

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

АБЛЄВА ІРИНА ЮРІЇВНА



УДК 502/504:622.276(477)(043.3)

**НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ
ДО ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ
НАФТОВИДОБУВНИХ ТЕРИТОРІЙ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Реферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Суми – 2022

Дисертація є кваліфікаційною науковою працею на правах рукопису.

Робота виконана на кафедрі екології та природозахисних технологій Сумського державного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант – доктор технічних наук, професор
Пляцук Леонід Дмитрович,
Сумський державний університет
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри екології та природозахисних технологій.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Адаменко Ярослав Олегович,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу Міністерства освіти і науки
України, завідувач кафедри екології;

докторка технічних наук, професорка
Степова Олена Валеріївна,
Національний університет «Полтавська політехніка імені
Юрія Кондратюка» Міністерства освіти і науки України,
завідувачка кафедри прикладної екології
та природокористування;

докторка технічних наук, доцентка
Тверда Оксана Ярославівна,
Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Міністерства освіти і науки України,
доцентка кафедри геоінженерії.

Захист дисертації відбудеться 13 січня 2023 року об 11 год 00 хв на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04 в Сумському державному університеті за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, корп. Ц, ауд. 204.

Із дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Сумського державного університету за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, та на сайті спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04 за електронною адресою: <https://sumdu.edu.ua/uk/science/science-info/scientific-infrastructure/specialized-council/permanent-specialized-council/102-55-051-04.html>.

Реферат розісланий 7 грудня 2022 року.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04



О. О. Ляпощенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сьогодні нафта залишається основним видом палива у світі, тому нафтовидобування є однією з найбільш важливих галузей для України, а нафтогазова промисловість продовжує зберігати свої позиції у світовій економіці. Під час буріння нафтових свердловин застосовують комплексний інженерний підхід й інноваційні технології, що дозволяє одержати позитивний технологічний та економічний ефект, проте менше уваги приділяють екологічним аспектам діяльності. Видобування вуглеводневмісної сировини породжує низку екологічних проблем, пов'язаних із забрудненням довкілля. Відходи буріння та їх токсичні компоненти: нафта й нафтопродукти, пластова вода, бурові розчини, буровий шлам і низка хімічних реагентів, можуть впливати на довкілля та здоров'я людей. Відповідно техногенне навантаження на довкілля від нафтовидобувної діяльності продовжує зростати, оскільки з кожним роком збільшується кількість експлуатованих свердловин, що пов'язано з пошуком нових родовищ або виходом на більші глибини буріння. Крім того, нафта є цінною сировиною для нафтохімічної промисловості, тому процеси її видобування й використання повинні реалізовуватися з додержанням вимог екологічної безпеки та мінімізації екологічних ризиків. На сьогодні розроблені галузеві нормативні документи, стандарти, положення, що регламентують провадження нафтовидобувної діяльності. Проте не існує дієвого чітко сформованого механізму превентивної системи заходів, зокрема, попередження аварійних ситуацій. Ліквідувальні заходи й технології не забезпечують 100 % результату. Отже, маємо ситуацію забруднення атмосферного повітря, підземних і поверхневих вод та ґрунтів як викидами, стоками й відходами нафтовидобування, так і сировою нафтою.

Для виконання цього завдання необхідно застосувати системний підхід і розглянути процес видобування нафти нерозривно з об'єктами довкілля, що зазнають прямого та опосередкованого впливу. Розроблення науково-методологічного підходу до впровадження комплексного екологічно безпечного рішення щодо біотехнологічного способу ліквідації нафтових розливів із залученням побічних продуктів виробництва біогазу й промислових відходів та оцінювання екологічного ризику є актуальними науково-теоретичними завданнями, на вирішення яких спрямовані дисертаційні дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки в Україні на період до 2022 року з розділу «Раціональне природокористування» і стратегічним пріоритетним напрямкам інноваційної діяльності в Україні на 2011–2022 рр. «Широкое застосування технологій більш чистого виробництва та охорони навколишнього природного середовища».

Робота виконана відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри екології та природозахисних технологій Сумського державного університету,

пов'язаних із тематиками «Зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище підприємств хімічної, машинобудівної промисловості та теплоенергетики» (номер державної реєстрації 0116U006606) і «Зниження техногенного навантаження на довкілля від об'єктів нафтовидобування: перспективи застосування біотехнологій» (номер державної реєстрації 0121U114460) згідно з науково-технічною програмою Міністерства освіти і науки України, в яких авторка брала участь як виконавиця та керівниця відповідно.

У дисертаційній роботі використані результати досліджень, проведених під час виконання договорів на розроблення та передавання науково-технічної продукції, за темами: «Комплексні послуги у галузі екології для підприємств, установ та організацій» (ТОВ «Укрнафтозапчастина», № 51.16-2020.СП/200); «Комплексні послуги щодо оцінювання екологічної безпеки роботи центрифуги» (ТОВ «Укрнафтозапчастина», № 51.16-2020.СП/201), в яких авторка брала участь як наукова керівниця.

Мета дослідження. Метою роботи є розроблення та обґрунтування наукових засад системного підходу щодо зниження техногенного навантаження на довкілля в зоні впливу нафтовидобувних територій за допомогою застосування комплексного еколого-технологічного рішення.

Завдання досліджень. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

– системно проаналізувати джерела екологічної небезпеки під час видобування нафти;

– оцінити вплив на довкілля від аварійно небезпечних ситуацій нафтовидобувної діяльності;

– розробити методику системного підходу до оцінювання впливу відходів нафтовидобування на довкілля та екологічно безпечного поводження з ними;

– розробити методику дослідження фільтрації нафти через ґрунт для прогнозування глибини та площі забруднення;

– вдосконалити науково-методологічну основу системного підходу до вирішення проблеми техногенного навантаження під час видобування нафти;

– розробити та впровадити вдосконалені технології поводження з буровими відходами;

– розробити науково-теоретичний підхід до дослідження та впровадження технології очищення нафтозабруднених ґрунтів методами біоремедіації;

– розширити та адаптувати науково-теоретичні засади проведення біостимуляції на підставі симбіозу біоенергетичних рішень;

– удосконалити науково-практичні підходи до створення нафтодеструктивних консорціумів мікроорганізмів із використанням біоінформаційних баз даних;

– провести математичне моделювання процесу поширення нафти через пористе середовище для своєчасного застосування заходів із локалізації та ліквідації аварійних розливів;

– провести математичне моделювання безпеки системи «видобування нафти – бурові відходи – вплив на довкілля» та екологічного ризику із застосуванням нечіткої нейронної гібридної мережі.

Об'єкт дослідження – техногенний вплив процесу видобування нафти на довкілля.

Предмет дослідження – системний підхід до зниження техногенного навантаження на компоненти довкілля від нафтовидобувної діяльності.

Методи дослідження. Теоретичні аспекти дисертаційної роботи ґрунтуються на системному, фізичному, біохімічному та математичному моделюванні процесів впливу нафтовидобувної діяльності на довкілля, зокрема, поширення нафти в пористому середовищі, розкладання нафти нафтодеструктивними консорціумами мікроорганізмів, прогнозування глибини й площі проникнення нафти в разі її аварійного розливу, оцінювання ступеня деградації нафти в ґрунті. Для моделювання безпеки системи та оцінювання ризику використано метод аналізу ієрархій (МАІ) із застосуванням нечіткої логіки.

Під час проведення експериментальних досліджень для визначення хімічного складу зразків, контролю фізико-хімічних параметрів процесу були використані такі методи: рентгенофлуоресцентний, рентгенодифракційний, атомно-адсорбційний, газохроматографічний, електронної мікроскопії, гравіметрії, гігromетрії та рН-метрії. Для визначення якості та екологічної безпеки забруднених нафтою ґрунтів проводили санітарно-бактеріологічні дослідження.

Дослідження морфології мікробних препаратів здійснювали за допомогою світлової та електронної растрової мікроскопії. Таксономічну класифікацію та огляд метаболічних шляхів трансформації нафтових сполук проводили за допомогою електронних баз даних KEGG (Кіотська енциклопедія генів і геномів), MetaCyc та бази даних EzTaxon. Морфологію, фізіологію, умови культивування й зростання, ізоляцію, відбір проб та інформацію про довкілля, застосування і взаємодію мікроорганізмів, що розкладаються нафтою, вивчали за допомогою бази даних BacDive про бактеріальну різноманітність. Прогнозування та інтерактивну візуалізацію геномних острівців у бактеріальних геномах здійснювали за допомогою веб-сервера IslandViewer 4.

Використані методи оптимізації в моделюванні технологічних процесів із застосуванням комп'ютерних технологій та електроніки. Візуалізацію одержаних результатів щодо задачі моделювання проникнення нафти через ґрунт виконано за допомогою програмного забезпечення ANSYS CFX. Кластерну візуалізацію на основі бібліометричної мережі спорідненості та відповідності ключових слів виконано за допомогою програмного забезпечення VOSviewer (версія 1.6.15). Використано програмні пакети підтримання експерименту DifWin-1, Autodesk 3DS Max (ліцензовані). Дані аналізували за допомогою програмної системи аналізування даних Statistica, версія 13.0.0.0 (TIBCO Software Inc., 2017), Microsoft Excel. Статистична

значущість експериментальних даних була оцінена за допомогою дисперсійного аналізу (ANOVA).

Наукова новизна одержаних результатів. Із метою підвищення рівня екологічної безпеки нафтовидобувних територій і попередження ризику для довкілля від штатних та аварійних ситуацій під час видобування нафти на підставі виконаних теоретичних досліджень й експериментальних даних одержані такі нові наукові результати:

вперше:

– розроблено науково-теоретичні основи системного підходу до оцінювання впливу відходів нафтовидобування на довкілля та екологічно безпечного поводження з ними з метою зниження техногенного навантаження на довкілля від нафтовидобувної промисловості;

– для зниження екологічного ризику від аварійних розливів нафти запропоновано науково-методичний підхід до моделювання фільтрації нафти через пористе середовище, що забезпечило прогнозування глибини, швидкості та площі забруднення ґрунту;

– розроблено науково-методологічний підхід до дослідження та впровадження технології очищення нафтозабруднених ґрунтів методами біоремедіації, що дозволило підвищити рівень екологічної безпеки відповідних територій за рахунок скорочення часу ліквідації забруднення й підвищення ефективності процесу;

– теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено ефективність застосування анаеробного дигестату як біостимулятора у складі бактеріальних препаратів на підставі наявності в ньому необхідного комплексу поживних речовин для нафтодеструктивних мікрорганізмів, що задовольняє вимоги екологічної безпеки щодо комплексного поводження з відходами;

– експериментально встановлено залежність ефективності седиментації від дози коагулянту й флокулянту під час реалізації розробленої технології розділення бурового шламу під впливом відцентрових сил, зокрема, науково обґрунтовано дози сульфату алюмінію та поліакриламідну на рівні 30 % та 0,1–0,2 % за основною речовиною відповідно;

набули подальшого розвитку:

– науково-теоретичні підходи до застосування теорії нечіткої логіки в екологічних дослідженнях, зокрема, під час проведення математичного моделювання безпеки системи «видобування нафти – бурові відходи – вплив на довкілля» та екологічного ризику;

– науково-теоретичні підходи до вирішення проблем екологічної безпеки нафтовидобувних територій, зокрема, щодо розроблення комплексу науково обґрунтованих заходів із локалізації та ліквідації аварійних розливів на підставі результатів математичного моделювання процесу поширення нафти через пористе середовище;

вдосконалено:

– методологічну основу системного підходу до вирішення проблеми техногенного навантаження під час видобування нафти, що дозволило

врахувати всі екологічні аспекти досліджуваного процесу в єдності з компонентами навколишнього природного середовища, включаючи біосферу;

– науково-практичні підходи до створення нафтодеструктивних консорціумів мікроорганізмів на основі інформації про метаболічні шляхи перетворення органічних речовин нафти та нафтопродуктів із використанням біоінформаційних баз даних.

Практичне значення одержаних результатів

1. Розроблено спосіб розділення відходів буріння нафтових свердловин у полі дії відцентрових сил із подальшою утилізацією окремих фракцій. Запропонована технологія забезпечує підвищення екологічної безпеки й зниження впливу на довкілля від відходів, утворюваних під час буріння та експлуатації нафтових і газових свердловин, та призначена для ефективного розділення бурових нафтовмісних відходів у полі дії відцентрових сил з одержанням окремих фракцій, придатних для подальшої роздільної утилізації. Основні принципи технології захищені патентом України на корисну модель.

2. Розроблено спосіб біоремедіації нафтозабруднених ґрунтів біологічним методом із внесенням науково обґрунтованої композиції препарату нафтоокиснювальних бактерій та речовин. Реалізація розробленого способу дозволяє знизити техногенне навантаження на довкілля внаслідок відновлення порушених земель і ґрунтів, забруднених нафтою й нафтопродуктами, та забезпечує інтенсифікацію процесу деградації вуглеводнів біологічним способом, що сприяє одержанню екологічного безпечного субстрату та виключає його токсичність для живих організмів за рахунок деградації та/або іммобілізації небезпечних хімічних речовин. Отримано патент України на корисну модель.

3. Розроблено технологію одержання гранульованого біостимулятора на основі анаеробного дигестату, що входить до складу нафтодеструктивного біопрепарату. У цьому разі під час гранулювання додають фосфогіпс як в'язуче для формування оболонки, що додатково вирішує проблему утилізації промислових відходів. Сушіння одержаних гранул проводять у малогабаритних багатоступінчастих сушарках із псевдозрідженим шаром, які працюють за рахунок електроенергії, виробленої з біогазу, що дозволяє комбінувати біогазові установки та установки для виробництва гранульованого біостимулятора. Такий підхід забезпечує зниження техногенного навантаження на довкілля від нафтовидобувної галузі, відповідає вимогам екологічної безпеки щодо поводження з відходами та задовольняє кілька Цілей сталого розвитку.

4. Розроблено практичні рекомендації щодо впровадження у виробництво технології розділення бурових відходів у полі дії відцентрових сил із застосуванням центрифуг та інтенсифікації процесу за рахунок коагуляції та флокуляції. Дослідно-промислові випробування технології проведено на базі ТОВ «Укрнафтозапчастина» (акт впровадження від 20.11.2020 р.) та ТОВ «Науково-виробниче підприємство «Буднафтогаз» (акт впровадження від 05.03.2021 р.).

5. Апробовано технологію одержання гранульованого добрива та біостимулятора з анаеробного дигестату, відповідні дослідження проведено на базі лабораторії Науково-дослідного інституту мінеральних добрив і пігментів Сумського державного університету (акт впровадження від 25.01.2022 р.).

6. Використано рекомендації щодо прогнозування та розрахунку зони забруднення ґрунту та води нафтою в разі аварійних розливів нафти, що забезпечує адекватне оцінювання завданих збитків унаслідок забруднення ґрунту чи води нафтою, Державною екологічною інспекцією в Сумській області (акт впровадження від 14.02.2022 р.).

7. Упроваджено в навчальний процес кафедри екології та природоохоронних технологій Сумського державного університету методичні положення системного підходу щодо оцінювання техногенного навантаження на екосистеми в зоні впливу нафтовидобувних територій, математичну модель процесу геофільтрації нафти через пористе середовище, спосіб біоремедіації нафтозабруднених ґрунтів у дисципліні «Технології захисту навколишнього середовища», «Техноекологія», «Моделювання та прогнозування стану довкілля» та «Екологічні біотехнології» (акт впровадження від 28.12.2021 р.).

Особистий внесок здобувачки полягає в аналізованні стану проблеми, формуванні та розробленні основної ідеї й теми дисертації, створенні науково-теоретичних положень системного підходу до розроблення комплексного екологічно безпечного рішення щодо зниження техногенного навантаження на довкілля від об'єктів нафтовидобувної промисловості, зокрема, розробленні науково-методичних підходів до підвищення екологічної безпеки довкілля в районах видобування нафти та внаслідок аварійних ситуацій із витоком нафти і нафтопродуктів [1], дослідженні закономірностей забруднення об'єктів довкілля в результаті нафтовидобувної діяльності [3; 8], аналізованні та оцінюванні техногенного навантаження на водні об'єкти й ґрунти від розливів нафти [3; 6; 7], впровадженні технологій поводження з буровими відходами [2; 11; 12], розробленні біотехнологічного підходу до ремедіації нафтозабруднених земель [4; 13; 18; 24] та комплексно забруднених ґрунтів нафтою і важкими металами [9; 20], впровадженні комплексних рішень щодо утилізації промислових відходів, зокрема фосфогіпсу, у розроблених технологіях [5; 17], розробленні екологічно безпечних біостимуляторів та сорбентів, зокрема, сумісно в схемах поводження з відходами [15; 16; 21; 23], оцінюванні екологічного ризику від нафтовидобувної діяльності та моделюванні геофільтрації нафти через пористе середовище [14; 19; 22].

Вищезазначена нумерація робіт, виконаних у співавторстві, відповідає списку праць дисертанта, наведеному в рефераті.

У дисертації також було використано результати спільних праць із Сабіною Габбасовою (здобувачка є науковою керівницею), тема дисертаційної роботи: «Прогнозне оцінювання техногенного навантаження на Каспійське море у результаті зміни інфраструктури морської

акваторії» (https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/85264/5/diss_Habbasova.pdf).

Апробація результатів дисертації. Основні наукові та практичні результати роботи доповідалися та обговорювалися на таких науково-технічних, науково-практичних конференціях і семінарах всеукраїнського й міжнародного рівнів: IV–IX Всеукраїнських науково-технічних конференціях «Сучасні технології у промисловому виробництві» (м. Суми, 18–21 квітня 2017 р.; 17–20 квітня 2018 р.; 16–19 квітня 2019 р.; 21–24 квітня 2020 р.; 20–23 квітня 2021 р.; 19–22 квітня 2022 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «STABICONsystems – 2017» (м. Суми, 27–29 квітня 2017 р.); семінарі «Сталий розвиток – погляд у майбутнє» (м. Львів, 15 вересня 2017 р.); II Міжнародній науково-практичній конференції «Водопостачання та водовідведення: проектування, будова, експлуатація, моніторинг» (м. Львів, 18–20 жовтня 2017 р.); 5-му, 6-му Міжнародних конгресах «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (м. Львів, 26–29 вересня 2018 р.; 23–25 вересня 2020 р.); IV Міжнародній науково-практичній конференції студентів, магістрантів та аспірантів «Галузеві проблеми екологічної безпеки» (м. Харків, 19 жовтня 2018 р.); 2nd International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange DSMIE-2019 (м. Луцьк, 11–14 червня 2019 р.); VI Всеукраїнському з'їзді екологів за міжнародної участі (Екологія / Ecology – 2019) (м. Вінниця, 25–27 вересня 2019 р.); 9-th International Youth Science Forum «Litteris et Artibus» (м. Львів, 21–23 листопада 2019 р.); VIII, IX Міжнародних наукових конференціях молодих учених «Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» (м. Харків, 26–27 листопада 2020 р.; 25–26 листопада 2021 р.); XXIII Міжнародній науково-практичній конференції «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2020» (м. Харків, 17–18 грудня 2020 р.); VI, VII Міжнародних молодіжних конгресах «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (м. Львів, 9–10 лютого 2021 р.; 10–11 лютого 2022 р.); 3rd Grabchenko's International Conference on Advanced Manufacturing Processes «InterPartner – 2021» (м. Одеса, 7–10 вересня 2021 р.); VIII Міжнародному з'їзді екологів (Екологія / Ecology – 2021) (м. Вінниця, 22–24 вересня 2021 р.); Міжнародній науково-практичній конференції за участі молодих учених «Галузеві проблеми екологічної безпеки – 2021» (м. Харків, 27 жовтня 2021 р.); An International Conference on Nurturing Innovative Technological Trends in Engineering BIOscience (NITTE-BIO 2021) (Karnataka, India, 19–20 листопада 2021 р.); II Всеукраїнській науково-практичній конференції за міжнародної участі «Екологія. Довкілля. Енергозбереження» (м. Полтава, 2–3 грудня 2021 р.); I Міжнародній науково-практичній конференції «Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022» (м. Полтава – Львів, 26–27 травня 2022 р.).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 50 наукових праць, із яких: 1 монографія у співавторстві, 1 розділ монографії, 22 статті, зокрема, 14 статей у наукових фахових виданнях із переліку МОН України, 8 статей у зарубіжних наукових періодичних виданнях та виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних (Scopus і Web of Science), 24 матеріали доповідей у збірниках праць конференцій, 2 патенти України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 301 найменування на 38 сторінках, та 14 додатків на 41 сторінці. Загальний обсяг дисертації становить 385 сторінок, із яких основний текст – 269 сторінок, 77 рисунків та 32 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми й наукової проблеми, сформульовані мета та завдання досліджень, наведені основні наукові положення і практична цінність одержаних результатів, дані про особистий внесок здобувачки, апробацію результатів дисертації, структуру та обсяг роботи тощо.

У **першому розділі** проаналізовано літературні джерела та визначено основні напрямки техногенного навантаження на навколишнє природне середовище (НПС) в зоні впливу нафтовидобувної діяльності. Аналізування техногенного навантаження на навколишнє природне середовище на етапі будівництва й експлуатації свердловини засвідчив, що загалом під час проведення бурових робіт негативного впливу зазнають усі компоненти НПС. Адекватна оцінка впливу досліджуваного процесу передбачає виділення чотирьох основних стадій розроблення нафтових і газових родовищ: геологічні й геофізичні дослідження, розвідка та оцінювання, розроблення й видобування та виведення з експлуатації. У результаті буріння свердловини утворюються бурові відходи (БВ), серед яких традиційно виділяють відпрацьований буровий розчин (ВБР), буровий шлам (БШ) та бурові стічні води (БСВ). Кожний із цих видів відходів підлягає очищенню для подальшого використання в технологічному процесі чи переробленню.

Таким чином, негативний вплив будівництва свердловини на НПС можливий на таких етапах:

- під час підготовчих робіт – розмічування та планування майданчика для встановлення бурового верстата, риття котлованів під ємності для БВ, влаштування житлово-комунального блоку та місця зберігання паливно-мастильних матеріалів (ПММ);

- під час буріння – руйнування гірських порід на вибої свердловини, приготування промивної рідини для вилучення шламу за допомогою переведення осаду до твердого стану;

- під час кріплення свердловини – спуск обсадних колон, цементация за колонного простору;

– під час випробовування свердловини – виклик у свердловину припливу газів із пласту, випробування та визначення параметрів пласту і пластової рідини, спалювання газу;

– під час демонтажних робіт – вивезення бурового устаткування та матеріалів;

– під час проведення рекультивації – вивезення гравію або плит, розрівнювання території бурового майданчика.

Дослідження проблеми забруднення атмосферного повітря (АП) леткими органічними та неорганічними речовинами засвідчує, що під час буріння й випробування свердловин із вуглеводневою продукцією основними джерелами утворення забруднювальних речовин (ЗР) є: бурова установка і самі свердловини. Основними ЗР, що виділяються в АП, є пари вуглеводнів, а також продукти їх згоряння. Проаналізовано прямий вплив від буріння свердловини й експлуатації родовищ на АП та надано рекомендації щодо зниження впливу на повітряне середовище.

На підставі проведення оцінювання впливу процесу будівництва та експлуатації свердловин на водне середовище території виділені основні форми такого впливу. У період будівництва свердловин потреба у воді господарсько-питного призначення визначається необхідністю забезпечення бурових бригад водою господарсько-питної якості. У період експлуатації нафтопромислів виробниче водоспоживання складається із забезпечення водою установок промислової підготовки нафти, котелень, а також цілей заводнення пластів у системі підтримання пластового тиску (ППТ).

За попередніми розрахунками, добова потреба у воді в період будівництва оцінюється як 0,49 тис. м³, у період експлуатації – 10,4 тис. м³. Значні потреби у воді технологічно потребують операції промивання свердловин та заводнення нафтових пластів. Схема водопостачання й водовідведення на період спорудження пошукової свердловини наведена на рисунку 1. Найбільш значним є техногенне навантаження на гідросферу, що пов'язано з витокami та фільтрацією ВБР та БСВ із шламових амбарів. Визначено характер впливу на підземні й поверхневі води.

Аналізування забруднення ґрунтів нафтовими вуглеводнями показало, що насамперед негативного впливу від розроблення нафтогазових родовищ зазнає ґрунтова поверхня. Значні площі високопродуктивних ґрунтів назавжди виводяться із сільськогосподарського обороту, забруднення нафтою призводить до значних змін фізико-хімічних властивостей ґрунту та ґрунтової мікробіоти. Аналізування наукових праць із дослідження розподілу вуглеводнів у ґрунті засвідчує, що під час проведення як модельного, так і польового експерименту враховують переважно такі фактори: тип ґрунту, фракційний склад сирової нафти або нафтошламу, глибину проникнення забруднення. Результати свідчать, що ґрунт поблизу джерел забруднення найбільш забруднений і чим далі від джерела забруднення, тим нижчий вміст нафтових вуглеводнів (НВ) у ґрунті. Вміст НВ зменшується зі збільшенням глибини ґрунту внаслідок адсорбції ґрунтом.

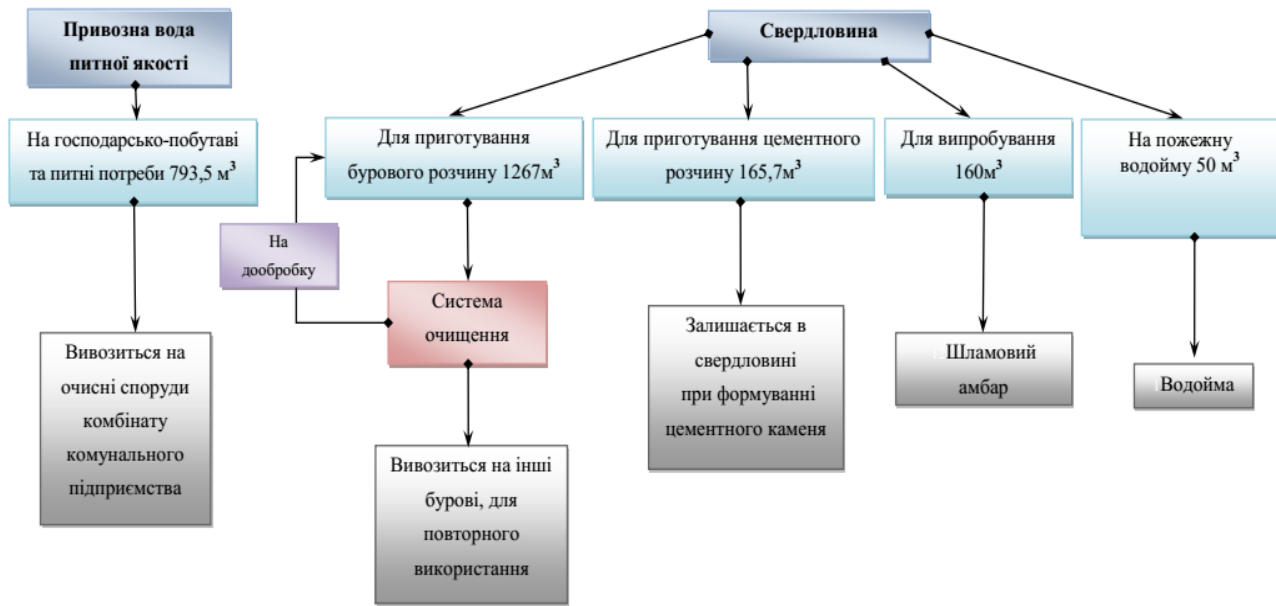


Рисунок 1 – Схема водопостачання та водовідведення

У науковій літературі наведені результати одиничних експериментів, спрямованих на визначення залежності характеру й сили впливу нафтового забруднення на фізичні, хімічні властивості та динаміку біохімічних процесів ґрунту від заданих факторів. Для виявлення токсичності ґрунту та води широко використовують фітотести, за яких рослини здатні адекватно реагувати на екзогенні хімічні впливи за рахунок зменшення подібності насіння, інтенсивності проростання коренів та пагонів, а отже, є індикаторами токсичності.

Експериментальні дані не дозволяють спрогнозувати наслідки надходження нафти і нафтопродуктів (НП) у ґрунт, що свідчить про необхідність розроблення теоретичної моделі, яка описує механізм процесів, що проходять. Проаналізовані моделі фільтрації нафти в ґрунті як у пористому середовищі мають односпрямований фізичний характер і не враховують хімічних та біохімічних реакцій, що відбуваються в цьому разі в ґрунті.

На окрему увагу з позицій екологічної безпеки заслуговують аварійні ситуації з розливом нафти на водну поверхню та ґрунт. Вплив експлуатаційних чинників на виникнення аварійних ситуацій має випадковий характер, локальний щодо розміщення об'єктів і попереджується насамперед суворим регламентом технологічного процесу в рамках проєктного режиму; організацією надійного контролю за технічним станом устаткування. Проблема вивчення процесів міграції вуглеводнів, що проникають із поверхні ґрунту, є дуже складною й до цього часу залишається сферою активних наукових досліджень. Проаналізовані моделі мають надто загальний характер, вони не розрізняють істотних і неістотних факторів. Для вирішення цієї проблеми необхідно вдосконалити методи прогнозування поширення ЗР з урахуванням фізико-механічних механізмів взаємодії ЗР між собою та з пористим середовищем.

Останні наукові дослідження засвідчують, що найбільш доцільним є застосування технології роздільного перероблення бурових нафтовмісних відходів із використанням комплексних методів утилізації. Існує необхідність розроблення комплексної технології, оскільки стале поводження з відходами буріння повинне складатися з фізико-хімічних, біологічних та хімічних методів оброблення відходів, тому очищення нафтозабруднених ґрунтів доцільно здійснювати системно з використанням відповідних методів на кожному виділеному етапі.

Зважаючи на проведений аналіз наукових та практичних досягнень і виявлені водночас недоліки, сформульовані вищенаведені мета й завдання досліджень.

У другому розділі розглянуті об'єкт і методи досліджень, здійснена організація структури проведення теоретичних та експериментальних досліджень.

Системний аналіз є одним із напрямків системного підходу. Розв'язування задач системного аналізу досліджуваної проблеми проводили за наведеною на рисунку 2 схемою алгоритму. На рисунку 3 наведені етапи системного аналізу для розв'язання задачі щодо підвищення рівня екологічної безпеки нафтовидобувних територій, що проявляється через попередження або мінімізацію забруднення об'єктів довкілля відходами буріння та підвищення ефективності локалізації й ліквідації аварійних розливів нафти.

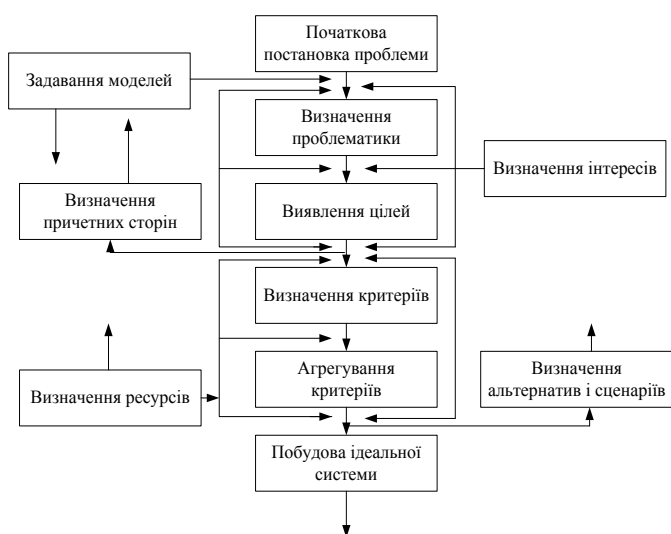


Рисунок 2 – Узагальнений алгоритм розв'язання задач системного дослідження конкретної проблеми

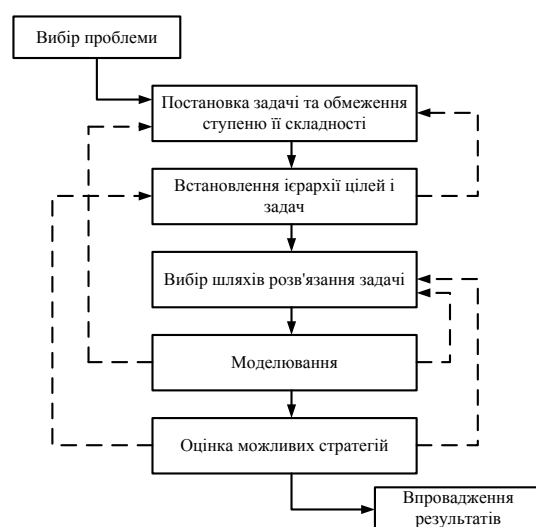


Рисунок 3 – Принципова схема системного аналізу для вирішення поставлених завдань дослідження

Оцінювання техногенного навантаження в загальному вигляді включає процес ідентифікації та прогнозування негативної дії на довкілля та/або здоров'я людей унаслідок функціонування об'єктів, що становлять небезпеку для населення і довкілля після досягнення порогу техногенного навантаження.

Об'єктом досліджень були зразки БШ, що відбирали на свердловинах, для буріння яких використовували БР на основі ІЕР Witer II. Досліджували зразки БШ, відібрані на свердловинах № 77 Семиренківського

газоконденсатного родовища (№ 1, 2, 5, 6), Мачуського газового родовища глибиною 5 270 м № 54 (№ 3 та 4) та на свердловинах із використанням БР на основі ІЕР Witer II (№ 7–10), які наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Досліджувані зразки бурового шламу

Номер зразка	Розшифрування зразків
1	Зразок шламу № 1 на вході до центрифуги шламу на глино-полімерній основі
2	Зразок шламу № 2 на виході з центрифуги сухої фракції шламу на глино-полімерній основі
3	Зразок шламу № 3 на виході з центрифуги сухої фракції шламу на вуглеводневій основі
4	Зразок фугату № 4 на виході з центрифуги фугату на вуглеводневій основі
5	Зразок шламу № 5 на вході до центрифуги на глино-полімерній основі
6	Зразок шламу № 6 на виході з центрифуги сухої фракції шламу на глино-полімерній основі
7	Зразок шламу № 7 на вході до центрифуги шламу на основі ІЕР Witer II
8	Зразок шламу № 8 (без промивання)
9	Зразок шламу № 9 (із промиванням)
10	Зразок шламу № 10 на виході з центрифуги сухої фракції шламу на основі ІЕР Witer II

Для регенерації ВБР використовують обладнання, принцип дії якого ґрунтується на використанні відцентрових сил, зокрема, центрифуги, декантери, трикантери. Для дослідження вибрано осушувач вертикальний шламовий – вертикальна скидна центрифуга безперервної дії, призначена для приймання БР зі свердловини та очищення його від вибуреної породи під час буріння нафтових і газових свердловин, у складі циркуляційних систем бурових установок. Для встановлення закономірностей осушування шламу в ОВШ-950 використовували БШ різного генезису, тобто утворений у результаті буріння різних свердловин та на різних глибинах. Вологість зразків БШ визначали згідно зі стандартними методиками відповідно до ДСТУ Б В.2.1–17:2009 та ДСТУ ISO 11465–2001. Ефективність ступеня осушення E визначали за формулою $E = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \cdot 100 \%$, де W_1 – вологість зразка шламу до осушування (на вході), %; W_2 – вологість зразка шламу після осушування (на виході), %.

Радіоактивність БШ оцінювали еквівалентною дозою, яку вимірювали за допомогою приладу дозиметр-радіометр МКС-05 «Терра-П». Фазовий склад проб БШ визначали методом рентгенівської дифракції (прилад автоматизований дифрактометр ДРОН-4-07, НВП «Буревісник»). Для визначення особливостей і характеру процесів вимивання хімічних елементів із БР проводили ідентифікацію елементного складу зразків. Дослідження здійснювали методом рентгенофлуоресцентного аналізу (РФА чи XRF) на приладі ElvaX Light SDD. Кількісний вміст рухомих форм ВМ (заліза, міді,

цинку, нікелю, хрому) у БШ визначали методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Для аналізування готували витяжки буферним амонійно-ацетатним розчином із рН 4,8 відповідно до стандартних методик (ДСТУ 4770.2:2007, ДСТУ 4770.4:2007, ДСТУ 4770.6:2007, ДСТУ 4770.7:2007, ДСТУ 4770.8:2007). Приготовлені розчини аналізували на спектрофотометрі С115-М1 (ВАТ «СЕЛМІ», Україна) з електротермічним атомізатором. Для визначення кожного елемента будували калібрувальні графіки, використовуючи стандартні розчини елементів. Проведення вимірювань і розрахунків здійснювали на базі програми AAS-SPECTR.

Відповідно до розробленої методики дослідження фільтрації нафти через ґрунт чотири зразки ґрунту, відібрані поблизу Бугруватівського родовища, класифіковані таким чином: № 1 – камбісол (пісок), № 2 – лювісол (сірі лісові, суглинний пісок), № 3 – чорнозем (супісок), № 4 – кастанозем (пісок). Методика проведення експериментального дослідження якісного та кількісного вмістів вуглецевих фракцій нафти в забрудненому ґрунті базувалася на визначенні загального вмісту (масової частки) НВ вимірювальним методом за допомогою гравіметричного методу відповідно до ISO 11504:2017. Науковий інтерес становив вертикальний розподіл легких і важких фракцій НВ у ґрунті.

Методика дослідження біоремедіації нафтозабруднених ґрунтів ґрунтувалася на визначенні санітарно-бактеріологічних показників якості забрудненого ґрунту, складу та властивостей біостимулятора, швидкості біодеградації нафти. Модель для оцінювання ступеня деградації нафти – degradationrate (DR) – у ґрунті щодо застосовуваного способу оброблення: $DR = \frac{C_i - C_\tau}{C_i} \cdot 100 \%$, де DR – ступінь деградації нафти, %; C_i – початкова концентрація нафти в ґрунті, г/кг; C_τ – концентрація нафти в ґрунті на момент часу τ , г/кг.

Дані аналізували за допомогою програмної системи аналізу даних Statistica, версія 13.0.0.0 (TIBCO Software Inc., 2017). Статистична значущість даних НВ з експериментів була оцінена за допомогою дисперсійного аналізу (ANOVA). Рівняння регресії залежного від часу проникнення через матрицю ґрунту з коефіцієнтом детермінації були одержані з ANOVA регресійної моделі.

У третьому розділі розроблено науково-методологічні підходи до оцінювання безпеки процесу видобування нафти як складної технічної системи. У сфері моделювання та оцінювання ризику потенційно небезпечних об'єктів використовували два підходи: детермінований (нульовий ризик) та ймовірнісний (ненульовий ризик). На рисунку 4 показані методи оцінювання ризику після розливів. У функціональній схемі методології аналізування ризиків відмінною рисою є наявність модуля визначення показника відносного ризику, що дозволяє врахувати зміну часу в умовах виникнення й розвитку надзвичайних ситуацій.

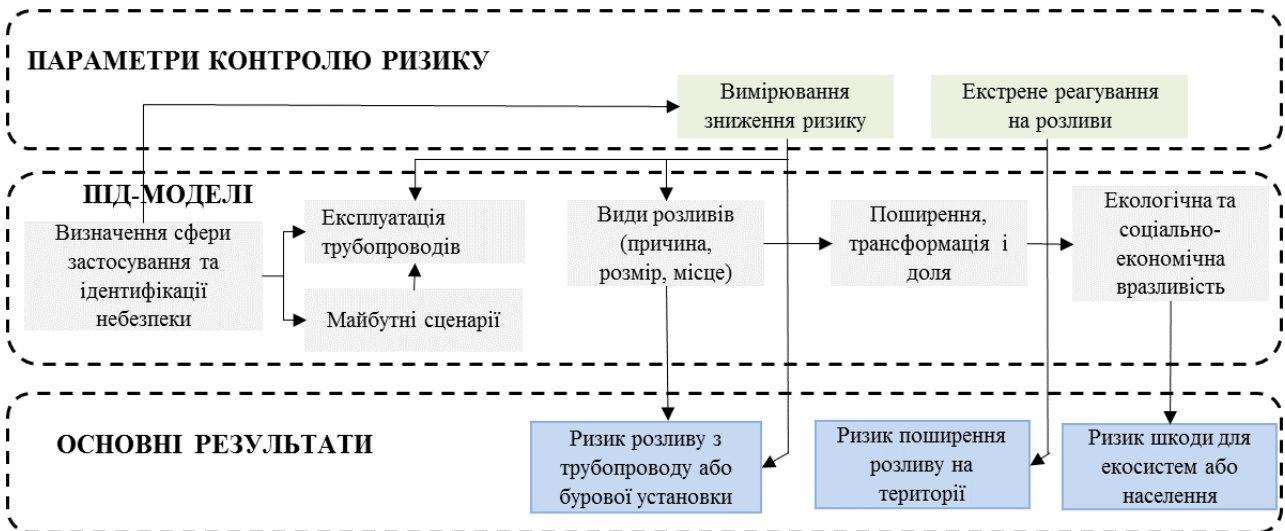


Рисунок 4 – Інтегровані методи аналізування стратегічного ризику

Для більшості оцінювань впливу на навколишнє природне середовище важко визначити кількісно зміну довкілля. Розроблена методологія є напівкількісною, оцінювання на основі балів наведено нижче. Значення антропогенних порушень природного середовища на всіх рівнях оцінювали за такими параметрами: просторовим масштабом, шкалою часу та інтенсивністю. Для комплексного оцінювання впливу на природне середовище використовували мультиплікативну (множинну) методику розрахунку на відміну від адитивної (додавання), прийнятої для соціальної сфери. Комплексний бал визначали за формулою

$$Q_{integr}^i = Q_i^t \cdot Q_i^s \cdot Q_i^j, \quad (1)$$

де Q_{integr}^i – комплексна оцінка для даного впливу; Q_i^t – оцінка часового впливу на i -й компонент природного середовища; Q_i^s – оцінка просторового впливу на i -й компонент природного середовища; Q_i^j – оцінка інтенсивності впливу на i -й компонент природного середовища.

Описана розроблена методологія моделювання безпеки системи із застосуванням нечіткої логіки. Оцінювання екологічного й технологічного ризиків процесу видобування нафти передбачає встановлення системи індексів, що будуть підлягати експертному оцінюванню. Кінцева мета оцінювання безпеки системи полягає у визначенні рівня екологічної безпеки від реалізації такого проєкту для довкілля. Характеристика ризиків у процесі видобування нафти зводиться до ідентифікації ризиків під час буріння нафтових свердловин та безпосередньо видобування й первинного транспортування нафти. Ризики такого комплексного проєкту, в якому взаємодіють кілька підсистем (інженерно-технологічна, екологічна та соціальна), можна охарактеризувати як імовірність виникнення специфічних небезпечних подій і непередбачуваних наслідків.

Установлення системи індексів оцінювання ризиків проекту з видобування нафти має комплексний характер та потребує застосування системного підходу. Встановлено таку систему індексів: природний фактор U_1 , екологічний фактор U_2 , технологічний фактор U_3 , частота надзвичайних ситуацій U_4 , наслідки надзвичайних ситуацій U_5 , фактор превентивних заходів та оперативного реагування U_6 , фактор менеджменту U_7 , економічний фактор U_8 , у межах якої сформовано систему індикаторів. Відповідно до особливостей ризиків у проекті з буріння свердловини й первинного транспортування нафти фактор ризиків стратифікований, згрупований та об'єднаний залежно від відношення членства між факторами для формування ієрархії системи індикаторів.

Теоретичні основи моделювання біоремедіації нафтозабруднених об'єктів. Таксономічну класифікацію та огляд метаболічних шляхів трансформації нафтових сполук проводили за допомогою електронних баз даних KEGG (Киотська енциклопедія генів і геномів), MetaCyc та бази даних EzTaxon. Морфологію, фізіологію, умови культивування й зростання, ізоляцію, відбір проб та інформацію про довкілля, застосування та взаємодію мікроорганізмів, що розкладаються нафтою, вивчали за допомогою бази даних BacDive про бактеріальну різноманітність. Прогнозування та інтерактивну візуалізацію геномних острівців у бактеріальних геномах здійснювали за допомогою широко використовуваного вебсервера IslandViewer 4.

Методологія моделювання процесу геофільтрації нафти. Розглядаючи кінетичні закономірності геофільтрації НП через ґрунт, виділено три групи факторів впливу: параметри ґрунту, нафти та зовнішнього середовища. Деталізація кожного з них, дещо модифікована, враховуючи процеси дифузії, адсорбції, фільтрації й трансформації речовин, наведена в таблиці 2.

Таблиця 2 – Формалізація груп факторів впливу на процес геофільтрації нафти

Показник ґрунту	Властивість нафти	Параметр зовнішнього середовища
Пористість n Проникність k Густина ρ_r Вологість W Гранулометричний склад q Розмір фракцій r	В'язкість μ Густина ρ_n Концентрація C Температура T_n Тиск P_n Вміст легких фракцій θ_l Вміст важких фракцій θ_b Вміст неорганічних сполук χ	Температура T_c Тиск P_c Відносна вологість φ Кількість опадів w Нахил рельєфу місцевості ψ
Інтегральні параметри		
$G(t) = f(m, k, \rho_r, W, q, r)$	$H(t) = f(\mu, \rho_n, C, T_n, P_n, \theta_l, \theta_b, \chi)$	$S(t) = f(T_c, P_c, \varphi, w, \psi)$

Математична модель фізичного процесу фільтрації нафти через пористі середовища не може бути повністю описана за допомогою послідовної моделі руху вологи в ненасиченій зоні або закону Дарсі. Цей процес можна описати залежністю від трьох груп факторів: параметрів нафти ($Q_1(t)$), параметрів ґрунту ($Q_2(t)$) та параметрів довкілля ($Q_3(t)$), що являють собою вхідні потоки (рис. 5).

Кожна група факторів формує вектор впливу, включаючи ті чи інші фізико-хімічні параметри, що характеризують відповідно нафту, ґрунт і довкілля. Водночас завжди існує вектор випадкового впливу як сукупність неконтрольованих впливів. Ці параметри контролюються проведенням аналітичних та приладових вимірювань за допомогою каналів зв'язку ($H^{Q_1}, H^{Q_2}, H^{Q_3}$) та кінцевого результату в певний момент часу (Q_{1t}, Q_{2t}, Q_{3t}), враховуючи всі можливі перешкоди ($h^{Q_1}(t), h^{Q_2}(t), h^{Q_3}(t)$).

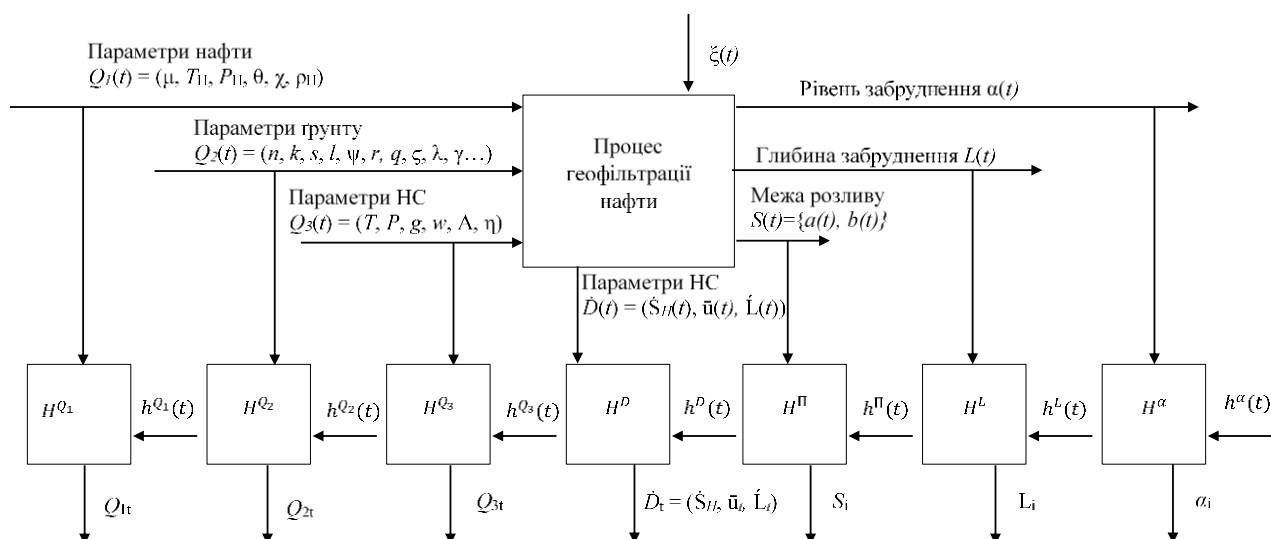


Рисунок 5 – Схема багатовимірного стохастичного процесу геофільтрації нафти

Установлено, що методологічною основою до прогнозування розмірів зони аварійних розливів нафти та застосування комплексу заходів щодо їх ліквідації та локалізації є математичне моделювання й програмне забезпечення ANSYS/CFX для задачі моделювання проникнення нафти через ґрунт.

У четвертому розділі розроблено теоретичні засади комплексного підходу до захисту атмосферного повітря та гідросфери. Хімічні речовини БСВ можна поділити на чотири структурно-функціональні групи, такі як механічні домішки, НП, катіони ВМ та аніони кислотних залишків. Зважаючи на це, їх очищення доцільно проводити комплексно, використовуючи специфічні технології та методи на кожному етапі (рис. 6).

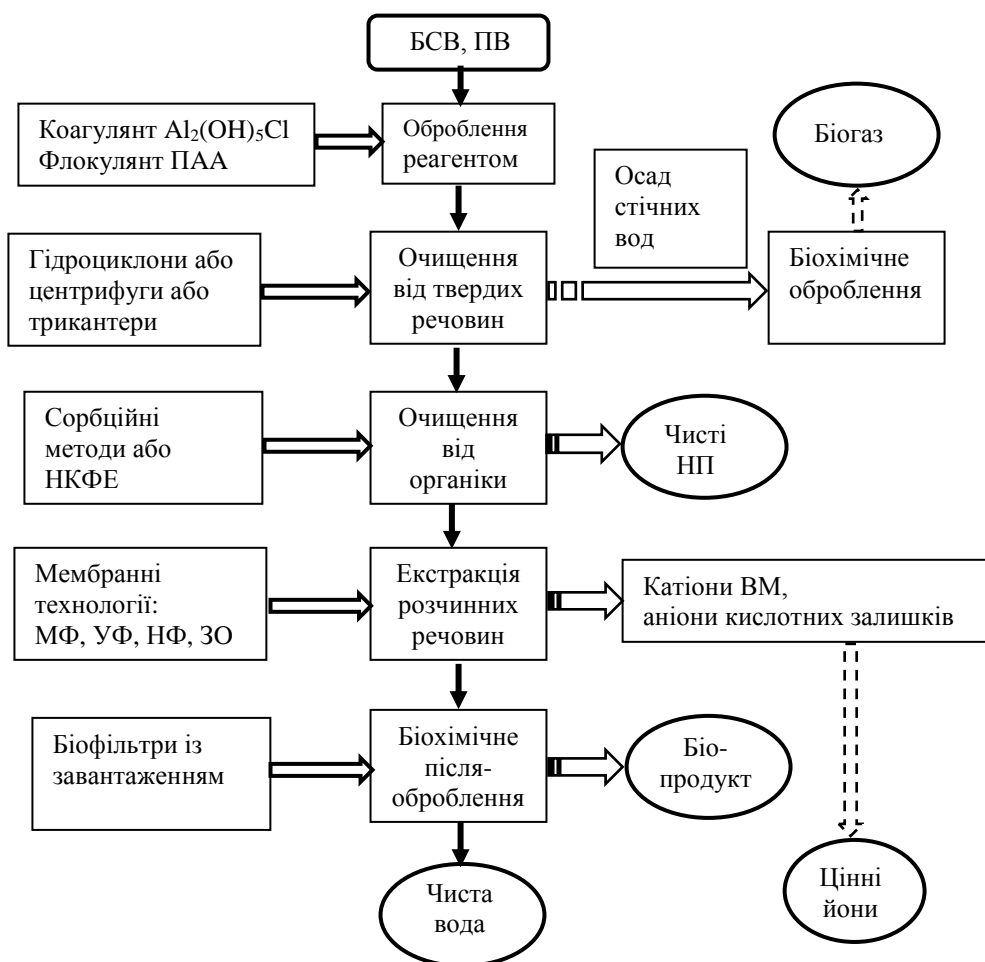


Рисунок 6 –Принципова комплексна схема очищення БСВ:
 БСВ – бурові стічні води; ПВ – пластова вода; ПАА – поліакриламід;
 НКФЕ – надкритична флюїдна екстракція; МФ – мікрофільтрація;
 УФ – ультрафільтрація; НФ – нанофільтрація; ЗО – зворотний осмос;
 НП – нафтопродукти; ВМ – важкі метали

Біохімічний метод використовували на останньому етапі для остаточного очищення БСВ і підвищення якості очищених вод до нормативних показників. Причому запропонована схема дозволяє не лише знизити техногенне навантаження на довкілля за допомогою запобігання скиду забруднених БСВ, а й використовувати отримані речовини як товарну продукцію. На підставі цього підходу для підвищення рівня екологічної безпеки довкілля та ефективності процесу очищення стічних вод, забруднених НП, удосконалено традиційну технологічну схему процесу.

Розроблено комплексну технологію системи очищення бурових стічних вод. Розділення бурових нафтовмісних відходів, зокрема, ВБР, БШ і БСВ, на окремі фази запропоновано проводити за розробленим та запатентованим способом, що забезпечує вторинне використання або утилізацію окремих фаз відходів буріння й відповідає вимогам екологічно безпечного поводження з БВ. Експериментальні дослідження дозволили визначити оптимальні дози коагулянтів і флокулянтів (рис. 7).

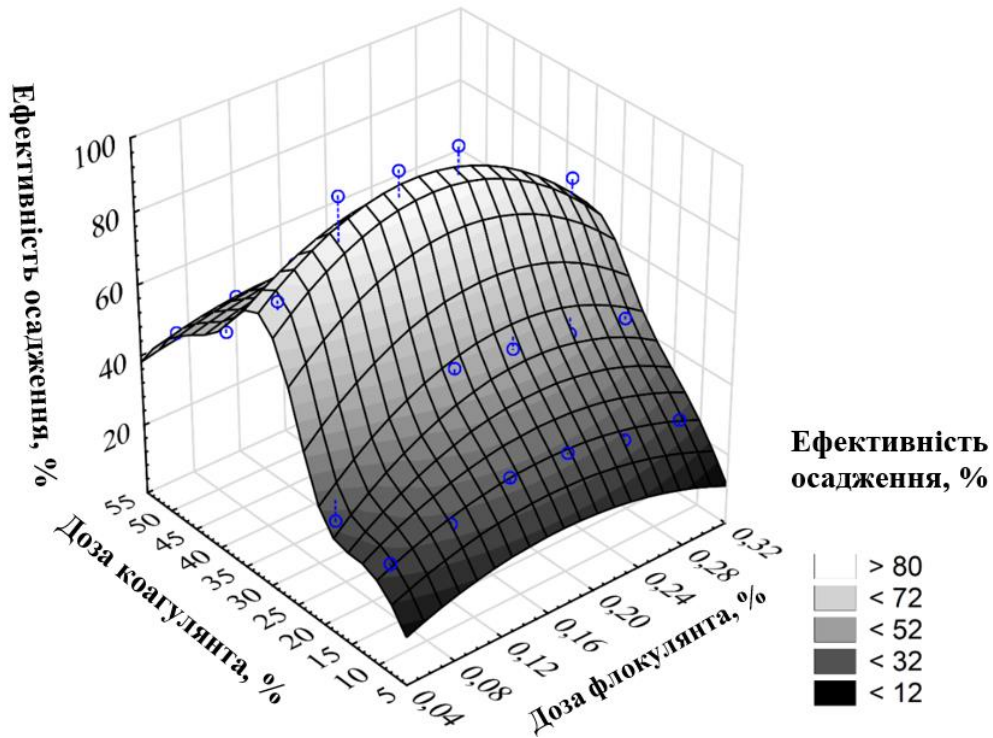


Рисунок 7 – Залежність ефективності осадження від дози коагулянта та дози флокулянта

Вплив цих факторів на ефективність осадження можна апроксимувати за допомогою рівняння регресії:

$$Y = -49.4767 + 314.9857 \cdot X_1 + 6.0946 \cdot X_2 - 741.428 \cdot X_1^2 - 1.8914 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0.087 \cdot X_2^2, \quad (2)$$

де Y – ефективність осадження, %; X_1 – доза флокулянта, %; X_2 – доза коагулянта, %.

Для цієї моделі коефіцієнт детермінації становив 0,9486, критерій Фішера ($f_1 = 18, f_2 = 20$) $F = 2,0936$ ($F_{\text{табл}} = 2,18$ – модель адекватна), стандартна похибка оцінки становила 0,3031, що задовольняє вимоги релевантності.

Установлено, що 30 % коагулянта, 0,1–0,2 % флокулянта за основною речовиною та 9–10 % розчину хлоридної кислоти забезпечують максимальну ефективність інтенсифікації процесу седиментації, що привело до збільшення швидкості осадження частинок з огляду на їх агрегацію на поверхні агента. На рисунку 8 показана схема експериментальної установки розділення нафтовмісних бурових відходів, яка також може бути застосована для очищення БСВ, що містять НП.

Реалізація розробленого способу забезпечує повторне використання освітленої та очищеної води в технологічному процесі, зокрема, під час приготування БР, нафтової фази для одержання палива або як додатка до паливних сумішей, утилізацію механічної фракції з одержанням будівельних конструкцій, у такий спосіб знижує техногенне навантаження на довкілля під час буріння нафтових свердловин.

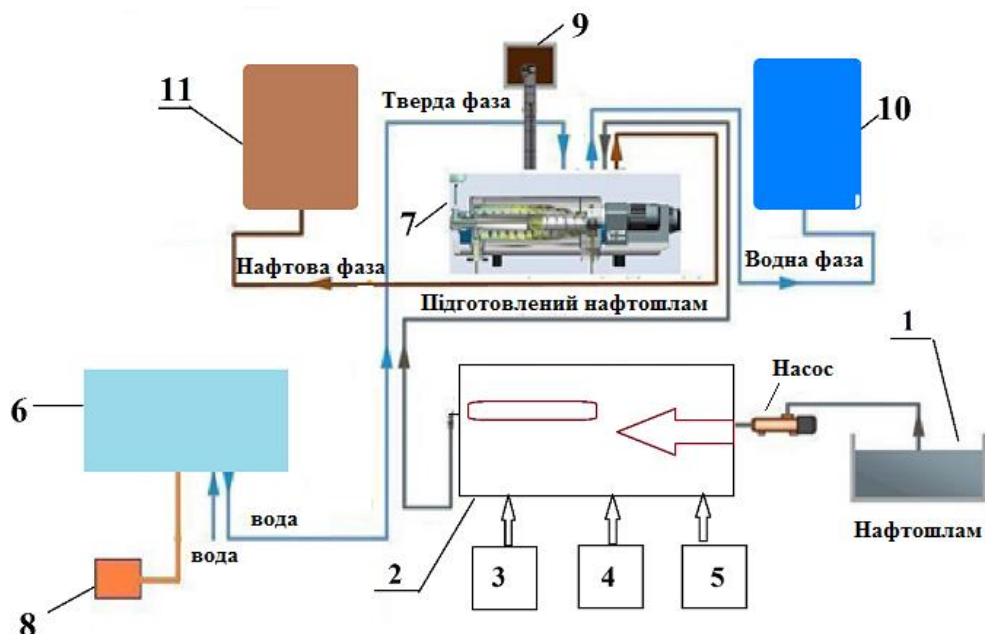
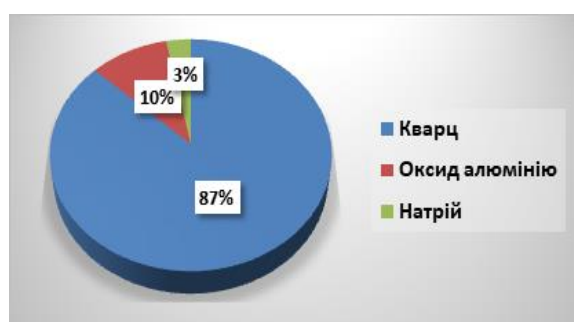


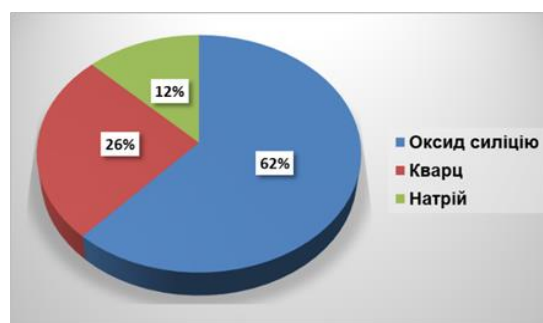
Рисунок 8 – Схема експериментальної установки розділення нафтовмісних бурових відходів:

1 – ємність збирання нафтошляму; 2 – ємність підготовки нафтошляму;
 3 – ємність із розчином хлоридної кислоти; 4 – ємність із рідким коагулянтном;
 5 – ємність із рідким флокулянтном; 6 – ємність із водою; 7 – трикантер; 8 – блок регулювання температури; 9 – ємність твердої фази; 10 – резервуар для водної фази; 11 – резервуар для зберігання нафтової фази

Розроблено вдосконалені технології поводження з буровими відходами. Для фазового складу одержали співвідношення за фазами для зразків № 2 та № 3 (рис. 9 (а) та (б) відповідно).



(а)



(б)

Рисунок 9 – Співвідношення між фазами для зразка № 2 (а) та зразка № 3 (б)

Вміст ідентифікованої фази кварцу (87 %) в досліджуваному зразку твердої фази, одержаної на виході з центрифуги, обумовлений складом гірської породи в межах дії бурильної установки. Наявність оксиду алюмінію (10 %) пояснюється хімічним складом БР, оскільки застосовували розчин на глинополімерній основі.

На підставі проведеного рентгенофлуоресцентного аналізу та одержаних результатів встановлено, що серед виявлених у шламi хімічних елементів певну токсичність має група ВМ, утворена для зразків № 1 і 2 такими елементами, як

ферум, нікол, хром, цинк, п्लумбум (рис. 10). Усі значення не перевищують установлені ГДК для ґрунту.

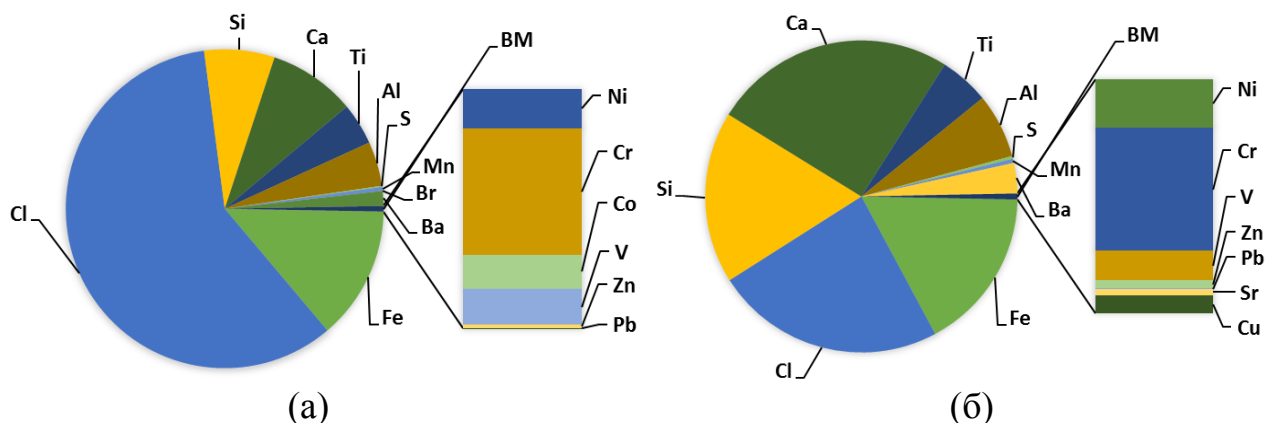


Рисунок 10 – Елементний склад БШ зразка № 1 (а) та зразка № 2 (б)

Проведено дослідження ефективності осушення бурового шламу в центрифугі ОВШ-950. Одержано результати усередненого значення відносної вологості БШ. Зважаючи на одержані результати, варто зазначити, що ступінь осушення бурового шламу на глиняно-полімерній основі вищий, ніж на вуглеводній основі – 82 % та 56 % відповідно (табл. 3). Це обумовлюється хімічними та фізичними властивостями глиняно-полімерної основи шламу, а також водовіддачею.

Таблиця 3 – Ефективність ступеня осушення в центрифугі для БШ

Номер зразка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Е, %	81,45	–	–	–	80,55	–	51,37	50,63	55,71	–

Варто відмітити, що БШ з вуглеводневого розчину з високим умістом обважнювальних частинок, а саме барит, істотно ускладнює процес осушення БШ та потребує залучення всіх систем внутрішнього очищення центрифуги. У разі розділення БШ ефективним є застосування комплексного підходу, тобто проведення його розділення та осушення послідовно з використанням різних установок: центрифуг, осушувачів, що сприяє підвищенню ефективності розділення на фази, використання рідкої фази повторно для приготування БР та застосування твердої фази як вторинної сировини (дрібного заповнювача) для виробництва будівельних матеріалів чи композиційних матеріалів.

У п'ятому розділі здійснено наукове обґрунтування технології очищення нафтозабруднених ґрунтів методами біоремедіації. Наслідками забруднення ґрунтів НП є їх гідрофобність, виникнення анаеробних умов, підвищення ерозії, втрата родючості земель. Тому розроблення найбільш ефективного комплексу заходів для очищення ґрунтів від НВ є пріоритетним завданням під час дослідження забруднених НП земель. Рівень забруднення земельних ділянок залежить від якісних та кількісних показників. До першої групи чинників потрібно віднести якісний хімічний склад нафти, клас небезпеки,

ступінь токсичності для живих організмів і характер трансформації забруднювальних речовин, механічну структуру, тип, водний режим і генетичний профіль ґрунту, тип клімату. Другу групу показників доцільно поділити на дві підгрупи: кількісні характеристики НВ, що надійшли, переважно аренів, нафтенів і парафінів, та окремо показники ґрунту.

Дослідженню щодо визначення рівня фітотоксичності нафти підлягали зразки ґрунту, забруднені НВ унаслідок розливу нафти в разі аварійних ситуацій поблизу Качанівського родовища. На 21-й день дослідження були одержані показники тест-відповіді тест-рослин вівса, салату й пшениці за енергією проростання, довжиною коренів і пагонів та визначений ступінь фітотоксичного ефекту (рис. 11). Таким чином, спостерігався високий рівень токсичності за всіма відгуками для всіх досліджуваних рослин, починаючи від 8 % забруднення ґрунту нафтою.

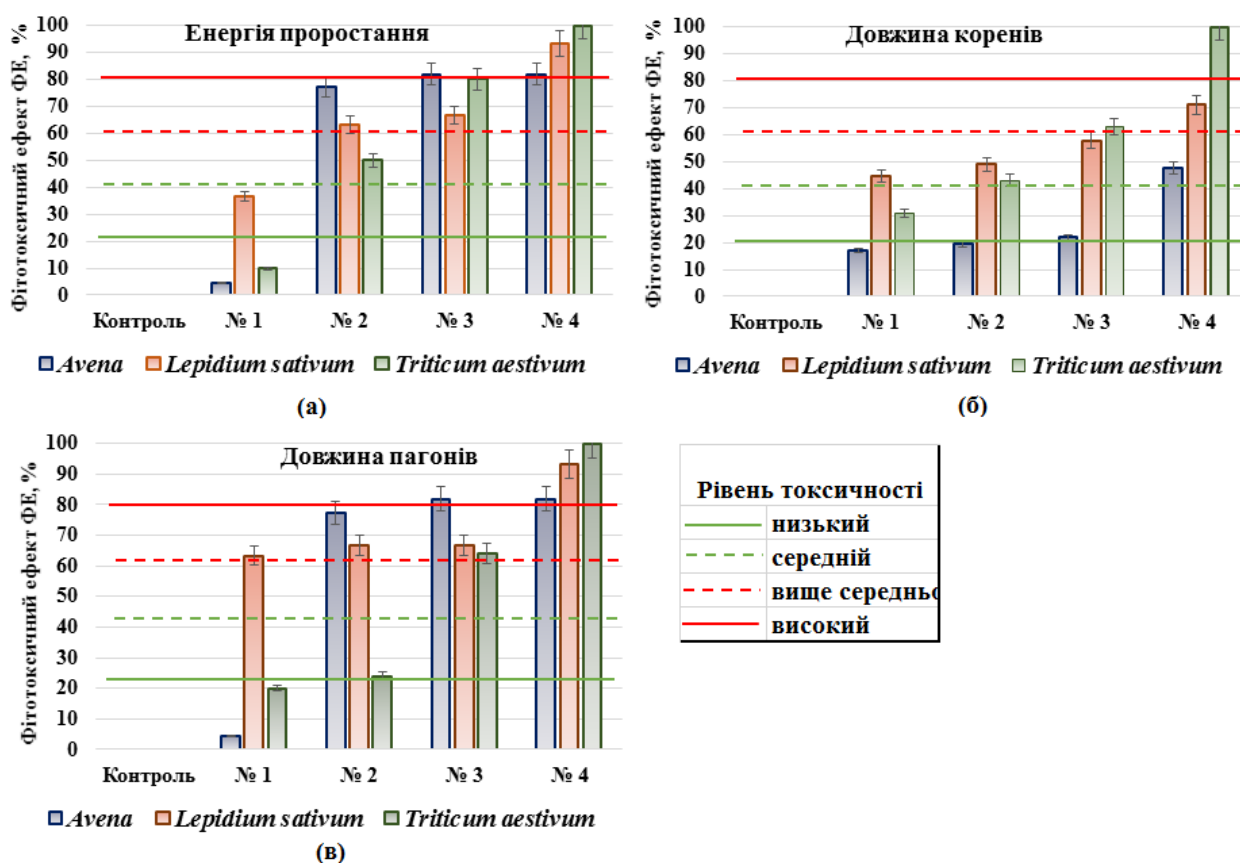


Рисунок 11 – Залежність фітотоксичної дії від концентрації нафти в ґрунті (енергія проростання (а), довжина кореня (б) і довжина пагонів (в))

Для оцінювання екологічної ситуації необхідно враховувати концентрацію кожної сполуки в ґрунті, глибину проникнення і швидкість міграції. Зазначені параметри безпосередньо пов'язані з такими фізико-хімічними властивостями ґрунту, як водневий показник рН, окисно-відновний потенціал Eh, температура, вологість, кількість опадів і ступінь аерації.

Роль аборигенної мікрофлори в процесі деградації вуглеводнів визначали на дослідних ділянках, що мали однаковий якісний, але різний кількісний склад НВ, а рівень забруднення нафтою характеризувався зростаючим

порядком: зразок № 1 < зразок № 2 < зразок № 3 (5, 10 і 15 г/кг відповідно). Ароматичні сполуки бензол, толуол і ксилол були визначені в половині від маси загальних НВ, що потребують необхідної специфічної мікробіоти в консорціумі бактерій.

Місцева мікрофлора в природних умовах із використанням різних вуглеводнів як єдиного джерела вуглецю забезпечує здатність до росту мікроорганізмів та біодеградації нафти. Кінетика цього процесу залежить від часу та стійкості до різних концентрацій НВ у нафтозабруднених ґрунтах. На рисунку 12 наведено результати багатофакторного аналізу, що відображають залежність ступеня деградації нафти від часу експозиції τ та початкової концентрації нафти C_i .

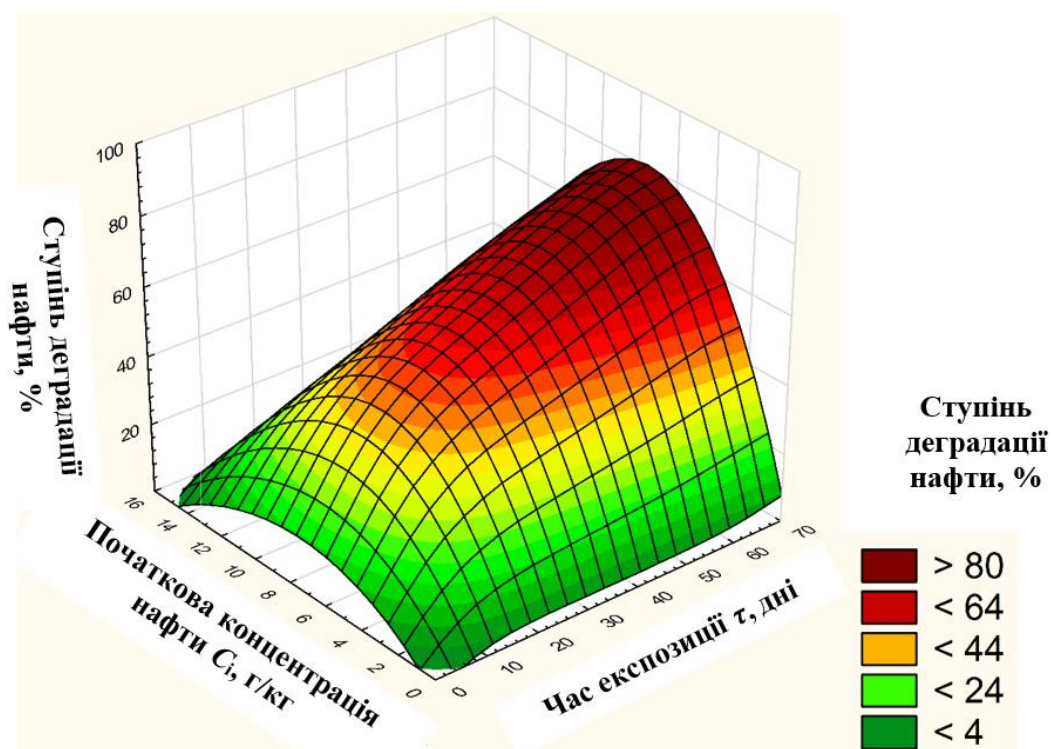


Рисунок 12 – Залежність ступеня деградації нафти від часу експозиції τ та початкової концентрації нафти C_i

Вплив цих факторів на ступінь деградації нафти можна апроксимувати за допомогою рівняння регресії:

$$Y = -11.8961 + 11.8395 \cdot X_1 + 0.9027 \cdot X_2 + 0.7914 \cdot X_1^2 + 0.0187 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0.0079 \cdot X_2^2, \quad (3)$$

де Y – ступінь деградації нафти, %; X_1 – час експозиції τ , дні; X_2 – початкова концентрація нафти C_i , г/кг.

Для цієї моделі коефіцієнт детермінації становив 0,9521, критерій Фішера ($f_1 = 18, f_2 = 20$) – $F = 2,0912$ ($F_{\text{табл}} = 2,18$ – модель адекватна), стандартна помилка оцінки – 0,2131, що задовольняє вимоги релевантності.

Максимальний ступінь деградації нафти на рівні 80 % встановлено в межах C_i 4–8 г/кг і $\tau = 70$ днів. Однак цей показник не досягає 100 %, що

пов'язано з наявністю важкорозкладних поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ). Результати дослідження викликали необхідність більш глибокого вивчення механізмів біодеградації ПАВ з метою правильного визначення складу бактеріального консорціуму для біоаугментації із застосуванням під час біоремедіації.

Ефективність застосування традиційних біодеструкторів вивчали на прикладі очищення ґрунтів після аварійних розливів нафти, які трапилися на Бугруватівському родовищі НГВУ «Охтирканафтогаз», що належать до земель сільськогосподарського призначення та входять до переліку особливо цінних груп ґрунтів. З метою стимуляції окиснення НП після аварійних розливів на забруднених земельних ділянках застосовували: біодеструктор «Родекс», деструктор нафтозабруднень ДНЗ та сорбент-біодеструктор «Еконадін».

Установлена динаміка вмісту НП та хлоридів у ґрунті земельних ділянок, на яких сталися аварійні ситуації № 1, 2 та 3, за період із 23.01.2017 року до 20.04.2017 року. Ефективність деградації НП та зменшення кількості хлоридів у ґрунті через 3 місяці після аварії наведено в таблиці 4.

Таблиця 4 – Ефективність біодеструкції НП

Аварія	Ефективність деградації, %		Перевищення фону, разів	
	НП	хлориди	НП	хлориди
№ 1	87,85	92,21	2	2,8
№ 2	98,83	98,65	0,06	0,2
№ 3	65,32	83,54	0,1	0,35

Підвищення ефективності біодеструкції нафти можливе за рахунок використання біоаугментації й біостимуляції та спеціально створених на їх основі нафтодеструктивних консорціумів мікроорганізмів.

Аналізування численних досліджень у сфері біоремедіації дозволило виділити види та консорціуми мікроорганізмів, придатних для деструкції НП у забрудненому середовищі. До бактерій, які використовують для розкладання нафти, відносять *Bacillus*, *Pseudomonas* тощо. ПАВ, виявлені в забруднених пробах ґрунту, мають різні реакційні модулі біохімічного катаболізму. Загалом відповідно до реакційних модулів кінцеві речовини одного модуля можуть бути вихідними речовинами для іншого. Більшість із цих метаболічних шляхів після активації та реакцій деароматизації на основі мета- або орторозщеплення кільця зводяться до утворення піруват-, ацетил- або сукциніл-КоА під час нижчих шляхів.

Обґрунтовано науково-теоретичні засади проведення біостимуляції. Дослідженню щодо визначення ступеня забруднення ґрунту підлягали 3 зразки ґрунту: № 1, 2 – ґрунт, забруднений НП, до внесення біодеструктора; № 3 – через 21 добу після внесення біопрепарату «Еконадін». Виконані дослідження засвідчують, що зразки ґрунту після надходження нафти є сильно забрудненими за санітарно-бактеріологічними показниками. З метою ініціації процесів природного самоочищення ефективно застосовувати один із способів біоремедіації – біостимуляцію. На рисунку 13 наведені узагальнювальні

результати досліджень щодо ступеня деградації нафти для широкого спектра хімічної природи біостимуляторів, зокрема для різного початкового вмісту нафти в ґрунті.

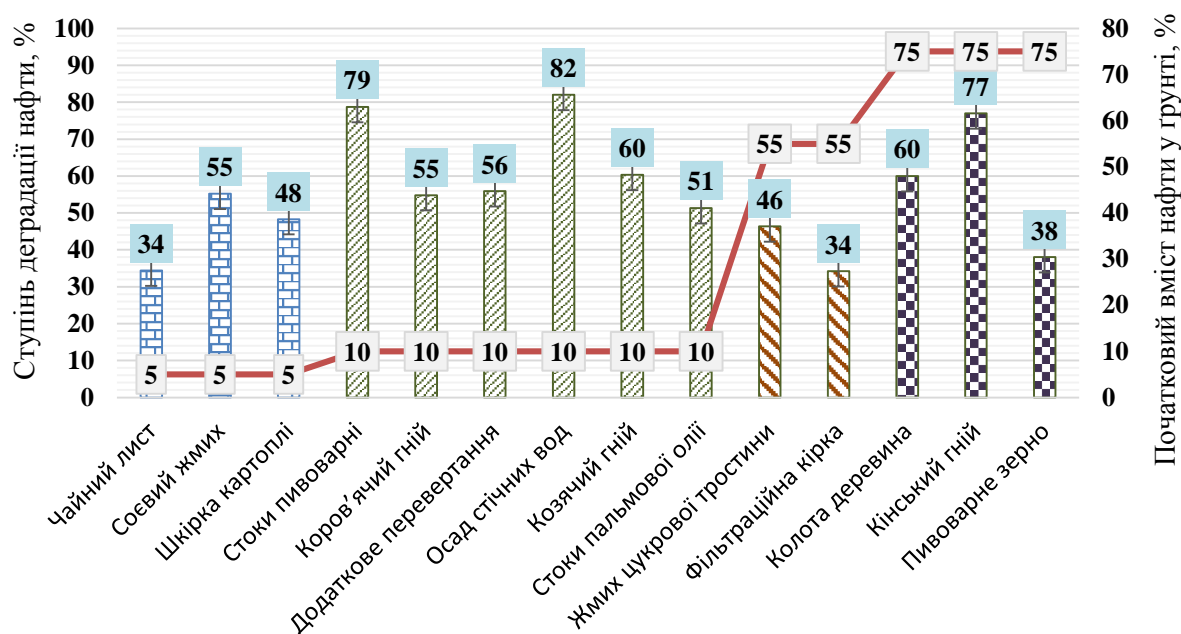


Рисунок 13 – Залежність ступеня деградації нафти в ґрунті від виду біостимулятора

Найбільші біостимуляційні впливи на нативні мікроорганізми-нафтодеструктори здійснюють відходи тваринного походження та неорганічні відходи, які містять необхідні для прискорення їх росту речовини. Такий підхід дозволить додатково вирішити проблему поводження з відходами і частково повернути мікроелементи в природні цикли.

Одним із можливих рішень проблеми очищення нафтозабруднених ґрунтів запропоновано використання дигестату біогазових установок, збагаченого поживними речовинами, як ефективного біостимулятора. За відповідної норми внесення поживні речовини, такі як азот, фосфор, калій, сірка тощо, та інші мікроелементи задовольнятимуть потребу в поживних речовинах для росту рослин і, очевидно, для ферментної активності вуглеводневих окиснювальних бактерій. Дигестат має змінний склад залежно від різних факторів, зокрема від типу вихідної сировини.

Якість дигестату як органічного добрива та ефективного біостимулятора можна охарактеризувати чотирма основними групами показників, а саме: вмістом поживних речовин, фазовим станом, стабільністю та вмістом домішок. Вміст у дигестаті поживних речовин і мікроелементів, що залежить від різних параметрів, урахувуючи фактори анаеробного зброджування та технології попереднього й після оброблення, визначають його удобрювальну цінність та потенціал біостимулювальної здатності в разі використання під час біоремедіації нафтозабруднених ґрунтів.

Центрифугування є однією з найбільш ефективних технологій розділення дигестату для отримання твердої фракції з високим рівнем сухої речовини та

покращання балансу вмісту поживних речовин між двома фракціями. З екологічного погляду значний інтерес становлять технології сепарації за розподілом поживних і забруднювальних речовин між твердими та рідкими фракціями. Як бачимо з графіка на рисунку 14, азот, калій переходять переважно в рідку фазу, а метали мідь і цинк та фосфор накопичуються в твердій фазі, що пов'язано з утворенням комплексних сполук. Зважаючи на це, використання полімерних ущільнювачів комплексоутворювачів типу хітозану має позитивний екологічний ефект у разі надійного включення ВМ до лігандів комплексу.

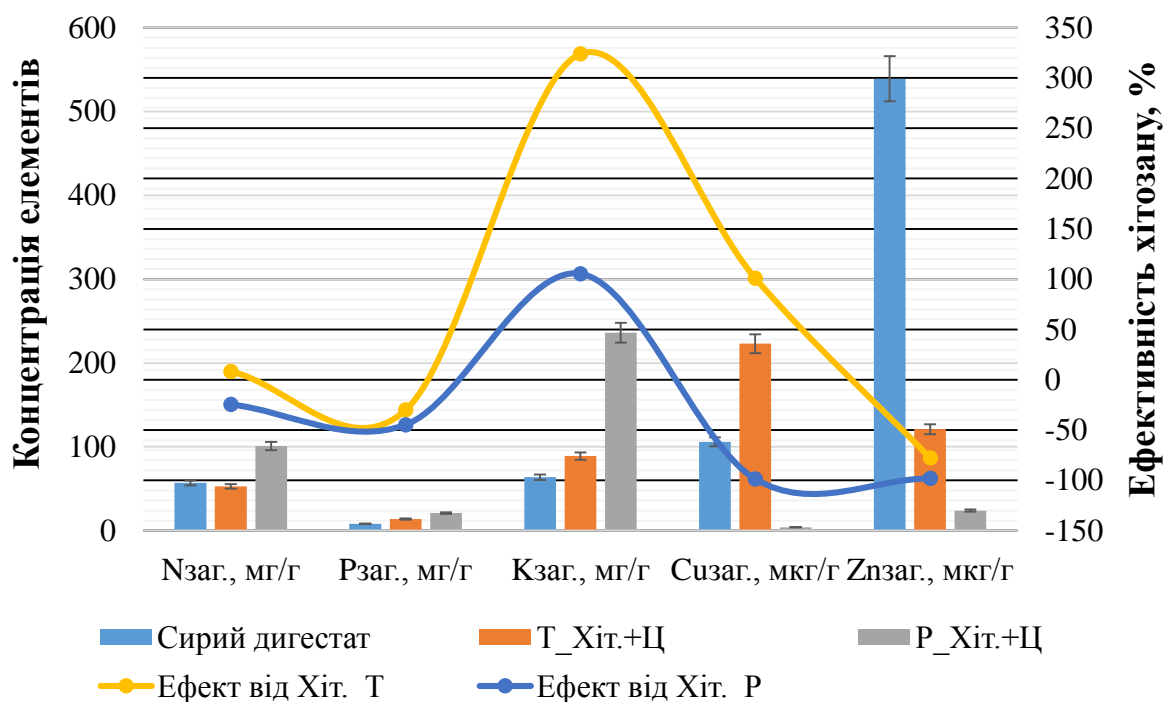


Рисунок 14 – Розподіл поживних речовин і ВМ між твердою (Т) та рідкою (Р) фракціями після центрифугування (Ц) з додаванням хітозану (Хіт.) й ефективність додавання хітозану перед центрифугуванням

Зважаючи на вищенаведені припущення, гранульований дигестат у формі капсул або пелет буде найбільш ефективною формою біостимулятора, застосованого комплексно з бактеріальним консорціумом для проведення біоремедіації нафтозабруднених ґрунтів. Розроблено технологічну схему виробництва гранульованого добрива з дигестату, яке можна використовувати як біостимулятор під час біоремедіації нафтозабруднених ґрунтів (рис. 15).

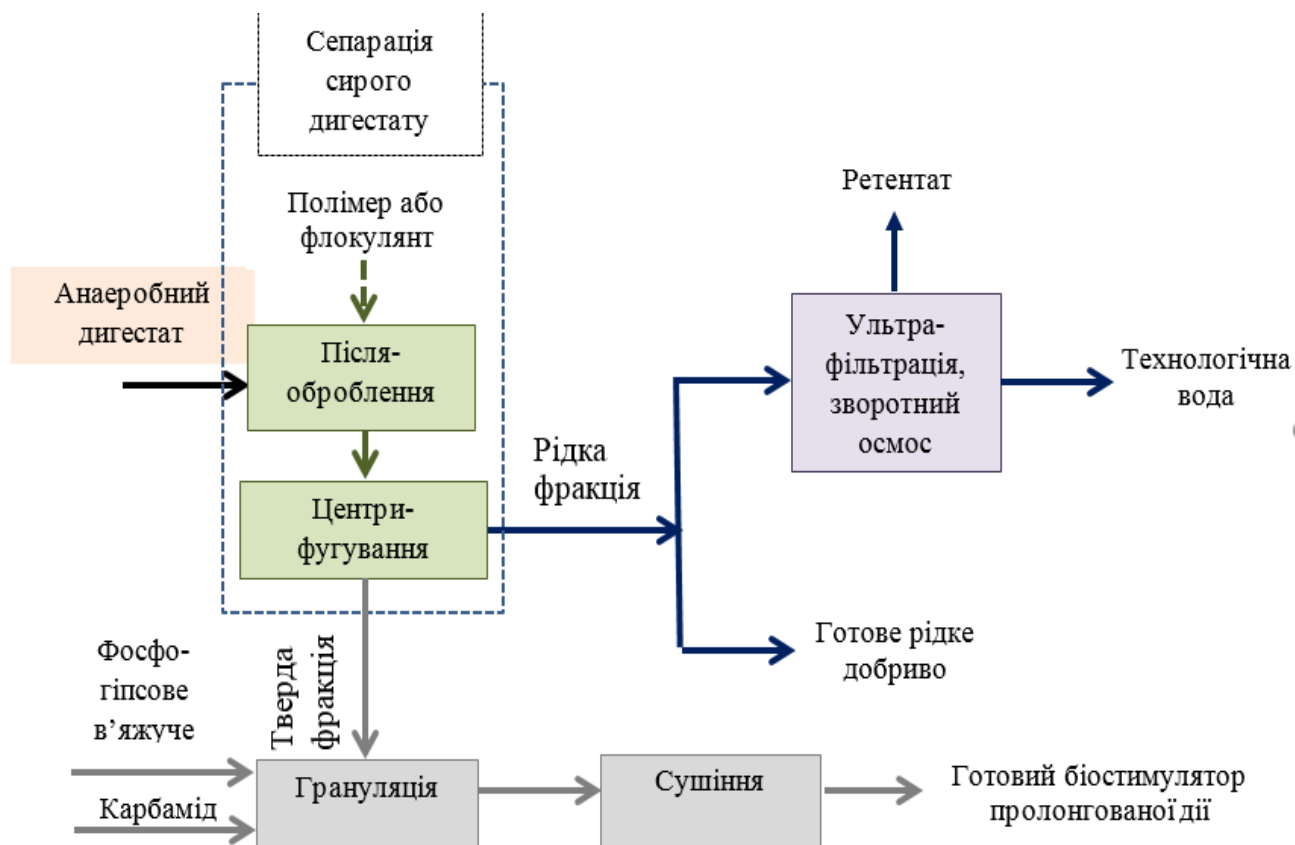


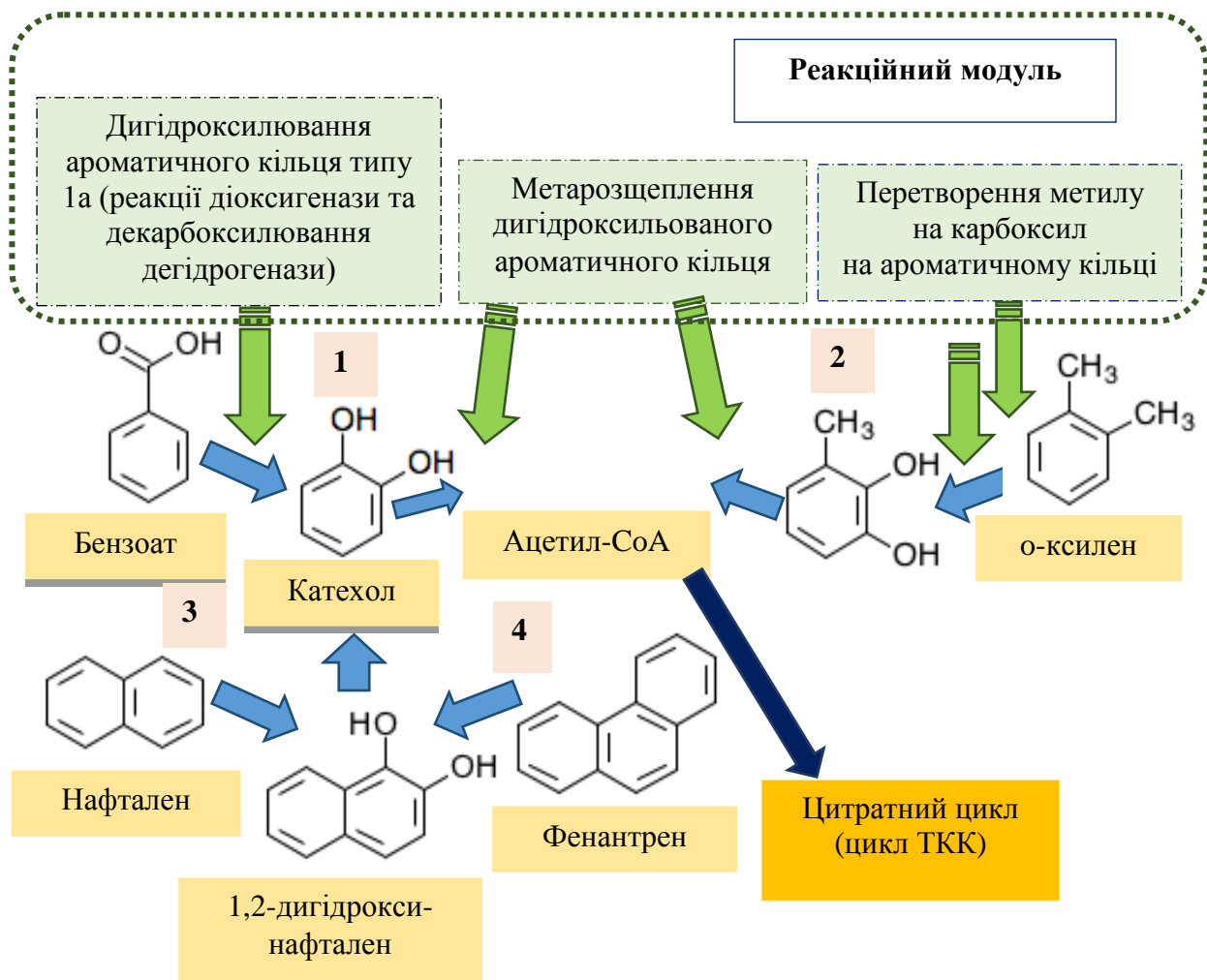
Рисунок 15 – Принципова технологічна схема виробництва біостимулятора з анаеробного дигестату

Досліджуваний біостимулятор нафтодеструктивних мікроорганізмів обґрунтовано виробляти з анаеробного дигестату, одержаного як побічний продукт біогазової установки. Крім того, в разі аварійних розливів нафти на сільськогосподарських землях застосування дигестату як біостимулятора під час біофіторе mediaції забезпечує додаткове надходження поживних речовин для мікроризосфери, активізуючи процеси фотосинтезу та росту рослин.

Розроблено науково-теоретичні підходи до створення нафтодеструктивних консорціумів мікроорганізмів. Застосування біоінформаційних баз даних, зокрема KEGG, дозволило змоделювати метаболічні шляхи різних органічних речовин, зокрема нафти та НП, із зазначенням типів залучених бактерій та ферментів. Розроблена блок-схема деградації ароматичних сполук із різними модулями шляхів та спрощена схема деградації ПАВ.

Найважливіший принцип успішного функціонування консорціуму бактерій ґрунтується на синергетичному ефекті у взаємозв'язку між різними екологотрофічними групами мікроорганізмів через те, що одні метаболіти є джерелом вуглецю для інших. Аналізування модулів деградації основних ароматичних сполук показує проміжні та кінцеві продукти, а також необхідні ферментативні системи для прискорення цих перетворень (рис. 16). На основі повної інформації про геном *Pseudoxanthomonas spadix* BD-a59, яка була одержана за допомогою імітаційного інструменту IslandViewer 4, цей штам

залучений переважно в реакціях деградації ПАВ, тому його було визначено як домінуючий вид у моделі консорціуму.



Штами бактерій, потенційно залучені до реакцій:

1. *Bacillus cereus* F837/76, *Pseudoxanthomonas spadix* BD-a59, *Pseudomonas putida* ND6, *Pseudomonas stutzeri* 19SMN4, *Pseudomonas fluorescens* UK4, *Pseudomonas fluorescens* L228, *Rhodococcus jostii* RHA1, *Rhodococcus aetherivorans* IcdP1.

2. *Pseudoxanthomonas spadix* BD-a59.

3. *Pseudomonas putida* ND6, *Pseudomonas stutzeri* 19SMN4.

4. *Pseudoxanthomonas spadix* BD-a59, *Pseudomonas putida* ND6, *Pseudomonas stutzeri* 19SMN4, *Pseudomonas fluorescens* UK4, *Pseudomonas fluorescens* L228, *Acinetobacter lactucaae* OTEC-02, *Rhodococcus aetherivorans* IcdP1, *Rhodococcus jostii* RHA1.

Рисунок 16 – Реакційний модуль для деградації ароматичних сполук: зелені комірочки – це різні типи реакцій руйнування ароматичних сполук; зелені стрілки показують перетворення для відповідних реакцій; сині стрілки вказують на таке перетворення одних ароматичних сполук на інші. Цифри означають певні шляхи: 1 – бензоат => катехол; 2 – о-ксилол => 3-метилкатехол; 3 – нафталін => 1,2-дигідроксинафталін; 4 – фенантрен => 1,2-дигідроксинафталін

Повний набір ферментативних систем, що беруть участь у біодеградації ПАВ, забезпечений внесенням штамів бактерій до консорціуму, а саме: *Pseudoxanthomonas spadix* BD-a59, *Rhodococcus jostii* RHA1, *Rhodococcus aetherivorans* IcdP1, *Pseudomonas putida* ND6, *Pseudomonas stutzeri* 19SMN4, *Pseudomonas fluorescens* UK4, *Acinetobacter lactucaе* OTEC-02, *Bacillus cereus* F837/76.7.9.

Бактеріальний консорціум із зазначених вище бактерій був створений у трьох варіантах для парафінів, циклоалканів та ароматичних вуглеводнів відповідно. Згідно з метаболічною інформацією бази метаданих BacDive Bacterial Diversity про переважні ферментативні системи та основні перетворення важливих нафтових сполук, окремий бактеріальний консорціум був створений для ароматичних вуглеводнів (рис. 17). Співвідношення між зазначеними штамми мікроорганізмів у консорціумі було встановлено на рівні 20 % : 20 % : 15 % : 10 % : 10 % : 5 % : 5 % : 15 %.

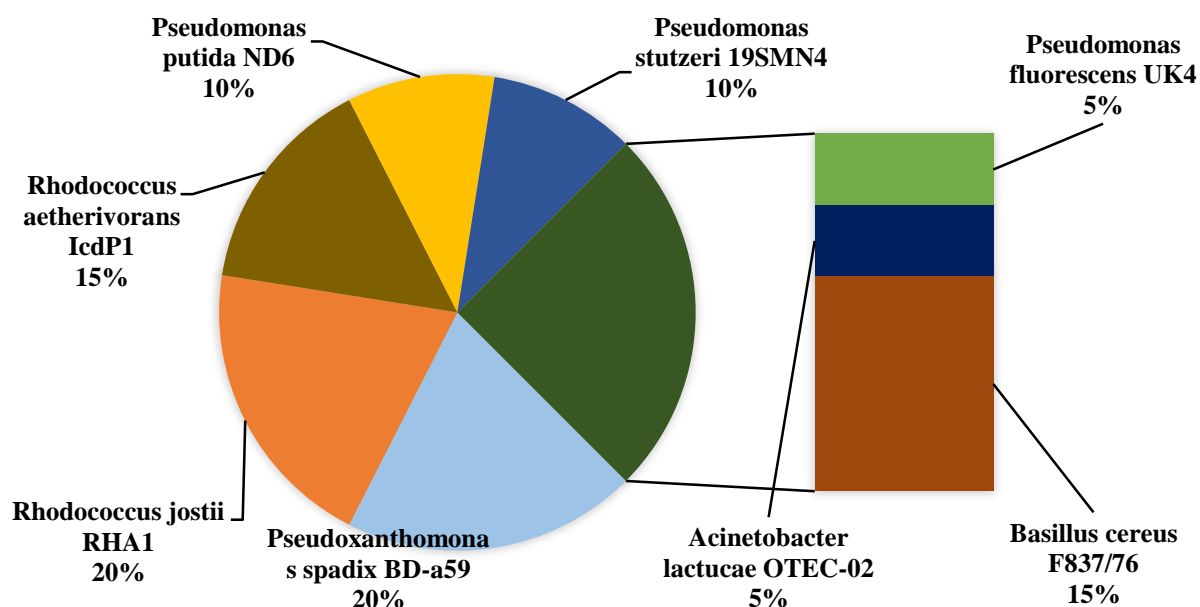


Рисунок 17 – Схема екологотрофічних груп, що беруть участь у біодеградації ароматичних вуглеводнів

Для підвищення рівня деградації вуглеводнів та відповідно підвищення ефективності біоремедіації нафтозабруднених ґрунтів проведено біоаугментацію з використанням розробленого препарату, оскільки участь біосурфактантів (рамноліпідів) у поглинанні вуглеводнів та їх деградації є визначальною. Результати досліджень трьох зразків ґрунту, що відрізняються початковими концентраціями вуглеводнів (5, 10 та 15 г/кг відповідно), наведені на рисунку 18.

Одержані експериментальні результати свідчать, що 100 % концентрації нафти було деградовано через 20, 25 і 35 днів для зразків ґрунту відповідно (рис. 18, криві 1', 2' і 3'). Отже, застосування бактеріального консорціуму демонструє високу ефективність порівняно з аборигенною мікрофлорою під час біодеградації нафти (рис. 12 і рис. 18).

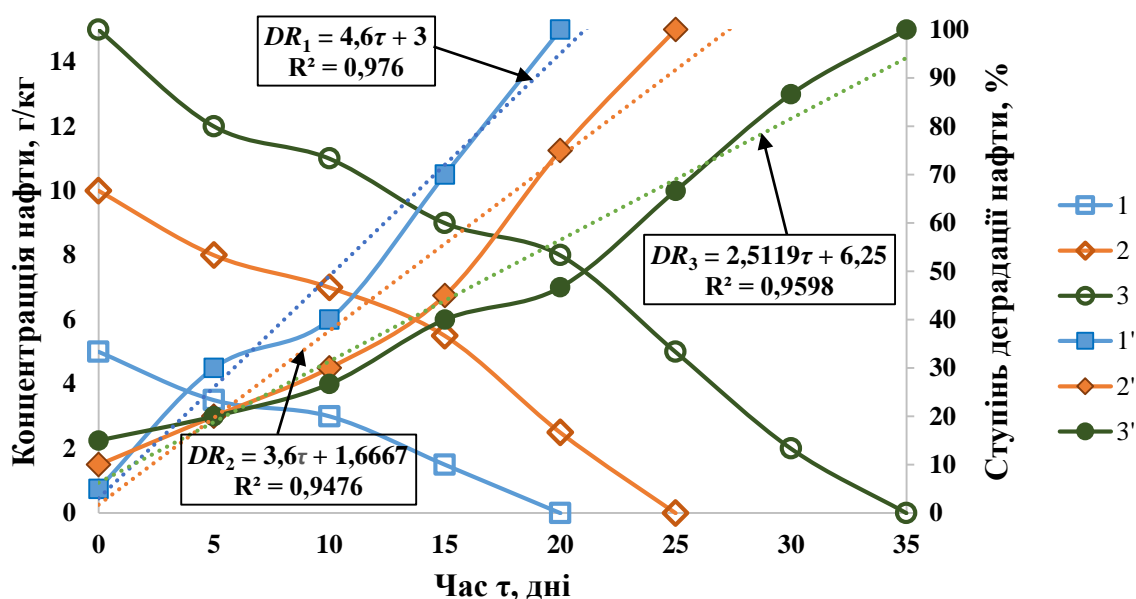


Рисунок 18 – Залежність зниження концентрації нафти та ступеня її деградації (DR) від часу (τ) для різної початкової концентрації нафти (C_i): 1, 2, 3 – криві зміни концентрації нафти в ґрунті в часі для $C_i = 5, 10$ і 15 г/кг відповідно; 1', 2', 3' – криві ступеня деградації нафти для $C_i = 5, 10$ і 15 г/кг відповідно

Узагальнюючи вищеприписані науково-теоретичні та науково-практичні засади щодо проведення біоремедіації нафтозабруднених ґрунтів за рахунок інтенсифікації деструкції залишків НВ, науково обґрунтовано підхід, що є основою розробленого та запатентованого способу біоремедіації нафтозабруднених ґрунтів біологічним методом із внесенням науково обґрунтованої композиції препаратів та речовин. Як біостимулятор використовують дигестат після анаеробного зброджування органічних відходів, буферний стабілізатор – фосфогіпс, сорбент або розпушувач – монтморилоніт або солома та компостовані відходи тваринництва і птахівництва.

У шостому розділі для підвищення рівня екологічної безпеки оцінено вплив на довкілля за штатних та аварійних ситуацій. Системний підхід до оцінювання техногенного навантаження комплексної нафтовидобувної діяльності на біотичну складову екосистеми полягає в урахуванні всіх чинників впливу на кожному етапі досліджуваного процесу.

Чисельне розв'язання задачі моделювання геофільтрації нафти проводили за допомогою методу скінченних різниць, що передбачає такі основні кроки:

- побудову сітки, що охоплює розглянуту територію;
- побудову на отриманій сітці скінченно-різницевої апроксимації, еквівалентної вихідному диференціальному рівнянню та додатковим умовам;
- формування на основі скінченно-різницевої апроксимації системи алгебраїчних рівнянь та її розв'язання.

Замінімо похідні внутрішніх вузлів $W_{h,\tau}$ на скінченно-різницеві співвідношення з урахуванням подання змінного коефіцієнта та одержимо явну різницеву схему:

$$\begin{aligned} \frac{S_{i_1, i_2, i_3}^{j+1} - S_{i_1, i_2, i_3}^j}{\tau} = & \frac{1}{hx} \left[\left(\lambda_{i_1 + \frac{1}{2}, i_2, i_3}^j \frac{p_{i_1 + 1, i_2, i_3}^j - p_{i_1, i_2, i_3}^j}{hx} \right) - \right. \\ & \left. - \left(\lambda_{i_1 - \frac{1}{2}, i_2, i_3}^j \frac{p_{i_1, i_2, i_3}^j - p_{i_1 - 1, i_2, i_3}^j}{hx} \right) \right] + \\ + \frac{1}{hy} & \left[\left(\lambda_{i_2 + \frac{1}{2}, i_1, i_3}^j \frac{p_{i_2 + 1, i_1, i_3}^j - p_{i_2, i_1, i_3}^j}{hy} \right) - \right. \\ & \left. - \left(\lambda_{i_2 - \frac{1}{2}, i_1, i_3}^j \frac{p_{i_2, i_1, i_3}^j - p_{i_2 - 1, i_1, i_3}^j}{hy} \right) \right] + \frac{1}{hz} \left[\left(\lambda_{i_3 + \frac{1}{2}, i_1, i_2}^j \frac{p_{i_3 + 1, i_1, i_2}^j - p_{i_3, i_1, i_2}^j}{hz} \right) - \right. \\ & \left. - \left(\lambda_{i_3 - \frac{1}{2}, i_1, i_2}^j \frac{p_{i_3, i_1, i_2}^j - p_{i_3 - 1, i_1, i_2}^j}{hz} \right) \right]. \end{aligned} \quad (4)$$

Систему рівнянь (4) можна розв'язати ітераційним методом. У результаті чисельного експерименту, пов'язаного з дослідженням поширення нафтового забруднювача в ґрунт під дією сили тяжіння з урахуванням впливу тиску, проведено багатоваріантні розрахунки. Значення параметрів фільтрації моделі були близькими до експериментальних даних і змінювалися в таких межах:

- пористість ґрунту $n = 0,05-0,55$;
- густина забруднювальної речовини $\rho = 1,15-1,4$ г/см³;
- в'язкість забруднювальної речовини $\mu = 0,6-1,0$ Па · с;
- висота площі фільтрації забруднювальних речовин $L = 0,15-1$ м;
- граничні значення насичення $s^* = 0,9$; $s^* = 0,1$;
- насичення на верхній межі області $S_0 = 1,0$;
- прискорення сили тяжіння $g = 9,8$ м/с².

Розроблена математична модель фільтрації нафтових забруднювачів урахує переміщення незмочувальної рідини та повітря в пористій структурі. Для числових розрахунків була реалізована програма за технологією візуального програмування Borland C++ та ANSYS. Візуалізація за допомогою комп'ютерного моделювання показує розподіл НВ у ґрунті у вертикальному та горизонтальному напрямках. Зміни концентрації нафти спричинені різними типами ґрунту, відповідно різними фізичними властивостями, зокрема насипною щільністю та пористістю. Зважаючи на те, що пористість зразка ґрунту № 1 (35 %) близька до пористості зразка ґрунту № 4 (30 %), а також для зразків ґрунту № 2 та № 3 (55 % і 60 %) відповідно, результати візуалізації зміни концентрації нафти та швидкості руху нафти не так сильно відрізнялися. Тому було вирішено показати візуалізацію для зразків ґрунту № 3 та № 4 на рисунках.

Рисунки 19 та 20 показують сильну кореляцію між концентрацією і швидкістю нафти через 30 днів нафтопроникнення відповідно та пористістю ґрунту. Процес проходить досить повільно (швидкість просування фронту становить приблизно $4 \cdot 10^{-4}$), що узгоджується з експериментальними даними. Розрахунки показують, що зона забруднення утворюється поблизу джерела нафти, потім фронт нафтонасичення формується переважно за рахунок дії гравітаційних сил.

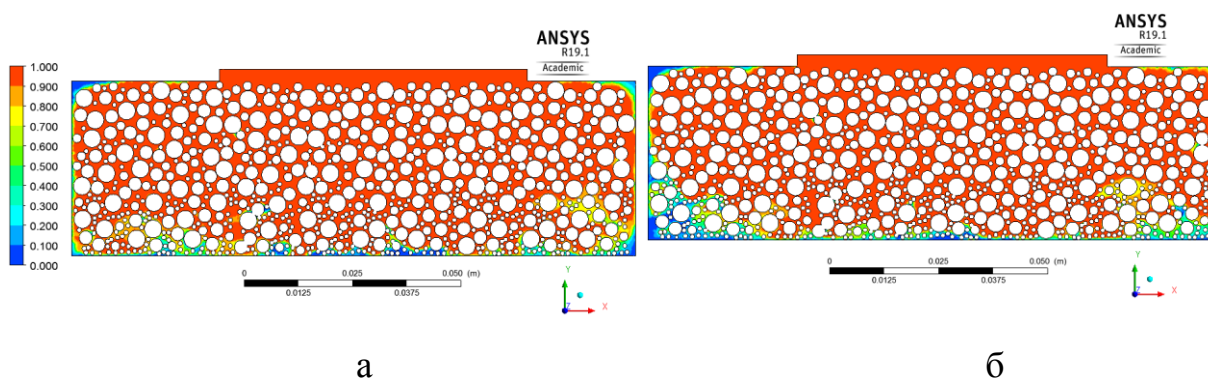


Рисунок 19 – Візуалізація концентрації нафти для досліджуваних зразків ґрунту: а – № 3; б – № 4

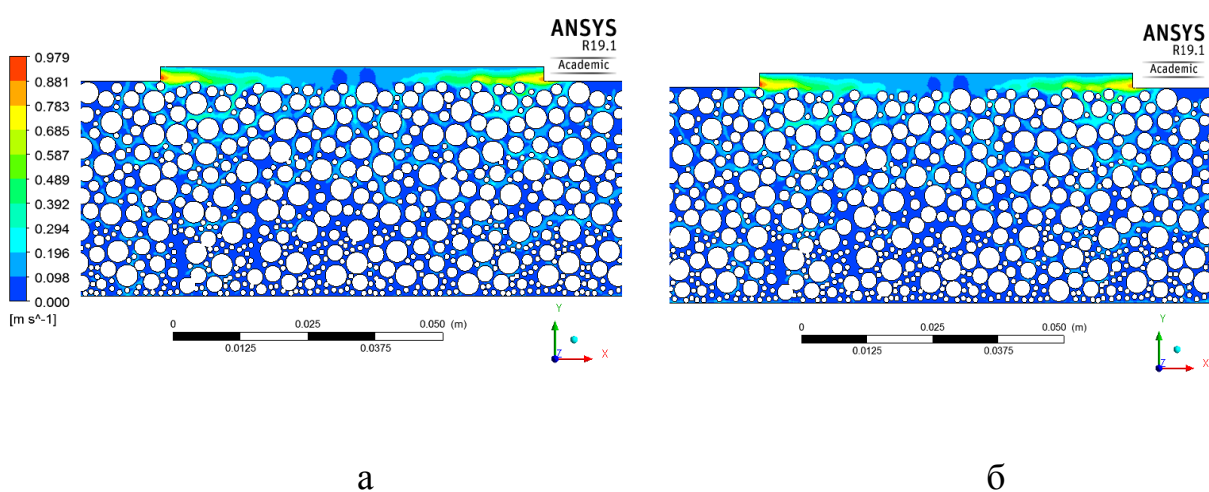


Рисунок 20 – Візуалізація швидкості нафти для досліджуваних зразків ґрунту: а – № 3; б – № 4

Для визначення впливу вологості ґрунту на швидкість нафтопроникності проводили два варіанти експерименту: для сухого та вологого ґрунту. Результати гравіметричного визначення НВ у досліджуваному ґрунті, наведені на гістограмі рисунку 21, свідчать про різний вміст нафти в досліджуваних зразках ґрунту, що безпосередньо корелює з пористістю досліджуваних зразків ґрунту.

Усереднене значення для 3 проб швидкості проникнення вуглеводнів крізь шар сухих та вологих зразків ґрунту наведено в таблиці 5.

Одержана залежність між висотою шару ґрунту від часу для чотирьох досліджуваних зразків ґрунту, сухого та вологого відповідно. У цьому випадку вектор глибини проникнення нафти формується значеннями параметра як функція часу.

Одержані залежності дозволяють спрогнозувати формування фронту забруднення та оцінити розміри зони забруднення ґрунту нафтою.

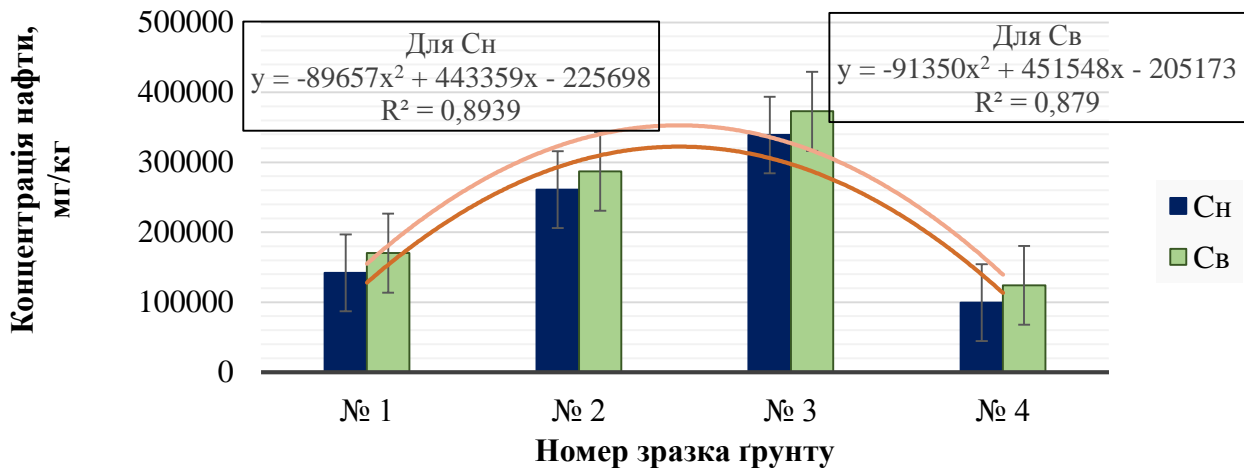


Рисунок 21 – Результати гравіметричного визначення НВ

Таблиця 5 – Результати швидкості проникнення для сухих і вологих зразків ґрунту

Коефіцієнт проникнення	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3	Зразок № 4
Сухий ґрунт				
<i>v</i> , м/день	0,0073	0,0077	0,0083	0,0067
Вологий ґрунт				
<i>v</i> , м/день	0,0083	0,0093	0,0093	0,0083

Проникнення важких вуглеводнів залежить переважно від сили тяжіння, тобто вони практично не здатні рухатися боком уздовж пласта. Водночас більш легкі фракції, використовуючи весь простір трубки, рухаються зі значною швидкістю в горизонтальному напрямку. Швидкість проникнення суглинку в горизонтальному напрямку становила 0,0046 м/добу. Встановлені закономірності мають велике значення для прогнозування зони розподілу нафти й розроблення низки заходів щодо ліквідації та локалізації непередбачуваних розливів нафти.

У разі інциденту з розливом нафти статистика дослідження дала повну оцінку впливу б, що свідчить про вплив низької значущості, вплив відчувається, але величина впливу є досить низькою. У випадках індивідуальних оцінок під час визначення екологічного ризику одержано такі результати: часовий параметр – вплив середньої тривалості, просторовий параметр – локальний вплив, інтенсивність – помірний вплив.

Моделювання безпеки системи із застосуванням теорії нечіткої логіки дозволяє уникнути недоліків детермінованого та імовірнісного підходів, тому для оцінювання поточного рівня ризику використовували нечіткі нейронні (гібридні) мережі. Кінцева мета оцінювання безпеки системи полягає у визначенні рівня екологічної безпеки від реалізації такого проєкту для довкілля. Зважаючи на багатогранність та багатоаспектність досліджуваного проєкту, побудована відповідна система індексів оцінювання ризиків. Оцінювання ризику проводили за допомогою методології багаторівневого нечіткого комплексного оцінювання. Одержаний результат $P_f = 0,456$ знаходиться в

межах $0,3 < Pf < 0,7$, що свідчить про помірний діапазон ризику, тому досліджуваний проєкт із позицій екологічної безпеки може бути прийнятний за умови впровадження комплексного рішення щодо попередження ризиків.

ВИСНОВКИ

1. Проведено системний аналіз джерел екологічної небезпеки під час видобування нафти на навколишнє природне середовище на всіх етапах загального процесу, враховуючи утворення та розміщення нафтових відходів. Навантаження на екосистеми в результаті видобування нафти проявляється через негативний вплив різного ступеня на атмосферне повітря, водні та біологічні ресурси, надра. До атмосферного повітря надходять переважно леткі органічні вуглеводні, парникові гази CO_2 та CH_4 , оксиди нітрогену NO_x . Установлено, що значного техногенного навантаження від забруднення буровими відходами та нафтою зазнає ґрунт.

2. Оцінено вплив на довкілля від аварійно небезпечних ситуацій нафтовидобувної діяльності із застосуванням теорії оцінювання екологічного ризику на основі моделювання сценаріїв розвитку аварійних ситуацій. Установлено, що найбільш екологічно небезпечними є аварійні ситуації на трубопроводах із рівнем ризику від $6,3 \cdot 10^{-4}$ до 10^{-3} витоків/км/рік та аварії у випадку танкерного транспортування нафти – з рівнем ризику від $9 \cdot 10^{-4}$ до $1,5 \cdot 10^{-2}$ розливів за 1 рік.

3. Розроблено науково-теоретичні основи системного підходу до оцінювання впливу відходів нафтовидобування на довкілля та екологічно безпечного поводження з ними, зокрема визначено систему «процес нафтовидобування – вплив на довкілля – комплекс превентивних заходів», що дозволяє управляти екологічною безпекою нафтовидобувних територій. Методика й методи проведення системного аналізу зорієнтовані на застосування математичного моделювання, оцінювання екологічного ризику для підвищення ефективності ліквідації та локалізації аварійних ситуацій.

4. Розроблено методіку дослідження фільтрації нафти через ґрунт для прогнозування глибини та площі забруднення. Запропоновано науково-методичний підхід до моделювання фільтрації нафти через пористе середовище, що забезпечило прогнозування глибини та площі забруднення ґрунту. Методологічною основою до прогнозування розмірів зони аварійних розливів нафти стало математичне моделювання та програмне забезпечення ANSYS CFX для задачі моделювання проникнення нафти через ґрунт.

5. Удосконалено методологічну основу системного підходу до вирішення проблеми техногенного навантаження під час видобування нафти, зокрема методологію процесу оцінювання ризику та моделювання безпеки системи на базі теорії нечіткої логіки. Запропоновано методологію впливу нафти на водні екосистеми із застосуванням методів математичного моделювання для дослідження процесу розтікання нафтової плівки на поверхні води та методу оцінювання впливових концентрацій хімічних речовин на біоту, зокрема методу ансамблевої оцінки.

6. Розроблено технологію поводження з буровими відходами, що полягає в збиранні відходів буріння, регулюванні рН та обробленні коагулянтами і флокулянтами, розділенні відходів на тверду й рідку фази в полі дії відцентрових сил, що апаратурно здійснюється в центрифuzі чи декантері. Установлено залежність ефективності седиментації від дози коагулянту і флокулянту під час реалізації розробленої технології розділення БШ під впливом відцентрових сил, зокрема науково обґрунтовано дози алюміній сульфату та поліакриламід у рівні 30 % та 0,1–0,2 % за основною речовиною відповідно.

7. Розроблено науково-методологічний підхід до дослідження та впровадження технології очищення нафтозабруднених ґрунтів методами біоремедіації, що дозволило підвищити рівень екологічної безпеки відповідних територій за рахунок скорочення часу ліквідації забруднення та підвищення ефективності процесу. Експерименти з оброблення нафтозабруднених ґрунтів показали збільшення біодеградації в разі застосування біоаугментації. Результати експерименту свідчать, що 100 % концентрації нафти було деградовано через 20, 25 та 35 днів для зразків ґрунту з вихідними концентраціями вуглеводнів на рівні 5, 10 та 15 г/кг відповідно.

8. Розширено та адаптовано науково-теоретичні засади проведення біостимуляції на підставі симбіозу біоенергетичних рішень. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено ефективність застосування анаеробного дигестату як біостимулятора у складі бактеріальних препаратів на підставі наявності в ньому необхідного комплексу поживних речовин для нафтодеструктивних мікроорганізмів, що задовольняє вимоги екологічної безпеки щодо комплексного поводження з відходами.

9. Удосконалено науково-практичні підходи до створення нафтодеструктивних консорціумів мікроорганізмів із використанням біоінформаційних баз даних. Моделювання консорціуму бактерій, що розкладають НП, проводили на основі модуля реакцій деградації ароматичних сполук, дослідження різних ферментних систем, що каталізують певні реакції, та визначення бактерій, здатних продукувати відповідні ферменти. Ідентифікація повного генома бактерій за допомогою IslandViewer 4 дозволила створити консорціум нафтодеструктивних бактерій, що складаються з таких штамів: *Pseudoxanthomonasspadix* BD-a59, *Rhodococcusjostii* RHA1, *Rhodococcusatherivorans* IcdP1, *Pseudomonasputida* ND6, *Pseudomonasstutzeri* 19SMN4, *Pseudomonasfluorescens* UK4, *Acinetobacterlactucae* OTEC-02, *Bacilluscereus* F837/76.7.9. Співвідношення між зазначеними штамми мікроорганізмів у консорціумі було встановлено на рівні 20 % : 20 % : 15 % : 10 % : 10 % : 5 % : 5 % : 15 %.

10. Проведено математичне моделювання процесу поширення нафти через пористе середовище для своєчасного застосування заходів із локалізації та ліквідації аварійних розливів. Візуалізація за допомогою комп'ютерного моделювання із застосуванням програмного забезпечення ANSYS показала розподіл нафтових вуглеводнів у ґрунті у вертикальному та горизонтальному напрямках. Установлена сильна кореляція між концентрацією і швидкістю

нафти та пористістю ґрунту через 30 днів нафтопроникнення. Процес проходить досить повільно (у цьому разі швидкість просування фронту становить приблизно $4 \cdot 10^{-4}$ м/год), що узгоджується з експериментальними даними. Одержані коефіцієнти проникнення вуглеводнів для різних систем на основі вологості ґрунту дозволяють розрахувати глибину проникнення нафти за короткий час після розливу.

11. Проведено математичне моделювання безпеки системи «видобування нафти – бурові відходи – вплив на довкілля» та екологічного ризику із застосуванням теорії нечіткої логіки (нечіткої нейронної гібридної мережі). Ймовірність виникнення ризиків у проєкті зі спорудження та експлуатації свердловини на території бурової, кінцевою метою якого є видобування нафти, становила 0,456, що відноситься до помірному діапазону ризику, тому досліджуваний проєкт із буріння та експлуатації свердловини може бути реалізований.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Монографії

1. Аблєєва І. Ю., Пляцук Л. Д. Системний підхід до підвищення екологічної безпеки нафтовидобувних територій : монографія. Суми : СумДУ, 2021. 275 с.

Здобувачці належать розділи 1, 2, 3, 5 та 6, що стосуються аналізу джерел екологічної небезпеки для довкілля під час видобування нафти, способів поводження з відходами нафтового видобування, екологічними проблемами поводження з рідкими відходами буріння свердловин, біоремедіації нафтозабруднених ґрунтів та оцінювання екологічного ризику від забруднення нафтою та нафтопродуктами внаслідок аварійних ситуацій.

2. Pliatsuk L. D., Ablieieva I. Yu. System approach to oil production wastewater treatment. *Water supply and wastewater disposal* : collective monograph. Lublin : Lublin University of Technology, 2018. P. 242–250.

Здобувачці належить розділ, що стосується дослідження поводження з буровими стічними водами, зокрема, щодо встановлення оптимальної дози коагулянта та флокулянта для інтенсифікації процесу очищення відходів.

Статті у фахових наукових виданнях із переліку МОН України

3. Аблєєва І. Ю., Пляцук Л. Д. Фізико-хімічні закономірності забруднення ґрунту вуглеводневими фракціями нафти. *Екологічні науки* : науково-практичний журнал. 2017. № 18–19. С. 35–42.

Здобувачка визначила ступінь токсичності забруднювальних речовин для біоти залежно від кількості рухомих форм токсиканта та проаналізувала основні фактори впливу на геофільтрацію нафти в ґрунті.

4. Пляцук Л. Д., Аблеева И. Ю. Использование биодеструкторов для снижения содержания нефтепродуктов в почве. *Екологія та промисловість*. 2018. № 1. С. 69–76.

Здобувачка оцінила здатність деяких штамів бактерій, дріжджів та міцелярних грибів до деструкції нафтових вуглеводнів за рахунок залучення до метаболічних процесів та змін ферментативної активності. Дослідила динаміку біодеструкції нафтопродуктів у ґрунті після аварійних розливів.

5. Пляцук Л. Д., Черниш Є. Ю., Яхненко О. М., Аблеева І. Ю., Макаренко Н. О., Чубур В. С. Развитие экологично безопасных технологий конверсии фосфоромісної сировини природного та техногенного походження. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. 2018. № 1 (20), т. 1. С. 135–139.

Здобувачка проаналізувала можливі шляхи біохімічного способу утилізації фосфогіпсу на підставі визначення еколого-трофічних груп мікроорганізмів, задіяних у процесах біовилуговування.

6. Plyatsuk L. D., Ablieieva I. Yu., Gabbasova S. M., Mamutova A. A. System approach to the assessment of anthropogenic impact on marine ecosystems during oil production activities. *Environmental problems*. 2018. Vol. 3, No. 3. P. 157–166.

Здобувачка на основі інтегрально-диференціального підходу обґрунтувала значний та помірний ступінь впливу для етапів буріння свердловини й видобування нафти, а також незначний вплив для сейсмозвідки та виведення з експлуатації.

7. Plyatsuk L. D., Gabbasova S. M., Ablieieva I. Yu., Mamutova A. A. Analysis of technogenic load of oil and gas production on Caspian Region. *Journal of Engineering Sciences*. 2018. Vol. 5, Issue 2. P. H9–H17.

Здобувачка застосувала комплексний аналіз екологічно деструктивних факторів процесу нафтовидобування на природні комплекси, зокрема, впливу хімічного забруднення водойми нафтовими вуглеводнями на місцеві гідробіонти із використанням методів математичного моделювання розтікання нафтових плівок на поверхні води.

8. Пляцук Л. Д., Аблеева И. Ю., Габбасова С. М., Аблеев А. Г., Сипко И. А. Анализ источников антропогенного воздействия на природную среду Каспийского моря. *Екологічна безпека*. 2018. № 2 (26). С. 49–58.

Здобувачка комплексно оцінила ступінь забруднення морської акваторії за показниками ансамблевої оцінки та індексу забруднення води. Дослідила закономірності забруднення об'єктів довкілля від нафтовидобування.

9. Plyatsuk L. D., Chernysh Y. Y., Ablieieva I. Y., Yakhnenko O. M., Bataltsev E. V., Balintova M., Hurets L. L. Remediation of Soil Contaminated with Heavy Metals. *Journal of Engineering Sciences*. Sumy : Sumy State University, 2019. Vol. 6, Issue 1. P. H1–H8.

Здобувачка визначила порівняння ефективності оброблення ґрунту, забрудненого важкими металами. Методами математичної статистики довела кореляційні зв'язки динаміки значень окиснювальної здатності біомаси

для ґрунтового біому та швидкості окиснення субстрату в часі для оброблення різними дозами біокомпозиту.

10. Ablieieva I. Theoretical substantiation of the petroleum hydrocarbons destruction by specific microflora using anaerobic digestate. *Environmental problems*. 2020. Vol. 5, No. 4. P. 191–201.

11. Ablieieva I., Plyatsuk L., Yanchenko I., Zinchenko V., Berezhna I., Lutsenko S., Prast A. Assessment of environmental safety of solid phase of drilling sludge after centrifusion separation. *Technogenic and Ecological Safety : Scientific and technical journal*. 2020. Vol. 8 (2/2020). P. 3–11.

Здобувачка експериментально підтвердила гіпотезу про збільшення концентрації елементів, характерних для гірських порід, та, навпаки, зниження концентрації хімічних елементів, що входять до складу бурового розчину й перейдуть до рідкої фази після розділення в центрифюзі.

12. Аблеєва І. Ю., Пляцук Л. Д., Зінченко В. Ю., Луценко С. В., Бережна І. О., Янченко І. О. Оцінка ефективності розділення бурового шламу у полі дії відцентрових сил. *Гірничий вісник. Кривий Ріг : Криворізький національний університет*, 2020. Вип. 108. С. 3–9.

Здобувачка визначила науково обґрунтовані закономірності процесу осушення бурового шламу в осушувачі ОВШ-950, що дозволяє інтенсифікувати процес залежно від природи бурового розчину, використовуваного в процесі буріння.

13. Аблеєва І. Ю., Пляцук Л. Д., Трунова І. О., Яхненко О. М., Бережна І. О. Вплив біостимуляторів на мікробіологічний стан нафтозабруднених ґрунтів. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування : науково-технічний журнал. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ*, 2021. № 1 (23). С. 73–83.

Здобувачка встановила й науково обґрунтувала, що використання дигестату біогазових установок як біостимулятора дозволяє покращити фізичні та водно-повітряні властивості ґрунту і є ефективним біостимулятором для підвищення біологічної активності мікроорганізмів за рахунок умісту макроелементів.

14. Ablieieva I., Plyatsuk L., Trunova I., Burla O., Krasulia B. Scientific and methodological approaches to assessing the safety of oil production complexes as potentially dangerous objects. *Technogenic and Ecological Safety : Scientific and technical journal*. 2022. Vol. 11 (1/2022). P. 8–17.

Здобувачка встановила, що екологічний ризик є комбінацією ймовірності або частоти виникнення певної небезпеки та розміру наслідків такої події. Надала рекомендації організаційного та технологічного характеру щодо усунення або зниження ступеня ризику від аварійних ситуацій.

15. Ablieieva I. Yu., Geletukha G. G., Kucheruk P. P., Enrich-Prast A., Carraro G., Berezhna I. O., Berezhnyi D. M. Digestate Potential to Substitute Mineral Fertilizers: Engineering Approaches. *Journal of Engineering Sciences. Sumy : Sumy State University*, 2022. Vol. 9 (1). P. H1–H10.

Здобувачка проаналізувала потенціал поживних речовин, органічного вуглецю та корисних мікроелементів у дигестаті, що дозволяє розглядати

його як замітник мінеральних добрив і покращувач ґрунту. Визначила, що валоризація дигестату як добрива та біостимулятора вимагає управління й контролю якості.

16. Ablieieva I. Yu., Plyatsuk L. D., Liu T., Berezhna I. O., Yanchenko I. O. Decontamination of oil-polluted soils: Power of electronic bioinformatic databases. *Journal of Engineering Sciences*. Sumy : Sumy State University, 2022. Vol. 9 (2). P. H9–H16.

Здобувачка розробила та науково обґрунтувала склад консорціуму нафтодеструктивних мікроорганізмів і співвідношення між ними для підвищення ефективності біоремедіації нафтозабруднених ґрунтів, зокрема під час деградації поліциклічних ароматичних сполук.

Статті в наукових періодичних виданнях інших держав та виданнях, що індексуються наукометричними базами даних Scopus і Web of Science

17. Plyatsuk L., Balintova M., Chernysh Y., Ablieieva I., Ablieiev O. The process of environmentally safe biochemical recycling of phosphogypsum. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2020. P. 843–852. **(Web of Science, Scopus)**.

Здобувачка проаналізувала основні еколого-біохімічні дослідження, різні механізми мікробіологічних досліджень, біохімічне моделювання для оцінювання продуктивності біомаси з фосфогіпсу. Розробила технологічну схему біовилуговування рідкоземельних металів із відвалів фосфогіпсу.

18. Ablieieva I., Plyatsuk L., Berezhna I., Malovanyu M. Biotechnological Reclamation of Oil-Polluted Soils. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2021. Vol. 22, Issue 2. P. 27–38. **(Scopus)**.

Здобувачка встановила закономірності біоремедіації нафтозабруднених ґрунтів та порівняла ефективність деструкції нафтових вуглеводнів у разі впливу аборигенної мікрофлори та із застосуванням розробленого консорціуму мікроорганізмів (біоаугментації).

19. Ablieieva I., Plyatsuk L., Roi I., Chekh O., Gabbassova S., Zaitseva K., Lutsenko S. Study of the oil geopermeation patterns: a case study of ANSYS CFX software application for computer modeling. *Journal of Environmental Management*. 2021. Vol. 287. P. 112–347. **(Web of Science, Scopus)**.

Здобувачка встановила залежність розподілу концентрації нафти та швидкості проникнення через ґрунт, що повністю відображає достовірність експериментальних даних, у такий спосіб підтверджуючи верифікацію адекватності комп'ютерної моделі на основі програмного забезпечення ANSYS CFX.

20. Chernysh Y., Ablieieva I., Makarenko N., Plyatsuk L., Trunova I., Burla O. Investigation of the directions of using a hybrid composition bioproduct for detoxification of a soil ecosystem contaminated with heavy metals and oil products. *Biodiversity & Environment*. Prešov : University of Presov, 2021. Vol. 13, No. 1. P. 80–94.

Здобувачка здійснила порівняльну характеристику впливу різних органомінеральних складів на ступінь редукації рухомих форм важких металів та нафтових вуглеводнів у ґрунті. Запропонувала біопрепарат із зовнішнім

покриттям із біорозкладної полімерної плівки, біомаси мікроорганізмів та мінеральної основи фосфогіпсу.

21. Malovanyu M., Bordun I., Ablieieva I., Krusir H., Sahdeeva O. Synthesis of activated carbon from plant raw materials by a self-activation modified method. *Materials Science Forum*. Switzerland : Trans Tech Publications Ltd, 2021. Vol. 1038. P. 266–275. **(Scopus)**.

Здобувачка встановила закономірності модифікованого методу самоактивації для синтезу активованого вугілля з рослинних відходів – вишневих кісточок та пшеничної соломи, зокрема, вплив температури синтезу на зміну питомої поверхні, об'єму пор різного радіуса.

22. Ablieieva I., Plyatsuk L., Burla O., Chekh O., Enrich-Prast A. Theoretical Substantiation of Mathematical Models of Oil Filtration Through a Porous Medium. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2022. P. 571–581. **(Web of Science, Scopus)**.

Здобувачка встановила швидкість фільтрації нафти через пористе середовище. Розробила модель стохастичного процесу геофільтрації вуглеводнів нафти, що передбачає отримання на виході залежних змінних рівня забруднення, глибини забруднення та межі нафтової плями, це дозволило прогнозувати фронт забруднення, розмір зони забруднення.

23. Ablieieva I., Berezhna I., Berezhnyi D., Prast A. E., Geletukha G., Lutsenko S., Yanchenko I., Carraro G. Technologies for Environmental Safety Application of Digestate as Biofertilizer. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23, Issue 3. P. 106–119. **(Scopus)**.

Здобувачка запропонувала та науково обґрунтувала технологічну схему виробництва гранульованих добрив із дигестату, що можуть бути використані як біостимулятор. Установила, що використання фосфогіпсового в'язучого для виробництва органомінерального добрива сприяє переробленню фосфогіпсу в системі поводження з відходами.

24. Ablieieva I. Yu., Artyukhova N., Krmela J., Malovanyu M., Berezhnyi D. Parameters and Operating Modes of Dryers in terms of Minimizing Environmental Impact and Achieving the Sustainable Development Goals. *Drying technology*. 2022. Vol. 40, Issue 8. P. 1598–1608. **(Web of Science, Scopus)**.

Здобувачка запропонувала використання багатоступінчастих сушарок у псевдозрідженому шарі для сушіння гранульованого дигестату в технологічній схемі одержання гранульованих добрив та біостимулятора із дигестату. Розробила відповідну технологічну схему із застосуванням альтернативних джерел енергії, зокрема біогазу.

Наукові праці, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації

25. Аблєєва І. Ю., Пляцук Л. Д., Москаленко Д. Ю. Комплексний підхід до вирішення проблеми утилізації нафтових шламів. *Сучасні технології у промисловому виробництві* : матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів ф-ту технічних систем та енергоефективних технологій (Суми, 18–21 квітня 2017 р.). Суми : СумДУ, 2017. С. 150–151.

26. Ablicieva I., Plyatsuk L. Sustainable development principles in waste management of oil production. *STABICONsystems – 2017* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (Суми, 27–29 квітня 2017 р.) / редкол.: Г. О. Швїндіна, Д. О. Смоленніков, А. А. Іскаков. Суми : Сумський державний університет, 2017. С. 12.

27. Аблєєва І. Ю., Пляцук Л. Д. Екологічно безпечні технології ліквідації аварійних розливів нафти. *Сталий розвиток – погляд у майбутнє* : збірник матеріалів семінару (Львів, 15 вересня 2017 р.). Львів : НУ «Львівська політехніка», 2017. С. 37.

28. Ablicieva I. Yu., Pliatsuk L. D. Complex approach to drilling fluids wastewater treatment. *Водопостачання та водовідведення: проектування, будова, експлуатація, моніторинг* : матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «*Water Supply and Wastewater Disposal: Designing, construction, operation and monitoring*» : proceedings of the II International Scientific-Practical Conference / уклад.: Д. Орачевська, О. Бобуш (Львів, 18–20 жовтня 2017 р.). Львів : ЗУКЦ, 2017. С. 5–7.

29. Аблєєва І. Ю., Сіпко І. О. Фітотоксичне випробування рівня екологічної небезпеки нафтозабруднених ґрунтів. *Сучасні технології у промисловому виробництві* : матеріали V Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції (Суми, 17–20 квітня 2018 р.). Суми : Сумський державний університет, 2018. С. 149.

30. Plyatsuk L. D., Ablicieva I. Y., Gabbasova S. M. Assessment of technogenic impact on marine ecosystems during oil production process. *Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування* : збірник матеріалів 5-го Міжнародного конгресу (Львів, 26–29 вересня 2018 р.). Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. С. 57.

31. Сіпко І. О., Аблєєва І. Ю. Методичні підходи до створення консорціумів нафтодеструктивних мікроорганізмів. *Галузеві проблеми екологічної безпеки* : матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції студентів, магістрантів та аспірантів (Харків, 19 жовтня 2018 р.). Харків : ХНАДУ, 2018. С. 165–166.

32. Аблєєва І. Ю., Кулижко І. О. Вплив нафтогазовидобування на стійкість екосистем (на прикладі Андріяшівського газоконденсатного родовища та Андріяшівсько-Гудимівського заказника). *Сучасні технології у промисловому виробництві* : матеріали VI Всеукраїнської науково-технічної конференції (Суми, 16–19 квітня 2019 р.). Суми : Сумський державний університет, 2019. С. 169–170.

33. Аблєєва І. Ю., Бережна І. О. Методичні підходи до оцінки техногенного навантаження на екосистеми нафтовидобувних територій. *Екологія / Ecology – 2019* : VI Всеукраїнський з'їзд екологів за міжнародної участі: збірник наукових праць (Вінниця, 25–27 вересня 2019 р.). Вінниця : ВНТУ, 2019. С. 41.

34. Ablicieva I., Sipko I., Gabbasova S. Toxicological and microbiological assessment of oil-polluted soils in biotechnological decontamination. *Litteris et*

Artibus : Proceedings of 9-th International Youth Science Forum (Lviv, 21–23 November 2019). Lviv, Ukraine : Lviv Polytechnic National University, 2019. P. 201–207.

35. Янченко І. О., Аблеєва І. Ю. Забруднення підземних вод під час освоєння родовищ нафтогазовидобувного комплексу. *Сучасні технології у промисловому виробництві* : матеріали VII Всеукраїнської науково-технічної конференції (Суми, 21–24 квітня 2020 р.). Суми : Сумський державний університет, 2020. С. 159–160.

36. Ablieieva I. Y. Bioremediation of oil-contaminated soils using anaerobic digestate. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування* : збірник матеріалів 6-го Міжнародного конгресу (Львів, 23–25 вересня 2020 р.). Львів : Західно-український консалтинг-центр (ЗУКЦ), ТзОВ, 2020. С. 133.

37. Бережна І. О., Бережний Д. М., Аблеєва І. Ю. Промислова цінність дигестату як побічного продукту метаногенезу. *Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування* : матеріали VIII Міжнародної наукової конференції молодих учених (Харків, 26–27 листопада 2020 р.). Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2020. С. 217–219.

38. Аблеєва І. Ю., Бартош Е. Ю., Боруха О. Р. Інноваційні підходи до утилізації бурових стічних вод. *Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2020* : матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції (Харків, 17–18 грудня 2020 р.). Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2020. С. 15–17.

39. Луценко С. В., Аблеєва І. Ю., Пляцук Л. Д., Янченко І. О. Підвищення ефективності розділення бурового шламу в полі дії відцентрових сил із використанням температурного впливу. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування* : збірник матеріалів 6-го Міжнародного молодіжного конгресу (Львів, 9–10 лютого 2021 р.). Львів : Західно-український консалтинг-центр (ЗУКЦ), ТзОВ, 2021. С. 149.

40. Луценко С. В., Аблеєва І. Ю., Пляцук Л. Д. Інтенсифікація та посилення показника ефективності розділення бурових шламів у полі дії відцентрових сил. *Сучасні технології у промисловому виробництві* : матеріали VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції (Суми, 20–23 квітня 2021 р.). Суми : Сумський державний університет, 2021. С. 136.

41. Аблеєва І. Ю., Бережна І. О., Бережний Д. М. Екологічна безпека та якість дигестату як біодобрива. *Екологія / Ecology – 2021* : VIII Міжнародний з'їзд екологів : збірник наукових праць (Вінниця, 22–24 вересня 2021 р.). Вінниця : ВНТУ, 2021. С. 334–335.

42. Аблеєва І. Ю., Лук'яненко Є. В., Янченко І. О., Луценко С. В. Технології захисту гідросфери від нафти та нафтопродуктів. *Галузеві проблеми екологічної безпеки – 2021* : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції за участі молодих учених (Харків, 27 жовтня 2021 р.). Харків : ХНАДУ, 2021. С. 34–36.

43. Лук'яненко Є. В., Янченко І. О., Аблєєва І. Ю. SWOT-аналіз технологій захисту гідросфери у нафтовидобувній галузі. *Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування* : матеріали ІХ Міжнародної наукової конференції молодих учених (Харків, 25–26 листопада 2021 р.). Харків : ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2021. С. 169–171.

44. Ablieieva I., Berezna I., Bereznyi D. Ecological and technological aspects of production of granular biofertilizer from digestate. *Екологія. Довкілля. Енергозбереження* : матеріали ІІ Всеукраїнської науково-практичної конференції за міжнародної участі (Полтава, 2–3 грудня 2021 р.). Полтава : НУПП, 2021. С. 5–8.

45. Аблєєва І. Ю. Техногенні ризики, що асоціюються з нафтовидобувною діяльністю. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування* : збірник матеріалів VII Міжнародного молодіжного конгресу (Львів, 10–11 лютого 2022 р.). Київ : Яроченко Я. В., 2022. С. 64.

46. Аблєєва І. Ю. Методологія оцінки ризику в нафтовидобувній діяльності. *Сучасні технології у промисловому виробництві* : матеріали ІХ Всеукраїнської науково-технічної конференції (Суми, 19–22 квітня 2022 р.). Суми : Сумський державний університет, 2022. С. 134.

47. Аблєєва І. Ю., Бережна І. О., Бережний Д. М. Контроль основних технологічних параметрів в управлінні якістю та екологічною безпекою дигестату. *Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022* : збірник матеріалів І Міжнародної науково-практичної конференції (Полтава ; Львів, 26–27 травня 2022 р.). Полтава : НУПП, 2022. С. 77–79.

48. Аблєєва І. Ю. Моделювання безпеки системи процесу видобування нафти для навколишнього середовища. *Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022* : колективна монографія. Полтава ; Львів : НУПП імені Юрія Кондратюка, НУ «Львівська політехніка». Дніпро : Середняк Т. К., 2022. С. 156–167.

Наукові праці, що додатково відображають наукові результати дисертації

49. Спосіб розділення відходів буріння нафтових свердловин з подальшою утилізацією окремих фракцій : пат. 146525 Україна, МПК (2019.01) C02F 11/12 / Аблєєва І. Ю., Пляцук Л. Д., Луценко С. В., Янченко І. О. ; заявник та патентовласник Сумський державний університет. № u202006531 ; заявл. 09.10.2020 ; опубл. 24.02.2021, Бюл. № 8. 4 с.

50. Спосіб біоремедіації нафтозабруднених об'єктів : пат. 146472 Україна, МПК (2006.01) B09C 1/10 / Аблєєва І. Ю., Пляцук Л. Д., Бережна І. О., Габбасова С. М. ; заявник та патентовласник Сумський державний університет. № u202005565 ; заявл. 27.08.2020 ; опубл. 24.02.2021, Бюл. № 8. 4 с.

АНОТАЦІЯ

Аблєєва І. Ю. Науково-теоретичні основи системного підходу до підвищення рівня екологічної безпеки нафтовидобувних територій. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. Суми, Сумський державний університет, 2022. Спеціалізована вчена рада Д 55.051.04.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-теоретичної проблеми зниження рівня техногенного навантаження на довкілля від об'єктів нафтового видобування, зокрема в районах активного буріння та освоєння свердловин, що супроводжується деструктивними впливами на всі компоненти довкілля, особливо під час аварійних ситуацій із розливами нафти і нафтопродуктів.

Розроблено науково-методологічні основи системного підходу до оцінювання впливу відходів нафтовидобування на довкілля та екологічно безпечного поводження з ними, що забезпечує зниження техногенного навантаження на довкілля від нафтовидобувної промисловості.

Розроблено науково-методологічний підхід до дослідження та впровадження технології очищення нафтозабруднених ґрунтів методами біоремедіації, що дозволило підвищити рівень екологічної безпеки відповідних територій за рахунок скорочення часу ліквідації забруднення та підвищення ефективності процесу.

Біотехнологічний метод знезараження нафтозабруднених ґрунтів стає більш популярним і корисним у наш час завдяки своїм перевагам і позитивним характеристикам перед фізико-хімічними методами. Висока ефективність розкладання нафтових вуглеводнів різними штамми бактерій пояснюється здатністю конкретного живого організму залучати ці речовини до метаболічних процесів клітини. Численні дослідження засвідчують, що ацени, нафтенові, парафінові вуглеводні доступні практично для всієї аборигенної мікрофлори.

Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено ефективність застосування анаеробного дигестату як біостимулятора у складі бактеріальних препаратів на підставі наявності в ньому необхідного комплексу поживних речовин для нафтодеструктивних мікроорганізмів, що задовольняє вимоги екологічної безпеки щодо комплексного поводження з відходами.

Запропоновано науково-методичний підхід до моделювання фільтрації нафти через пористе середовище, що забезпечило прогнозування глибини та площі забруднення ґрунту, та зниження екологічного ризику від аварійних розливів нафти. Розроблено науково-теоретичні підходи до застосування програмного забезпечення ANSYS у вирішенні проблем екологічної безпеки.

Практична значущість роботи підтверджена результатами промислових випробувань розроблених екологічно безпечних технологій, двома патентами на корисну модель та актами впровадження у виробничий і навчальний процеси.

Ключові слова: нафтовидобувні комплекси, відходи буріння, утилізація дигестату, техногенне навантаження, довкілля, екологічно безпечні технології.

ABSTRACT

Ablieieva I. Yu. Scientific and theoretical foundations of a systematic approach to increasing the level of environmental safety of oil-producing areas. – Manuscript.

Thesis for a Doctor of Engineering Sciences Degree by specialty 21.06.01 – ecological safety. Sumy, Sumy State University, 2022. Specialized Academic Council D 55.051.04.

The dissertation is devoted to solving the scientific and applied problem of reducing the level of man-made load on the environment from oil production facilities, in particular in areas of active drilling and development of wells, accompanied by destructive effects on all components of the environment, especially during emergencies. oil and oil products spills.

The scientific and methodological bases of the system approach to the assessment of the impact of oil production wastes on the environment and ecologically safe treatment with them have been developed, which provides reduction of man-caused load on the environment from the oil industry.

A scientific and methodological approach to the study and implementation of technology for cleaning oil-contaminated soils by bioremediation, which increased the level of environmental safety of the areas by reducing the time of elimination of pollution and increase the efficiency of the process.

Biotechnological method of disinfection of oil-contaminated soils is becoming increasingly popular and useful today due to its advantages and positive characteristics over physico-chemical methods. The high efficiency of decomposition of petroleum hydrocarbons by different strains of bacteria is due to the ability of a particular living organism to include these substances in the metabolic processes of the cell. Numerous studies show that arenes, naphthenic, paraffin are available for almost all aboriginal microflora.

The effectiveness of anaerobic digestion as a biostimulator in bacterial preparations is theoretically substantiated and experimentally confirmed on the basis of the lack of the necessary complex of nutrients for oil-destructive microorganisms, which meets the requirements of environmental safety for integrated waste management.

A scientific-methodical approach to the modeling of oil filtration through a porous medium was proposed, which provided prediction of the depth and area of soil contamination, and reduced environmental risk from accidental oil spills. Scientific and theoretical approaches to the application of ANSYS software in solving environmental safety problems have been developed.

The practical significance of the work is confirmed by the results of industrial tests of the developed environmentally safe technologies, two patents for a useful model and acts of introduction into production and educational processes.

Key words: oil production complexes, drilling waste, digestate utilization, technogenic load, environment, ecologically safe technologies.

Підписано до друку 04.11.2022.
Формат 60×90/16. Ум. друк. арк. 2,6. Обл.-вид. арк. 1,9. Тираж 100 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.