувається через активне видобування та транспортування нафтопродуктів, що обумовлено попитом на нього, а також при зберіганні на території підприємств, через стічні та зливові води, які ними забруднені. Нафта та нафтопродукти – це складна суміш вуглеводнів та їх похідних. До складу нафти входять переважно вуглеводні (до 98 %), сірка, кисень, азот в кількості 0,5...8 % та незначна кількість мінеральних домішок (не менше 0,02...0,03 % за масою): хром, нікель, залізо, кобальт, магній тощо (Судук, 2020).

Сорбційне очищення – один з ефективних методів, що застосовують для видалення нафтових забруднювачів з водної поверхні. Продукти, які застосовуються для збору нафти і нафтопродуктів з водної площини, зазвичай називають нафтовими сорбентами. Рівень якості даних матеріалів встановлюється, основними показниками, їх ємністю за відношенням до нафти, ступенем гідрофобності, плавучістю після сорбції нафти або нафтопродуктів, можливістю десорбції, регенерації або утилізації сорбенту. Також, важливе значення відіграє ціна закупівлі нафтопоглиначів (Wahi et al., 2013). Кількість сорбційних матеріалів різного походження у світі досить різноманітна. На даний момент, серед усіх типів сорбентів більш широкого практичного застосування набули органічні та органо-мінеральні сорбенти. Крім активованого вугілля, цеолітів і природних глин, найчастіше використовують деревну тріску та мілкі деревинні залишки, модифікований торф, соломку, вовну, макулатуру, відходи виробництва льону тощо. Також досить високого рівня застосування набули сорбенти на основі рослинної і тваринної сировини. Як матеріали для створення такого типу сорбентів використовують шкаралупу гречки, соняшника, вівса, рису, грецького горіха, кукурудзяні відходи, сіно, опале листя, відходи від шкіряного та хутрового виробництва, хітин (Vasilyeva et al., 2022). Головними перевагами цих сорбентів – їх екологічна чистота, велика сировинна база, висока гідрофобність і

нафтоємність при цьому вони мають низьку вартість при закупівлі.

Мета роботи – з'ясувати ефективність застосування природних сорбентів нафти шляхом аналізу показників їх якості.

Для досягнення мети поставлені такі **завдання**:

1. вивчити водо- та нафтопоглинальну здатність сорбентів природного походження;
2. дослідити нафтоємність сорбентів при очищенні водної поверхні від нафти;
3. визначити фізико-механічні показники досліджених сорбентів;
4. з'ясувати економічну ефективність застосування сорбентів природного походження при очищенні поверхневих вод від забруднення нафтою;
5. порівняти якість очищення прісної та морської води сорбентами природного походження.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Небезпечність забруднення середовища нафтою та нафтопродуктами

Нерівномірний розподіл нафти в світі і залежність багатьох країн від цього ресурсу сприяють її торгівлі. Імпортування нафти, з одного боку, несе економічну вигоду країнам, які мають великі запаси цієї речовини, а з іншого – призводить до збільшення транспортування нафти водними шляхами. Забруднення водних екосистем під час перевезення через пошкодження танкерів, розлив нафти призводить до екологічних катастроф (Орловський та ін. 2022).

Значна кількість нафти знаходиться у покладах під морським дном. Складність видобування даного продукту з морського дна призводить до аварій під час видобування і призводить до частих розливів нафти у морське середовище (Геворгян та ін., 2021).

Розливи нафти викликають порушення екологічного балансу і стабільної роботи біологічних систем і технологічних засобів. Найнебезпечніше забруднення нафтою гідросфери через ймовірність поширення розливу на великі території. Нафтові забруднення здійснюють токсичну дію на живі організми. Ряд авторів зазначають, що допустима норма нафти та нафтопродуктів у воді становить від $0,05 \text{ мг/дм}^3$ до $0,1\text{--}0,3 \text{ мг/дм}^3$, що залежить від характеру застосування вод.

Будь-який розлив нафти у водне середовище призводить до екологічної катастрофи. Розливи нафти викликають занепокоєння через величезні економічні втрати та довгострокову, значну шкоду морським екосистемам, місцевій економіці та прибережному суспільству та громаді (Zamparas et al., 2020). Вони погіршують розвиток таких галузей економіки як рибальство, аквакультура та туризм, завдають значної шкоди морським екологічним ресурсам.

У водному середовищі нафта та продукти її переробки нафтопродукти розтікаються по поверхні води, зазнаючи при цьому хімічних і фізичних змін.

Зокрема, можуть піддаватися одному з таких процесів: асиміляції водними організмами, седиментації, емульгації, утворенню нафтових агрегатів, окисненню, розчиненню і випаровуванню; Українець та ін., 2019). Спосіб та інтенсивність трансформаційних змін нафтопродуктів у водних об'єктах залежать від шляхів їх надходження та особливостей гідрохімічних і гідрометеорологічних умов.

Відомо, що швидкість розповсюдження розливу нафти поверхнею води залежить від швидкості течії, температури води та швидкості вітру. Так, швидкість переміщення нафтових плям становить 60 % швидкості течії і 2–4 % швидкості вітру (Матіюк, Грубінко, 2019).

Надходячи у природні води нафта і нафтопродукти створюють плівку на поверхні, що ускладнює газообмін та біологічні процеси самоочищення. Відомо, що плівка дизельного пального товщиною 0,1 мм сповільнює газообмін кисню, і це негативно діє на гідробіоту і, навіть, призводить до її загибелі (Кириченко, Мальований, 2009). Крім того, особливу небезпеку становлять ароматичні та поліциклічні вуглеводні нафтопродуктів, які потрапляють у питну воду. Під час її бактеріальної дезактивації газоподібним хлором утворюються поліхлорпохідні та діоксини, які токсичніші, ніж самі вуглеводні.

Витік з природних родовищ – один з основних способів впливу сирової нафти на навколишнє середовище. Такі забруднення особливо небезпечні, тому, що вони не контролюються. Вони критично впливають на прибережні ґрунти та водну фауну, тому потребує швидкого реагування і усунення (Shin et al., 2020; Kukfisz, 2018).

Нафтопродукти – найпоширеніші і найнебезпечніші техногенні забруднювачі довкілля. Вони здатні утворювати токсичні сполуки у ґрунтах, поверхневих і підземних водах. Особливої актуальності цей вид забруднення має на нафтопереробних і видобувальних підприємствах. Складність даної проблеми відбувається через: сорбцію нафти на водній поверхні, ґрунті, що ускладнює їх видалення, загрозу забруднення підземних вод, токсичний, мутагенний, генотоксичний і канцерогенний вплив на біоту, зменшення

кількості чистої прісної води, сільськогосподарських і харчових продуктів (Xiao et al., 2021).

Небезпечність забруднення екосистем нафтовими вуглеводнями полягає у збільшенні їх вмісту на кожній новій сходинці трофічного ланцюга у десятки разів.

Отже, проблема швидкого та ефективного очищення і проведення заходів із запобігання водних забруднень нафтою та нафтопродуктами - одна з найпоширеніших у сучасному світі. Води питного і господарсько-побутового призначення потребують постійного і надійного контролю якості, тому необхідно проводити очищення поверхневих і стічних вод від нафтових забруднень, незалежно від розмірів та походження розливу.

1.2. Застосування природних сорбентів для очищення нафтових забруднень

Наразі існує велика кількість методів очищення вод від різноманітних розливів нафти. Розрізняють хімічні, фізико-хімічні, мембранні, електрохімічні, термічні, механічні та біологічні способи очищення. Застосування певного методу залежить від першоджерела забруднення, масштабу та його обсягу (Khokhlov et al., 2018). До основних механічних методів, що мають практичне значення, відносять відстоювання, фільтрування та центрифугування; до фізико-хімічних – сорбцію та флотацію, а до хімічних – окиснення озоном та хлорування.

Серед безлічі методів, які нині фахівці застосовують для попередження забруднення і утилізації нафтових розливів, важливе місце займають нафтові сорбенти (Nakami, 2020; Zaro et al., 2021;). Це матеріали, які застосовують для збору нафти чи нафтопродуктів із водної поверхні. Інша їх назва – нафтопоглиначі або нафтозбирачі. Основні показники, які визначають якість нафтових сорбентів – здатність поглинати воду, нафту та їх плавучість

(Зеленько, 2004).

З метою ліквідації нафтових забруднень у світі використовують близько 200 видів сорбентів. Їх розрізняють за походженням, призначенням, дисперсністю і способом утилізації. Якість сорбентів визначають ряд параметрів: ємність за відношенням до нафти, ступінь гідрофобності, плавучість після сорбції нафти чи нафтопродуктів, можливість десорбції, регенерації або утилізації (Velkova et al., 2018; Heidari et al., 2022). Розрізняють сорбенти, які здатні триматися на поверхні води і, які тонуть. За походженням сорбенти поділяють на неорганічні, природні органічні та органо-мінеральні, синтетичні.

Останнім часом серед нафтосорбентів популярності набувають матеріали природного походження через менші витрати, високу ефективність, повторне використання, біологічне розкладання та відновлення (Fingas, 2001; Бектенов та ін, 2018).

Найперспективніші для ліквідації нафтових забруднень природні органічні і органо-мінеральні сорбенти. Ряд авторів вказують на застосування в якості сорбентів модифікований торф, деревну тріску і тирсу, вовну висушені зернові продукти, макулатуру, відходи виробництва льону тощо. Зокрема, вовна може поглинути до 8–10 кг нафти на 1 кг своєї маси, а завдяки природній пружності вона може вилучати значну частку легких нафтових фракцій. Однак після декількох відтискувань стає непридатною для подальшого використання (Pavlov, 2020; Li et al., 2013). Хоча її висока вартість, обмежена кількість і високі вимоги до зберігання (притягує гризунів, комах, зазнає біохімічного перетворення) зменшують її перспективність, як сорбента.

Значний потенціал, як природний сорбент нафти, мають залишки після виробництва льону. Проте, також є обмеження у повторному використанні - даний матеріал можна використовувати не більше трьох разів, після чого потрібно його утилізувати, наприклад компостуванням, що досить екологічно порівняно із спалювання нафтовмісних матеріалів (Vumanis et al., 2018).

Волосся людини – природний сорбент, який містить кутикулу, воду, ліпіди, мікроелементи і 63–96 % білків, переважно полімерів амінокислот, зокрема кератин і цистин. Наявність кутикули надає водовідштовхувальних властивостей. Під час катастрофи Exxon Valdez стиліст з волосся з Алабами Маккрорі запропонував використовувати людське волосся для очищення розливу нафти, що здалося досить дивною пропозицією, але водночас викликало зацікавлення (Chaouki et al., 2020).

Інший ефективний природний сорбент – деревна тирса, яка добре і швидко поглинає забруднення, проте ще краще вбирає вологу. Тому для її ефективного застосування необхідно проводити її попередню гідрофобізацію, наприклад, жирними кислотами. Таке гідрофобне покриття забезпечує гарну якість нафтових сорбентів, але недовготривале (Vaišis et al., 2022; Alotaibi. 2015).

Широкого застосування для ліквідації нафтових розливів набирають сорбційні матеріали, створені на основі чистої природної та екологічної сировини – торфу. Адсорбенти з високою часткою у складі торфу збирають розливи з будь-якого водного середовища і утримують їх протягом тривалого часу, обмежуючи їх повторне поширення (Davoodi et al., 2019). Поглинальна ємність таких сорбентів за сировою нафтою становить 3–5 мг/г. При обробці особливими модифікаторами, нафтоємність торф'яних сорбентів покращується, а відсоток поглинутої води зменшується. Плавучість у насиченому стані становить близька 1–7 діб, завдяки незначному водопоглинанню (75–100 %) (Salisu et al., 2021). При забрудненні нафтопродуктами товщиною 0,1 см і температурі повітря 12–17 °C економічна витрата при аварійних розливах складає 0,1–0,5 кг/м² (Akromie, and ot., 2019). Дані сорбенти характеризуються легкістю нанесення і збору за допомогою підсобних механічних пристосувань, або із застосуванням спеціалізованих нагнітальних і всмоктувальних пристроїв, за допомогою авіаційної техніки. Утилізацію сорбентів, насичених нафтою здійснюють компостуванням із ґрунтом або спалюванням (Asadpour et al., 2013; Paulauskiene, 2018).

Для очищення нафтових забруднень успішно застосовують препарати, що поєднують властивості сорбентів і мікробів-деструкторів вуглеводнів. Так, препарат «Еконадін» локалізує нафтові забруднення з руйнуванням адсорбованих нафтопродуктів біологічним методом. На відміну від інших сорбентів, його не збирають після використання. Через деякий час після сорбції нафти препарат опускається на дно і розкладання нафтових вуглеводнів, локалізованих на препараті, відбувається безпосередньо у водному середовищі (Goldade et al., 2018).

Як неорганічні сорбенти використовують матеріали природного походження, а також відходи виробництв. До таких сорбентів відносять діатомітові породи, різні види глини, пемзу, перліт, цеоліти, туфи, тощо. Ці сорбенти мають низьку вартість і великі обсяги виробництва. Водночас, неорганічні сорбенти мають низьку якість через екологічні критерії, а саме: низьку ємність (70–50 % по нафті), абсолютно не утримують леткі фракції бензину, гасу, дизельного палива (Dashti et al., 2017). Крім того, важлива роль у сорбційній здатності належить об'єму пор і насипній щільності сорбенту, оскільки сорбційна ємність зменшується із збільшенням об'ємної щільності. При очищенні розливів нафти і нафтопродуктів з водної поверхні неорганічні сорбенти тонуть. Використання таких сорбентів порівняно з тими, що тримаються на поверхні, не знаходить широкого розповсюдження. Це пов'язано з тим, що ці сорбенти видаляють лише від 10 до 60 % розливої нафти, а крім того, осівши на дно з поглинутими речовинами, завдають шкоди донній флорі і фауні. Утилізація цих сорбентів здійснюється через їх промивання екстрагентами або водою з поверхнево-активними речовинами та спалюванням (Сабадаш, 2019 Chaouki et al., 2020).

На відміну від неорганічних, більшість органічних сорбентів, які активно застосовуються, мають високу плавучість та залишаються тривалий час на водній поверхні (Xu et al., 2019; Мазець, 2020).

Отже, в якості нафтових сорбентів використовують різні органічні та неорганічні матеріали. До сорбентів встановлюють жорсткі вимоги: при

контакті з поверхню води сорбенти повинні збирати нафту або нафтопродукти за мінімального процесу адсорбування води. Сорбент повинен володіти високою плавучістю, тобто залишатися на поверхні води тривалий час, перешкоджаючи зворотному потраплянню нафтопродуктів у воду. Використання природних препаратів-сорбентів не спричиняє негативного впливу на гідробіонтів екосистем. Головна перевага даних сорбентів – здатність практично повністю ліквідувати нафтопродукти безпосередньо на місці застосування. При цьому, як сам сорбент, так і продукти його взаємодії з нафтопродуктами екологічно нешкідливі і не вимагають спеціальної утилізації.

1.3. Хімічний склад і фізичні властивості нафти

Нафта – складна суміш вуглеводнів, горюча рідина, яка має характерний запах. До її складу входять вуглеводневі та неуглеводневі (гетероатомні) речовини. Перші представляють легку частину нафти, другі – важку. Від співвідношення цих компонентів залежать різноманітність властивостей і склад нафти.

Основні хімічні елементи нафти – вуглець (82–87 %) і водень (11–14%), незначну частку становлять сполуки сірки (0,01–4,3 %) та азоту (0,02–1,7 %), кисень (0,01–0,27 %). У кількості 0,02–0,03 % від її маси нафта містить метали (ванадій, нікель, залізо, цинк, мідь, магній, алюміній) (Стебельська, 2017). Природна нафта завжди містить певну кількість розчинених у ній газів, головним чином, метан і його гомологи (Olga et al., 2015).

Основні групи вуглеводів, що входять до складу нафти – аліфатичні (метанові), змішані вуглеводні (метанонафтові, нафтоароматичні), циклічні насичені (нафтенові) і ненасичені (ароматичні). Високомолекулярні

компоненти нафти, до складу молекул яких входять азот, сірка, кисень і метали, називають асфальтосмолистими речовинами (АСР). За густиною нафти поділяють на легкі, в яких більше бензину, гасу, і важкі, в яких більше газойлю і мазуту (Zhang et al., 2021).

В'язкість, густина, вміст сірки, смол, парафінів, вихід фракцій при різних умовах термообробки визначають практично важливі властивості нафти. Вони визначають умови її знаходження, формування покладів і створення самої речовини. Нафти за густиною поділяють на легкі (нижче 900 кг/м³) та важкі (вище 900 кг/м³) (Khokhlov et al., 2021). Важкі нафти, що містять значну кількість асфальтосмолистих речовин, мають високу в'язкість, а легкі, малосмолисті нафти, навпаки – низьку. Важливий показник – в'язкість, яку вимірюють для визначення рухливості нафти (Saleem et al., 2018). У деяких сортів нафти в'язкість настільки велика, що практично неможливе її прокачування і транспортування за низьких температур. З цією метою трубопроводи оснащують підігрівом.

За розчинність нафти відповідають її компоненти і вона зменшується від легких компонентів нафти до важких. У воді розчинність нафти дуже низька і не перевищує 130–150 мл/м³. Розчинність підвищується зі збільшенням температури, проте зменшується при збільшенні мінералізації води (Purwendah et al, 2019; Alnaqbi et ol., 2016). Розчинність у газах (зворотнє випаровування), головним чином, визначається легкими вуглеводневими компонентами і незначно – асфальтосмолистими компонентами. Цьому сприяють висока температура, переважання газової фракції, високий тиск. Склад нафти і газу також має значення – зі збільшенням у складі газу важких гомологів метану і вуглекислого газу розчинність нафти збільшується.

Важлива технологічна характеристика нафти – температура кипіння в нормальних умовах і фракційний склад, тобто співвідношення і властивості окремих фракцій, які википають за певних температурних інтервалів.

Нафтопродукти – суміш вуглеводнів, які отримують після переробки нафти та нафтових газів. Із нафти одержують велику кількість продуктів, а саме: палива (гас, бензин, реактивні, котельні, дизельні), нафтові масла, вазеліни, парафіни, бітуми, розчинники, а також кокс, сажу, мазут, органічні кислоти тощо (Subramoniapillai, Thilagavathi. 2021).

Отже, нафти – це складні суміші різних вуглеводнів і неуглеводневих сполук, що мають різну консистенцію. Нафти різних родовищ різняться за фракційним складом, який й визначає шляхи промислової переробки нафти.

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Методи дослідження

Для дослідження нами відібрано чотири сорбенту: перліт, деревна тирса, активоване вугілля та біосорбент «Еконадін». Якість досліджених сорбентів визначали за показниками: водо- і нафтоємність, сорбційна здатність нафти з водної поверхні, плавучість і насипна густина. Дослідження параметрів сорбентів проводили у статичних умовах, окремо для кожного матеріалу, в лабораторних умовах за температури приміщення + 18 °С.

Визначення *нафто- та водоемності* здійснювали за методиками (Чухарева та ін., 2012). Водно- або нафтоємність – це здатність матеріалу поглинати воду/нафту і утримувати їх у своїх порах при безпосередньому контакті з рідиною.

Для визначення нафтоємності у скляний кристалізатор наливали 200 мл нафти і занурювали попередньо зважене металеве сито. Далі рівномірно на поверхню нафти наносили 1 г досліджуваного сорбенту. Через певний час (для перліту і «Еконадіну» – 5 хв.; тирси – 15 хв., вугілля – 10 хв.) сито виймали, протягом хвилини давали стекти залишкам нафти і зважували сито разом із сорбентом і поглинутою нафтою. Нафтоємність визначали як відношення поглинутої маси нафти до маси сухого сорбенту і розраховували за формулою:

$$HE = \frac{m_2 - m_1 - m_c}{m_c}, \text{ де}$$

HE – нафтоємність, г нафти/г сорбента;

m_2 – загальна маса сита, сорбенту і поглинутої нафти, г

m_1 – маса сита, г

m_c – маса наважки сорбента, г

Аналогічно визначали водоемність (г/г) сорбентів у дистильованій воді.

Сорбційна здатність з водної поверхні за нафтою. Забруднення водною поверхні нафтою імітували таким чином: наливали у скляний кристалізатор 1 л дистильованої води, занурювали у воду попередньо зважене сито. Нафтову пляму (2,5 г або 3 мл нафти) наносили у центр сита і рівномірно на її поверхню

висипали 0,834 г сорбенту (3:1). Після певного часу (для кожного сорбенту вище зазначено) сито із сорбентом виймали, давали стекти 1 хв. і зважували. Розраховували як відношення маси нафти, що поглинув сорбент до маси сухого сорбенту (г/г), враховуючи поглинуту воду.

Насипну густину (г/л, г/см³) визначали як відношення маси сорбенту до об'єму, який він займав. Для цього 10 г повітряно-сухого матеріалу насипали у мірний циліндр (1 л) і визначали об'єм, який він займав.

Плавучість (%) визначали за кількістю сорбенту, яка залишається на поверхні через певний час і розраховували за формулою:

$$П = \frac{m_1 - m_0}{m_1} 100\%, \text{ де}$$

П – плавучість, %

m_1 – маса сорбенту до контакту з водою, г

m_0 – маса сорбенту, що залишився після контакту з водою, г

10 г сорбенту поміщали у кристалізатор наповнений дистильованою водою (3 л) і рівномірно розміщували по водній поверхні, залишаючи на 30 хв. Після чого збирали сорбент, який залишився на поверхні води, висушували до повітряно-сухого стану і зважували.

Сорбційну здатність за нафтою сорбентів у річковій і морській воді проводили таким чином. Річкову і морську воду двічі пропускали через дрібне сито, щоб очистити від можливих механічних забруднень. У кристалізатор наливали 0,5 л річкової або морської води і занурювали сито. Імітували нафтову пляму, виливаючи на поверхню води піпеткою 5 мл нафти, потім рівномірно насипали сорбент (3 г) на поверхню плями. Сито разом із сорбентом, який поглинув нафту піднімали через 20, 40 і 60 хв. Ступінь очищення води від нафти визначали фотоколориметрично за оптичною густиною, яку вимірювали за довжини хвилі 540 нм на фотокалориметрі КФК-2 з використанням кювети з товщиною поглинаючого шару 10 мм (Лурье, 1984; Фролов Ю.Г и др., 1986).

Річкову воду відбирали з р. Прут (м. Чернівці), а морську – з Чорного моря (м. Одеса). Сорбційну здатність визначали в динаміці через 20, 40 і 60 хвилин.

Усі вимірювання проводили у чотирикратній повторюваності. Статистичний аналіз одержаних результатів проводили за критерієм Стьюдента, при $P < 0,05$ з використанням програми Microsoft Excel 2013.

2.2. Характеристика нафти та досліджуваних сорбентів

У дослідженнях використовували нафтову суміш «URALS». Характеристики нафти: темно-коричневий колір, характерний специфічний запах, вміст сірки не більше 1,2-1,4 %, щільність 860-871 кг/м³ (у градусах API – 31-32) (Додаток А, фото 1, А).

Для дослідження використали чотири сорбенти природного походження: неорганічний – перліт, органічні – деревна тирса, вугілля та біосорбент «Еконадін».

Перліт – природний матеріал з класу силікатних порід, які мають вулканічне походження. При швидкому нагріванні за температури 900-1100°С він збільшується до 20 разів в об'ємі і перетворюється на пористі гранули розміром 1–10 мм. Цей легкий екологічно чистий матеріал має відмінні теплопровідні якості, тому перліт і кінцеві вироби з нього застосовують у багатьох галузях промисловості: будівництві, металургії, сільському господарстві у температурному діапазоні від –200°С до +900°С. Володіє високою пористістю, яка збільшує сорбційну ємність. З метою підвищення сорбції його додатково обробляють полісиліконом (гідрофобізують). В Україні великі промислові запаси перлітової сировини знаходяться в Закарпатській області (родовище «Фогош»). Розмір гранул перліту, який використовували в експерименті 2-4 мм (Додаток А, фото 1, Б.)

Тирса – різновид подрібненої деревини, деревні частинки, котрі утворюються як відходи пиляння. Розмір частинок тирси залежить від типу і технологічних параметрів різального інструменту, під час роботи якого вони утворені. Тирса містить близько 70 % вуглеводів (целюлози і геміцелюлози) і 27 % лігніну. До її складу входять хімічні речовини: 50 % вуглець, 6 % водень, 44 % кисень і близько 0,1 % азот (Павлюх, 2012). Нами використана тирса ялини. Розмір частинок 0,5-1,5 см² і товщиною 0,5 мм (Додаток А, фото 1, В).

Активоване вугілля має високо розвинену пористу структуру, володіє великою поверхнею, внаслідок чого має високу адсорбційну здатність (1 г активованого вугілля, залежно від технології виготовлення має поверхню від 500 до 1500 м²) (Ifelebuegu et al., 2015). Цей матеріал отримують з різних вуглецевих матеріалів органічного походження, зокрема деревного вугілля, кам'яновугільного коксу, нафтового коксу, шкаралупи кокосу, волоського горіха, кісточок абрикоса, маслин і інших плодових культур. За масою активоване вугілля на 87 – 97 % складається з вуглецю, також може містити водень, кисень, азот, сірку та інші речовини. Саме високий рівень пористості робить вугілля «активованим». Збільшення пористості активованого вугілля відбувається під час спеціальної обробки, яка значно збільшує адсорбуючу поверхню (Павлюх, 2012; Pagnucco, Phillips, 2018).

Ми використовували кокосове активоване вугілля розміром від 2 до 5 мм (Додаток А, фото 1, Г).

«Еконадін» – біологічний сорбент, який поєднує органічний сорбентний матеріал і деструктивні властивості мікробних препаратів (Use of sorbent...). До складу цього біопрепарату входить верховий сфагновий торф з високою абсорбувальною місткістю, на який нанесені авірулентні нафтоокислювальні бактерії, котрі проявляють сорбційні й деструктивні властивості за відношенням до вуглеводнів нафти (у 1 г препарату міститься 107 бактерій). Гідрофільні бактерії *Pseudomonas fluorescens* 2-aB-2256 окиснюють вуглеводні нафти до води і вуглекислого газу (Казанок, Матвєєва, 2014). Органічний сорбент має світло-коричневий колір, дисперсний склад із

волокнистими домішками, володіє плавучістю та гідрофобними властивостями (Додаток А, фото 1, Д). «Еконадін» застосовують для очистки нафтових забруднень з водної поверхні, стічних вод, твердих поверхонь (дорожні покриття, бетон, металеві поверхні) та біоремедіації ґрунту.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Ліквідація нафтових розливів з поверхні води має на меті видалення нафти або нафтопродуктів за допомогою механічних і фізико-хімічних методів. Застосування нафтових сорбентів з цією метою - перспективно і екологічно доцільно (Веприкова та ін., 2010; Темірханов та ін., 2012). Сорбційний метод дозволяє здійснити очищення водного середовища до мінімально залишкових концентрацій.

Сорбенти, які використовують для очищення нафтових забруднень, мають володіти високою поглинальною здатністю за відношенням до нафти, і низькою – за відношенням до води. Крім того, важливі параметри – плавучість, здатність сорбенту до регенерації, його доступність та низька собівартість. Якість сорбентів оцінюють, насамперед, за показником нафтоємності, оскільки здатність поглинати воду можна зменшити завдяки гідрофобізації матеріалу. Низьку плавучість, також, можна посилити, використовуючи спеціальні пристосування, а саме бони і мати (Веприкова та ін., 2010; Myrzaliyeva, Kerimkulova. 2015).

Результати щодо вивчення нафтоємності досліджуваних нафтових сорбентів представлені на рис. 3.1.

Показано, що високою здатністю поглинати нафту володіють деревна тирса і перліт, показник нафтоємності яких становить 5,39 г/г і 5,14 г/г відповідно. Вугілля і «Еконадін» мають нижчі показники нафтоємності, ніж тирса і перліт. Причому нафтоємність вугілля вища за показник «Еконадіну». Так, нафтоємність першого сорбенту становить 3,86 г/г, а другого – 2,47 г/г (рис. 3.1).

Відомо, що сорбційні властивості сорбентів залежать від в'язкості нафти, щільності самого матеріалу і часу насичення (Темирханов та ін., 2012).

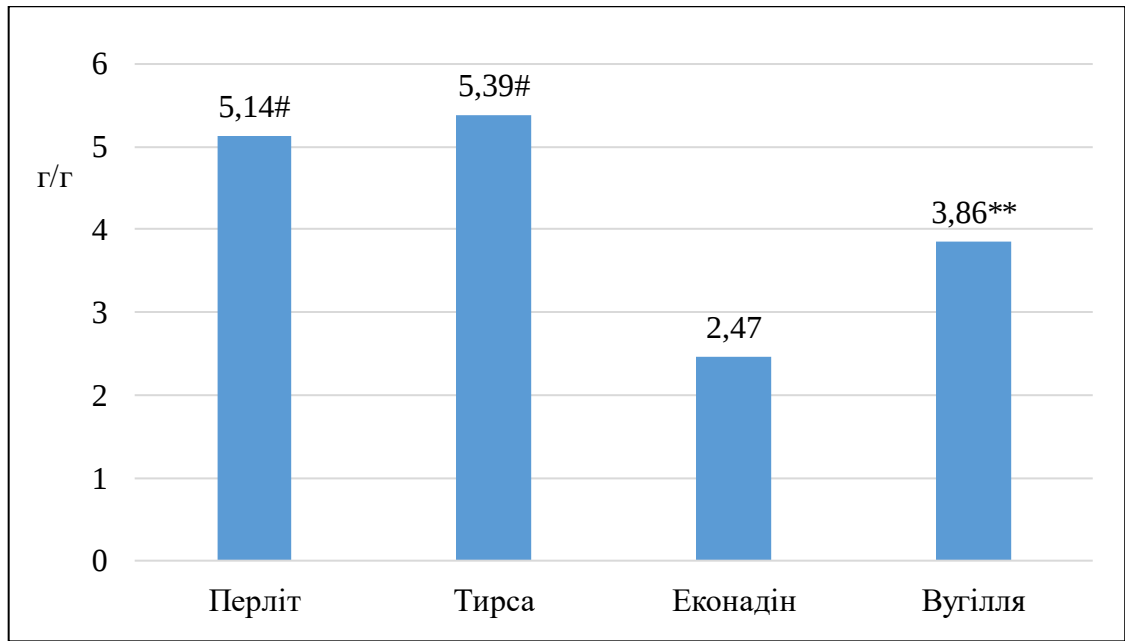


Рис. 3.1. Нафтоємність досліджених сорбентів, г/г

Примітка: # – достовірна різниця між показниками перліту або тирси порівняно з еконадіном і вугіллям за критерієм Стюдента, при $P < 0,05$; ** – достовірна різниця між показниками еконадіну та вугілля за критерієм Стюдента, при $P < 0,05$.

Проте, перліт і тирса мають високу водоємність (6,62 г/г і 7,57 г/г відповідно) порівняно з іншими дослідженими сорбентами (рис.3.2). Крім цього, здатність поглинати воду у перліту і тирси вища, ніж здатність поглинати нафту. Вугілля і «Еконадін» мають нижчу водоємність, ніж їх нафтоємність. Отже, за цими показниками краще застосовувати вугілля і «Еконадін».

Аналогічні результати зустрічаються у літературних джерелах. Так, ряд авторів (Веприкова та ін., 2010; Привалова та ін., 2015) зазначають про високі нафтоємність і водоємність тирси, однак останній факт обмежує широке застосування її при очищенні від нафтових забруднень. Однак, водопоглинальні властивості тирси можна зменшити, підвищуючи її гідрофобність. У дослідженнях (Ллорі, 2017) встановлено, що за умов значного шару нафти на водній поверхні, тирса успішно її поглинає, тоді як при незначному шарі – вона краще поглинає воду, і та, в свою чергу, витісняє нафту. Тому, деревну тирсу раціональніше застосовувати як сорбент одразу після розливів нафти і нафтопродуктів, коли шар цих речовин ще достатньо великий.

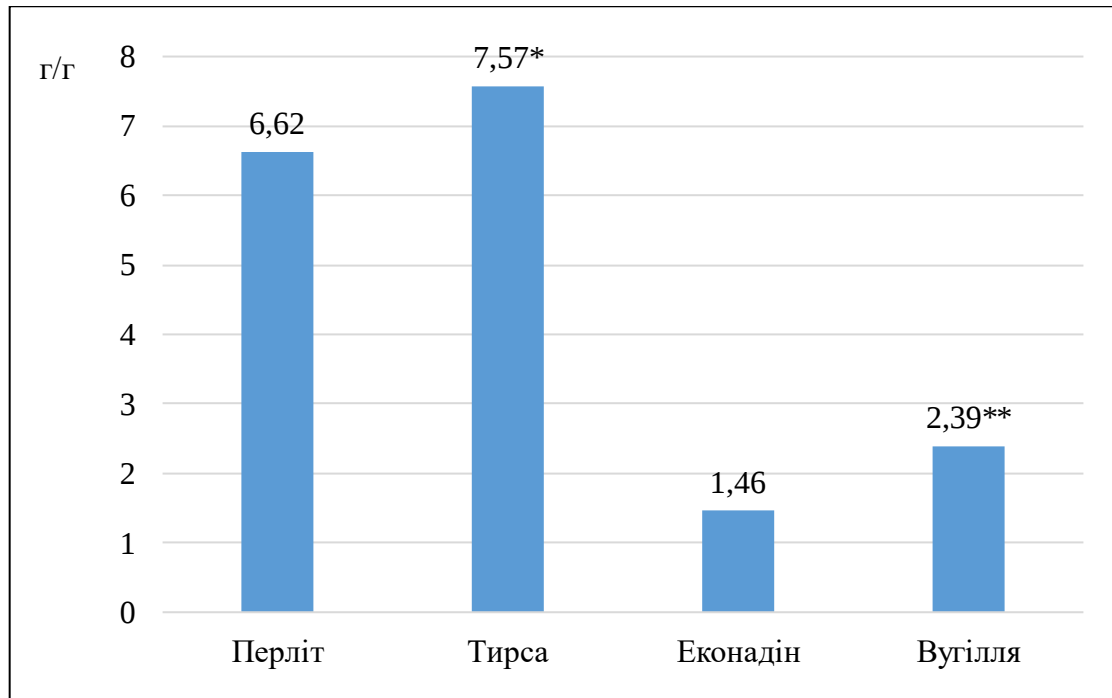


Рис. 3.2. Водоємність досліджених сорбентів, г/г

Примітка: * – достовірна різниця між показниками тирси та інших сорбентів за критерієм Стюдента, при $P < 0,05$; ** – достовірна різниця між показниками еконадіну та вугілля за критерієм Стюдента, при $P < 0,05$;

Покращити водопоглинальні властивості перліту, також, можна шляхом модифікації кремнійорганічними сполуками, що сприяє його гідрофобізації і підвищує ефективність очищення від плавучої нафти (Сироткина, Новоселова, 2005). До переваг перліту і тирси як сорбентів нафти можна віднести широку сировинну базу, екологічну чистоту і безпеку.

Дія біосорбенту «Еконадін» заснована на використанні мікроорганізмів-деструкторів, які закріплюються на водонерозчинних носіях – у даному випадку на сфагновому торфі. Ефективність біосорбенту «Еконадіну» залежить, насамперед, від температури середовища, а також від хімічного складу нафтопродуктів. Так, автори (Казанок, Матвєєва, 2014) показали, що ефективність «Еконадіну» оптимальна за температури $+28\text{ }^{\circ}\text{C}$. У наших дослідженнях температура приміщення становила $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$, що ймовірно і пояснює низьку нафтоємність цього сорбенту.

Адсорбційні властивості вугілля визначає його пориста структура, що сформована різними комбінаціями кристалитів аморфного вуглецю і графіту. Одержують активоване вугілля із різноманітної сировини, яка містить вуглець: різного вугілля, деревини, целюлози, торфу, шкаралупи фруктових кісточок і горіхів. Ступінь пористості активованого вугілля залежить від сировини, з якої його одержують. Так, активоване вугілля із шкаралупи кокосових горіхів має високу мікропористість і здатне вилучати низькомолекулярні сполуки.

Важлива характеристика сорбентів – їх здатність поглинати нафту з водної поверхні та утримувати її. Показано, що дослідженні нафтові сорбенти різняться за цими показниками. Так, «Еконадін» та вугілля поглинають з поверхні води 1,17 г нафти, тоді як перліт і тирса – 1,33 г і 1,58 г відповідно (рис. 3.3).

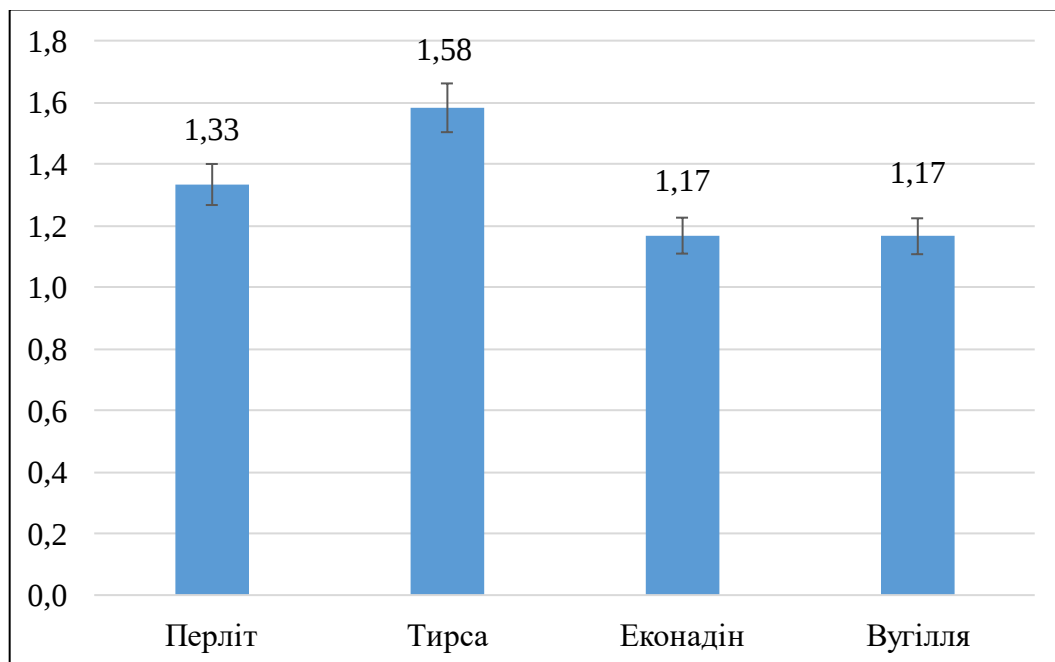


Рис. 3.3. Маса поглинутої нафти сорбентами з водної поверхні, г

І хоча маса нафти, яка поглинається перлітом і тирсою незначно більша, ніж у двох інших сорбентів, частка нафти, що утримується ними становить 42–44 %, тоді як «Еконадін» і вугілля утримують 62–63 % нафти (рис. 3.4).

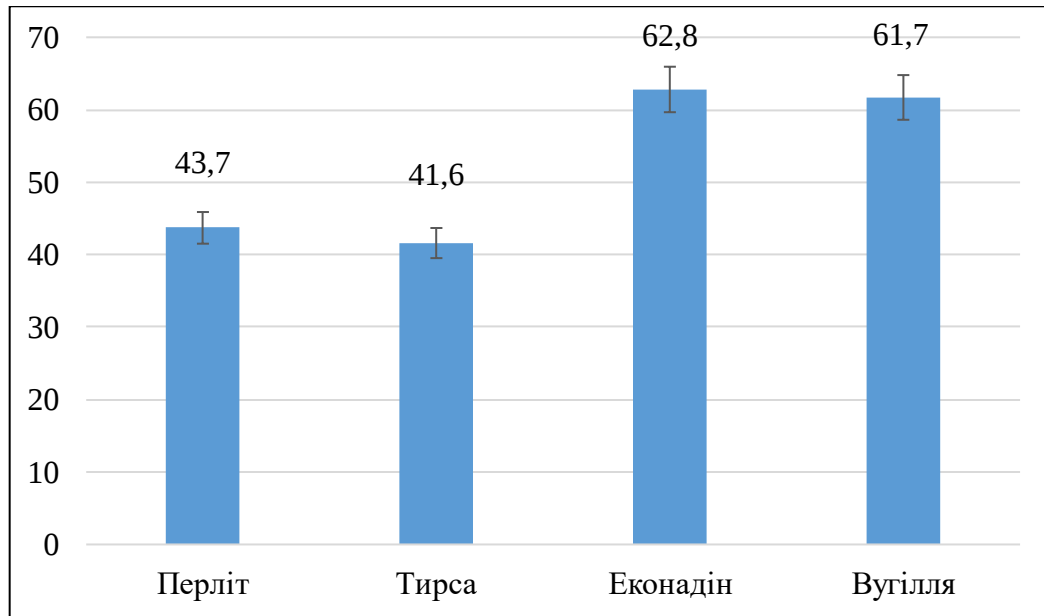


Рис. 3.4. Відсоток нафти, що утримується сорбентами

Сорбція при видаленні нафти із водної поверхні і очищенні стічних вод здійснюється, насамперед, через адгезію забруднювача до поверхні частинок сорбенту (Татаринцева, 2020). Кількість поглинутої речовини визначається гідрофобністю, олеофільністю, величиною питомої поверхні сорбенту.

Плавучість сорбента полегшує збір із водної поверхні нафти і нафтопродуктів, що сприяє тому, що він тримається на поверхні тривалий час і не викликає вторинне забруднення. Вона залежить від співвідношення відкритих і закритих пор і швидкості проникнення води у пори (Татаринцева, 2020).

Серед досліджених природних сорбентів високу плавучість має перліт (98,5 %), що пояснюється його структурою та «Еконадін» (91,1 %) (рис. 3.5). Цей біопрепарат має в основі верховий сфагновий торф, який не тоне. Порівняно з ними тирса і вугілля мають нижчу плавучість – 78,3 % і 81,9 % відповідно.

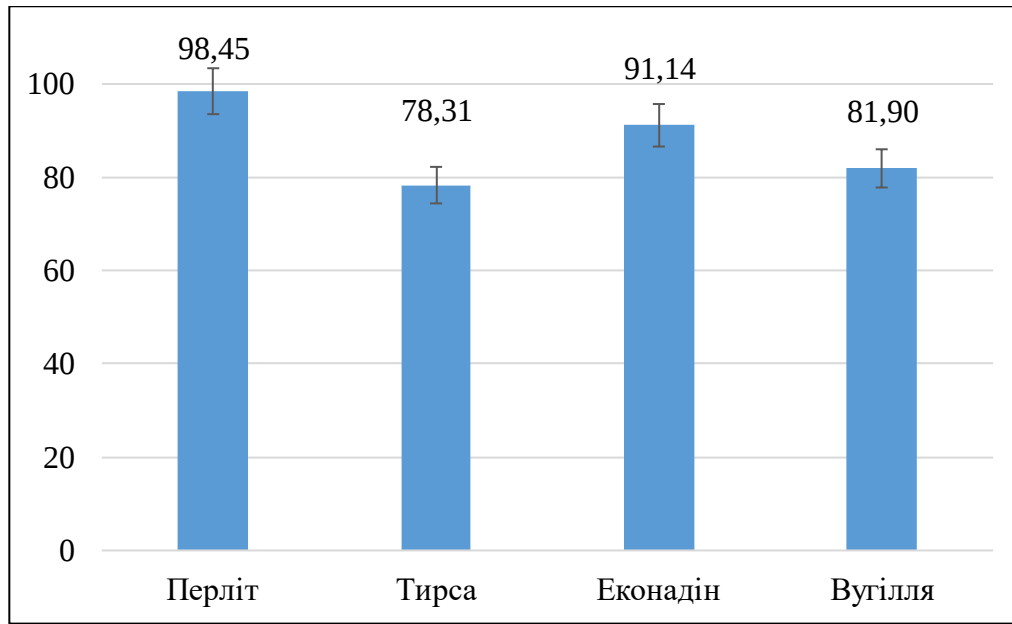


Рис. 3.5. Плавучість досліджених сорбентів, %

Отже, тирсу через високу здатність поглинати воду та відносно низьку плавучість можна рекомендувати для динамічного очищення забруднених нафтою чи її продуктами вод, або насичену нафтою тирсу видаляти в короткі строки з поверхні води.

Економічна ефективність застосування і транспортування сорбентів залежать від насипної густини (об'ємної ваги) і собівартості. Об'ємна вага напряму пов'язана із розміром часток сорбенту – чим менше розмір, тим вища насипна густина. Найнижча насипна густина серед досліджених сорбентів у деревної тирси (35 г/дм^3), а найбільша – «Еконадіну» (303 г/дм^3) (рис. 3.6). Перліт і вугілля мають об'ємну масу відповідно 139 і 185 г/дм^3 .

Нами проведено розрахунки вартості досліджених сорбентів нафти (табл. 3.1), які показують, що економічно вигідно використовувати для очищення нафтових забруднень «Еконадін» і деревну тирсу. Ці матеріали мають нижчу вартість, ніж активоване вугілля та перліт.

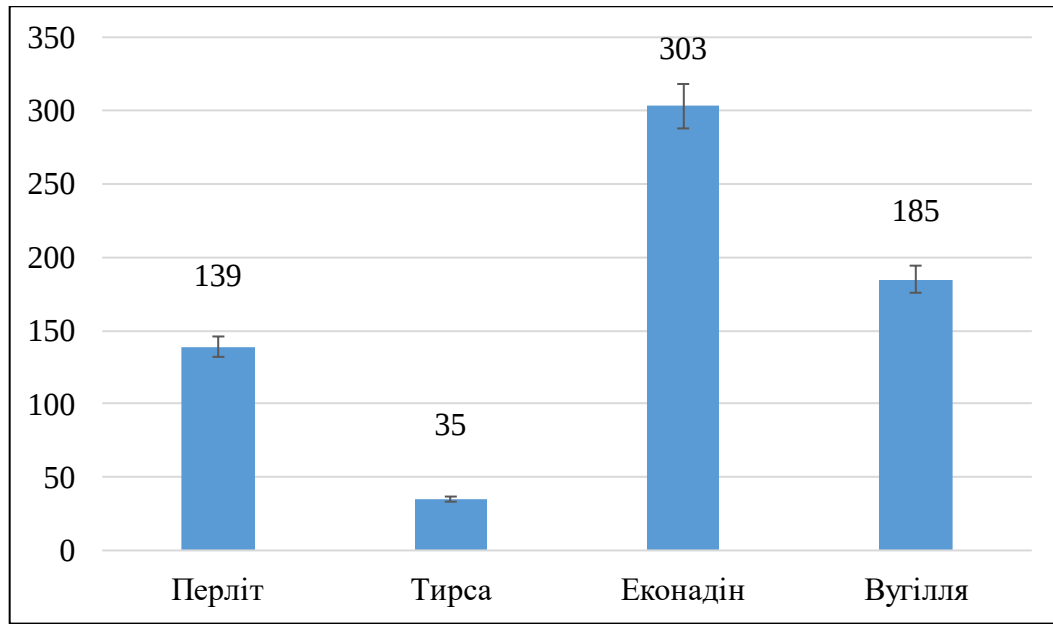


Рис. 3.6. Насипна густина сорбентів, г/дм³

Таблиця 3.1.

Вартість сорбентів, необхідних для очищення від нафтового забруднення

Назва сорбенту	Середня ціна сорбенту за 1 кг, грн.	Кількість нафти, що вбирає 1 кг сорбенту, кг	Кількість сорбенту для очищення 1 кг нафти, кг	Вартість сорбенту для очищення забруднення 1 т нафти, грн.	Вартість сорбенту для очищення забруднення 1 барель нафти, грн.
Перліт	179	1,33	0,750	134 000	17 683
Тирса	39	1,58	0,632	25 069	3 308
Вугілля	56	1,17	0,858	48 048	6 340
«Еконадін»	12	1,17	0,857	10 284	1 357

Отже, за дослідженими показниками якості природних сорбентів, а саме нафто- та водоемністю, сорбційної здатності за нафтою, плавучістю, насипною густиною ефективніше використання біосорбенту «Еконадін», активованого вугілля та перліту. Застосування тирси в якості сорбенту потребує попередньої її гідрофобізації. Однак,

висока нафтоємність і низька собівартість, широка сировинна база даного сорбційного матеріалу робить його перспективним.

Досліджено ступінь очищення дослідженими сорбентами прісної та морської води від нафтового забруднення за оптичною густиною. Виявлено, що тирса як у річковій, так і у морській воді, демонструє рівномірне збільшення поглинання нафти зі збільшенням часу контакту сорбенту із забруднювачем (рис. 3.7).

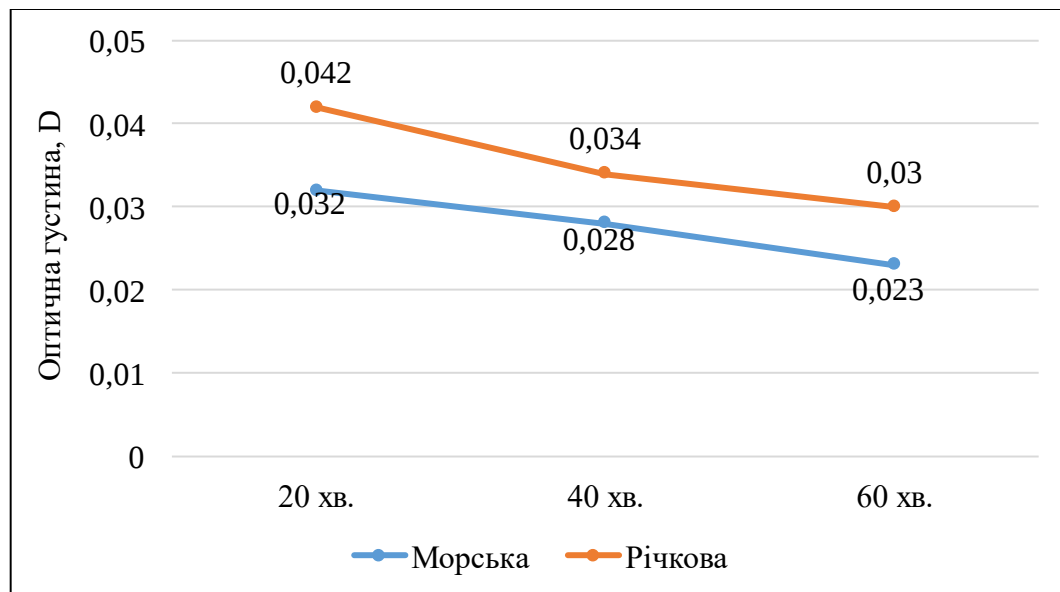


Рис. 3.7. Оптична густина морської та річкової води після очищення тирсою

Вугілля активно поглинає нафту протягом 40 хв., а потім виходить на плато (рис. 3.8). Перліт і «Еконадін» мають різний характер поглинання нафти у морській і річковій воді. Так, ступінь очищення річкової води перлітом збільшується із часом контакту сорбенту з нафтою, тоді як у морській воді після 40 хв. поглинання нафти починає зменшуватися і показник оптичної густини зростає на 60 хв. порівняно з 40 хв. (рис.3.9).

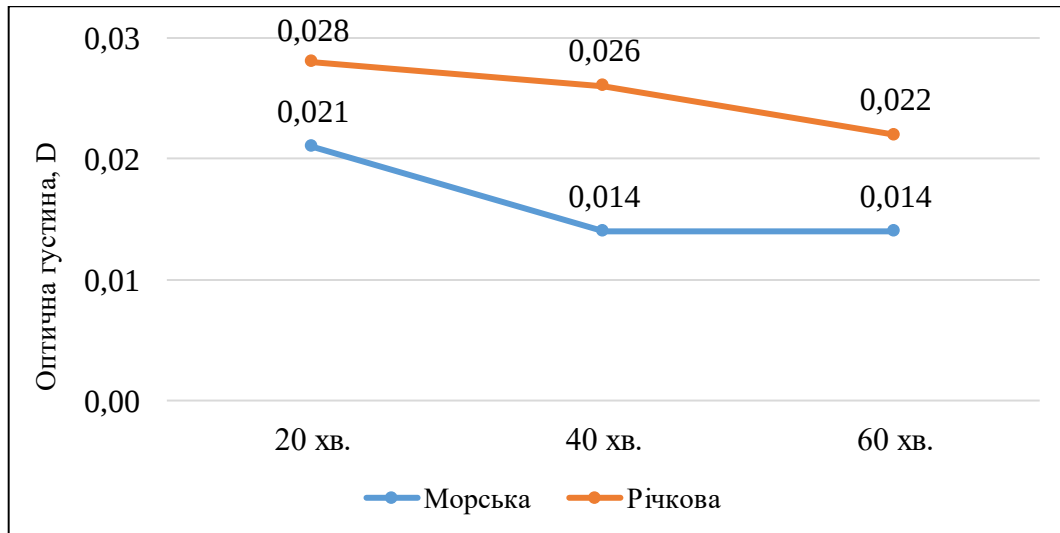


Рис. 3.8. Оптична густина морської та річкової води після очищення вугіллям

Ймовірно відбувається насичення сорбенту і починається процес десорбції, тобто витіснення нафти водою.

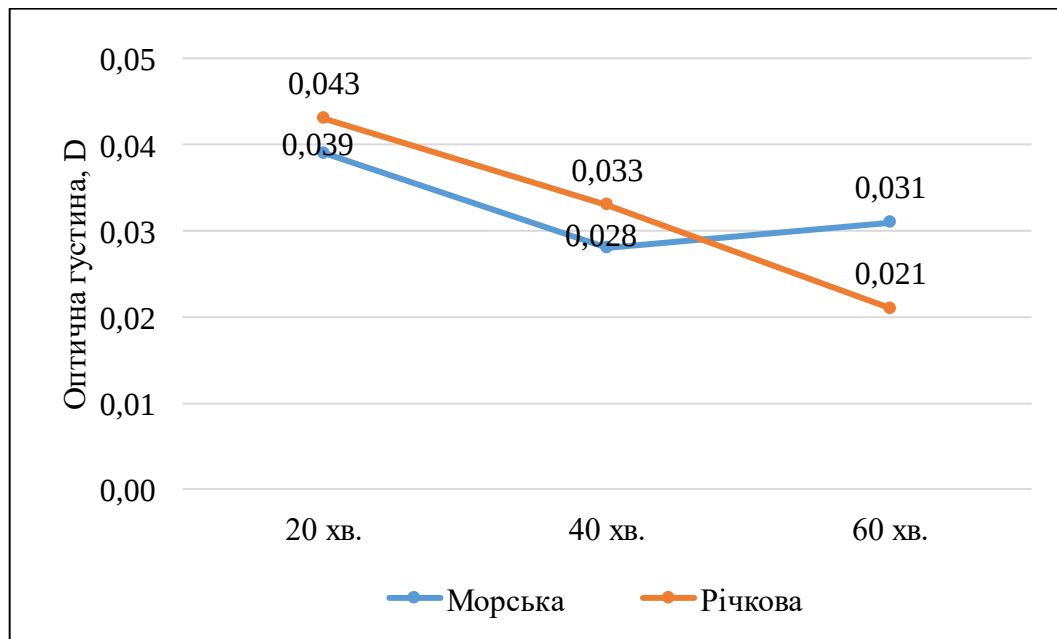


Рис. 3.9. Оптична густина морської та річкової води після очищення перлітом

«Еконадін», навпаки, має вищу ступінь очищення морської води зі збільшенням часу, тоді як у річковій відбувається зменшення поглинання і насичення сорбенту після 20 хв. контакту з нафтою (рис.3.10). При цьому на графіках видно, що процес сорбції нафти сорбентами вищий у морській воді, ніж у річковій.

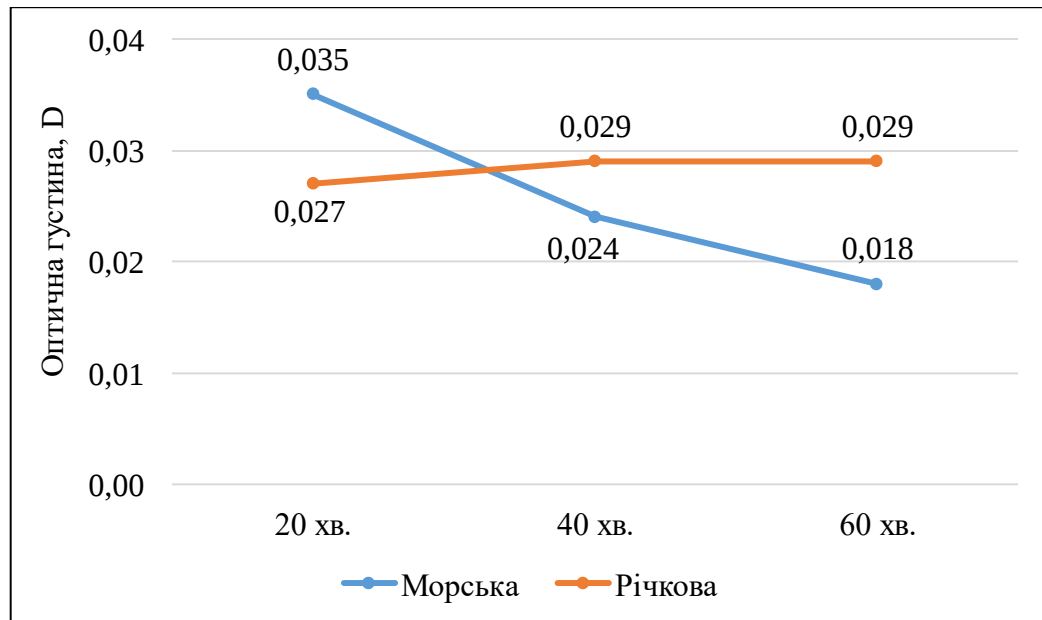
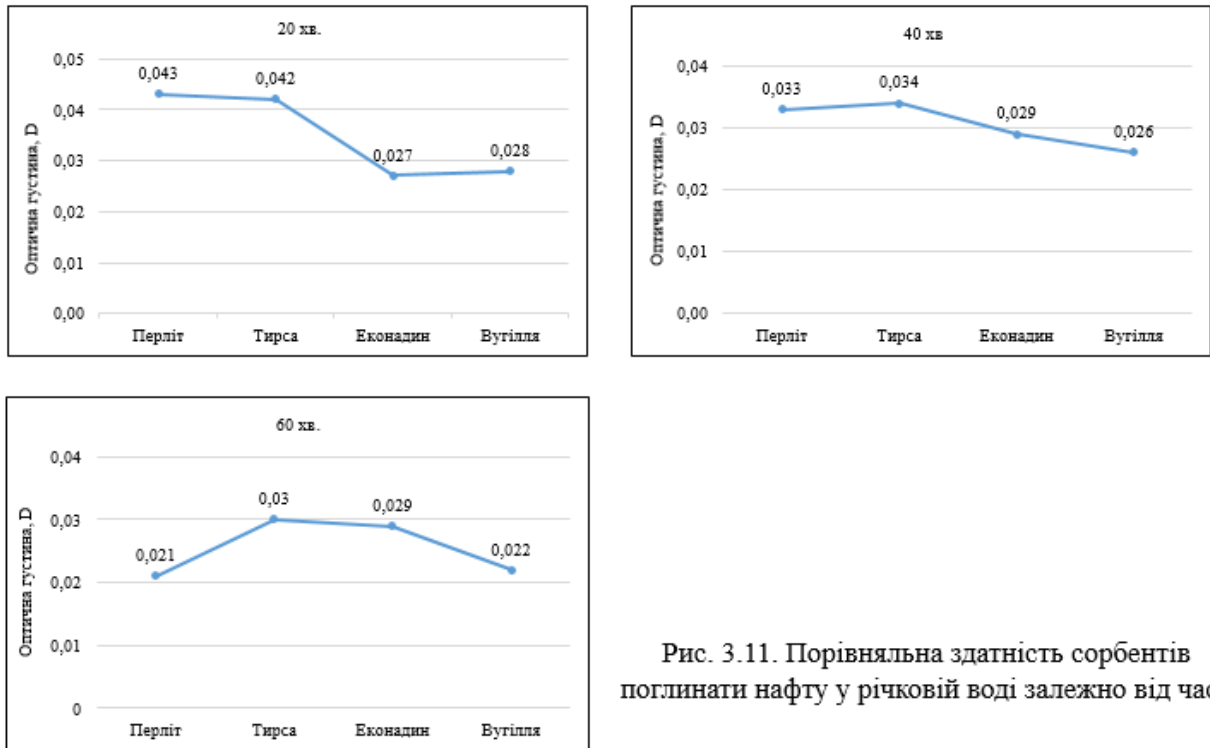
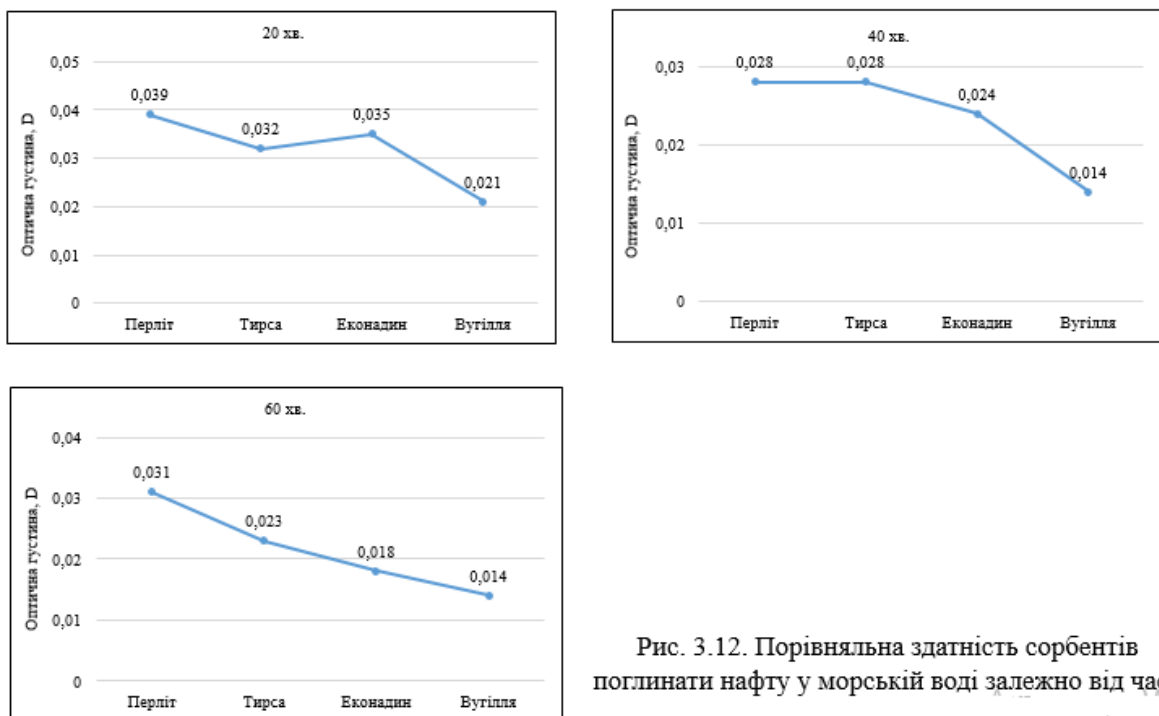


Рис. 3.10. Оптична густина морської та річкової води після очищення «Еконадіном»

Порівняльний аналіз досліджених природних сорбентів за здатністю поглинати нафту з поверхні річкової або морської води наведений у рис. 3.11 і 3.12. Протягом перших 20 хв. у річковій воді активоване вугілля і «Еконадін» проявляють кращу здатність поглинати нафти, ніж перліт і тирса (рис. 3.11). Ця тенденція спостерігається і протягом 40 хв. перебування сорбентів у воді. Тоді як протягом 60 хв. контакту з нафтою кращу поглинальну здатність, а отже і очищення виявляють перліт і вугілля.



У морській воді високу порівняно з іншими дослідженими сорбентами здатність поглинати нафту виявляє активоване вугілля (рис. 3.12). Ці властивості зберігаються і протягом двох наступних часових періодів спостереження.



Отже, досліджені природні сорбенти проявили різну поглинальну здатність нафти у різних типах води, а саме морській і річковій. Також, важливо зазначити, що всі сорбенти мали різний час поглинання нафти з поверхні води, зокрема, зі збільшенням часу одні показували збільшення сорбції, а інші, навпаки, показували процес десорбції.

Серед досліджених природних сорбентів протягом всього часу спостереження (20 хв., 40хв. і 60 хв.) як у річковій, так морській воді активоване вугілля проявило найвищу поглинальну здатність нафти. Максимальні поглинальні властивості проявляє і перліт, проте лише у річковій воді протягом 60 хв.

ВИСНОВКИ

1. Виявлено високу нафтоємність перліту і деревної тирси (5,14 г/г і 5,39 г/г відповідно) порівняно з «Еконадіном» і активованим вугіллям (2,47 і 3,86 г/г відповідно).
2. Показано, що перліт і деревна тирса мають високу водоемність (6,62 г/г і 7,57 г/г відповідно) порівняно з активованим вугіллям і «Еконадином» (2,39 г/г і 1,46 г/г відповідно).
3. Встановлено різну сорбційну здатність з водної поверхні за нафтою досліджених природних сорбентів. Так, поглинальна здатність «Еконадіну» та вугілля становить 1,17 г/г, тоді як перліт і деревна тирса поглинають 1,33 г і 1,58 г нафти відповідно. Частка нафти, що утримується з водної поверхні «Еконадіном» і вугіллям вища, ніж у перліту і деревної тирси ($62 \square 63 \%$ та $42 \square 43\%$ відповідно)
4. Показано високу плавучість перліту (98%) та «Еконадіну» (91%) порівняно з активованим вугіллям і деревною тирсою (82 і 78 % відповідно).
5. За показником насипної густини досліджені сорбенти можна розмістити у спадаючий ряд: «Еконадін» – активоване вугілля – перліт – тирса.
6. Показано, що економічно вигідно використовувати для очищення нафтових забруднень «Еконадін» і деревну тирсу, які мають нижчу вартість, ніж активоване вугілля та перліт.
7. Встановлено збільшення очисної здатності у морській воді зі збільшенням часу контакту для деревної тирси і «Еконадіну», насичення для активованого вугілля і процесу десорбції – для перліту після 40 хв. контакту.
8. Виявлено високе очищення нафтового забруднення активованим вугіллям як у річковій, так і морській воді, і лише у річковій воді - перліту порівняно з іншими сорбентами

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бектенов Н. А., Ергожин Е. Е., Рыспаева С. Б., Садыков К. А., Молдагалиева, И. С., Маратова А. А. Ecology of oil and oil sorbents. *Химический Журнал Казахстана*. 2018. С. 2–3.
2. Геворгян С. А., Айрапетян С. С., Мартиросян Д. А., Гревцев Н. В., Шампаров А. Г., Якупов Д. Р., Смородько А. В. Еколого-економічна ефективність використання торфових сорбентів для розв'язання екологічних проблем. 2021. С. 5–8.
3. Мазець В. Р. Біотехнологічні методи очищення морських вод від нафтового забруднення. 2020. С. 15–21.
4. Матіюк С. М., Грубінко В. В. Використання природних та абсорбтивних субстанцій для очищення природних та стічних вод. 2019. С. 38–42.
5. Орловський В. М., Білецький В. С., Вітрик В. Г., Сіренко В. І. Технологія видобування нафти. 2022. С. 26–29.
6. Сабадаш В. В. Теоретичні основи сорбційних процесів на природних та синтетичних сорбентах. *Сабаши ВВ–Львів*. 2019. С. 28–31.
7. Судук, І. Вивчення семантичного наповнення терміна «нафта» в навчальних текстах з української мови як іноземної. *Молодий вчений*. 2020. № 6(82). С. 152–155.
8. Українець А. І., Большак Ю. В., Маринін А. І., Шпак В. В. Особливості процесу сорбції нафтопродуктів з поверхні води тонковолокнистими композиційними структурами, інверсними мембранним структурам. *Харчова промисловість*. 2019. № (25). С. 93–99.
9. Фролов Ю.Г., Гродского А.С. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии. Москва, «Химия», 1986. 216 с.

10. Хохотва О. П. Наукові основи розробки модифікованих сорбентів неорганічних та органічних забруднювачів у процесах водоочищення. 2019. С. 54–71.
11. Akpomie K. G., Onyeabor C. F., Ezeofor C. C., Ani J. U., Eze S. I. Natural aluminosilicate clay obtained from south-eastern Nigeria as potential sorbent for oil spill remediation. *Journal of African Earth Sciences*. 2019. № 155. P. 118–123.
12. Alnaqbi M. A., Greish Y. E., Mohsin M. A., Elumalai E. J., Al Blooshi A. Morphological variations of micro-nanofibrous sorbents prepared by electrospinning and their effects on the sorption of crude oil. *Journal of environmental chemical engineering*. 2016. №4(2), P.1850–1861.
13. Alotaibi M. Oil sorption mechanism by natural sorbents. *Doctoral dissertation*. 2015. №1. P. 12–20.
14. Asadpour et al. Application of Sorbent materials in Oil Spill management: A review. *Caspian Journal of Applied Sciences Research*. 2013. P.46–58.
15. Belgiorino V. Oil and Grease Removal from Industrial Wastewater Using New Utility Approach. 2014. P. 2–4.
16. Bumanis G., Zorica J., Bajare D., Korjakins A. *Energy Procedia*. 2018. № 147. P. 301–308.
17. Chaouki Z., Zaitan H., Nawdali M., Vasarevičius S., Mažeikienė, A. Oil removal from refinery wastewater through adsorption on low cost natural biosorbents. *Environmental engineering and management journal*. 2020. № 19(1). P. 105–112.
18. Ciufu A. G., Pârvulescu O., Răducanu C. E., Dobre, T. Dynamics of oil and petroleum products sorption in porous structures. *Bulletin of Romanian Chemical Engineering Society*. 2020. № 7. P. 84–93.
19. Dashti N., Ali N., Khanafer M., Radwan S. S. Oil uptake by plant-based sorbents and its biodegradation by their naturally associated microorganisms. *Environmental Pollution*. 2017. № 227, P. 468–475.

20. Davoodi S. M., Taheran M., Brar S. K., Galvez-Cloutier R., Martel R. Hydrophobic dolomite sorbent for oil spill clean-ups: Kinetic modeling and isotherm study. *Fuel*. 2019. № 251. P. 57–72.
21. Enujiugha V. N., & Nwanna L. C. Aquatic oil pollution impact indicators. *Journal of applied sciences and environmental management*. 2014. № 8. P. 71–75.
22. Fingas M. The basics of Oil Spill Cleanup. Lewis publishers: Boca Raton, Florida: 2001. P. 208.
23. Goldade V., Zhukalov V., Zotov S. Fibrous sorbents for gathering of oil and petroleum products. *ISJ Theoretical & Applied Science*. 2018. № 6. P. 139–149.
24. Hakami A. A. Evaluation of Natural and Synthetic Sorbents for Oil Spill Clean-up Applications. *Master's thesis*. University of Waterloo. 2020.
25. Heidari M. K., Fouladi M., Sooreh H. A., Tavakoli, O. Superhydrophobic and superoleophilic natural sponge sorbent for crude oil/water separation. *Journal of Water Process Engineering*. 2022. P. 48.
26. Ifelebuegu A. O., Nguyen T. V. A., Ukotije-Ikwut P., Momoh, Z. Liquid-phase sorption characteristics of human hair as a natural oil spill sorbent. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2015. № 3(2). P. 938–943.
27. Khokhlov A. V., Titarenko M. V., Khokhlova L. I. The sorbent of complex action based on biochar for elimination of oil pollution. *The development of nature sciences: problems and solutions*. 2018. P. 155.
28. Khokhlov A., Khokhlova L. Development of biocarbon sorbent from corn waste with increased destructive activity in relation to oil. *Technology Audit and Production Reserves*. 2021. № 4(3). P.60.
29. Kukfisz B. Efficiency analysis of the sorbents use to absorb the vapors of selected diesel oil products during rescue and firefighting actions. *AUTOBUSY–Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*. 2018. № 19(6). P. 133–137.

30. Lazim A. M., Musbah D. L., Chin C. C., Abdullah I., Mustapa M. H. A., Azfaralariff A. Oil removal from water surface using reusable and absorptive foams via simple fabrication of liquid natural rubber (LNR). *Polymer Testing*. 2019. № 73. P. 39–50.
31. Li D., Zhu F. Z., Li J. Y., Na P., Wang N. Preparation and characterization of cellulose fibers from corn straw as natural oil sorbents. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2013. № 52(1). P. 516–524.
32. Myrzaliyeva S. K., Kerimkulova A. Z. New oil sorbents based on wastes of plant materials processing. *European Journal of Natural History*. 2015. № 2, P. 50.
33. Olga R., Viktor R., Alexander I., Zinnur S., Alexandra P. Adsorption of hydrocarbons using natural adsorbents of plant origin. *Procedia Chemistry*. 2015. № 15. P. 231–236.
34. Pagnucco R., Phillips M. L. Comparative effectiveness of natural by-products and synthetic sorbents in oil spill booms. *Journal of environmental management*. 2018. № 225. P. 10–16.
35. Paulauskiene T. Ecologically friendly ways to clean up oil spills in harbor water areas: crude oil and diesel sorption behavior of natural sorbents. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. № 25(10). P. 9981–9991.
36. Pavlov V. Arctic marine oil spill response methods: Environmental challenges and technological limitations. *In Arctic Marine Sustainability*. 2020. P. 213–248.
37. Purwendah E. K., Mangku D. G. S., Periani A. Dispute Settlements of Oil Spills in the Sea Towards Sea Environment Pollution. In First International Conference on Progressive Civil Society. *Atlantis Press*. 2019. P. 245–248.
38. Saleem J., Riaz M. A., Gordon, M. Oil sorbents from plastic wastes and polymers: A review. *Journal of hazardous materials*. 2018. № 341. P. 424–437.
39. Salisu M., Gambo Z. L., Suleiman Y. A., Yakubu M. K., Diya'uddeen M. H., Ishiaku B. U., S., Ukanah S. Insight into the Sorption and Activation Energy Phenomenon of Kenaf Shive Sorbents in Crude Oil/Water Mixture. 2021. P. 54–68.

40. Shin Y., Han K. S., Arey B. W., Bonheyo G. T. Cotton fiber-based sorbents for treating crude oil spills. *ACS omega*. 2020. № 5(23). P. 138–139.
41. Subramoniapillai V., Thilagavathi G. Oil spill cleanup by natural fibers: a review. *Research Journal of Textile and Apparel*. 2021. P. 9–20.
42. Trang T. Y. D., Andreevna Z. L. Effective Treatment of Oil Spills by Adsorbent Formed from Chitin and Polyurethane Foam. *Current Applied Science and Technology*. 2020. P. 321–333.
43. Use of sorbent materials in oil spill response. The international tanker owners pollution federation limited London. *ITOPF*. 2012. P. 12.
44. Vaišis V., Anužytė E., Paliulis D., Bradulienė J. Modification of natural oil sorbent for improvement of hydrophobicity. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 2022. № 30(1) P. 226–233.
45. Vasilyeva G., Mikhedova E., Zinnatshina L., Strijakova E., Akhmetov L., Sushkova S., Ortega-Calvo J. J. Use of natural sorbents for accelerated bioremediation of grey forest soil contaminated with crude oil. *Science of The Total Environment*. 2022. №850. P. 157.
46. Velkova V., Hybska H., Bubnikova T., Knapcova I. The Effect of Some Sorbents Used to the Oil Leaks Disposal. *In Waste Forum*. 2018. №3. P. 3–5.
47. Wahi R., Chuah L. A., Choong T. S. Y., Ngaini Z., Nourouzi M. M. Oil removal from aqueous state by natural fibrous sorbent: an overview. *Separation and Purification Technology*. 2013, № 113, P. 51–63.
48. Xiao W., Niu B., Yu M., Sun C., Wang L., Zhou L., Zheng Y. Fabrication of foam-like oil sorbent from polylactic acid and *Calotropis gigantea* fiber for effective oil absorption. *Journal of Cleaner Production*. 2021. №278. P. 507.
49. Xu Y., Su Q., Shen H., Xu G. Physicochemical and sorption characteristics of poplar seed fiber as a natural oil sorbent. *Textile Research Journal*. 2019. № 89 (19-20). P. 4186–4194.

50. Zamparas, M., Tzivras, D., Dracopoulos, V., & Ioannides, T. Application of sorbents for oil spill cleanup focusing on natural-based modified materials: A review. *Molecules*. 2020. № 25. P. 45.
51. Zaro, M., Silvestre, W. P., Fedrigo, J. G., Zeni, M., & Baldasso, C. Sorption of oils by a commercial non-woven polypropylene sorbent. *Research, Society and Development*. 2021. № 10. P. 147–150.
52. Zhang H., Wang R., Li P., Jia L., Wang F., Liu Y., et al. One-step, large-scale blow spinning to fabricate ultralight, fibrous sorbents with ultrahigh oil adsorption capacity. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2021. №13(5). P. 6631–6641.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

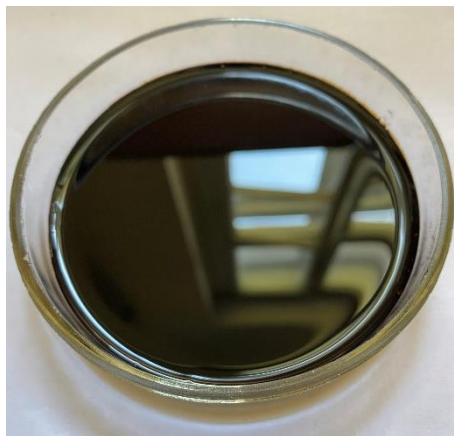
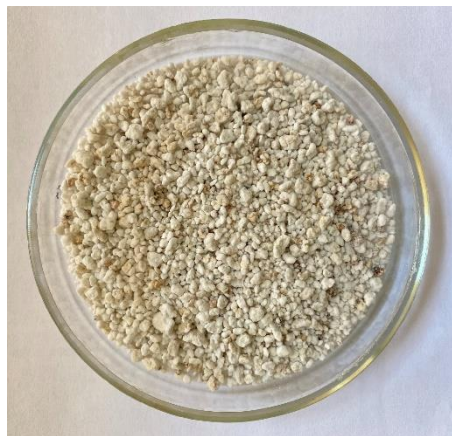
**А****Б****В****Г****Д**

Фото 1. Матеріали, що використовували у дослідженнях:

А □ нафта «URALS»; Б – перліт; В – деревна тирса; Г – активоване вугілля;
Д – біосорбент «Еконадін»
(фото М. Ларина)

ДОДАТОК Б

Охорона праці та безпека життєдіяльності в надзвичайних ситуаціях

Вимоги безпеки перед початком роботи

1. Приміщення, де проводяться дослідження, повинне мати витяжну шафою з бортами та захисним склом, задля запобігання виливу рідини за границю витяжної шафи та потрапляння реактивів на виконавця даної роботи роботи. Обов'язково у приміщенні лабораторії повинен знаходитися вогнегасник.
2. Перед початком роботи необхідно перевірити чи працює витяжна шафа; перевірити справність електроприладів та правильність їх ввімкнення до електромережі.
3. Забороняється, розпочинати будь яку роботу при виявленні пошкодження обладнання. Студент повинен повідомити керівнику або лаборанту про виявлені пошкодження.

Правила безпечного виконання роботи

1. Обов'язково використовувати захисний одяг (лабораторний бавовняний халат, при необхідності гумові рукавички та окуляри; при роботі з дрібнодисперсними речовинами потрібно використовувати респіраторну захисну маску);
2. під час роботи двері мають бути щільно зачинені;
3. під час роботи з вибуховими та речовинами, які є легкозаймистими потрібно дотримуватись запобіжних заходів. Зберігати вибухові та горючі речовини необхідно в відокремлених приміщеннях у малій кількості; при роботі з летючими речовинами обов'язково потрібно використовувати витяжною шафою.

У приміщеннях кафедри забороняється:

- працювати без нагляду керівника або лаборанта;
- працювати у верхньому захисному одязі;

- користуватися косметикою, палити, вживати їжу, пити та зберігати продукти харчування;
- викидати в раковини скляні матеріали або рештки, сміття, виливати концентровані кислоти, луги, органічні розчинники, легкозаймисті та горючі рідини;
- користуватись приладами електронагрівання, джерелами відкритого вогню(сірниками, запальничками тощо);
- переносити або переставляти обладнання без дозволу зав. кафедри або зав. лабораторією;
- експлуатувати зіпсовані електроприлади;
- самостійно проводити ремонт розеток, вимикачів, запобіжників;
- користуватись витяжними шафами без скла, бортиків або з непрацюючою вентиляцією;
- зберігати реактиви у посуді без етикеток.

По закінченні роботи слід ретельно вимити руки.

Робота з хімічними речовинами має бути орієнтована на такі принципи:

1. Робота з шкідливими речовинами повинна відповідати вимогам техніки безпеки і захисту довкілля.
2. Використання токсичних і потенційно канцерогенних речовин необхідно зводити до мінімуму. При можливості такі речовини замінюються на речовини що мають меншу токсичність.
3. У лабораторії можна зберігати лише ті речовини, що необхідні для використання найближчим часом.
4. У кожній лабораторії повинні знаходитися списки небезпечних речовин.

Правила безпеки, які є обов'язковими після закінчення роботи.

По закінченні роботи кожний виконавець зобов'язаний:

1. привести до порядку робоче місце, прилади, посуд та апаратуру, яку використовував;

2. виходячи останнім, зачинити вікна (квартирки), вимкнути світло, газ, перевірити чи вимкненні всі електроприлади і закриті крани, зачинити приміщення на ключ.

Ключі передаються черговому охоронцю, про що робиться запис відвідування у журналі.

Надання першої медичної допомоги.

У випадку ураження людини струмом у першу чергу потрібно вимкнути рубильники та викликати «Швидку допомогу» за номером 103.

При легких термічних опіках шкіру слід промити етанолом. При більш сильних опіках обпечене місце після промивання концентрованим розчином перманганату калію та етанолом необхідно ретельно змастити засобом від опіків.

При опіках кислотами потрібно промивати обпалене місце великою кількістю води протягом 10 хвилин, потім – 3% розчином соди.

При опіках лугами шкіру потрібно промити великою кількістю проточної води, а потім нейтралізувати 1% розчином борної кислоти. Аміак майже не діє на шкіру, але при попаданні в очі може викликати сильні пошкодження і навіть привести до сліпоти.

При отруєнні хімікатами слід терміново викликати лікаря або відправити потерпілого в найближче лікарське відділення. Дуже важливо визначити, отруєння якою речовиною мало місце. Перша допомога при будьякому отруєнні полягає в швидкому видаленні отрути з організму, а якщо це неможливо, то у знешкодженні її в організмі. При отруєнні парами постраждалого слід вивести на вулицю, щоб він вдихав свіже повітря. При послабленні дихання та нестачі кисню слід застосовувати штучне дихання і негайно викликати лікаря.

При попаданні хімікатів у очі їх необхідно негайно промити великою кількістю води, чистими руками. При порізах у разі необхідності видалити з рани уламки скла або інших матеріалів, промити рану, краї рани продезинфікувати 3% спиртовим розчином йоду, а потім накласти стерильну

пов'язку. При сильних кровотечах слід накласти вище рани джгут і викликати лікаря або направити того, хто постраждав, у найближчу лікарню.

У разі виникнення можливої пожежі необхідно:

- миттєво повідомити про це лаборанта або керівника;
- викликаючи пожежну службу необхідно зберігати спокій та назвати адресу корпусу;
- якщо у приміщенні є люди, то вжити (за можливістю) заходів до евакуації людей;
- якщо пожежа є локальною, то почати її гасіння вогнегасником, який має збути у лабораторії;
- у випадку оголошення евакуації швидко й організовано покинути приміщення лабораторії та навчального корпусу.