

УДК 504.4.054 : 665.7
№ держреєстрації 0119U102760
Інв. №

МІНІСТЕРСТВО ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ УКРАЇНИ

**НАУКОВО-ДОСЛІДНА УСТАНОВА
«УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ»
(УКРНДІЕП)**

61166, м. Харків, вул. Бакуліна, 6, тел./ факс. (057) 702 15 92

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор УКРНДІЕП
д-р геогр. наук, проф.
А. В. Гриценко

грудня 2019 року

**ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
за темою № 22/2.2
РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЛІКВІДАЦІЇ СКУПЧЕНЬ РІДКИХ
НАФТОПРОДУКТІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ВІД
ЗАБРУДНЕННЯ
(проміжний)**

Науковий керівник НДР
зав. лабораторії екологічної
гідрогеології і екологічного
оцінювання території

Н.К.Маркіна

2019

Результати роботи розглянуто Вченою радою УКРНДІЕП,
протокол від 10 грудня 2019 р. № 7

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР,
відповідальний виконавець,
зав.лабораторії

Н.К.Маркіна (наукове
керівництво; реферат; вступ;
розділи 1, 2, 3, 4, 5,6.7.8,9
висновки)

Виконавці:

Науковий співробітник

О. О. Доценко
(розділи 3, 5; оформлення
звіту;)

Науковий співробітник

О. С. Сидельник
(розділ 1, 2; оформлення звіту;
додаток Б)

Науковий співробітник

Л. В. Пилипенко
(розділи 1, 2, 3, 5;
оформлення звіту; додаток А)

Науковий співробітник

О. С. Алтухов
(розділи 4, 5)

Провідний інженер

Я.В. Горишнякова
(розділи 3,6,9; оформлення
звіту)

Завідувач сектору,
с.н.с.

Л.В. Шевченко (розділи 1, 2)

Науковий співробітник

Л.І. Братішко (розділ 1,2)

Науковий співробітник

В.Ю. Бакланова (розділи 1,2)

Провідний інженер

С.О.Діяконова (розділи 1,2)

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

ВЗ - високе забруднення;

ГДС – гранично допустимі скиди;

ГДК - гранично допустимі концентрації;

ЗР – забруднюючі речовини;

НП - нафтопродукти;

РНП - рідкі нафтопродукти (вуглеводні);

СІЗ - система інженерного захисту.

РЕФЕРАТ

Проміжний звіт про НДР етап 124 с., 13 рис., 4 табл., 4 дод., 69 джерел.

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ, ЗАБРУДНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ І ПОВЕРХНЕВИХ ВОД, РІДКІ НАФТОПРОДУКТИ, ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ІНЖЕНЕРНОГО ЗАХИСТУ ГІДРОСФЕРИ, ВОДООХОРОННІ ЗАХОДИ

Об'єкт дослідження – підземні води, забруднені рідкими нафтопродуктами; процеси розтікання лінзоподібних скупчень рідких нафтопродуктів, вивчення яких необхідне для розробки та обґрунтування водоохоронних заходів.

Мета всієї роботи - розробка методики і технології ліквідації скупчень рідких нафтопродуктів в підземній гідросфері для найбільш типових для України геолого-гідрогеологічних умов.

Мета першого етапу – вибір та обґрунтування шляхів оздоровлення та реабілітації підземних і поверхневих вод на територіях, забруднених рідкими нафтопродуктами.

Методи досліджень – інформаційний пошук; аналіз даних щодо стану навколишнього природного середовища України; розробка методики визначення екологічно-прийняттого техногенного тиску на водне середовище; теоретичне обґрунтування особливостей формування осередків забруднення; аналіз даних щодо сучасних підходів до вирішення водоохоронних проблем на територіях забруднення підземних і поверхневих вод рідкими нафтопродуктами.

Результати досліджень та їх новизна – результатом НДР за 1-м етапом є проміжний звіт, присвячений проведенню теоретичного обґрунтування вибору екологічно-прийнятних заходів захисту водного середовища. В звіті приведені

результати виконаних досліджень, які дозволили визначити комплекс необхідних водоохоронних заходів, оптимально достатніх за екологічними критеріями для профілактики забруднення підземних та поверхневих вод нафтопродуктами. Науково обґрунтовано необхідність створення інноваційних технологій автоматичного селективного вилучення рідких нафтопродуктів з підземної гідросфери та забруднених розчиненими нафтопродуктами підземних вод.

Наукова новизна роботи - Вперше розроблений теоретичний підхід до вибору та обґрунтування технології селективного вилучення рідких нафтопродуктів для захисту підземних вод та водних об'єктів від забруднення.

Інформація щодо впровадження - упровадження результатів досліджень доцільне при розробці та реалізації водоохоронних заходів на конкретних підприємствах; при виконанні оцінки ефективності реалізованих водоохоронних заходів; при коригуванні прогностичних даних відносно зміни гідрохімічного режиму поверхневих та підземних вод.

Сфера застосування – інформаційна підтримка управління природоохоронною діяльністю на підприємствах.

Значимість роботи - розроблений комплексний підхід дозволяє розробити та обґрунтувати методи і технологію з запобігання надходженню забруднених рідкими нафтопродуктами підземних вод у поверхневі водойми.

Очікується практичне використання результатів підприємствами-забруднювачами підземної гідросфери рідкими нафтопродуктами при вирішенні питань захисту підземних та поверхневих вод.

Висновки, пропозиції щодо розвитку об'єкта дослідження (розроблення) й доцільності продовження досліджень – доцільність продовження досліджень підтверджується необхідністю розроблення технології селективного вилучення з підземного простору рідких нафтопродуктів та зворотних вод на конкретних об'єктах де сформувались лінзи рідких нафтопродуктів в залежності від геолого-гідрогеологічних умов.

ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних познач, одиниць і термінів	3
Реферат.....	4
Вступ.....	9
1 Стан питання	12
1.1 Постановка проблеми.....	16
1.2 Аналіз сучасного стану досліджень з вирішення проблеми забруднення гідросфери нафтою та рідкими нафтопродуктами.....	22
1.3 Виділення невирішених частин проблеми	23
1.4 Постановка завдання на проведення досліджень в рамках робіт 2019 року.....	23
2 Особливості знаходження рідких і розчинених нафтопродуктів в підземній гідролітосфері.....	25
3 Механізм забруднення підземних вод рідкими нафтопродуктами та особливості їх міграції в залежності від геологічної будови і гідрогеологічних умов.....	31
3.1 Деякі аспекти сучасних поглядів на механізм забруднення підземних вод рідкими нафтопродуктами.....	31
3.2 Умови міграції нафтопродуктів	33
3.2.1 Міграційні властивості рідких і розчинних нафтопродуктів	33
3.2.2 Гідрогеологічні умови міграції нафтопродуктів.....	36
4 Особливості формування осередків та ореолів забруднення підземних вод рідкими нафтопродуктами.....	39
4.1 Теоретичні передумови	39
4.1.1 Закономірності розтікання лінзи рідких нафтопродуктів по поверхні ґрунтових вод для визначення її площі.....	39
4.1.2 Закономірності розтікання лінзи нафтопродуктів проти потоку ґрунтових вод.....	41
4.1.3 Закономірності розтікання лінзи нафтопродуктів у напрямку природного потоку ґрунтових вод.....	44
4.1.4 Визначення кількісних показників інтенсивності міграції рідких нафтопродуктів.....	45
4.1.5 Визначення кількісних показників інтенсивності міграції рідких нафтопродуктів.....	47
4.2 Приклад визначення кількісної оцінки негативного впливу вільної рідкої фази вуглеводнів на підземні води.....	53
5 Вибір і обґрунтування варіантів водоохоронних заходів в місцях розповсюдження лінзоподібних скупчень рідких нафтопродуктів.....	56
5.1 Визначення задач водоохоронних заходів в залежності від структури області забруднення підземних вод нафтопродуктами....	56
5.2 Вибір варіантів водоохоронних заходів в місцях розповсюдження скупчень (лінз) рідких нафтопродуктів.....	60

5.2.1	Шляхи і методи локалізації скупчень рідких нафтопродуктів у підземній гідросфері (локалізаційні заходи).....	62
5.2.2	Шляхи і методи ліквідації (вилучення) скупчень рідких нафтопродуктів з підземної гідросфери (ліквідаційні заходи).....	68
5.2.2.1	Аналіз існуючих систем інженерного захисту підземних вод в умовах забруднення рідкими нафтопродуктами та їх недоліки.....	69
5.2.2.2	Переваги технології селективного вилучення скупчень рідких нафтопродуктів з підземної гідросфери.....	71
6	Принципові особливості установки селективного вилучення скупчень рідких нафтопродуктів з підземної гідросфери.....	72
6.1	Конструктивні особливості установки.....	72
6.2	Умови адаптації установки селективного вилучення скупчень рідких нафтопродуктів з підземної гідросфери.....	72
6.2.1	Типізація геолого-літологічного розрізу порід, які вміщують нафтопродукти.....	74
6.3	Необхідний перелік вимог до обладнання установки.....	76
6.4	Визначення глибини санації територій, забруднених рідкими нафтопродуктами.....	77
7	Розробка методології визначення величини гранично-допустимих техногенних навантажень на підземні води в межах скупчень рідких нафтопродуктів для обґрунтування заходів з охорони річок від забруднення підземним стоком.....	79
8	Вибір способів вирішення задач міграції до зони дренажу розчинених нафтопродуктів в верхній частині гідролітосфери після вилучення їх рідкої фази.....	84
8.1	Основні задачі розрахунків, які необхідно вирішувати при виборі і обґрунтуванні водоохоронних заходів.....	84
8.2	Аналіз способів вирішення задач міграції забруднюючих речовин у верхній частині гідросфери.....	85
9	Визначення прийнятних умов для реалізації технологічних схем селективного вилучення з підземного простору рідких нафтопродуктів і зворотних підземних вод.....	90
9.1	Аналіз умов для ефективної роботи технологічних схем вилучення рідких нафтопродуктів та підземних вод.....	90
9.2	Можливі варіанти реалізації технологічних схем вилучення рідких нафтопродуктів та оцінка їх ефективності.....	92
9.3	Технічне забезпечення роботи установок селективного вилучення нафтопродуктів.....	93
9.4	Організаційно-правові та організаційно-технічні питання	

	створення та експлуатації систем інженерного захисту.....	95
	Висновки.....	96
	Перелік джерел посилання.....	101
ДОДАТОК А	Технічне завдання на створення науково-технічної продукції.....	109
ДОДАТОК Б	Зовнішня рецензія.....	112
ДОДАТОК В	Внутрішня рецензія.....	115
ДОДАТОК Г	Витяг з протоколу № 7 від 10.12.2019 НДР.....	118

ВСТУП

Дійсний звіт є проміжним за дослідженнями, виконаним УКРНДІЕП в 2019 р. по темі № 22/2.2-19 «Розробка методики та технології ліквідації скупчень рідких нафтопродуктів для захисту водних об'єктів від забруднення». Ці дослідження входять в склад робіт, які планується виконувати протягом 3-х років: з 2019 р. по 2021 р.

Аналіз інформації щодо стану поверхневих та підземних вод України [1], свідчить, що на сьогоднішній день є одним з найбільш загрозливих явищ техногенного характеру на початку третього тисячоліття є «водний голод» - результат не просто виснаження питної води, але і забруднення її джерел, як поверхневих, так і підземних. Причини форми забруднення різноманітні, але до числа забруднень, що мають глобальний характер, належать насамперед нафтохімічні - забруднення рідкими вуглеводнями. Основною масою забруднюючих речовин є сира нафта та продукти її переробки, в тій чи іншій кількості, які втрачаються по всьому технологічному шляху від свердловини на нафтопромислі до заправної колонки і автостоянки.

В якості основного чинника ризиків розглядаються скупчення рідких нафтопродуктів, за певних умов здатних до самостійного переміщення на поверхні ґрунтових вод. Вони підлягають першочерговому і безумовному вилученню. Найбільшу небезпеку становлять скупчення рідких нафтопродуктів різної потужності як найбільш довготривале джерело забруднення підземних вод.

Розробка методів і технології, які дозволяють вилучати рідкі нафтопродукти з підземної гідросфери навіть при малій потужності сформованих лінз, являється надзвичайно актуальною.

Актуальність робіт полягає в необхідності оздоровлення та реабілітації підземних і поверхневих вод на територіях забруднення рідкими нафтопродуктами.

Актуальність роботи підтверджується Постановою Верховної Ради України від 5 березня 1998 року №188/98-ВР «Про Основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки», пункти 8,15,16, 27.

Метою роботи в 2019-2021 роках є розробка методики і технології ліквідації скупчень рідких нафтопродуктів в підземній гідросфері для найбільш типових для України геолого-гідрогеологічних умов.

Метою робіт, які виконувались в 2019 році, є вибір та наукове обґрунтування комплексу заходів щодо захисту підземних і взаємопов'язаних з ними поверхневих вод від обумовленого господарською діяльністю забруднення рідкими нафтопродуктами.

В даному випадку під захистом від забруднення розуміється система заходів, спрямована на збереження і відновлення природної якості підземних і поверхневих вод.

Завданнями досліджень по обґрунтуванню такого комплексу є:

- дослідження умов міграції забруднюючих речовин і постановка водоохоронних задач;
- схематизація природних умов, обґрунтування вихідних даних для створення систем інженерного захисту.

Виходячи з актуальності та мети роботи, основними завданнями є наступні:

- 1) проаналізувати аспекти сучасних поглядів на механізм забруднення підземних вод рідкими нафтопродуктами;
- 2) проаналізувати особливості формування та розтікання лінз рідких нафтопродуктів на поверхні ґрунтових вод в залежності від геологічної будови та гідрогеологічних умов;
- 3) визначити задачі водоохоронних заходів в залежності від умов впливу забруднених рідкими та розчиненими нафтопродуктами підземних вод на поверхневі (річкові) води;

4) проаналізувати варіанти (водоохоронних) заходів з охорони підземних та поверхневих вод в місцях нафтохімічного забруднення;

5) обґрунтувати необхідність розробки технології з вилучення рідких нафтопродуктів в місцях їх скупчення для локалізації осередків забруднення підземних вод з метою попередження їх надходження в річки і водойми або з метою реабілітації якості поверхневих вод.

Робота відповідає основним напрямкам діяльності Мінприроди: «Забезпечення інтегрованого управління водними ресурсами на основі екосистемного підходу за басейновим принципом з урахуванням Водної Рамкової Директиви ЄС». Відповідає вимогам законодавства України (законодавчо-нормативним актам): Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.91 №1264-XI; Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року» (від 21.02.2010 р. № 2818-VI); Закон України «Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення» від 18 травня 2017 р. №2047-VIII. Водний Кодекс України від 06.06.1995 № 213/95-ВР; «Директива Європейського парламенту и Совета 2000/60/ЕС от 23 октября 2000 г., учреждающая рамки деятельности Сообщества в области водной политики,» зі змінами та доповненнями, внесеними рішенням № 2455/2001/ЄС.

Розроблений комплексний підхід до виконання запланованих на 2019 рік робіт дозволить обґрунтувати методи та забезпечити створення технології вилучення рідких нафтопродуктів з підземної гідросфери, що в свою чергу дозволить запобігти надходженню забруднених нафтопродуктами підземних вод у поверхневі водойми, з поступовим відновленням та покращенням якості води.

Робота виконувалась співробітниками лабораторії екологічної гідрогеології та оцінювання екологічного стану територій УКРНДІЕП.

1 СТАН ПИТАННЯ

Аналіз інформації щодо стану поверхневих та підземних вод України [2] свідчить, що на сьогоднішній день одним з найбільш загрозливих явищ техногенного характеру на початку третього тисячоліття є «водний голод» - результат не просто виснаження питної води, але і забруднення її джерел, як поверхневих, так і підземних. Причини забруднення різноманітні, але до числа забруднень, що мають глобальний характер, належать насамперед нафтохімічні - забруднення рідкими та розчиненими нафтопродуктами.

Основною масою забруднюючих речовин є сира нафта та продукти її переробки в тій чи іншій кількості, які втрачаються по всьому технологічному шляху від свердловини на нафтопромислі до заправної колонки і автостоянки.

Нафта і нафтопродукти відносяться до найбільш активних забруднювачів природного середовища на різних стадіях розвідки та експлуатації родовищ нафти, її транспортування і переробки, при використанні нафтопродуктів для різного роду технологічних, енергетичних цілей, в якості палива для різних видів транспорту. Великі кількості нафтопродуктів надходять в підземні та поверхневі води зі стічними водами підприємств нафтовидобувної, нафтопереробної, хімічної, металургійної та інших галузей промисловості, з господарсько-побутовими стічними водами (рисунок 1.1).

У процесі приймання, зберігання та відпуску нафти і нафтопродуктів, а також при зачищенні резервуарів відбувається випаровування нафтопродуктів і їх потрапляння на ґрунти. Витоки нафтопродуктів відбуваються також через несправності регулюючої апаратури, підтікання напірно-всмоктувальних шлангів і корозії трубо-продуктопроводів. Можливі також переливи із резервуарів і цистерн, аварійні ситуації, пов'язані з їх корозійним руйнуванням і поривами комунікацій. Корозійні пошкодження можуть зачіпати днища наземних вертикальних резервуарів, а в заглиблених ємностях також і їх стінки.

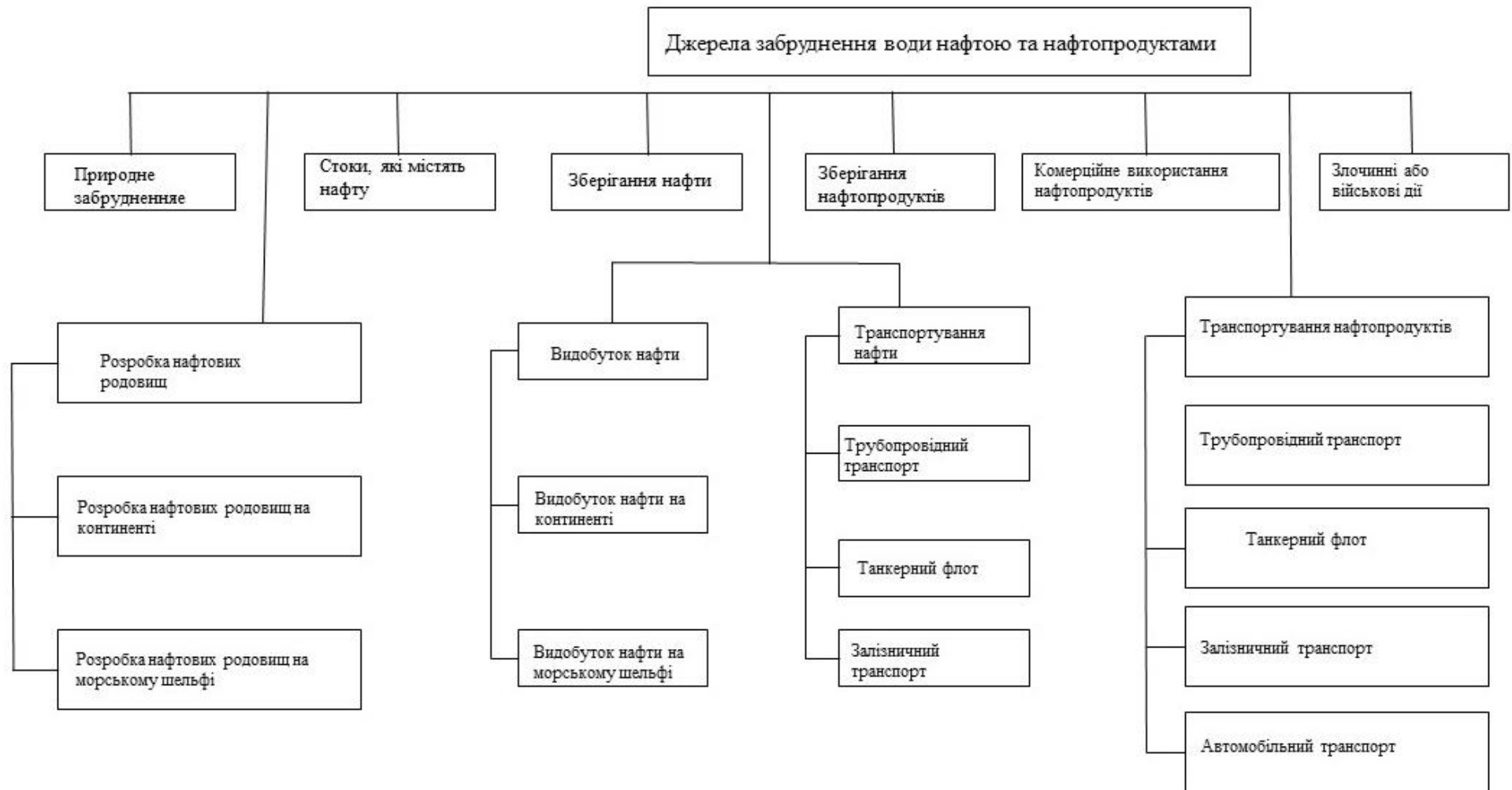


Рисунок 1.1 – Джерела забруднення нафтопродуктами підземних та взаємопов’язаних з ними поверхневих вод

Особливо пильної уваги вимагають об'єкти, які експлуатувались на протязі довготривалого часу ("старіння" бетону), а також об'єкти при зведенні та експлуатації яких порушувалися встановлені будівельні норми і технологічні правила.

Крім того, існуючі технології виробництва в ряді галузей (нафтопереробна, хімічна, теплоенергетична, металургійна, гірничодобувна і ін.) призводять до утворення і акумуляції мільярдів тон рідких і твердих відходів, значна частина яких складається в поверхневих, спеціально створених для цих цілей ємностях. Відходи виробництва становлять небезпеку для навколишнього середовища, перш за все - для підземних та поверхневих вод, як джерело надходження забруднюючих речовин - рідких та розчинених нафтопродуктів в комплексі з фенолами, сполуками сірки, азоту, важких металів.

Незважаючи на передбачені проектами протифільтраційні заходи, які полягають в спорудженні різних екранів, в більшості випадків створюються сховища відходів, які не забезпечують безпеки навколишнього середовища. Наявні дані про вплив накопичувачів на навколишнє середовище свідчать про формування суттєвого техногенного навантаження в зонах їх розміщення, яка проявляється в забрудненні підземних вод. Ступінь техногенного впливу накопичувачів взаємопов'язана з природними та антропогенними умовами на території їх розташування. До них відносяться, як правило, ігнорування геолого-гідрогеологічних умов та невиправдані надії на захисний ефект протифільтраційних екранів, що обумовлює значні обсяги фільтраційних втрат і в результаті - формування великих осередків забруднення підземних та взаємопов'язаних з ними поверхневих вод рідкими та розчиненими нафтопродуктами.

Безпечна для навколишнього середовища акумуляція промислових відходів в накопичувачах неможлива без здійснення заходів щодо профілактики забруднення підземних вод, управління їх якістю і реставрацією в разі забруднення. Перерахований комплекс досліджень і реалізація їх результатів вимагають значних додаткових фінансових витрат або

пошуку шляхів зміни старих, чи впровадження нових технологій виробництва, утилізації відходів, які зводили б до мінімуму вплив на водне середовище.

В підземні і поверхневі води нафтопродукти можуть надходити з поверхні землі в водоносний горизонт, а далі – в річки та в водойми, при безпосередніх втратах рідких та розчинених нафтопродуктів, інфільтрації стічних вод з території нафтобаз, з накопичувачів, а також при фільтрації із забруднених річок і водойм (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Особливості формування забруднення підземних та поверхневих вод нафтопродуктами

В якості основного чинника ризиків розглядаються скупчення рідких нафтопродуктів, за певних умов здатних до самостійного переміщення на

поверхні ґрунтових вод. Вони підлягають першочерговому і безумовному вилученню.

Скупчення рідких нафтопродуктів різної потужності становлять значну небезпеку як найбільш довготривале джерело забруднення підземних та взаємопов'язаних з ними поверхневих вод.

1.1 Постановка проблеми

Україна має розвинений нафтопромисловий комплекс, складовими частинами якого є підприємства з видобування, транспортування, перероблення та зберігання нафти і нафтопродуктів. Протягом усіх технологічних етапів, починаючи з видобування нафтової сировини і закінчуючи реалізацією та споживанням товарних нафтопродуктів, відбуваються втрати вуглеводневої речовини, внаслідок чого забруднюється навколишнє природне середовище, зокрема верхня частина літосфери та підземні води. Найбільш уразливими при цьому є водоносні горизонти ґрунтових вод, що є першими від поверхні витриманими по площі постійними водоносними горизонтами з вільною поверхнею [3, 4].

Забруднення ґрунтових вод нафтопродуктами відзначається майже в усіх областях і у багатьох містах України, зокрема, у Херсоні, Одесі, Луганську, Кременчуці, містах Карпатського регіону та ін.

Загрозливі масштаби поширення вуглеводневого забруднення потребують дослідження та комплексної оцінки негативного впливу об'єктів нафтопромислового комплексу на підземні води зони активного водообміну та удосконалення заходів для поліпшення їх екологічного стану.

Як свідчить проведений аналіз стану підземних та поверхневих вод України (таблиця 1.1) [5], одною з найважливіших проблем сучасної гідрогеології є охорона підземних і поверхневих вод від забруднення.

Таблиця 1.1 - Розподіл основних осередків та крупних водозаборів, на яких спостерігається забруднення підземних вод по адміністративних областях України (станом на 01.01. 2014р - 01.01.2019р) [5]

Адміністративна одиниця	Кількість основних осередків забруднення, в дужках, що не спостерігаються	Кількість водозаборів з забрудненням підземних вод	Основні забруднювачі					Кількість основних забруднювачів відповідно за період 2014-2018рр
			2014	2015	2016	2017	за 2018	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вінницька обл.	8(7)/ /8(8)	1	мінералізація, загальна жорсткість, нітрати	мінералізація, загальна жорсткість, нітрати	мінералізація, загальна жорсткість, хлориди, сульфати,нітрати	мінералізація, загальна жорсткість, хлориди, сульфати,нітрати	мінералізація, загальна жорсткість, хлориди, сульфати,нітрати	3;3;5;5;5
Волинська обл.	3(3)/ /3(3)	-	нітрати, нітрити, нафтопродукти	нітрати, нітрити, нафтопродукти	нітрати, нітрити, нафтопродукти	нітрати, нітрити, нафтопродукти	нітрати, нітрити, нафтопродукти	3;3;3;3;3
Дніпропетровська обл.	21(11)/ /21(8)	-	мінералізація, загальна жорсткість, хлориди, сульфати, нітрати, нафтопродукти , бром, стронцій, марганець, залізо, бор, карбамід	мінералізація, загальна жорсткість, хлориди, сульфати, нітрати, нафтопродукти , бром, стронцій, марганець, залізо, бор, карбамід	мінералізація, загальна жорсткість, хлориди, сульфати, нітрати, нафтопродукти , бром, стронцій, марганець, залізо, бор, карбамід	мінералізація, загальна жорсткість, хлориди, сульфати, нітрати, нафтопродукти , бром, стронцій, марганець, залізо, бор, карбамід	мінералізація, загальна жорсткість, хлориди, сульфати, нітрати, нафтопродукти , бром, фтор, бор, натрій, стронцій, марганець, залізо, карбамід	12;12;12;12;14

Продовження таблиці 1.1

Донецька обл.	/ /7(6)	/ /28	мінералізація, загальна жорсткість, сульфати, хлориди, нітрати, хром, ціаніди, феноли, роданіди, нафтопродукти	мінералізація, загальна жорсткість, хлориди, нітрати, хром, ціаніди, феноли, роданіди, нафтопродукти , залізо	мінералізація, загальна жорсткість, хлориди, сульфати, нітрати, хром, ціаніди, феноли, роданіди, нафтопродукти , залізо	мінералізація, загальна жорсткість, хлориди, сульфати, нітрати, хром, ціаніди, феноли, роданіди, нафтопродукти , залізо	мінералізація, загальна жорсткість, сульфати, хлориди, амоній, хром, феноли, роданіди, нафтопродукти , залізо, фосфати, марганець	10;10;11;11;12
Житомирська обл.	1(1)	5/ /5	нафтопродукти , залізо природного походження	нафтопродукти , залізо природного походження	нафтопродукти , залізо природного походження	нафтопродукти , залізо природного походження	нафтопродукти , залізо природного походження	2;2;2;2;2
Закарпатська обл.			нітрати, залізо та марганець природного походження	нітрати, залізо та марганець природного походження	нітрати, залізо та марганець природного походження	нітрати, залізо та марганець природного походження	нітрати, залізо та марганець природного походження	3;3;3;3;3
Запорізька обл.	10 (10)	8	мінералізація, загальна жорсткість, пестициди, нітрати, нафтопродукти	мінералізація, загальна жорсткість, пестициди, нітрати, нафтопродукти	мінералізація, загальна жорсткість, пестициди, нітрати, нафтопродукти	мінералізація, загальна жорсткість, пестициди, нітрати, нафтопродукти	мінералізація, загальна жорсткість, пестициди, нітрати, нафтопродукти	5;5;5;5;5
Івано-Франківська обл.	/ /5(5)	1	Хлориди, феноли, нафтопродукти , марганець, кадмій	Хлориди, феноли, нафтопродукти , марганець, кадмій	Хлориди, феноли, нафтопродукти , марганець, кадмій	Хлориди, феноли, нафтопродукти , марганець, кадмій	хлориди, феноли, нафтопродукти , марганець, кадмій	5;5;5;5;5
Київська обл.	10 (10)	2	нафтопродукти , сухий залишок, хлориди, залізо природного походження, амоній, побутові відходи	нафтопродукти , сухий залишок, хлориди, залізо природного походження, амоній, побутові відходи	нафтопродукти , сухий залишок, хлориди, залізо природного походження, амоній, побутові відходи	нафтопродукти , сухий залишок, хлориди, залізо природного походження, амоній, побутові відходи	нафтопродукти , сухий залишок, хлориди, залізо природного походження, амоній, побутові відходи	6;6;6;6;6

Продовження таблиці 1.1

Кіровоградська обл.	8 (8)	-	мінералізація, пестициди, нітрати, аміак, нафтопродукти	мінералізація, пестициди, нітрати, аміак, нафтопродукти	мінералізація, пестициди, нітрати, аміак, нафтопродукти	мінералізація, пестициди, нітрати, аміак, нафтопродукти	мінералізація, пестициди, нітрати, аміак, нафтопродукти	5;5;5;5;5
Луганська обл.	11(7)/ /8(3)	6	мінералізація, загальна жорсткість, марганець, залізо, нітрати, феноли, хлориди, сульфати, нафтопродукти , амоній	мінералізація, загальна жорсткість, марганець, залізо, нітрати, феноли, хлориди, сульфати, нафтопродукти , амоній	мінералізація, загальна жорсткість, марганець, залізо, нітрати, амоній, феноли, хлориди, сульфати, нафтопродукти	мінералізація, загальна жорсткість, марганець, залізо, нітрати, феноли, хлориди, сульфати, нафтопродукти , амоній	мінералізація, загальна жорсткість, марганець, залізо, нітрати, феноли, хлориди, сульфати, нафтопродукти , амоній	10;10;10;10;10
Львівська обл.	4 (4)	1	амоній, залізо, сульфати, хлориди, нафтопродукти	амоній, залізо, сульфати, хлориди, нафтопродукти	амоній, залізо, сульфати, хлориди, нафтопродукти	амоній, залізо, сульфати, хлориди, нафтопродукти	амоній, залізо, сульфати, хлориди, нафтопродукти	5;5;5;5;5
Миколаївська обл.	10 (10)	2/ /3	мінералізація, загальна жорсткість, хлориди, сульфати, нітрати, амоній, нафтопродукти	мінералізація, загальна жорсткість, хлориди, сульфати, нітрати, амоній, нафтопродукти	мінералізація, загальна жорсткість, хлориди, сульфати, нітрати, амоній, нафтопродукти	мінералізація, загальна жорсткість, хлориди, сульфати, нітрати, амоній, нафтопродукти	мінералізація, загальна жорсткість, хлориди, сульфати, нітрати, амоній, нафтопродукти	7;7;7;7;7
Одеська обл.	8 (8)/ /9(8)	1/ /3	мінералізація, загальна жорсткість, нітрати, нафтопродукти , поліфосфати, карбамід, важкі метали, аміак	мінералізація, загальна жорсткість, нітрати, нафтопродукти , поліфосфати, карбамід, важкі метали, аміак	мінералізація, загальна жорсткість, нітрати, нафтопродукти , поліфосфати, карбамід, важкі метали, аміак	мінералізація, загальна жорсткість, нітрати, нафтопродукти , поліфосфати, карбамід, важкі метали, аміак	мінералізація, загальна жорсткість, нітрати, нафтопродукти , поліфосфати, карбамід, важкі метали, аміак	8;8;8;8;8

Продовження таблиці 1.1

Полтавська обл.	4 (4)	10	мінералізація, хлориди, залізо природного походження, нафтопродукти	мінералізація, хлориди, залізо природного походження, нафтопродукти	мінералізація, хлориди, залізо природного походження, нафтопродукти	мінералізація, хлориди, залізо природного походження, нафтопродукти	мінералізація, хлориди, залізо природного походження, нафтопродукти	4;4;4;4;4
Рівненська обл.	8 (8)	1	нітрати, нітроти, фосфогіпс, нафтопродукти , загальне залізо, формальдегід	нітрати, нітроти, фосфогіпс, нафтопродукти , загальне залізо, формальдегід	нітрати, нітроти, нафтопродукти , загальне залізо, формальдегід, амоній	нітрати, нітроти, нафтопродукти , загальне залізо, формальдегід, амоній	нітрати, нітроти, нафтопродукти , загальне залізо, формальдегід	6/ 6/5/5/5
Сумська обл.	3 (3)	2	мінералізація, загальна жорсткість, сульфати, феноли, нітрати, нафтопродукти	мінералізація, загальна жорсткість, сульфати, феноли, нітрати, нафтопродукти	мінералізація, загальна жорсткість, сульфати, феноли, нітрати, нафтопродукти	мінералізація, загальна жорсткість, сульфати, феноли, нітрати, нафтопродукти	мінералізація, загальна жорсткість, сульфати, феноли, нітрати, нафтопродукти	6;6;6;6;6
Тернопільська обл.	4 (4)	-	нафтопродукти , органічні сполуки	нафтопродукти , органічні сполуки	нафтопродукти , органічні сполуки,	нафтопродукти , органічні сполуки,	нафтопродукти , органічні сполуки	2;2;2;2;2
Харківська обл.	4 (4)	4	мінералізація, нітрати, нафтопродукти	мінералізація, нітрати, нафтопродукти	мінералізація, нітрати, нафтопродукти	мінералізація, нітрати, нафтопродукти	мінералізація, нітрати, нафтопродукти	3;3;3;3;3
Херсонська обл.	10 (7)/ /10(10)	3/ /2	мінералізація, хлориди, сульфати, нітрати, нафтопродукти , амоній, марганець	мінералізація, хлориди, сульфати, нітрати, нафтопродукти , амоній, марганець	мінералізація, хлориди, сульфати, нітрати, нафтопродукти , амоній, марганець	мінералізація, хлориди, сульфати, нітрати, нафтопродукти , амоній, марганець	мінералізація, хлориди, сульфати, нітрати, нафтопродукти , амоній, марганець	7;7;7;7;7

Продовження таблиці 1.1

Хмельницька обл.	8 (8)	2	мінералізація, загальна жорсткість, нітрати, загальне залізо, нафтопродукти , амоній	мінералізація, загальна жорсткість, нітрати, загальне залізо, нафтопродукти , амоній	мінералізація, загальна жорсткість, нітрати, загальне залізо, нафтопродукти , амоній	мінералізація, загальна жорсткість, нітрати, загальне залізо, нафтопродукти , амоній	мінералізація, загальна жорсткість, нітрати, загальне залізо, нафтопродукти , амоній	6;6;6;6;6
Черкаська обл.	16 (16)	-	мінералізація, хлориди, сульфати, нітрати, амоній, пестициди, нафтопродукти	мінералізація, хлориди, сульфати, нітрати, амоній, пестициди, нафтопродукти	мінералізація, хлориди, сульфати, нітрати, амоній, пестициди, нафтопродукти	мінералізація, хлориди, сульфати, нітрати, амоній, пестициди, нафтопродукти	мінералізація, хлориди, сульфати, нітрати, амоній, пестициди, нафтопродукти	7;7;7;7;7
Чернівецька обл.	10(10)		сульфати, нітрати, амоній, колі- індекс, мікробне число	сульфати, нітрати, амоній, колі- індекс, мікробне число	сульфати, нітрати, амоній, колі- індекс, мікробне число	сульфати, нітрати, амоній, колі- індекс, мікробне число	сульфати, нітрати, амоній, колі- індекс, мікробне число	5;5;5;5;5
Чернігівська обл.	1 (1)	4	нафтопродукти , фтор природного походження	нафтопродукти , фтор природного походження	нафтопродукти , фтор природного походження	нафтопродукти , фтор природного походження	нафтопродукти , фтор природного походження	2;2;2;2;2

*Примітка – червоним кольором в комплексі забруднюючих речовин в підземних водах та на водозаборах виділені **нафтопродукти***

В першу чергу це відноситься до забруднення підземних вод нафтою, рідкими і розчиненими нафтопродуктами, які разом з нітратами є найбільш поширеними забруднюючими водні ресурси речовинами.

В цій ситуації розробка методів і технологій, які дозволять вилучати рідкі нафтопродукти з підземної гідросфери навіть при малій потужності сформованих лінз, і тим самим, захистити або реабілітувати поверхневі води від забруднення нафтопродуктами, є надзвичайно актуальною.

Актуальність полягає в необхідності оздоровлення та реабілітації підземних і поверхневих вод на територіях забруднених рідкими нафтопродуктами.

Досить важливим при цьому є визначення механізму забруднення підземних вод рідкими нафтопродуктами в залежності від геологічної будови та гідрогеологічних умов.

1.2 Аналіз сучасного стану досліджень з вирішення проблеми забруднення гідросфери нафтою та рідкими нафтопродуктами

Вивченням вуглеводневого забруднення підземної гідросфери дещо раніше почали займатись за кордоном, зокрема в США та країнах Західної Європи. Дослідження включали лабораторні та польові роботи, аналітичні розрахунки, фізичне та математичне моделювання. Вивченню особливостей міграції нафтопродуктів у геологічному середовищі присвячені роботи Abriola L. M., Hunt J. R., Pinder G. F., Kueper B. H. та ін.[6]. В Україні забруднення геологічного середовища і, зокрема, перших від поверхні водоносних горизонтів, привертає увагу лише протягом останніх декількох десятиків років, у зв'язку із браком якісних джерел питного водопостачання, у загальному обсязі яких зростає частка підземних вод. Останнє пояснює великий інтерес до цієї проблеми збоку таких видатних вітчизняних вчених, як Огняник М. С., Митропольський О. Ю., Яковлев Є. О., Рудько Г. І. [7].

1.3 Виділення невирішених частин проблеми

Незважаючи на велику кількість наукових робіт, як вітчизняних, так і закордонних дослідників, частина проблеми охорони підземної гідросфери нафтою та рідкими нафтопродуктами залишається невирішеною. Існуючі методи дослідження вуглеводневого забруднення та його поведінки у ґрунтових водоносних горизонтах є недостатньо обґрунтованими, зазвичай мають описовий характер і не можуть забезпечити кількісної оцінки стану забруднення та прогнозу його розвитку [8].

Важливим питанням залишається наукове обґрунтування заходів із поліпшення екологічного стану як на ділянках вуглеводневого забруднення водоносних горизонтів (що набуває особливої актуальності в умовах поступового переходу на споживання підземних вод, як найбільш якісного джерела господарсько-питного водопостачання [9]), так і річок та водоймищ.

1.4 Постановка завдання на проведення досліджень в рамках робіт 2019 року

Загальною метою еколого-гідрогеологічних досліджень є розроблення, обґрунтування вибору та практичне впровадження природоохоронних заходів, що включають організацію моніторингу, а також проведення робіт з очищення (санації) геологічного середовища (в тому числі – підземних вод) [10].

Зазвичай здійснення таких заходів потребує значних матеріальних витрат, тому у світовій практиці існує підхід до рішення прикладних екологічних задач, заснований на оцінці ступеня екологічного ризику [11]. Для кожного випадку забруднення ступінь екологічного ризику є показником, що кількісно виражає імовірність прояву негативного впливу на стан довкілля.

Авторами цієї роботи вирішувалась задача кількісної оцінки негативного впливу вільної рідкої фази вуглеводнів на основі закономірностей, виявлених в процесі дослідження осередку вуглеводневого забруднення ґрунтового водоносного горизонту на території промислового майданчика Кременчуцького нафтопереробного заводу [12].

Згідно з метою робіт в 2019 році, ціллю яких є вибір та наукове обґрунтування комплексу заходів щодо захисту підземних і взаємопов'язаних з ними поверхневих вод від обумовленого господарською діяльністю забруднення рідкими нафтопродуктами, завданнями досліджень по обґрунтуванню такого комплексу є:

- дослідження умов міграції забруднюючих речовин і постановка водоохоронних задач;
- схематизація природних умов, вибір та обґрунтування вихідних даних для створення систем інженерного захисту.

Для виконання поставленого завдання перелік робіт включає проведення:

- 1) аналізу аспектів сучасних поглядів на механізм забруднення підземних вод рідкими нафтопродуктами, визначення умов та особливостей формування осередків забруднення;
- 2) аналіз умов формування та розтікання лінз рідких нафтопродуктів на поверхні ґрунтових вод в залежності від геологічної будови та гідрогеологічних умов;
- 3) визначення задач водоохоронних заходів в залежності від умов впливу забруднених рідкими та розчиненими нафтопродуктами підземних вод на поверхневі (річкові) води;
- 4) вибір варіантів (водоохоронних) заходів з охорони підземних та поверхневих вод в місцях забруднення рідкими нафтопродуктами;
- 5) обґрунтувати необхідність розробки технології з вилучення рідких нафтопродуктів в місцях їх скупчення для локалізації осередків забруднення підземних вод з метою попередження їх надходження в річки і водойми або з метою відновлення гідрохімічного режиму поверхневих вод.

2 ОСОБЛИВОСТІ ЗНАХОДЖЕННЯ РІДКИХ І РОЗЧИНЕНИХ НАФТОПРОДУКТІВ В ПІДЗЕМНІЙ ГІДРОЛІТОСФЕРІ

Ґрунтові води, що не мають водотривкої покрівлі, менш захищені, ніж глибокі підземні води, і приймають основну частину забруднень, що надходять з поверхні. З ґрунтових вод забруднення можуть надходити в більш глибокі напірні і безнапірні водоносні горизонти.

Нафтопродукти, які надійшли в навколишнє середовище під впливом фізико-хімічних процесів окислення і біодеструкції піддаються руйнуванню. В аеробних умовах розкладання нафтопродуктів протікає під впливом кисню повітря за участю аеробних мікроорганізмів. Це перша стадія розкладання. Надалі, в міру зменшення кисню у воді за рахунок витрачання його на окисні процеси, формуються анаеробні умови, в яких розкладання нафтопродуктів відбувається за участю анаеробних бактерій. В аеробних умовах розкладання нафтопродуктів протікає швидше, але сама тривалість цієї першої стадії деструкції обмежена в часі швидкістю формування анаеробних умов.

Відносно низькі температури кипіння, характерні для фракцій нафти, а також процеси хімічного окислення і біодеструкції, які протікають, - викликають утворення парогазової хмари, що характеризується складним складом. Інтенсивність процесів газоутворення може бути дуже велика. При цьому газоутворення відбувається не тільки на поверхні нафти і в зоні поширення її сорбованих форм (вище рівня плаваючої на поверхні ґрунтових вод нафти - в зоні сезонних коливань рівнів води), але і в глибоких інтервалах водоносного горизонту, забрудненого розчиненими нафтопродуктами (на глибинах, що перевищують 100 м). Характерною особливістю нафтового забруднення підземних вод, що відрізняє його від інших видів забруднення, є те, що вони присутні в поровому середовищі в різних формах, які відрізняються за характером міграції.

Схема поширення різних форм забруднення представлена на рисунку 2.1.

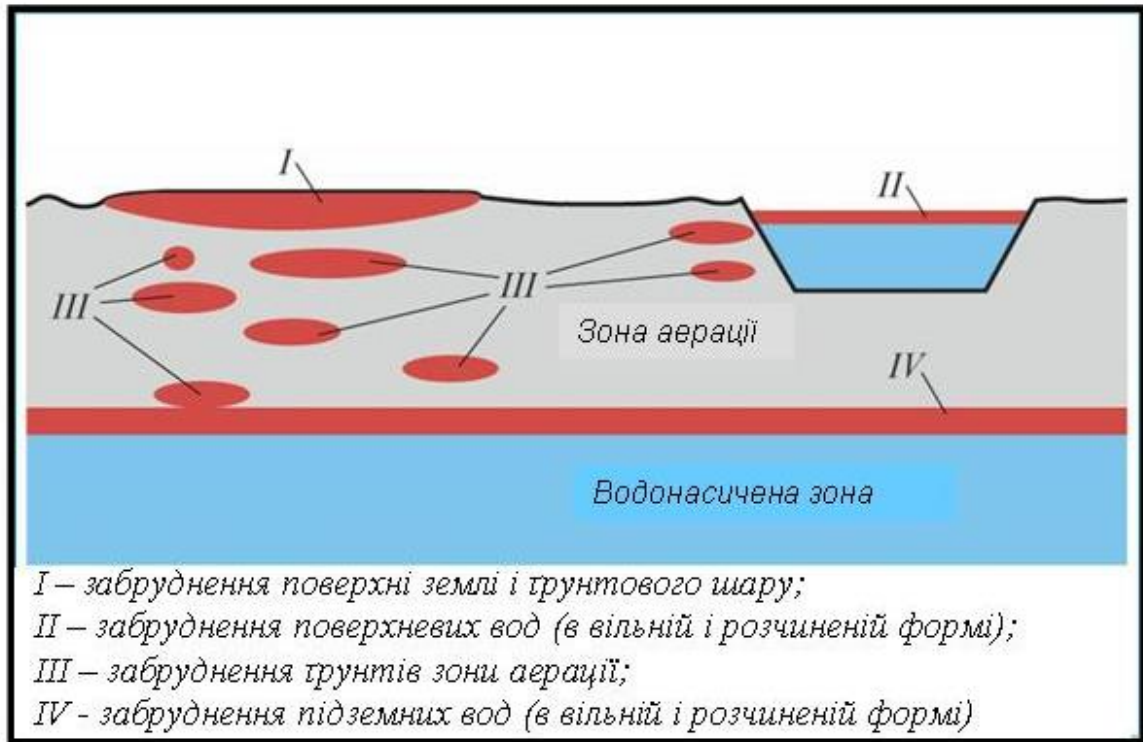


Рисунок 2.1 – Схема поширення різних форм нафтохімічного забруднення ґрунтів зони аерації, підземних та поверхневих вод

Нафтопродукти потрапляють в зону аерації у вигляді однорідної рідини, що не змішується з водою. Ця форма існування нафтопродуктів у підземному середовищі називається рідкими (вільними) нафтопродуктами. У зоні аерації вільні нафтопродукти рухаються вертикально донизу, обтікаючи малопроникні лінзи. При цьому можливе поширення забруднення на деяку відстань в напрямку, протилежному до загального напрямку потоку підземних вод. Вертикальний рух вільних нафтопродуктів триває до поверхні ґрунтових вод. Характер подальшої міграції нафтопродуктів залежить від їх щільності. Нафтопродукти, що мають щільність більше, ніж вода, продовжують падати, аж до водотриву. На водотривах важкі нафтопродукти утворюють шар, в межах якого можливий латеральний рух вільних нафтопродуктів у напрямку зниження покрівлі водотриву. При цьому напрям поширення вільних нафтопродуктів може відрізнятись від напрямку фільтрації підземних вод. Таким чином, природа

міграції легких і важких нафтопродуктів суттєво відрізняється.

Нафтопродукти, які мають щільність нижче, ніж у води, накопичуються на вільній поверхні підземних вод, утворюючи лінзи вільних нафтопродуктів. В її межах, вільні нафтопродукти можуть рухатися в латеральному напрямку вниз по потоку підземних вод на значні відстані.

Під час руху через зону аерації, вільні нафтопродукти знаходяться в порах одночасно з водою і частина з них переходить у воду, утворюючи розчинені нафтопродукти. Значна частина розчинених нафтопродуктів формується шляхом проникнення води через тіло вільних нафтопродуктів. Розчинені нафтопродукти здатні до подальшого вертикального поширення разом з підземними водами і можуть потрапити в більш глибокі водоносні горизонти. Артезіанські водозабори також можуть бути забруднені. Як вільні, так і розчинені нафтопродукти можуть сорбуватися на частинки ґрунту. Кількість сорбованих нафтопродуктів залежить як від складу нафтопродуктів, так і від складу та властивостей ґрунту [13-15].

Сорбовані нафтопродукти не здатні до міграції, але можуть служити вторинним джерелом забруднення при десорбції. У зоні аерації в тілі вільних нафтопродуктів і на поверхні підземних вод відбувається перехід нафтопродуктів у повітря зони аерації та формування летких нафтопродуктів. Летючі нафтові продукти розподіляються в зоні аерації в основному в вертикальному напрямку. Вони здатні накопичуватися в підвалах, підземних структурах і комунікаціях, викликаючи вибухи і отруєння.

Крім основних форм нафтопродуктів, у підземних водах є ще дві: емульговані та іммобілізовані нафтопродукти.

Емульговані нафтопродукти формуються при різких коливаннях рівня ґрунтових вод, зокрема, при відкачках підземних вод. Область їх розповсюдження безпосередньо нижче за тіло вільних нафтопродуктів .

Іммобілізовані нафтопродукти утворюються також при сезонних коливаннях рівня підземних вод. Площа їх розподілу знаходиться в межах амплітуди коливань рівнів ґрунтових вод [16, 17,18].

При вертикальному русі тіла вільних нафтопродуктів, коли насиченість нафтопродуктів зменшується, проникність нафтопродуктів досягає критичних значень, при яких вони більше не здатні до руху в порах.

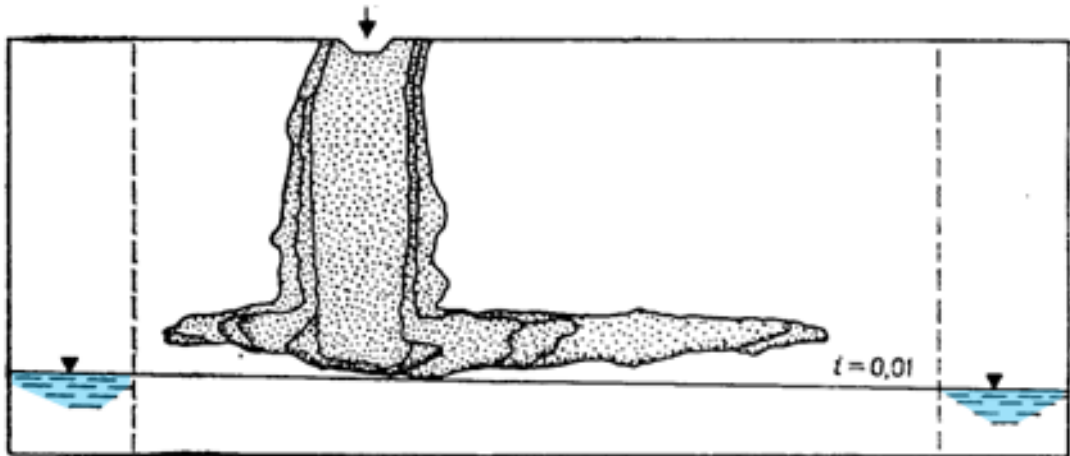
На міграцію нафтопродуктів впливають літологічний склад гірських порід і гідрогеологічні умови. Формування забруднень підземних вод нафтою зазвичай починається з вертикального перетоку її через зону аерації або вертикальних перетоків по дефективним свердловинам. При досягненні нафтою водонасиченої зони, вона поширюється в горизонтальному напрямку. При цьому відбувається активна або пасивна форми міграції.

При незначному надходженні нафти на рівень ґрунтових вод, коли нафтовий шар не встигає сформуватися в нафтове тіло і градієнт його поверхні або наближається до нуля або приймає значення градієнта потоку підземних вод, відбувається пасивна міграція нафти чи рідких нафтопродуктів шляхом перенесення самим потоком підземних вод .

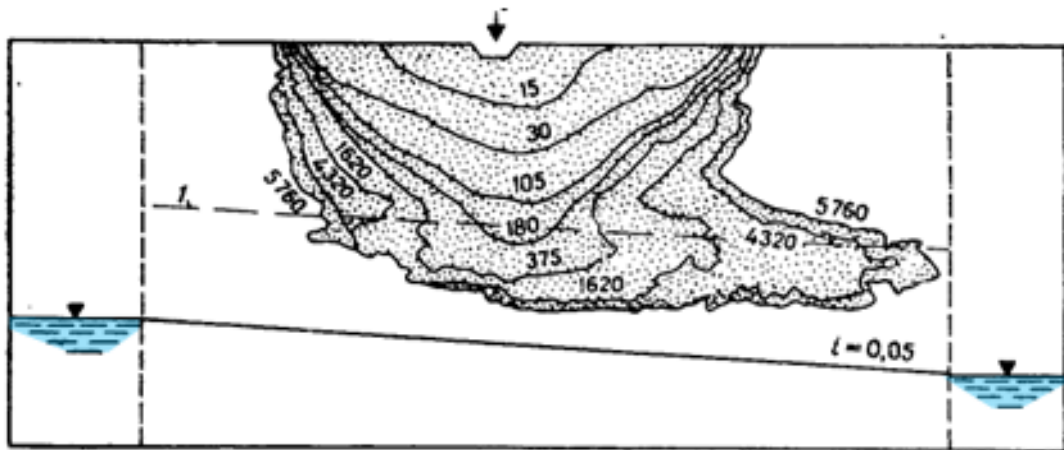
У тому випадку, коли утворюється об'ємне нафтове тіло з шаром значної потужності і значущим градієнтом поверхні, міграція відбувається самостійно, без допомоги потоку підземних вод, що представляє собою активну форму міграції.

Просторове розповсюдження нафти або рідкої форми нафтопродуктів (РНП), плаваючих на поверхні ґрунтових вод, визначається не тільки загальним ухилом підземного потоку і його градієнтом, а й фільтраційною неоднорідністю порід в зоні природного коливання рівня ґрунтових вод, яка тісно пов'язана з літологічними особливостями порід (рисунок 2.2 а, б, в, г, д).

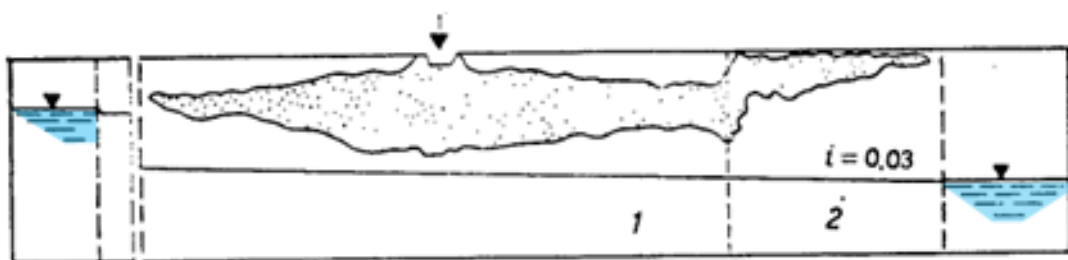
Літологічна і фільтраційна неоднорідність порід зони аерації і зони насичення сприяють перерозподілу мас нафтопродуктів, які скупчуються в добре проникних блоках водоносного горизонту перед і між слабопроникними його частинами.



а) Розповсюдження РНП ($\gamma = 0,8 - 0,9 \text{ г/дм}^3$) у розрізі добре проникних пісків ($k_{\phi} = 1 \cdot 10 \text{ м/добу}$) та формування скупчення на поверхні ґрунтового горизонту.

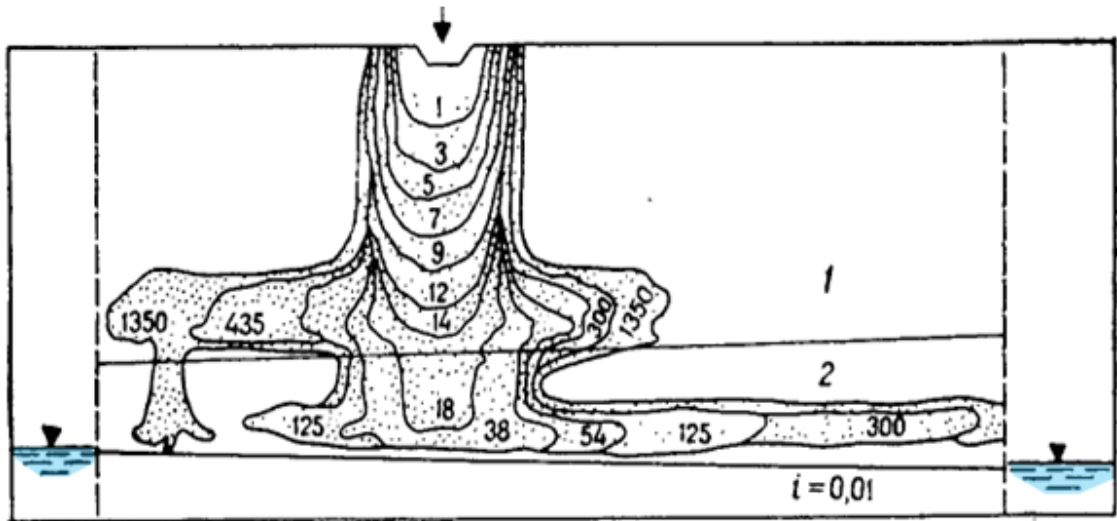


б) Розповсюдження РНП ($\gamma = 0,8 - 0,9 \text{ г/дм}^3$) у розрізі слабо проникних пісків ($k_{\phi} = 1,2 \text{ м/добу}$) та формування скупчення на поверхні ґрунтового горизонту. Цифрами вказаний час, що минув з початку дослідження, хвил.
 l – висота капілярної кайми.



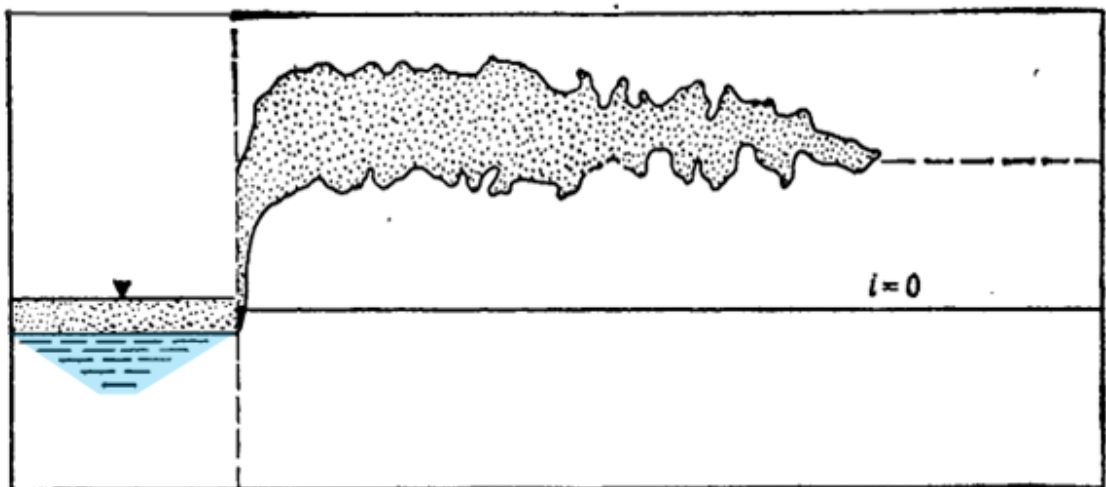
в) Розповсюдження РНП ($\gamma = 0,8 - 0,9 \text{ г/дм}^3$) в умовах планової літологічної строкатості розрізу. Перехід з більш проникної зони /1/ до менш проникної /2/.

Рисунок 2.2 а, б, в - Особливості проникнення рідких нафтопродуктів у поровому просторі за різних умов фільтрації (за даними В.М. Гольдберга [19])



г) Розповсюдження РНП через двошарову зону аерації (ЗА).

Прояв межового ефекту.



д) Розповсюдження РНП за відсутності гідравлічного уклону.

l – висота капілярної кайми.

Рисунок 2.2 г, д - Особливості проникнення рідких нафтопродуктів у поровому просторі за різних умов фільтрації. За даними В.М. Гольдберга [19]

3 МЕХАНІЗМ ЗАБРУДНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД РІДКИМИ НАФТОПРОДУКТАМИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ МІГРАЦІЇ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ГЕОЛОГІЧНОЇ БУДОВИ І ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ

3.1 Деякі аспекти сучасних поглядів на механізм забруднення підземних вод рідкими нафтопродуктами

У даній роботі неможливо викласти погляди авторів багаточисленних фундаментальних досліджень даної проблеми. Тому зупинимося лише на схематичному викладі загальноновизнаних елементів моделі динаміки проникнення рідких нафтопродуктів в ґрунтовий масив, формування лінз нафтопродуктів на поверхні ґрунтового потоку і факторів, що визначають їх рухливість в поровому просторі, в тому обсязі, який необхідний для розуміння суті.

Механізм формування осередку забруднення рідкими нафтопродуктами істотно відрізняється від забруднення розчиненими нафтопродуктами лише на початковій стадії, перебуваючи в залежності від першопричини (аварійні розриви підземних або наземних комунікацій, аварії на транспорті або технологічні втрати), але в подальшому основним чинником утворення скупчень рідких нафтопродуктів на поверхні ґрунтових вод є їх вертикальна фільтрація в ґрунтовому масиві.

Основною масою забруднювача є сира нафта і продукти її переробки, які в тій або іншій кількості втрачаються на всьому технологічному шляху від свердловини на нафтопромислі до підприємства – переробника, заправної колонки і автостоянки.

На інтенсивність просування фронту забруднення впливає ряд факторів, з яких визначальними є первинний склад рідких нафтопродуктів, біохімічна деструкція, температурний режим, літологія і механічний склад ґрунтів, вертикальна мінливість геологічного розрізу.

З гідродинамічних факторів досить істотним є напірний градієнт (гідрравлічний ухил підземного потоку).

Прийнято вважати, що поверхні ґрунтових вод досягають не більше 10% втрачених рідких нафтопродуктів. Якщо врахувати, що, як правило, нормативні втрати підприємств становлять 0,8-1.5%, то теоретично з кожного мільйона вуглеводневої сировини, що перероблюється, 800-1500 тонн досягає поверхні підземних вод. У суглинних розрізах, які характерні для зони аерації на більшій частині території Центральної та Східної України, це дуже значні величини.

Певне уявлення про просування маси рідких нафтопродуктів в ґрунтах дають схеми, отримані на підставі міграційних дослідів. Навіть в пісках значна, якщо не основна, частина рідких нафтопродуктів, що утворюють скупчення, знаходиться в стані від малорухливого до міцно пов'язаного за рахунок ряду фізичних факторів, які діють в поровому просторі.

Слід враховувати, що геометрія скупчень рідких нафтопродуктів на поверхні ґрунтових вод надзвичайно складна. Стереотипне твердження, що вони мають конфігурацію, близьку до «округлої форми краплі жиру на поверхні води», справедливе лише при дуже однорідному літологічному складі зони насичення рідкими нафтопродуктами і при гідрравлічних градієнтах, значення яких не повинне перевищувати 10^{-3} .

Оскільки розглянутою темою є, перш за все, захист від забруднення рідкими нафтопродуктами підземних вод, як одного з найбільш вразливих елементів навколишнього середовища, то на особливостях їх забруднення слід зупинитися докладніше. Рідкі вуглеводні (нафтопродукти), як відомо, можуть перебувати в підземних водах у вигляді розчинів, емульсій і вільної фази, тобто рідких нафтопродуктів (НП), які здатні пересуватися самотійно або разом з потоком підземних вод під дією сил гравітації. На думку авторів численних публікацій і виходячи з положень зарубіжних нормативних документів, найбільшу небезпеку становлять скупчення рідких нафтопродуктів, як найбільш довготривале джерело забруднення підземних та поверхневих вод.

3.2 Умови міграції нафтопродуктів

3.2.1 Міграційні властивості рідких і розчинних нафтопродуктів

Нафтопродукти, які проникають з поверхні землі в підземні води. Залежно від інтенсивності їх надходження і складу, будови зони аерації, вологості порід в цій зоні мають місце різні умови міграції та розподілу в вертикальному розрізі і плані. Проте, виходячи зі специфіки цих речовин можна виділити 2 типа їх міграції:

- 1) рух рідких вуглеводнів (шар безпосередньо нафтових речовин);
- 2) рух розчинених і емульгованих нафтових речовин в підземній воді в зоні дренавання.

Рух (переміщення) рідких вуглеводнів

Нафтові речовини в рідкій фазі проникають у горизонт ґрунтових вод по порах і тріщинах порід зони аерації, де переважає рух у вертикальному напрямку. Коли рідкі нафтопродукти зустрічають на своєму шляху менш проникний шар або досягають рівня ґрунтових вод, відбувається їх накопичення і розтікання в горизонтальному напрямку [12, 20].

Рух рідких вуглеводнів в водонасиченому пористому середовищі має наступні особливості (рисунок 2.2 а, б, в, г, д):

- рідкі нафтопродукти, які просочилися з поверхні землі, рухаються лише у відносно тонкому шарі верхньої частини водоносного горизонту на відмітках рівня ґрунтових вод (рисунок 2.2 а);

- великий вплив на рух нафтових речовин чинить неоднорідність проникного шару, коригуючи швидкість і напрямок (рисунок 2.2 а, б, в, г).

- вплив на поширення нафтопродуктів залежить від гідравлічного градієнта (рисунок 2.2 а, б, д).

З огляду на те, що гідравлічний градієнт є змінним у часі, а у нафтових речовин зазвичай не буває постійного потоку, а відбувається лише розтікання певної кількості нафтопродуктів, слід враховувати, що:

- шар нафтових речовин в основному переміщається на поверхні ґрунтових вод насамперед під дією водного потоку;
- при русі нафтових речовин в водонасиченому шарі частина нафтопродуктів залишається пов'язаною з породою внаслідок впливу сорбції та поверхневих сил, що уповільнює їх рух.

Нафта з водою утворює двофазну систему і проникність породи в такій системі залежить від насиченості її тією або іншою фазою. Обидві рідини можуть протікати разом в межах насичення приблизно відповідно 15-80% і 80-85%. Якщо насиченість породи нафтою перевищить 15-20%, то порода буде проникна для нафти і непроникна для води і навпаки [21, 22].

Таким чином, рух нафтопродуктів в підземних водах представляє собою дуже складний процес, вивчення якого базується на лабораторних і натурних експериментах.

Дані модельних і польових дослідів [12, 21, 22], показують, що нафтові речовини у вигляді однофазної рідини (рідких нафтопродуктів) поширюються по поверхні ґрунтових вод на порівняно невеликі відстані. Зазвичай утворюється ядро забруднення, яке у відносно короткий час стабілізується і в подальшому його масштаби мало змінюються. Якщо забруднення повторюється, то порода поступово втрачає здатність затримувати нафтові речовини і вони поширюються на великі відстані. В даному випадку міграції при розробці водоохоронних заходів слід звернути увагу на процеси і фактори впливу на зміну поверхневого натягу на межі поділу фаз *«рідкі нафтопродукти – вода»*.

Рух рідких нафтопродуктів визначається, головним чином, співвідношенням сил поверхневого натягу і гідродинамічного тиску. Так на зниження міжфазного поверхневого натягу істотно впливає присутність емульгаторів, речовин які безпосередньо містяться в нафтопродуктах (зокрема,

що утворюються в процесі їх деградації) і деяких органічних речовин ґрунтів і підземних вод.

З іншого боку, система водоохоронних заходів, спрямованих на зменшення надходження нафтопродуктів в водоносний горизонт з поверхні, вилучення їх із окремих лінз, створення зворотних ухилів і зниження гідравлічних градієнтів різко обмежує можливість розповсюдження нафтопродуктів в вигляді рідкої фази в горизонтальному напрямку.

Рухи нафтопродуктів, у вигляді рідкої фази по поверхні ґрунтових вод, змінною в часі і просторі, пов'язане з дією як природних факторів (коливання рівня, обумовлене інфільтрацією атмосферних опадів), так і впливом на потік роботи спеціальних інженерних споруд (свердловин, траншей, шурфів).

Рух розчинених і емульгованих нафтових речовин в підземних водах

З точки зору забруднення підземних і взаємопов'язаних з ними поверхневих вод поширення розчинених і завислих (емульгованих) нафтових речовин для підземних вод більш небезпечно, ніж поширення нафтових речовин по поверхні у вигляді однофазної рідини, так як воно охоплює більш великі території. При цьому необхідно зазначити, що поширення розчинених речовин підпорядковується іншим закономірностям, ніж поширення емульгованих (через відсутність достатніх фактичних даних ще неясна можливість переміщення емульсій на значні відстані). Однак в даний час практично немає методу, за яким можна було б розрізнити, в якій формі знаходяться нафтові речовини в воді. Останнє впливає на якість відібраних проб і їх аналіз. Розчини, в основному, є гомогенними, тоді як емульсії можуть бути гетерогенними і дві проби взяті в одних умовах можуть дати різні результати.

Необхідно відзначити також, що в конкретних умовах окремих об'єктів, нафтопродукти, залишаючись специфічною забруднюючою речовиною, в той же час не є єдиними. В даному випадку доречно говорити про комплекс забруднюючих речовин (нафтопродукти, феноли, сполуки сірки, азоту, важкі

метали), що ускладнює боротьбу з забрудненням підземних вод, але одночасно полегшує індикацію контролю за техногенним впливом на якість підземних вод.

Міграція розчинених речовин в підземних водах теоретично непогано вивчена і описується з достатньою точністю рівнянням конвективної дифузії, в якому коефіцієнт дифузії є функцією швидкості руху підземних вод.

Багаторічний досвід авторів прогнозування забруднення підземних вод і розробки водоохоронних заходів свідчить про те, що десорбція (вимив) навіть добре розчинних речовин у воді і несорбуємих породами речовин відбувається приблизно в 5-6 разів довше ніж процес забруднення порід цими речовинами. Для нафтопродуктів цей процес ще більш уповільнений. Це призводить до чисто практичного висновку: значно легше, швидше і набагато дешевше попередити поширення забруднення, ніж локалізувати його і ліквідувати. Нерідко процес забруднення підземних вод виявляється незворотним.

3.2.2 Гідрогеологічні умови міграції нафтопродуктів

На міграцію нафтопродуктів впливають літологічний склад гірських порід і гідрогеологічні умови. Формування забруднень підземних вод нафтою зазвичай починається з вертикального перетоку її через зону аерації або вертикальних перетоків по дефективним свердловинам. При досягненні нафтою водоносного горизонту відбувається активна або пасивна форми міграції.

При незначному надходженні нафти на рівень ґрунтових вод, коли нафтовий шар не встигає сформуватися в нафтове тіло і градієнт його поверхні або наближається до нуля або приймає значення градієнта потоку підземних вод, відбувається пасивна міграція нафти чи рідких нафтопродуктів шляхом перенесення самим потоком підземних вод. У тому випадку, коли утворюється об'ємне нафтове тіло з шаром значної потужності і значущим градієнтом

поверхні, міграція відбувається самостійно, без допомоги потоку підземних вод, що представляє собою активну форму міграції.

Просторове розповсюдження нафти або рідкої форми нафтопродуктів, плаваючих на поверхні ґрунтових вод, визначається не тільки загальним ухилом підземного потоку і його градієнтом, а й фільтраційною неоднорідністю порід в зоні природного коливання рівня ґрунтових вод, яка тісно пов'язана з літологічними особливостями порід. Літологічна і фільтраційна неоднорідність порід зони аерації і насичення сприяють перерозподілу мас нафтопродуктів, які скупчуються в добре проникних блоках водоносного горизонту перед і між слабопроникними його частинами.

Дані результатів обширних гідрогеологічних досліджень авторів [23,24,25,26] дозволили скласти уявлення про гідрогеологічні умови ділянок, на яких сформувались лінзи рідких нафтопродуктів.

В залежності від геологічної будови території, схематично водоносний горизонт ґрунтових вод представлений зазвичай двох- або трьохшаровою товщею (покривні суглинки, дрібно-середньозернисті піски, що переходять в грубозернисті місцями з гравієм і підстиляемі глинами). Рівень ґрунтових вод має переважно вільну поверхню. Місцями водоносний горизонт має субнапірний характер. В такому випадку п'єзометричний рівень може знаходитись в суглинках.

Лінзи рідких нафтопродуктів розташовані переважно в суглинистих відкладах, але місцями і часом вдавлюються в піщану частину (при зниженні рівня ґрунтових вод під гідростатичним тиском куполів нафтопродуктів, що утворилися за рахунок багаторазових втрат цих речовин з різних джерел.)

Є підстави припускати, що чинячи гідродинамічний тиск на ґрунтові води самі ці речовини активної участі в горизонтальному русі не приймають (слабо переміщуються в плані), тобто має місце фазова непроникність для нафтопродуктів. За межами куполів нафтопродукти знаходяться в зоні аерації в сорбованому вигляді, в вигляді тонких прошарків, або в основному, у вигляді шару нафтопродуктів на поверхні ґрунтових вод, переміщуючись по потоку.

Оскільки коефіцієнти фільтрації пісків багаторазово перевищують коефіцієнти фільтрації для суглинків, можна стверджувати, що рух ґрунтових вод відбувається за схемою Дюпюї-Форхгеймера, тобто в пісках - по горизонталі, а в суглинках - практично по вертикалі.

В такому випадку в місцях, де проявляється субнапірний характер фільтрації в пісках, надходження нафтопродуктів в цю частину водоносного горизонту відсутнє.

При повністю безнапірній фільтрації, з суглинків в піщану товщу водоносного горизонту відбувається підживлення інфільтраційними водами, що містять нафтові речовини. Міграція цих речовин в розчиненому вигляді відбувається тонким шаром в покрівлі піщаних відкладень. При цьому в місцях, де зафіксовано наявність шару (лінз) рідких нафтопродуктів, розчинені нафтопродукти надходять в водоносний горизонт в кількостях, обумовлених їх розчинністю і інтенсивністю інфільтрації, зумовлюючи формування осередків та обширних областей забруднення.

У межах територій, де відбувається формування лінз рідких нафтопродуктів - осередків забруднення, в підземних водоносних горизонтах формуються гідрохімічні аномалії. Виклинювання забруднених нафтопродуктами підземних вод в русло поверхневих водотоків, розташованих в зоні впливу проммайданчиків, викликає значне погіршення якості річкових вод. Зростаючі масштаби забруднення підземних і взаємопов'язаних з ними поверхневих вод, а також прогресуючий його характер вимагають розробки і реалізації комплексу заходів щодо захисту водоймищ та річок від забруднення підземним стоком.

4 ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ОСЕРЕДКІВ ТА ОРЕОЛІВ ЗАБРУДНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД РІДКИМИ НАФТОПРОДУКТАМИ

4.1 Теоретичні передумови

4.1.1 Умови забруднення підземних вод та формування лінз рідких нафтопродуктів

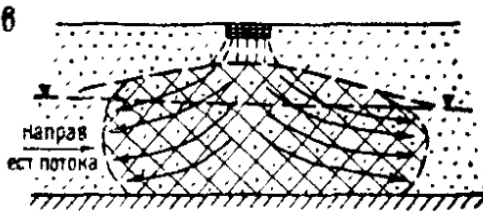





Найбільш розповсюдженими типовими умовами формування скупчень (лінз) рідких нафтопродуктів і забруднення ґрунтових вод є наступні: *Нафтопродукти поступають на поверхню ґрунтових вод зверху, безперервно просочуючись через зону аерації. з різного виду джерел забруднення.* (таблиця 4.1) [10].

При цьому фільтрація може відбуватись як у вигляді фільтраційного потоку з суцільним насиченням порового простору, так і у вигляді дощування.

Найчастішими для даного типу видами забруднення ґрунтових вод рідкими нафтопродуктами є фільтрація в ґрунти зони аерації на ділянках їх зберігання чи з дефектної каналізаційної мережі, або в місцях розміщення ставків-накопичувачів, ставків-випаровувачів та шламонакопичувачів. Значно рідше зустрічаються випадки забруднення підземних вод рідкими нафтопродуктами, які поступають через зону аерації з цехів нафтопереробки, де вони входять в технологічний цикл, або являються побічними продуктами. Нерідкі випадки формування лінз рідких нафтопродуктів при видобуванні нафти і скиді попутних вод в ставки-накопичувачі.

При наявності слабопроникних порід (водонепроникного екрану), під джерелом забруднення, нижче екрану, фільтрація відбувається з неповним насиченням пор, тобто, в виді дощування.

Таблиця 4.1 - Типізація умов забруднення підземних вод рідкими та розчиненими нафтопродуктами

Умови надходження забруднюючих розчинів	Вид забруднюючих розчинів	Джерела забруднюючих речовин (нафтопродуктів)	Забруднені водоносні горизонти	Тип забруднення (індекс)	Схема забруднення
Надходження зверху (безперервна фільтрація через зону аерації)	Стічні води, рідкі відходи підприємств, нафта, рідкі та розчинені нафтопродукти	1. Ділянки накопичення стічних вод (ставки-накопичувачі, відстійники, шламовідстійники, випаровувачі та ін.). 2. Дефектна каналізаційна мережа. 3. Цехи та ділянки збереження рідких нафтопродуктів 4. Нафтовидобувні свердловини	Грунтові води	II-й, згідно з типізацією Є.Л.Мінкіна /10/	 <p>Умовні позначення</p> <ul style="list-style-type: none">  піски  водотрив  сховища промислових стоків або скупчення рідких нафтопродуктів  зона розповсюдження забруднених вод  рівень ґрунтових вод

Такий характер просочування має місце, якщо в межах зони аерації між джерелом забруднення і ґрунтовими водами простежується різке збільшення водопроникності з глибиною і існують умови хорошого відтоку в сторони. В таких випадках в верхній частині зони аерації відбувається суцільна фільтрація (з повним заповненням пор), а в нижній частині – дощування (таблиця 4.1).

Різноманіття форм міграції нафтопродуктів, відмінність фізико-хімічних властивостей нафтопродуктів і води, трансформація вуглеводнів в пористому середовищі під впливом різних факторів зумовлюють надзвичайну складність механізму нафтового забруднення підземних вод і складність розробки водоохоронних заходів щодо ліквідації лінз рідких нафтопродуктів.

Актуальність вирішення цього завдання пов'язана з наступними причинами: ґрунтові води в найбільшій мірі піддаються нафтовому забрудненню; лінза (скупчення) нафтопродуктів на поверхні ґрунтових вод є джерелом надходження в них водорозчинних, газоподібних, емульгованих вуглеводнів; ґрунтові води часто служать провідником нафтового забруднення в нищезалюгаючі водоносні горизонти, крім того, спричиняють забруднення взаємопов'язаних з ними поверхневих вод [27, 28].

Механізм цього виду забруднення та технологія вилучення рідких нафтопродуктів в значній мірі залежать від закономірності розтікання лінзи нафтопродуктів по поверхні ґрунтових вод, на основі якого обґрунтовуються принципи розробки та способи реалізації водоохоронних заходів.

4.1.2 Закономірності розтікання лінзи рідких нафтопродуктів по поверхні ґрунтових вод для визначення її площі

Процес формування лінзи рідких нафтопродуктів постійного об'єму в капілярно-насиченій частині зони аерації можна розділити на дві фази [29]:

- активну, що включає розтікання лінзи під впливом градієнта напору, існуючого в ній і потоку ґрунтових вод, а також

- пасивну, яка полягає в переміщенні лінзи з потоком ґрунтових вод.

Задача про розтікання лінзи нафтопродуктів по поверхні ґрунтових вод багато в чому близька до задачі про формування лінзи прісних вод на поверхні мінералізованих підземних вод, яку досліджували Н.К. Гірінський (1951, 1955), [30, 31], П.Я. Полубарінова-Кочина (1977) [32], В.Д. Гродзенський (1966); В.М. Шестаков (1960, 1979) [33], Л.А. Галін (1960) [34, 35, 36], і ін.

В роботі В.М.Лук'янчикова [29] приводиться наближене рішення розтікання лінзи нафтопродуктів в умовах природного потоку підземних вод. Скористуємося його підходом до вирішення цієї задачі для визначення умов формування, розтікання по поверхні ґрунтових вод та ліквідації лінз рідких нафтопродуктів, що в значній мірі буде впливати на вибір технології водоохоронних заходів.

Для отримання наближеного рішення задачі про розтікання лінзи нафтопродуктів в умовах природного потоку підземних вод В.М. Лук'янчиков використав рішення Л.А. Галіна, яке має вигляд [29]:

$$x(t) = x_0 \left(1 + \frac{6kh_0}{nx_0^2} \cdot t \right)^{1/3} \quad (4.1)$$

де k - коефіцієнт фільтрації;

h_0 - висота лінзи по осі y на початку координат;

x_0 - положення крайової точки лінзи на початковий момент часу;

$x(t)$ - становище крайової лінзи на момент часу t .

Залежність (4.1) Л.А. Галіним отримана з рівняння Буссінеска за умови постійного об'єму лінзи прісних вод і відсутності потоку підстилюючих лінзу мінералізованих вод.

При формуванні лінзи нафтопродуктів на поверхні ґрунтових вод також можна приймати об'єм нафтопродуктів постійним, так як найбільша кількість випадків нафтового забруднення пов'язана з аварійними витокami нафтопродуктів. Однак в той же час, при аналізі процесу розтікання лінзи нафтопродуктів, на відміну від розтікання лінзи прісних вод, необхідно враховувати вплив природного потоку ґрунтових вод і фазового характеру проникності пористого середовища.

Явище фазової проникності середовища пов'язане зі спільною фільтрацією системи флюїдів, які не змішуються.

Проникність пористого середовища для нафтопродуктів в безпосередній близькості від поверхні ґрунтових вод, тобто в капілярно-насиченій частині зони аерації, залежить від ступеня її водонасичення. Наближено можна сказати, що коефіцієнт фазової проникності середовища при русі в ньому нафтопродуктів (k_n) лінійно залежить від водонасичення. Цю залежність можна представити у вигляді (Г.П. Пихачев, 1973) [37]:

$$k_n \approx k (1-S), \quad (4.2)$$

де k - коефіцієнт проникності;

S - водонасичення ($1 > s \geq 0$).

З урахуванням наведених зауважень розглянемо процес розтікання лінзи нафтопродуктів.

Нехай на момент часу $t=0$ в однорідному по фільтраційним властивостям пласті на поверхні ґрунтових вод є лінза нафтопродуктів з початковим напором h_0 і положенням крайової частини лінзи x_0 . Тоді розтікання лінзи нафтопродуктів до положення її крайової частини $x(t)$ визначимо з рівняння (4.1), замінюючи в ньому коефіцієнт фільтрації на базовий коефіцієнт проникності. В результаті з урахуванням рівняння (4.2) отримаємо:

$$x(t) \approx x_0 \left[1 + \frac{6k(1-S)\gamma h_0}{x_0^2 \mu n} t \right]^{1/3} . \quad (4.3)$$

де γ і μ - відповідно питома вага, $кг/м^3$, і в'язкість, $кг\cdot с/м^2$, нафтопродукту;
 n - пористість.

Запишемо вираз швидкості розтікання лінзи нафтопродуктів на відрізку від x_0 до x ; для цього продиференціюємо рівняння (4.3) за часом. Отримаємо:

$$V = \frac{dx}{dt} \approx \frac{2k(1-S)\gamma h_0}{x_0 \mu n} \cdot \left[1 + \frac{6k(1-S)\gamma h_0}{x_0^2 \mu n} t \right]^{-2/3} .. \quad (4.4)$$

Виходячи з рівняння (4.4), на момент часу $t = 0$ швидкість розтікання лінзи дорівнює:

$$V_0 \approx \frac{2k(1-S)\gamma h_0}{\mu n x_0} . \quad (4.5)$$

4.1.3 Закономірності розтікання лінзи нафтопродуктів проти потоку ґрунтових вод

Врахуємо вплив природного потоку. Очевидно, що при розтіканні лінзи нафтопродуктів **проти потоку ґрунтових вод**, який рухається зі швидкістю V_e , результуюча швидкість розтікання V_I дорівнює:

$$V_I = V - V_e \quad (4.6)$$

Стабілізація крайової частини лінзи нафтопродуктів вверх по потоку ґрунтових вод настане за умови:

$$V - V_e = 0. \quad (4.7)$$

Підставляючи в формулу (4.7) залежність (4.4), отримаємо час повного розтікання лінзи нафтопродуктів вверх по потоку ґрунтових вод:

$$t \approx \frac{x_0^2 \mu m}{6k(1-S)\gamma h_0} \left\{ \left[\frac{V_e x_0 \mu m}{2k(1-S)\gamma h_0} \right]^{-3/2} - 1 \right\}. \quad (4.8)$$

Підставимо (4.8) в формулу (4.3) не враховуючи в цих виразах одиниці виміру (вони практично не змінюють підрадикальні вирази). При цьому відстань (x_n), яку пройде крайова частина лінзи за час t_n проти потоку ґрунтових вод, буде рівна:

$$x_n(t_n) \approx x_0 \left[\frac{V_e x_0 \mu m}{2k(1-S)\gamma h_0} \right]^{-1/2} \quad (4.9)$$

4.1.4 Закономірності розтікання лінзи нафтопродуктів у напрямку природного потоку ґрунтових вод

Розглянемо процес розтікання лінзи нафтопродуктів у напрямку природного потоку ґрунтових вод.

У міру зменшення напору в лінзі нафтопродуктів, швидкість руху її крайової частини за рахунок градієнта напору буде сповільнятися. У зв'язку з цим будемо вважати, що розтікання лінзи (без урахування V_e) практично припиниться, якщо швидкість її крайової частини (V), в порівнянні з початковою швидкістю (V_0), не перевищує величини 0,01, тобто

$$\frac{V}{V_0} \leq 0,01 \quad (4.10)$$

З формул (4.4) і (4.5) вираз для часу (t_n') з настанням умови (4.10) буде мати вигляд:

$$t_n' \leq 10^3 \frac{x_0^2 \mu m}{6k(1-S)\gamma h_0} \quad (4.11)$$

Розглянемо два випадки:

$$t \leq t_n' \quad (4.12)$$

та

$$t > t_n' \quad (4.13)$$

Очевидно, що за умов (4.12), (4.13) (активна фаза розтікання лінзи нафтопродуктів), повна швидкість розтікання лінзи (V_n) вниз по потоку дорівнюватиме:

$$V_n = \bar{V} + V_e \quad (4.14)$$

де \bar{V} - середня швидкість потоку нафтопродуктів за час від $t = 0$ до $t = t_n'$, визначена за відомою формулою Лагранжа.

Підставляючи в формулу (4.14) значення \bar{V} і залежність (4.11), отримаємо відстань розтікання крайової частини лінзи нафтопродуктів вниз по потоку ґрунтових вод за умови (4.12):

$$x'_n(t'_n) \approx 10x_0 + \frac{10^3 x_0^2 \mu m V_e}{6k(1-S)\eta h_0} . \quad (4.15)$$

На пасивній фазі за умови (4.13) розтікання лінзи нафтопродуктів буде відбуватися тільки під впливом природного потоку ґрунтових вод. Відстань (Δx), яку пройде крайова частина лінзи нафтопродуктів за час $t - t'_n = \Delta t$ з урахуванням фазової проникності, визначиться за залежністю:

$$\Delta x \approx V_e(1-S)\Delta t . \quad (4.16)$$

Тоді відстань, яку пройде крайова частина лінзи (x_p), за умови (4.13), дорівнюватиме сумі виразів (4.15) і (4.16), тобто:

$$x_p \approx x'_n + \Delta x \approx 10x_0 + \frac{10^3 x_0^2 \mu m V_e}{6k(1-S)\eta h_0} + V_e(1-S)\Delta t . \quad (4.17)$$

Використовуючи рівняння (4.17), можна розрахувати відстань розтікання лінзи нафтопродуктів на будь-який момент часу пасивної фази.

Таким чином, на підставі залежностей (4.9), (4.15), (4.17) можна прогнозувати розтікання лінзи нафтопродуктів по поверхні ґрунтових вод в залежності від швидкості і напрямку їх потоку, а також прогнозувати переміщення рідких нафтопродуктів при обґрунтуванні технології їх видалення в разі реалізації ліквідаційних водоохоронних заходів.

4.1.5 Визначення кількісних показників інтенсивності міграції рідких нафтопродуктів

Загальною метою еколого-гідрогеологічних досліджень є розроблення та

практичне впровадження природоохоронних заходів, що включають організацію моніторингу, а також проведення робіт з очищення (санації) геологічного середовища від рідких нафтопродуктів [41].

Зазвичай здійснення таких заходів потребує значних матеріальних витрат, тому у світовій практиці існує підхід до рішення прикладних екологічних задач, заснований на оцінці ступеня екологічного ризику [42].

Для кожного випадку забруднення ступінь екологічного ризику є показником, що кількісно виражає імовірність прояву негативного впливу на стан довкілля.

Авторами вирішувалась задача кількісної оцінки негативного впливу вільної рідкої фази вуглеводнів на основі закономірностей, виявлених в процесі дослідження осередку вуглеводневого забруднення ґрунтового водоносного горизонту на території промислового майданчика Кременчуцького нафтопереробного заводу.

Серед усіх відомих станів, у яких вуглеводневе забруднення може бути присутнім у приповерхневих водоносних горизонтах, найбільш небезпечним з екологічної точки зору є гравітаційні вуглеводні, тобто вільна рідка фаза забруднення [38, 19, 43, 39]. На користь цього положення вказують багато факторів, найважливішим з яких є здатність цієї форми забруднення створювати самостійні фільтраційні потоки та мігрувати під впливом гідравлічного градієнту. Тому оцінка ступеня негативного впливу гравітаційних вуглеводнів на довкілля спирається на пошук напрямків найактивнішої міграції забруднювача та прогнозування швидкості міграції.

Лінзоподібне скупчення гравітаційних вуглеводнів на поверхні ґрунтових вод слід представити у вигляді моделі, у межах якої виділяються дві зони, розділені умовною поверхнею – приведеним рівнем або поверхнею плавучості.

В кожній із зон рух вуглеводнів контролюється силами різної природи: у нижній зоні вуглеводні рухаються у вертикальному напрямку завдяки виштовхуючій силі води; у верхній зоні переважає горизонтальний рух,

обумовлений градієнтом напору вільної поверхні скупчення вуглеводнів, що дорівнює відношенню перепадів напорів ΔH до відстані Δl між двома створами (рисунок 4.1).

Для кількісної оцінки інтенсивності міграції забруднення необхідно враховувати, що у зв'язку з наявністю у порах ґрунту двох рідин, що не змішуються (вода та вуглеводні), у дію вступає фазова проникність. Суть цього поняття полягає в прямій залежності коефіцієнту фільтрації однієї з двох рідин від ступеня насичення цієї рідиною порового простору. Це пов'язано з тим, що в системі ґрунт-вода-вуглеводні, вода зазвичай є рідиною, що змочує тверді частки ґрунту та утворює навколо них шари зв'язаної води [6, 43].

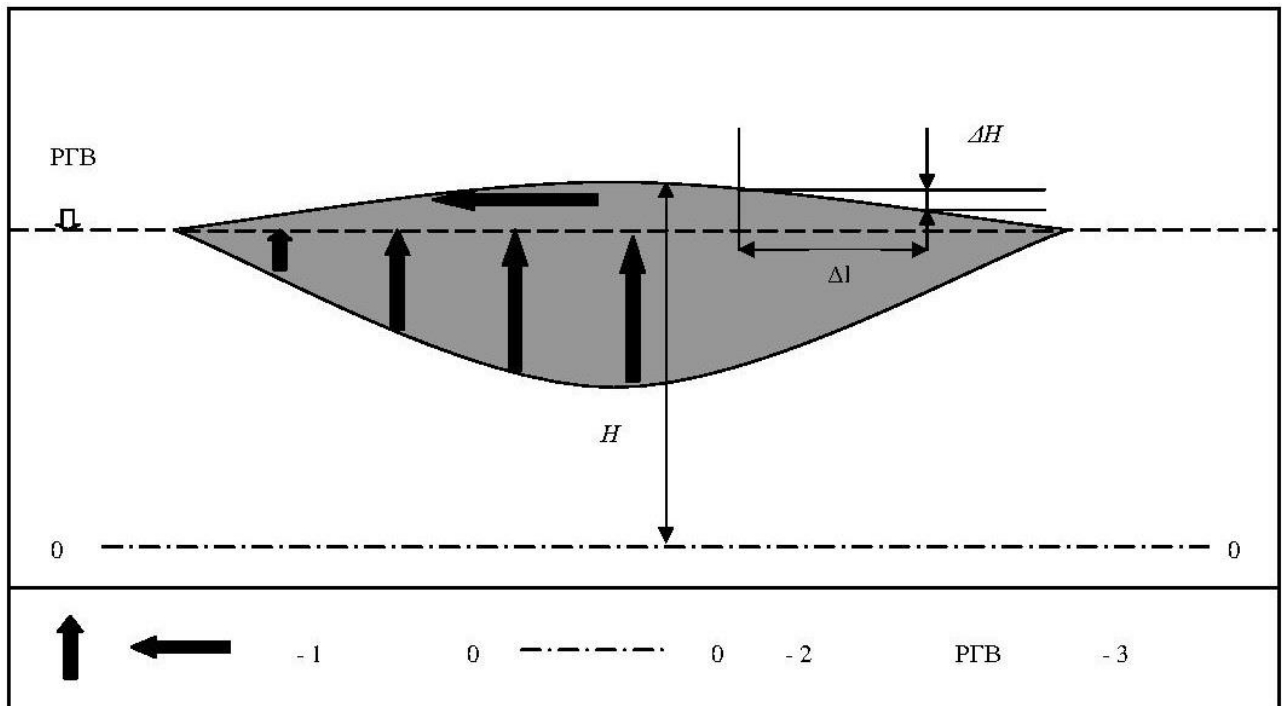


Рисунок 4.1 - Розподіл переважних напрямків руху гравітаційних вуглеводнів у межах лінзоподібного скупчення: 1 – напрямки руху вуглеводнів; 2 – умовна лінія порівняння; 3 – рівень ґрунтових вод

Поєднуючись між собою, ці шари заповнюють частину порового простору, займаючи, в першу чергу дрібні пори та залишаючи порожніми великі.

Об'єм великих пор обумовлює ефективну пористість, від якої напряму залежить можливість та інтенсивність руху будь-якої вільної рідини, в тому числі вуглеводнів. З огляду на те, що товщина шарів зв'язаної води залежить від багатьох факторів (відносна вологість ґрунту, гідрогеохімічні та термодинамічні умови, умови живлення водоносного горизонту), які не є постійними, величина ефективної пористості, отже і ступінь відкритості пор для руху гравітаційних вуглеводнів, може змінюватись як у часі, так і у просторі (рисунок 4.2).

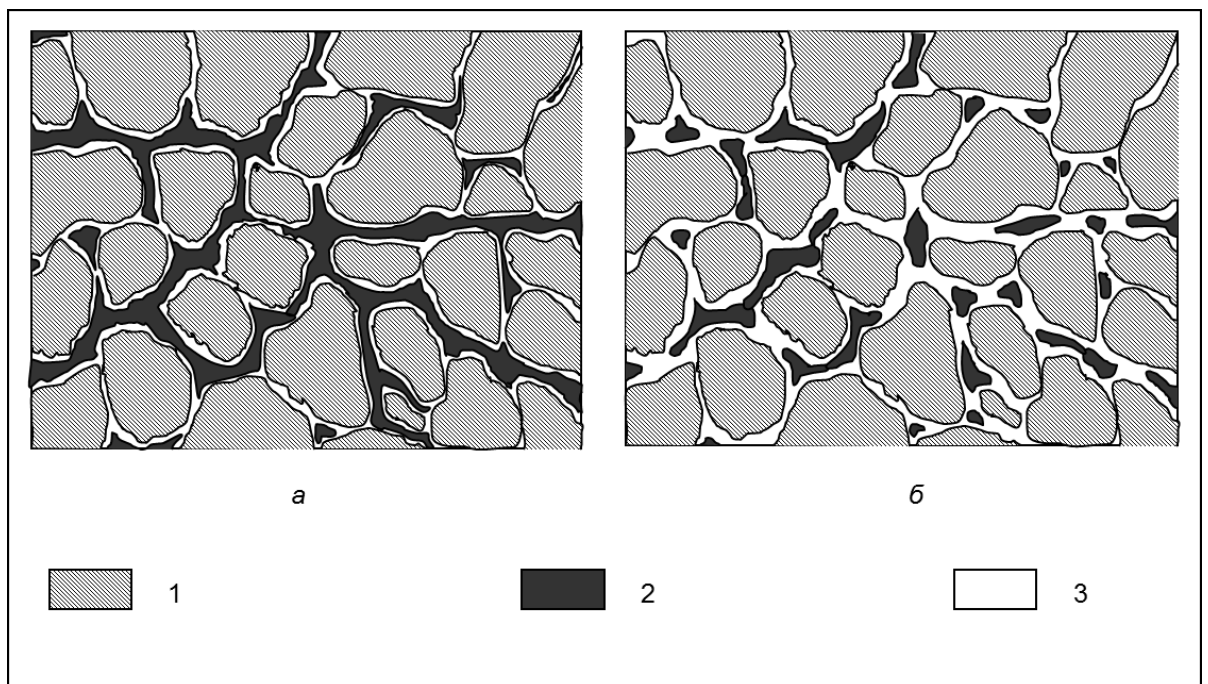


Рисунок 4.2 - Залежність ступеня відкритості пор ґрунту для руху гравітаційних вуглеводнів від співвідношення насиченостей порового простору вуглеводнями та водою (а – переважають вуглеводні; б – переважає вода): 1 – тверда фаза скелету ґрунту; 2 – рідкі вуглеводні; 3 – вода

У вертикальному розрізі лінзоподібного скупчення гравітаційних вуглеводнів відносна насиченість розподіляється нерівномірно: найбільшою вуглеводневою, а відтак і найменшою водною насиченістю, характеризується верхня частина лінзи. Отже, можна зробити припущення про мінімальний вплив в цій зоні зв'язаної води на рух вуглеводнів. Останній в такому разі підпорядковується лінійному закону фільтрації Дарсі, згідно з яким, швидкість фільтрації прямо пропорційна гідравлічному градієнту, коефіцієнту проникності порід та густині рідини і зворотно пропорційна її в'язкості:

$$v_n = k_n I_n = k_n \frac{\rho_n g \Delta H}{\mu_n \Delta l}, \quad (4.18)$$

де v_n – швидкість фільтрації вуглеводнів, м/добу;

k_n – коефіцієнт фільтрації порід по відношенню до вуглеводнів, м/добу;

I_n – гідравлічний градієнт вільної поверхні скупчення вуглеводнів, д.о.;

k_n – коефіцієнт проникності порід, дарсі;

ρ_n – густина вуглеводнів, г/см³;

g – прискорення сили тяжіння, м/с²;

μ_n – динамічна (абсолютна) в'язкість вуглеводнів, сП;

ΔH – падіння напору вільної поверхні вуглеводнів між двома перерізами потоку, м;

Δl – відстань між перерізами, м.

Після перетворень формули (1) і підстановки в неї середніх значень густини та в'язкості різних видів вуглеводневої рідини, отримуємо константу переходу від коефіцієнта фільтрації порід по відношенню до води до коефіцієнта фільтрації порід по відношенню до вуглеводнів (формула 4.19).

$$C = \frac{\rho_n \mu_v}{\rho_v \mu_n}, \quad (4.19)$$

де $\rho_{\text{н}}$ та $\rho_{\text{в}}$ – густина вуглеводнів та води, відповідно, г/см³;

$\mu_{\text{н}}$ та $\mu_{\text{в}}$ – динамічна в'язкість вуглеводнів та води, відповідно, сП.

Після перетворення формули (4.19) з урахуванням константи C отримуємо вираз середньої швидкості фільтрації вуглеводнів:

$$v_{\text{н}} = Ck \frac{\Delta H}{\Delta l}, \quad (4.20)$$

де k – коефіцієнт фільтрації порід по відношенню до води, м/добу.

Під час вирішення прогностичних задач з визначення швидкості просування фронту забруднення, шуканою величиною є не швидкість фільтрації, а дійсна швидкість руху рідких вуглеводнів у порах ґрунту $u_{\text{н}}$, яка визначається за формулою:

$$u_{\text{н}} = \frac{v_{\text{н}}}{n_{\text{а}}}, \quad (4.21)$$

де $n_{\text{а}}$ – активна пористість, д.о.

Задача кількісної оцінки негативного впливу вільної фази вуглеводнів на підземні води вирішується за наведеними вище залежностями на основі закономірностей, які можуть бути виявлені в процесі дослідження осередку забруднення ґрунтового водоносного горизонту рідкими нафтопродуктами. Надійність результатів розрахунків, виконаних за цією методикою, можна підтвердити натурними даними.

Прикладом визначення кількісних показників інтенсивності міграції рідких нафтопродуктів та визначення напрямків їх міграції можуть слугувати результати розрахунків, виконаних на основі натурних даних, одержаних при виконанні досліджень на території промислового майданчика Кременчуцького нафтопереробного заводу, де сформувались лінзи рідких нафтопродуктів.

4.2 Приклад визначення кількісної оцінки негативного впливу вільної рідкої фази вуглеводнів на підземні води

З використанням результатів досліджень, проведених УКРНДІЕП у межах промислового Кременчуцького нафтопереробного заводу (КНПЗ), виконаємо прогноз розповсюдження гравітаційної форми забруднення в районі розвитку крупного скупчення рідких вуглеводнів. Прогнозування полягає у визначенні найбільш імовірних напрямків, а також кількісних показників інтенсивності міграції рідких нафтопродуктів .

Визначення напрямків міграції здійснювалось на підставі аналізу карти ізогіпс вільної поверхні скупчення вуглеводнів (рисунок 4.3), для побудування якої використано дані про положення рівнів флюїду у спостережних свердловинах до створення системи інженерного захисту підземного простору від вуглеводневого забруднення.

З огляду на відсутність відкачування підземних вод та рідких вуглеводнів у цей період, природний розподіл напорів не спотворений дією техногенного фактору.

Згідно з рисунком 4.3, переважаюча міграція гравітаційних вуглеводнів співпадає з основним напрямком ґрунтового потоку. Однак розподіл напорів не скрізь однаковий: найбільші значення гідравлічного градієнту (близько 0,0025) характерні для напрямків I і II, а напрямку III відповідають дещо менші значення (близько 0,0015).

Визначення кількісних показників інтенсивності міграції забруднення виконано за наведеними вище залежностями. При цьому для розрахунку константи C використані значення густини $0,760 \text{ г/см}^3$ та в'язкості $0,604 \text{ сП}$, отримані за даними лабораторного аналізу проби нафтопродуктів, відібраної безпосередньо з дослідженого осередку забруднення. Отже, отримане значення константи C за формулою (4.19) дорівнює 1,26.

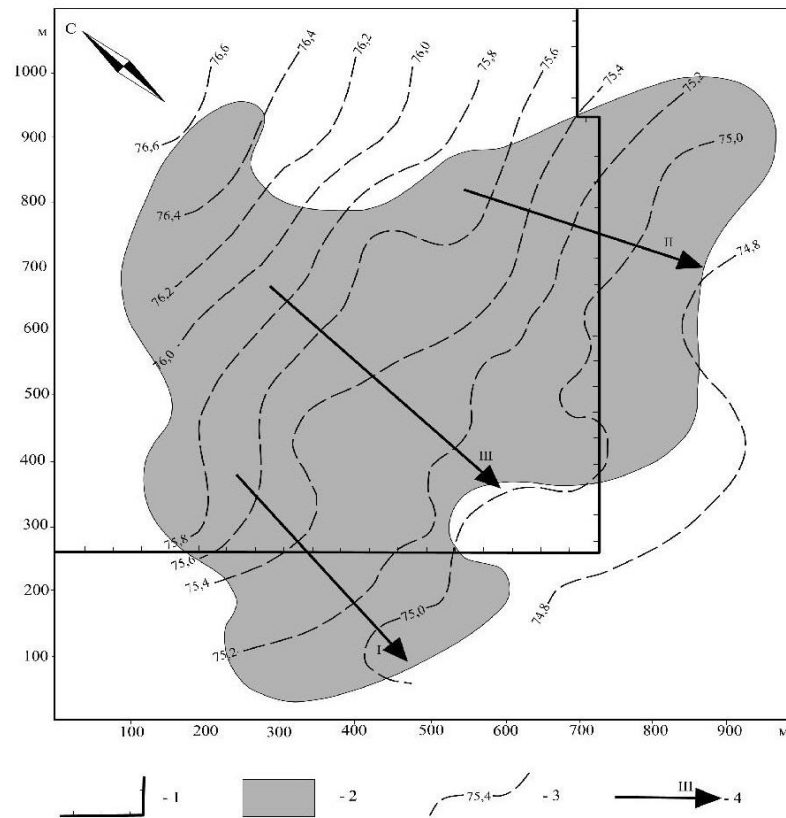


Рисунок 4.3 - Карта ізогіпс вільної поверхні рідких вуглеводнів та води:

1 – межа території підприємства; 2 – зона розповсюдження рідких вуглеводнів по поверхні ґрунтових вод; 3 – ізогіпси вільної поверхні флюїду (цифри відповідають абсолютній позначці, м); 4 – напрямок міграції гравітаційних вуглеводнів і номер розрахункової ділянки

Для обчислення швидкості фільтрації та дійсної швидкості руху рідких вуглеводнів, окрім гідравлічного градієнту потрібні значення коефіцієнта фільтрації та активної пористості порід. За результатами дослідження геологічної будови та гідрогеологічних умов вивченої території, породами, що вміщують скупчення вуглеводнів, є середньо- та верхньочетвертинні еолово-делювіальні та елювіальні суглинки, які характеризуються коефіцієнтами фільтрації від 0,023 до 0,14 м/добу.

Однак у розрахунках слід приймати найбільшу величину, оскільки міграція забруднення в першу чергу відбувається по найбільш проникним зонам.

Величину активної пористості, значення якої складає 0,065, у розрахунку було прийнято за осередненими довідковими даними.

Після підстановки вказаних величин у формули (4.20) і (4.21), отримані значення дійсної швидкості руху рідких вуглеводнів у пористому середовищі осередку забруднення: для напрямків I і II – 0,007 м/добу (2,55 м/рік) та для напрямку III – 0,004 м/добу (1,46 м/рік).

На основі отриманих результатів було оптимізовано розташування елементів системи інженерного захисту на території промислового майданчика Кременчуцького нафтопереробного заводу, що сприяло локалізації осередку вуглеводневого забруднення у існуючих межах і запобіганню його подальшого розповсюдження.

Таким чином, отримані кількісні показники міграційної здатності рідких вуглеводнів та напрямки їх найімовірнішого поширення дають змогу оптимізувати зусилля з реалізації природоохоронних заходів, розробити їх черговість, з наданням пріоритету найбільш екологічно небезпечним ділянкам [42].

5 ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ВАРІАНТІВ ВОДООХОРОННИХ ЗАХОДІВ В МІСЦЯХ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ЛІНЗОПОДІБНИХ СКУПЧЕНЬ РІДКИХ НАФТОПРОДУКТІВ

5.1 Визначення задач водоохоронних заходів в залежності від структури області забруднення підземних вод нафтопродуктами

Аналіз умов міграції рідких та розчинених нафтопродуктів і формування якості підземних та поверхневих вод в районі розміщення проммайданчиків підприємств, що являють собою джерела забруднення, дозволяє концептуально сформулювати моделі і на їх основі – розробку та завдання водоохоронних заходів.

Зокрема, моделювання процесу формування якості підземних вод має дати відповідь на ряд найважливіших питань для розробки водоохоронних заходів:

- наскільки глибоко проникає забруднення у водоносний горизонт;
- як швидко і як далеко поширюється забруднення при збереженні сформованих природно-техногенних умов;
- які можливі шляхи та принципово можливі способи впливу для попередження розповсюдження забруднення підземних вод.

Виходячи з поставлених задач, на цій стадії територію, яка досліджується, можна розбити на три основні специфічні зони (рисунок 5.1.1):

- зона найбільш інтенсивного негативного впливу на якість підземних вод (осередок забруднення), що збігається приблизно з територією проммайданчиків підприємств (зона А);
- зона розвантаження підземних вод, яка розташована в безпосередній близькості до об'єктів, які потребують захисту – водоймищ та поверхневих водотоків (зона С);
- проміжна зона трансформації якості підземних вод при інфільтрації від

вогнища забруднення до місць розвантаження)(зона В - зона транзиту).

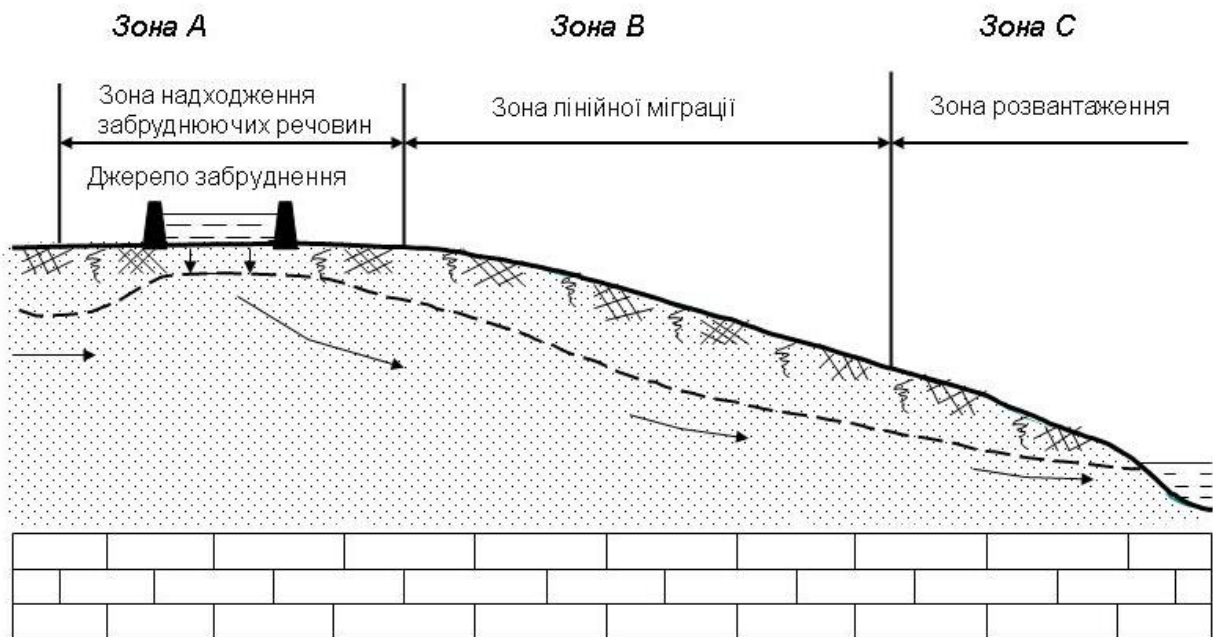


Рисунок 5.1.1 – Схема міграції забруднюючих речовин - нафтопродуктів від джерела забруднення до річок і водойм

Розглянемо детальніше задачі водоохоронних заходів, які вирішуються для кожної зони.

Важливим завданням водоохоронних заходів в зоні транзиту і в зоні розвантаження в русла річок є реставрація якості підземних вод, якщо відновлення його не відбувається природним шляхом в результаті впровадження комплексу профілактичних, організаційних та локалізаційних водоохоронних заходів в *осередках забруднення*.

Зона А - Зона надходження забруднюючих речовин (осередок - вогнище забруднення)

Ця зона (рисунок 5.1.1) привертає найбільшу увагу, так як саме тут має

місце найбільший вплив і саме тут, в першу чергу, необхідний керуючий вплив для максимального зниження негативних наслідків господарської діяльності.

Завданням водоохоронних заходів в цій зоні є максимально можливе зниження техногенного навантаження на водоносний горизонт (зокрема, ліквідація або зниження витоків на всіх етапах технологічного ланцюга, зниження інфільтрації атмосферних опадів), ліквідація куполів і лінз рідких нафтопродуктів, локалізація забруднення у верхньому шарі або його перехоплення (повне або часткове).

Основне призначення всього комплексу водоохоронних заходів - максимально знизити концентрацію забруднюючих речовин в районі вогнища і мінімізувати вихід їх за межі цієї зони.

Ефективність роботи різних водоохоронних заходів оцінюється за ступенем зниження концентрації забруднюючих речовин в підземних водах безпосередньо в даній зоні і по витoku цих речовин за її межі.

З огляду на незначні розміри локальних вогнищ забруднення (окремих лінз рідких нафтопродуктів) відповідно інженерні рішення, які обираються в якості захисних заходів (кущі, лінійні ряди свердловин, завіси, галереї і т.п.), будуть мати також обмежені розміри і відносно невеликі витрати.

Що стосується руху рідких нафтопродуктів суцільним шаром, то на нашу думку, для цих ділянок необхідне визначення особливостей переміщення лінз рідких нафтопродуктів, які зазвичай мають локальний характер і часто ізометричні. При цьому слід враховувати, що в умовах реалізації водоохоронних заходів ліквідаційного характеру (ліквідація куполів і лінз рідких нафтопродуктів, локалізація забруднення у верхньому шарі чи його перехоплення (повне або часткове) з застосуванням свердловин), поле фільтрації, сформоване роботою свердловин, може бути апроксимоване круговими пластами.

Зона впливу (розміри сфери взаємодії) таких споруд [44, 45], в залежності від їх природоохоронної ефективності, знаходиться в межах від декількох до сотень метрів, не перевищуючи, як правило, декількох кілометрів. При

реалізації водоохоронних рішень, на ділянках з максимальним забрудненням підземних вод вплив інженерних споруд на потік підземних вод за вказаними межами, не позначиться.

На основі такої фільтраційної схеми може бути поставлена задача профільної (горизонтальної) фільтрації і може бути проведений аналіз впливу різних чинників на міграцію забруднюючих речовин в даній зоні (включаючи і першу зону)(фільтраційні властивості порід, інфільтрація, різні поєднання їх значень, розчинність, дифузія, сорбція і т.п.).

Результати факторного аналізу, співставлення їх з результатами натурних спостережень і дослідних робіт дадуть підстави для розробки більш обґрунтованих водоохоронних заходів в зоні А.

Зона В - зона трансформації (зона лінійної міграції)

Задачами водоохоронних заходів в цій зоні є подальше зниження концентрації забруднюючих речовин, які проникли з вогнища забруднення в підземні води проміжної зони, і повне виключення їх виходу за її межі – в зону розвантаження підземних вод.

Одним з найбільш бажаних шляхів впливу є заходи, що сприяють розведенню (збільшення інфільтраційного живлення шляхом зрошення, інтенсифікації змішування забруднених вод з чистими по глибині потоку і т.д.). Обов'язковим елементом комплексу водоохоронних заходів в цій зоні є система контролю за станом підземних вод (моніторинг), яка формується з урахуванням результатів прогнозу поширення забруднення, оцінки ступеня зниження концентрацій нафтопродуктів в потоці підземних вод при їх русі від вогнища забруднення до місць розвантаження. Аналіз впливу на цей процес різних факторів дає можливість обґрунтовано вибирати способи і місця раціонального розміщення мережі спостережень (пункти моніторингу).

Зона С - зона розвантаження підземних вод

При вирішенні регіональних та локальних водоохоронних задач в районах, де відбувається вплив на гідродинамічний та гідрохімічний режими підземних вод, слід враховувати, що *зона розвантаження* підземних вод в малі і великі

річки та в водоймища розташована відповідно або на значній відстані, або в безпосередній близькості до об'єктів, які потребують захисту.

Завданням водоохоронних заходів в цій зоні є недопущення розвантаження забруднених підземних вод в захищаємі об'єкти (перехоплення забруднених вод) і контроль якості підземних та взаємопов'язаних з ними поверхневих вод (проведення моніторингу).

Залежно від повноти вирішення задач водоохоронних заходів, що реалізуються в зазначених зонах, та існуючих на даний час технічних рішень, проаналізуємо можливі варіанти заходів по захисту підземних та взаємопов'язаних з ними поверхневих вод від забруднення рідкими та розчиненими нафтопродуктами.

5.2 Вибір варіантів водоохоронних заходів в місцях розповсюдження скупчень (лінз) рідких нафтопродуктів

На сучасному етапі економічних можливостей країни ставити питання про повне очищення території, забрудненої рідкими нафтопродуктами, передчасно: досягнення цієї мети неможливе через великі фінансові витрати. Першочерговим завданням повинна бути локалізація вогнища забруднення і вилучення рідких нафтопродуктів в максимально можливих обсягах.

Виходячи з перерахованих задач захисту водоймищ та річок від забруднених нафтопродуктами підземних вод, проаналізуємо можливі варіанти їх вирішення на основі існуючих технічних рішень, які приводяться на рисунку 5.2.1.

Оскільки під джерелами забруднення (лінзами рідких нафтопродуктів) зберігаються осередки забруднення підземних вод, при охороні річок перевагу слід віддати локалізаційним та ліквідаційним заходам. Локалізаційні заходи, що обмежують просування забруднень по водоносному пласту від джерела

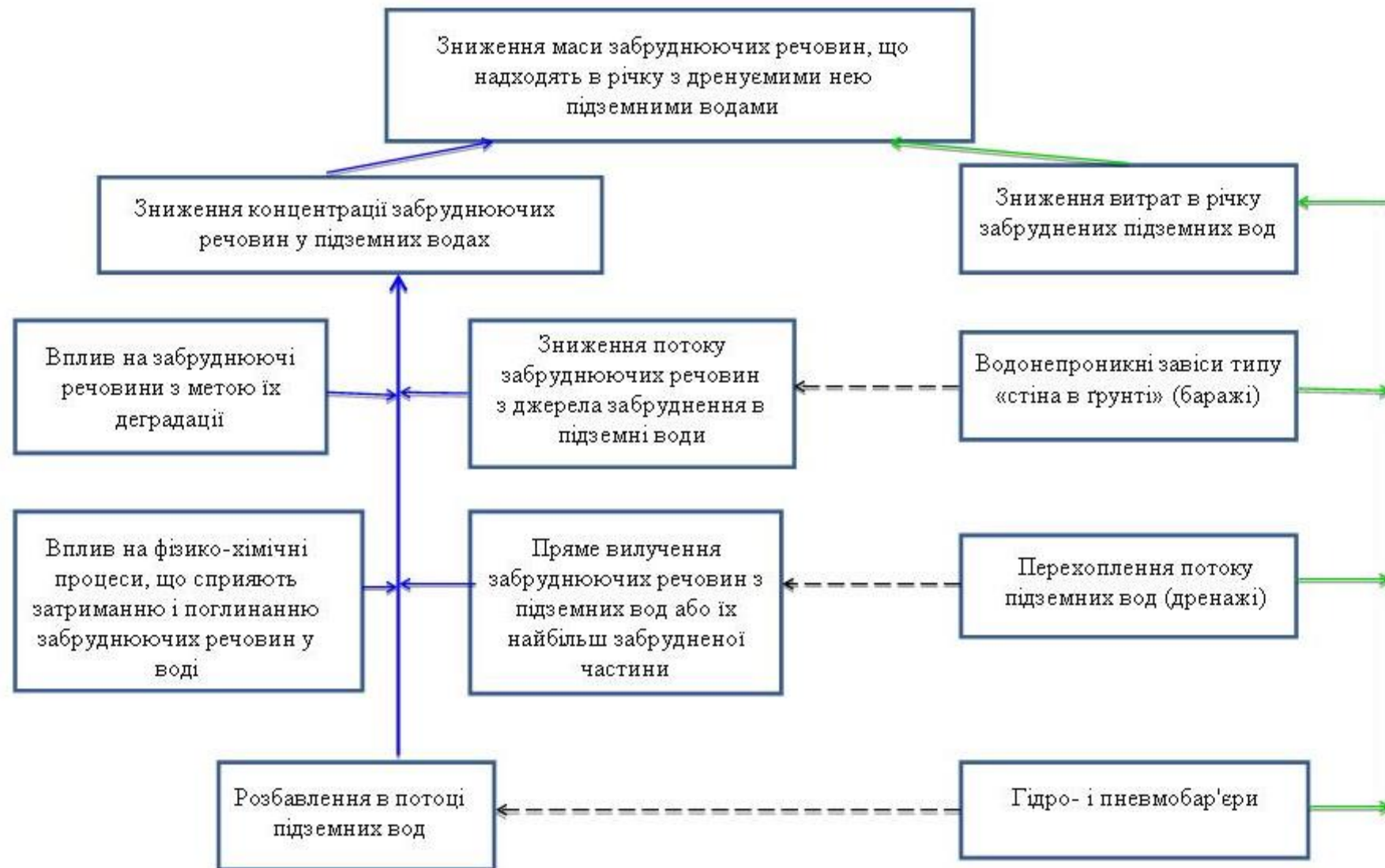


Рисунок 5.2.1 - Схема шляхів зниження маси нафтопродуктів, які надходять в річки з підземним стоком

забруднення до річки, повинні здійснюватись в залежності від гідрогеологічних умов за допомогою перегороджуючих або перехоплюючих пристроїв. Аналізуючи можливі шляхи зниження маси нафтопродуктів, які надходять в річку з підземним стоком, згідно з багаторічними напрацюваннями в області охорони підземних та поверхневих вод, авторами зроблений висновок, що найбільш доцільними заходами при вирішенні поставленої проблеми є зниження, або цілковите попередження витрат в річку забруднених підземних вод. Перевагу слід надати перехопленню забрудненого підземного потоку за допомогою систем дренажів і огорожувальних споруд (локалізаційним заходам).

5.2.1 Шляхи і методи локалізації скупчень рідких нафтопродуктів у підземній гідросфері (локалізаційні заходи)

Попереджувальні пристрої

На основі аналізу гідрогеологічних умов на ділянці розповсюдження лінз рідких нафтопродуктів, а також виходячи з аналізу існуючих варіантів водоохоронних заходів, які можна застосувати в умовах, що склалися, можна зробити висновок, що оптимальним методом захисту поверхневих вод річок і водойм від забруднення нафтопродуктами є або створення водонепроникної протифільтраційної завіси (ПФЗ) типу «стіна в ґрунті» (бараж) на шляху руху забруднених вод, або пряме вилучення рідких нафтопродуктів з підземної гідролітосфери.

Захисного ефекту при реалізації локалізаційних заходів можливо досягти за допомогою управління процесом фільтрації через спеціальні водозабірні споруди - дренажі, а також за допомогою попереджувальних пристроїв - протифільтраційних завіс, що оконтурюють джерела забруднення.

Противільтраційні завіси, що оконтурюють джерела забруднення. З огляду на чинник існуючого гідравлічного зв'язку між четвертинним водоносним горизонтом та річками, розглянемо два варіанти спорудження ПФЗ з урахуванням перекриття цих горизонтів:

- 1 - противільтраційна завіса типу «стіна в ґрунті» і
- 2 - противільтраційна завіса, що споруджується методом «підземного змішування ґрунтів».

При *першому варіанті* передбачається проходження траншеї прийнятих для конкретних умов ширини і глибини з подальшим її заповненням водонепроникним тампонажним матеріалом.

При *другому варіанті* передбачається буріння траншеї з одночасним підземним перемішуванням розпушеного ґрунту з противільтраційним матеріалом, який затвердіває.

Рецептури тампонажних розчинів, що застосовуються для виробництва гідроізоляційних робіт, вибираються строго в залежності від конкретних геологічних, гідрогеологічних та гідрохімічних умов, а також від цілей і характеру робіт.

В залежності від конкретних геологічних і гідрогеологічних умов на ділянках розміщення лінз рідких нафтопродуктів, а також на основі техніко-економічних міркувань, для спорудження противільтраційної завіси, найбільш оптимальним є застосування глиноцементних тампонажних розчинів.

Глиноцементні тампонажні розчини являють собою висококонсистентні стабільні системи на водній основі, до складу яких входять глина, в'язуче - цемент і структуроутворювач - силікат натрію. Високі технологічні властивості глиноцементних розчинів дозволяють тампонувати тріщини з розкриттям від 0,1 мм до 1,0 м і більше. Глиниста основа розчинів забезпечує їх хороші гідроізоляційні властивості (коефіцієнт фільтрації ізоляційного шару 10^{-10} - 10^{-11} м/с), підвищує седиментаційну і корозійну стійкість. Глиноцементні тампонажні розчини, розроблені для забезпечення прийнятних умов захисту підземних вод, мають наступні важливі властивості: нетоксичні, не

розмиваються напірними підземними водами, різко набирають пластичну міцність після нагнітання і на 100% забезпечують надійність водоізоляції гірського масиву. Спорудження ПФЗ способом «підземного змішування ґрунту» пов'язане з виконанням специфічного виду виїмкових робіт і вимагає пошуку необхідного парку спеціальних механізмів, що характеризує його технологічний процес як найбільш матеріалоємний.

Будівельні роботи по влаштуванню ПФЗ способом «стіна в ґрунті», що проводяться методом грейферної виїмки або фрейзерною розробкою, характеризуються простотою організації, наявністю необхідної техніки для виконання будівництва, що робить його більш привабливим.

Незважаючи на це, влаштування ПФЗ навколо джерел забруднення, як показує практика, потребує додаткових витрат на її утримання за рахунок ускладнення в зв'язку з організацією водозниження в контурі ПФЗ. До того ж, впровадження ін'єкційних ПФЗ в водоохоронних цілях зазвичай стримується високою вартістю і неясністю уявлень про критерії надійності, способах її забезпечення і методах контролю суцільності завіси.

Таким чином, проаналізовані варіанти вибору методів ізоляції забрудненого підземного стоку з метою профілактики його впливу на якість річних вод (протифільтраційні завіси), не вирішують проблему підтримки якості води в річках, оскільки навіть спорудження ПФЗ створює труднощі в її обслуговуванні за рахунок підйому рівня підземних вод в контурі завіси, що потребує регулярного відкачування забруднених підземних вод і їх зворотного скидання в штучні водойми. Крім того, вони відрізняються високою вартістю. До того ж, при впровадженні ПФЗ, як правило, відсутні критерії надійності завіси і методи контролю її суцільності, що не гарантує надійного протифільтраційного ефекту.

Перехоплюючі пристрої мають вигляд контурних, кільцевих, лінійних і інших систем свердловин, з яких ведеться відкачка забруднених підземних вод. При цьому води, які відкачуються, можуть скидатися в штучні водойми (ставки-накопичувачі, хвостосховища, ставки-освітлювачі та ставки-

випарники) без попереднього очищення і будівництва дорогих спеціальних очисних споруд. Крім того, потрібно відзначити їх позитивні сторони: мобільність, порівняно невеликі капітальні витрати на спорудження і високу технічну ефективність.

У зв'язку з вищевикладеним, для профілактики забруднення річок, або для відновлення якості води в річках, авторами розглядається доцільність влаштування дренажу підземних вод за двома варіантами (рисунок 5.2.2 а, б).

1-й варіант (на рисунку 5.2.2 а - позначений малиновим кольором) - передбачає проходку напівкільцевого ряду відкачуючих свердловин в межах зони впливу джерел забруднення - лінзоподібних скупчень рідких нафтопродуктів (нормально напрямку міграції) для перехоплення забрудненої підземної води та скидання її в штучні водойми.

Поза зв'язку з іншими способами активного захисту річок, дренаж прийнятний при обмежених обсягах відкачуваних забруднених вод, який допускає їх зворотне скидання в штучні водойми (умови створення та обсяг яких розроблюється і уточнюється в процесі виробничої діяльності і моніторингових досліджень поверхневих та підземних вод).

2-й варіант (на рисунку 5.2.2 б - позначений синім кольором) - передбачає використання лінійного ряду водознижуючих вертикальних дренажних свердловин, облаштування яких передбачається в безпосередній близькості до річки. В цьому випадку зниження рівнів на лінії дренажу мінімізується по допустимому проскоку забруднень.

Розташування дренажних свердловин і в першому і в другому варіантах визначається положенням нейтральної лінії фронту забруднення та умовами, необхідними для диференціації потоків підземних вод *максимального забруднення (зона А), змішаної якості (зона Б) і кондиційних вод (зона С)*.

Така диференціація необхідна для роздільного відкачування забруднених і кондиційних підземних вод різними дренажними контурами з метою подальшого використання незабруднених підземних вод в технічному або господарському водопостачанні.

а)

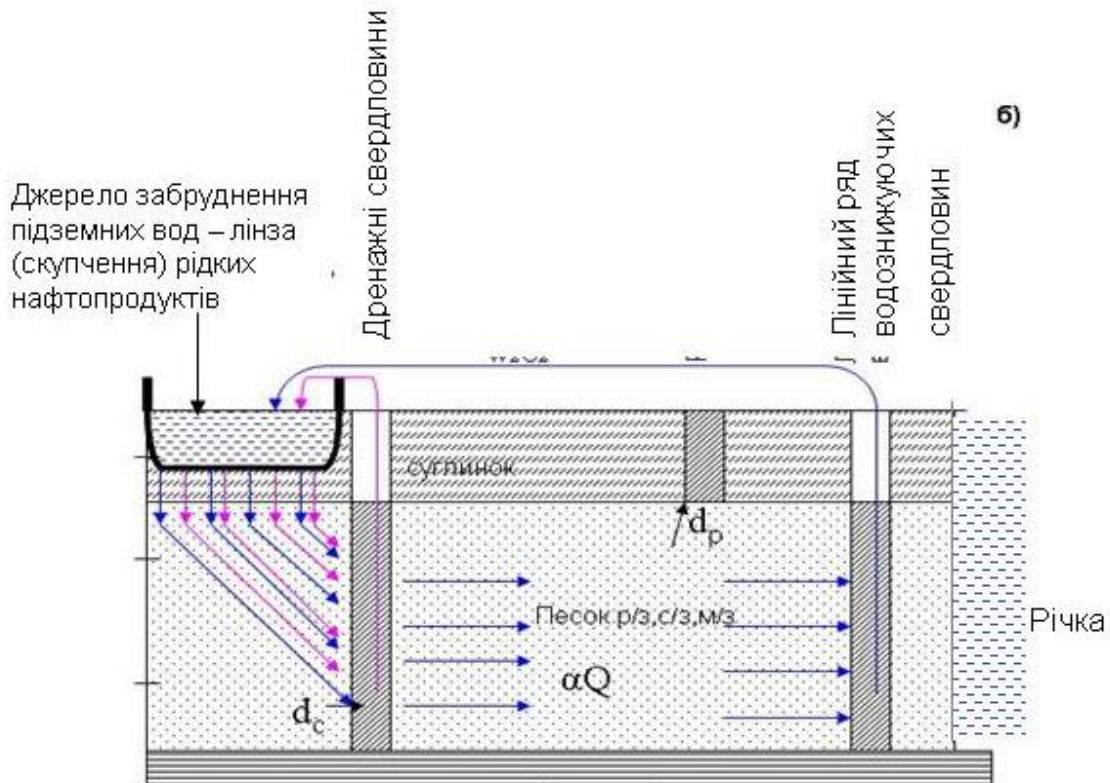
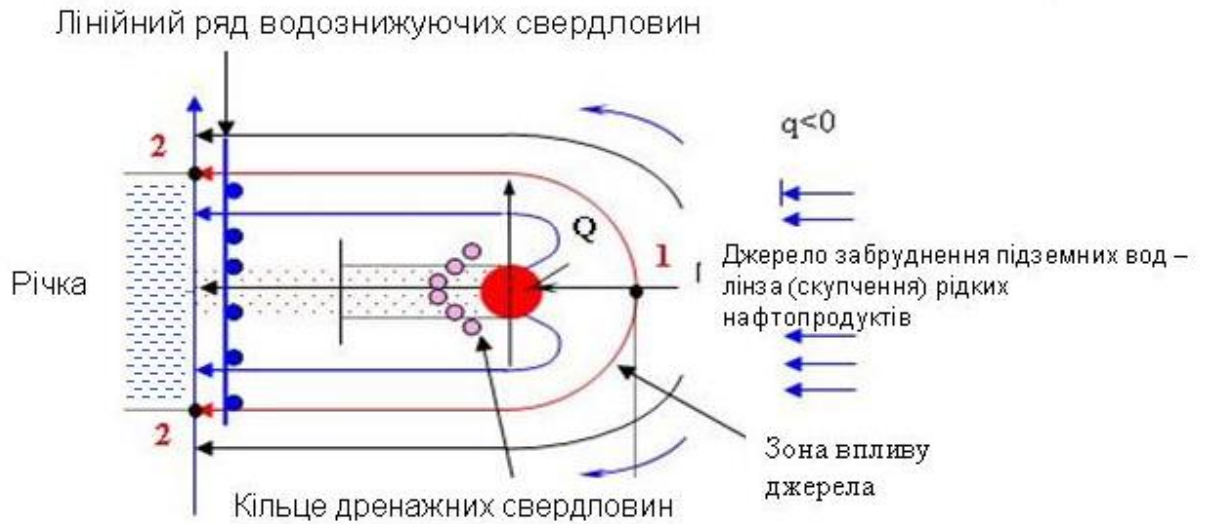


Рис. 5.2.2 а, б - Принципова схема перехоплення підземних вод, забруднених рідкими та розчиненими нафтопродуктами, для захисту малих річок: а) в плані, б) в розрізі

Місце розташування вказаних протифільтраційних пристроїв і режим їх роботи повинні бути визначені і обґрунтовані спеціальними гідродинамічними розрахунками з урахуванням водознижувальних установок (дренажних свердловин).

Недоліком при реалізації цих варіантів є необхідність будівництва технічних водойм, в які повинна відводитись забруднена нафтопродуктами (в вигляді емульсії), відкачана вода. Пряме використання такої води для технічних цілей можливе лише після припустимого ступеня розведення забруднених вод чистою водою, що потребує додаткових фінансових затрат. Крім того, технічні водойми є додатковим джерелом забруднення підземних та поверхневих вод.

Таким чином, використання рекомендованих варіантів в якості заходів по захисту підземних та взаємопов'язаних з ними річних вод дозволяють одночасно вирішити спільні проблеми екологічного та технічного характеру як для промислових підприємств, так і для охорони річок та в цілому для охорони довкілля у випадку забруднення підземних вод лише розчиненими нафтопродуктами.

З точки зору авторів, способи локалізації забруднення в водоносному горизонті з одночасним поповненням водності в штучних водоймах (при їх наявності та необхідності створення прийнятних умов для експлуатації), є найбільш раціональним вирішенням проблем охорони річок від забруднення розчиненими нафтопродуктами, які концентруються під лінзами рідких нафтопродуктів, але не вирішують проблему накопичення та утилізації рідких нафтопродуктів.

Згадана проблема зачіпає, в першу чергу, не тільки проблему ліквідації підземних скупчень рідких нафтопродуктів, але і куди більш широкомасштабну проблему збереження водних ресурсів, в тому числі річок, водойм та підземних вод. В цій ситуації постає необхідність в розробці та реалізації локалізаційно-ліквідаційних заходів.

5.2.2 Шляхи і методи ліквідації (вилучення) скупчень рідких нафтопродуктів з підземної гідросфери (ліквідаційні заходи)

Традиційно захист підземних вод та ґрунтів від забруднення нафтою і нафтовмішуючими речовинами, а також ліквідація забруднення включають заходи по унеможливленню проникнення і розповсюдження забруднюючих речовин:

- видобуток та розподіл рідких нафтопродуктів і підземних вод, забруднених розчиненими нафтопродуктами;
- очищення підземних вод від нафтопродуктів;
- рекультивацію забруднених нафтопродуктами ґрунтів.

Найбільш дієвим способом попередження розповсюдження у водоносному горизонті рідких нафтопродуктів і забруднених підземних вод, є влаштування перехоплюючих дренажних споруд. Недивлячись на те, що на сьогодні накопичено значний досвід з регулювання якості підземних вод за допомогою різних дренажних систем, роботи екологічної направленості по відновленню якості підземних вод на ділянках їх забруднення нафтопродуктами носять піонерний характер.

Через ряд суттєвих відмін у гідродинамічних умовах, досвід видобутку нафти і газу на промислових родовищах також має зовсім обмежене застосування при видобутку техногенно накопичених нафти і нафтопродуктів в перших від поверхні водоносних горизонтах.

Масштаби розвитку нафтохімічного забруднення підземних вод України роблять надзвичайно актуальною розробку нових та адаптацію уже існуючих дренажних систем і оцінку їх ефективності при відновленні якості підземних вод на об'єктах – джерелах забруднення.

Досвід застосування дренажів при вирішенні задач, які пов'язані з осушенням підтоплених територій, дозволяє вважати найбільш пристосованими для наведених умов такі типи споруд, як вертикальний і горизонтальний дренаж.

Вертикальний і горизонтальний дренажі показали достатньо ефективність, технологічно відпрацьовані, будівництво їх, як правило не викликає особливих труднощів. Але, при обладнанні систем захисту на територіях з щільною забудовою (якими є ділянки проммайданчиків нафтопереробних заводів) вирішальним аргументом на користь систем вертикальних свердловин часто стає відсутність необхідності розкриття поверхні землі, перекладки наземних і підземних комунікацій, які пов'язанні з обладнанням горизонтальних лінійних чи кільцевих систем.

Розглянемо прийнятність вертикального дренажу для вилучення рідких нафтопродуктів і забруднених розчиненими нафтопродуктами підземних вод.

5.2.2.1 Аналіз існуючих систем інженерного захисту підземних вод в умовах забруднення рідкими нафтопродуктами та їх недоліки

Формуючи уявлення про динаміку скупчень рідких нафтопродуктів в зоні взаємодії з системою інженерного захисту (СІЗ), необхідно мати на увазі, що:

- «нафтові речовини, які просочилися з поверхні землі, просуваються лише у відносно тонкому шарі верхньої частини водоносного горизонту на відмітках рівня ґрунтових вод ...»;

- «Важливим фактором для визначення швидкості розповсюдження нафтопродуктів є гідравлічний градієнт ...»

Аналізуючи сказане вище (а також викладене в гл. 4), неминуче приходимо до висновку: щоб підтримати оптимальну для вилучення частку скупчень рідких нафтопродуктів в зоні СІЗ, необхідно збільшувати швидкість руху вуглеводневого потоку до системи інженерного захисту, а швидкість, при інших рівних умовах, безпосередньо залежить від гідравлічного градієнта. Звідси друга умова ефективної роботи СІЗ (очисних споруд) - підтримка в зоні їх дії високих гідравлічних градієнтів.

Перерозподіл потужностей в процесі роботи СІЗ, рух зовнішніх контурів, рівномірність очищення зони насичення, - також визначається сукупністю літолого-фаціальних і гідрогеологічних чинників. Спільний облік геометрії скупчення і особливостей їх динаміки повністю визначають конфігурацію СІЗ, яка не може бути однаковою у всіх випадках практичного застосування.

Недооблік цих факторів робить проектну схему СІЗ абсолютно волонтарною, а саму систему неефективною. Звідси необхідність серйозних попередніх досліджень і організації системи моніторингу.

З досвіду авторів цієї роботи слідує, що навіть в піщаних колекторах основна частина скупчень рідких нафтопродуктів знаходиться в різного ступеня зв'язаному стані - від **малорухливого** до **міцно пов'язаного** за рахунок ряду фізичних факторів, що діють в поровому просторі. В цьому випадку при використанні прямого відкачування без підтримки високої відносної насиченості нафтопродуктами призабійних зон гірських виробок СІЗ, вилучається лише незначна частина скупчень рідких нафтопродуктів.

Для більш повного вилучення останніх, необхідне збереження максимальних значень напірних градієнтів в області впливу СІЗ, а це реально може бути досягнуто або дуже великими зниженнями рівня рідких нафтопродуктів в межах виробок СІЗ, або закачуванням зворотних вод на зовнішньому контурі скупчення, або спільним використанням цих методів.

Ефект досягається подвійний: багаторазові промивання товщі ґрунтів, що містять рідкі нафтопродукти, різко підвищують нафтопродуктовіддачу, а збільшення швидкості надає поршневу дію руху рідких нафтопродуктів, що містяться в ґрунтовому масиві, і оптимізує зменшення їх частки у насиченні призабійних зон СІЗ.

По суті, мова йде про технології багаторазових промивок. Цей метод простий, але зустрічає обґрунтовано насторожене ставлення у зв'язку з тим, що практично всі фірми, що займаються вилученням скупчень рідких нафтопродуктів з підземної гідросфери, піднімають на поверхню водонафтову емульсію, що потребує подальшого гравітаційного поділу (відстоювання).

Слід відзначити, що збовтування та перемішування рідин при такій технології різко підвищує вміст в зворотних водах нафтопродуктів, які знаходяться в формі істинних розчинів, в порівнянні з тим, що спостерігається в пластових природних умовах.

Таке явище в значній мірі попереджається при селективному відборі.

5.2.2.2 Переваги технології селективного вилучення скупчень рідких нафтопродуктів з підземної гідросфери

Технічна ідея схеми **роздільного (селективного)** вилучення окремо рідких нафтопродуктів і окремо забрудненої розчиненими нафтопродуктами води була запропонована на початку 80-х років минулого століття В.М. Гольдбергом і використана (хоча і не кращим чином) в обладнанні фірми VITOL-VITRO (США-Англія). Слід відзначити, що у вітчизняних умовах технологія доведена до рівня патентованої техніки, пройшовши відповідні експертизи і багаторазові випробування на практиці [46].

Суть селективного (вибіркового, роздільного) вилучення з підземного простору рідких нафтопродуктів і зворотних вод полягає в технології, яка дозволяє окремо вилучати рідкі нафтопродукти та окремо воду і виключає можливість перемішування нафтопродуктів та води як в пластових умовах - в свердловині (колодязі), так і при вилученні їх на поверхню.

Таким чином, роздільне вилучення рідких нафтопродуктів та води принципово виключає різке підвищення розчинності рідких нафтопродуктів, внаслідок чого селективно вилучені нафтопродукти йдуть безпосередньо на переробку, а зворотні води містять розчинені нафтопродукти в концентраціях, які в кілька разів, а то й на порядки, більш низькі, ніж при використанні інших технологій. В цьому полягає перевага селективного вилучення скупчень рідких нафтопродуктів.

6 Принципові особливості установки селективного вилучення скупчень рідких нафтопродуктів з підземної гідросфери

6.1 Конструктивні особливості установки

Принципові конструктивні особливості установки селективного вилучення скупчень рідких нафтопродуктів приводяться на рисунку 7.1.

Принцип роботи комплексу заключається в наступному.

В свердловині відповідного діаметру та глибини, обладнаній фільтрами, розміщаються два насоси на різних глибинах (рисунок 7.1). Нижній насос відкачує воду, створюючи у водоносному горизонті депресивну лійку (воронку). В цю лійку (воронку) стікаються рідкі нафтопродукти, накопичені на вільній поверхні підземних вод. Потім нафтопродукти відкачуються верхнім насосом.

З метою попередження надходження нафтопродуктів у нижчезалягаючу піщану товщу, депресійна поверхня повинна знаходитись вище покрівлі пісків на протязі всього часу роботи установки, не знижуючись нижче розрахункової відстані від поверхні землі, що в значній мірі залежить від літології водовміщуючих порід.

6.2 Умови адаптації установки селективного вилучення скупчень рідких нафтопродуктів з підземної гідросфери

Наступним положенням, на якому необхідно зупинитися, є геолого-інформаційна забезпеченість санації, тобто мінімально достатній обсяг інформації про всі особливості геолого-структурної будови і гідрогеологічні умови території, яка підлягає санації.

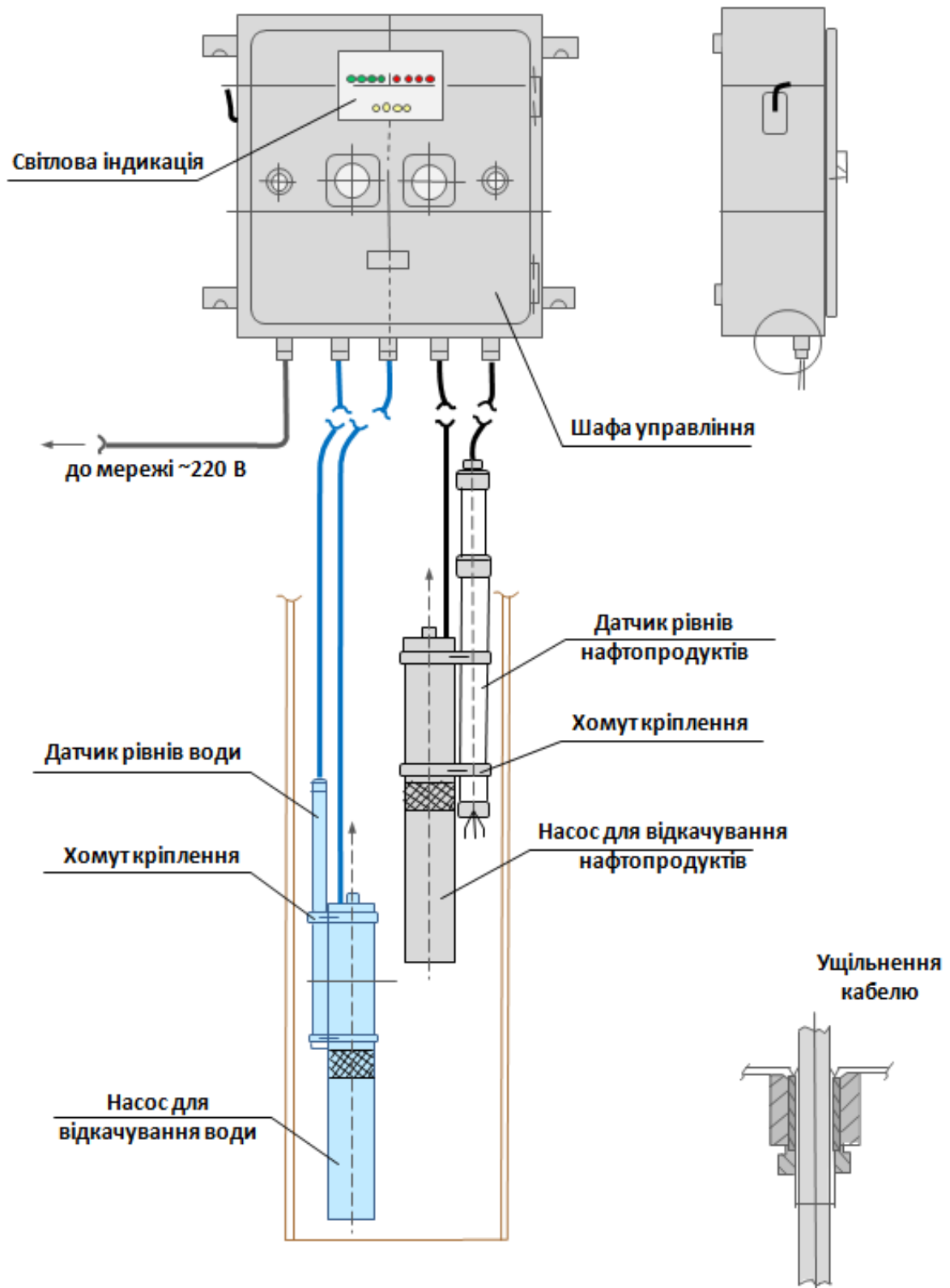


Рисунок 6.1 Принциповий комплекс селективного вилучення рідких нафтопродуктів з підземної гідросфери

Слід відзначити, що технологія селективного вилучення скупчень рідких нафтопродуктів з підземної гідросфери повинна бути адаптована до існуючих на конкретних об'єктах геолого-гідрогеологічних умов. Від цього залежать особливості конструкції вертикальних свердловин та ефективність їх застосування в системі інженерного захисту при відновленні якості підземних вод на об'єктах – джерелах забруднення та поверхневих вод в зоні їх розвантаження [7, 19].

Збір і аналіз даних, одержаних в результаті багаторічних досліджень, які було проведено авторами в межах об'єктів - джерел розвитку нафтохімічного забруднення підземних вод України, дозволили спочатку виділити, як найбільш типові, наступні гідрогеологічно-техногенні умови.

1. Шар рідких нафтопродуктів і забруднених підземних вод, приурочених до перших від поверхні водоносних горизонтів, які залягають порівняно неглибоко від поверхні землі (від 2-х до 15- и м).

2. Рідкі нафтопродукти і забруднені води мають вільну поверхню, тобто води являються безнапірними.

3. На поверхню шару рідких нафтопродуктів в межах розповсюдження ореолу забруднення на об'єктах, які пов'язанні з видобутком, переробкою і зберіганням нафти і нафтопродуктів, через зону аерації систематично поступають допоміжні об'єми нафтопродуктів (аналог допоміжному інфільтраційному живленню).

6.2.1 Типізація геолого-літологічного розрізу порід, які вмішують нафтопродукти

При всій різноманітності природних умов на території України, на більшості ділянок нафтохімічного забруднення підземних вод, склад

вмішуючих нафтопродукти порід може бути охарактеризований одним із наступних типових розрізів:

1) Сипучі породи (або їх перевага в розрізі) великої потужності, інколи перекриті лесовидними породами товщиною до 5 м.

2) Нерозділені піщано-суглинисті відклади, які залягають на різних водотривах.

3) Лесові породи потужністю більше 5-10 м, переважно легкі і середні суглинки, супіски або не розділені лесові породи, які підстеляються піщано-суглинистими або піщаними відкладами більш високої проникності.

4) Лесові породи – середні і важкі суглинки, глини, що підстеляються піщано-суглинистими відкладами більш високої проникності.

5) Породи різного складу з глинисто - суглинистими водотривкими комплексами або полускельними породами у підшві.

6) Лесові породи - легкі і середні суглинки, супіски на глинистих водотривах.

7) Лесові породи (нерозподілені) на глинистих водотривах.

8) Лесові породи - середні і важкі суглинки на глинистих водотривах.

Типові розрізи 1-5 властиві для об'єктів, які в геоморфологічному відношенні приурочені до заплавних, моренно – зандрових, алювіальних і денудаційних рівнин та терас. Схеми 5-8 відносяться до території вододілів.

Згідно з зарубіжним досвідом [47-51], схема селективного вилучення нафтопродуктів добре показала себе в умовах розрізів, представлених високопроникними ґрунтами (розрізи 1-4), які забезпечують достатній приплив нафтопродуктів.

В той же час, значно складнішою інженерною задачею є вилучення нафтопродуктів в умовах, коли геолого - літологічні розрізи представлені щільними ґрунтами з низькою водо- і нафтовіддачею і малим радіусом впливу гідротехнічних споруд (розрізи 5-8).

При цьому низький приплив нафтопродуктів у свердловину вимагає періодичної зупинки нафтового насоса (при постійній роботі нижнього -

водяного насосу) з включенням його по мірі наповнення свердловини нафтопродуктами, що ускладнює обслуговування комплексу і потребує автоматичного управління процесом.

6.3 Необхідний перелік вимог до обладнання установки

Технологічно схема може бути реалізована з використанням насосного обладнання, яке складається із двох насосів: нафтового і водяного та системи автоматики, що дозволяє включатися і відключатися нафтовому насосу залежно від ступеня наповнення стовбура свердловини нафтопродуктами.

Згідно з [53-58], наладка та випробування установки селективного вилучення нафтопродуктів дозволяють уточнити цілий ряд вимог до обладнання, виконання яких є обов'язковим для безперебійного вилучення нафтопродуктів із забруднених підземних вод.

Перелік вимог до обладнання, виконання яких є обов'язковим для безперебійного вилучення нафтопродуктів із забруднених підземних вод, включає наступні вимоги.

1. Враховуючи, що жорстке просторове агрегування насосів робить установку важкою і обмежує її технічні можливості, необхідне обладнання, яке дозволяє, під час наладки гнучко змінювати відстань між водяним і нафтовим насосами. (Оскільки при необхідності більш значного зниження рівня води доводиться опускати глибше і точку її забору, а значить, і весь агрегат, це при любых збоях у режимі його роботи призведе до заводнення нафтопродуктового насосу, до аварійного відключення та блокування всієї системи).

2. Фільтр – забірник нафтового насосу повинен обладнуватися, крім гідрофобної сітки фільтром для очистки від механічних домішок. Конструкція фільтра-забірника нафтопродуктів насосів фірми «VITRO» [57,58] передбачає роботу з продуктивним шаром невеликої потужності і нафтопродуктами, в яких

немає механічних та інших домішок, що погано фільтруються і швидко засмічують гідрофобну сітку. Звідси рекомендація фірми про необхідність чистки, а значить і зупинка агрегату кожні 2–і доби. В умовах роботи захисної системи такий режим або ж не допускається, або, в крайньому випадку, створює багато додаткових технічних ускладнень.

3. Конструкція установки, крім портативності повинна мати запас механічної міцності, особливо у відношенні до вібрації, яка створюється власне самими електродвигунами.

4. Система телеметрії потребує точного вертикального положення агрегату, що далеко не завжди може забезпечуватись через велику вагу та жорсткість водовідвідного шлангу. Наслідок може бути відказ у роботі поплавкових датчиків системи управління агрегатом. Дуже уразливою є система виміру розходування нафтопродуктів, особливо за низьких температур.

5. Необхідно розробити та виготовити піднімальний пристрій, який забезпечуватиме безпечну роботу одного оператора, виключатиме випадки пробуксовок і вільних падінь обладнання, а також дозволить використовувати телеуправління в залежності від особливостей природного режиму підземних вод або режиму експлуатації.

6.4 Визначення глибини санації територій, забруднених рідкими нафтопродуктами

Слід відзначити, що згідно з аналізом зарубіжного досвіду, на даний час немає жодного переконливого підтвердження факту радикальної ліквідації де-небудь на території країн СНД скупчень рідких нафтопродуктів, як максимально небезпечного фактора екологічних ризиків, не кажучи про глибоку санацію забруднених територій.

На сучасному етапі економічних можливостей країни ставити питання про повне очищення території, забрудненої рідкими нафтопродуктами, передчасно: досягнення цієї мети неможливе через великі фінансові витрати.

Першочерговим завданням повинна бути локалізація осередку забруднення і вилучення рідких нафтопродуктів в максимально можливих обсягах.

В зв'язку з цим, з'явилась необхідність в визначенні величини гранично-допустимих техногенних навантажень на підземні води в межах скупчень рідких нафтопродуктів, що вкрай потрібно для забезпечення охорони поверхневих вод (річок і водойм) від забруднення підземним стоком та для планування і обґрунтування умов реалізації системи інженерного захисту при селективному вилученні рідких нафтопродуктів та зворотних вод.

7 РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ГРАНИЧНО-ДОПУСТИМИХ ТЕХНОГЕННИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПІДЗЕМНІ ВОДИ В МЕЖАХ СКУПЧЕНЬ РІДКИХ НАФТОПРОДУКТІВ ДЛЯ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ВІД ЗАБРУДНЕННЯ ПІДЗЕМНИМ СТОКОМ

Визначення величини гранично-допустимих техногенних навантажень на підземні води в межах скупчень рідких нафтопродуктів необхідне для обґрунтування заходів з охорони річок від забруднення підземним стоком.

Забруднені підземні води можуть сприяти забрудненню річкових вод, потрапляючи в контур дренажу річки.

Дренажний вплив річки визначає гідрогеологічну ситуацію на території, де простежується площа її водозбору і зазвичай в зону її дренажного впливу та в зону впливу її притоків потрапляють території розміщення ряду об'єктів, які є джерелами забруднення підземних вод, в тому числі - проммайданчиків в цілому, на площі яких формуються лінзи рідких нафтопродуктів.

Параметрами основних чинників формування хімічного складу підземних вод є інтенсивність інфільтрації розчинених нафтопродуктів в осередку забруднення - у межах сформованих лінз рідких нафтопродуктів (W_3), (сумарні фільтраційні втрати з технологічних водойм, технологічні витoki і інш.), концентрація забруднюючих речовин (в залежності від джерел забруднення - нафтопродукти, мінералізація, сульфати, феноли, важкі метали і інш.) в забруднених водах, які інфільтруються (C_3) і величина підземного притоку до річки ($Q = V_k h_k$) (приплив за рахунок статичних і динамічних ресурсів) або величина підземного живлення річки і її притоків.

При обґрунтуванні заходів щодо захисту річок, важливе значення має ступінь очищення і допустимі витрати забруднених вод, які профільтрувалися в підземні води.

Для визначення величини гранично-допустимих техногенних навантажень на ділянках екологічного ризику (в межах сформованих лінз рідких нафтопродуктів - зона А), та для зниження економічних затрат, авторами розроблена методика балансових розрахунків. Надійність результатів розрахунків, виконаних за цією методикою, можна підтверджувати натурними даними.

З метою визначення частки участі рідких та розчинених нафтопродуктів в водопритоках до річки, а також для визначення частки привносу в річкові води забруднюючих речовин, на ділянці по лініях току підземних вод від осередка забруднення - ділянки екологічного ризику, до об'єктів, що охороняються (контрольних створів річок або їх притоків) виділяються розрахункові блоки з відповідними зонами, наведеними на рисунку 5.1.

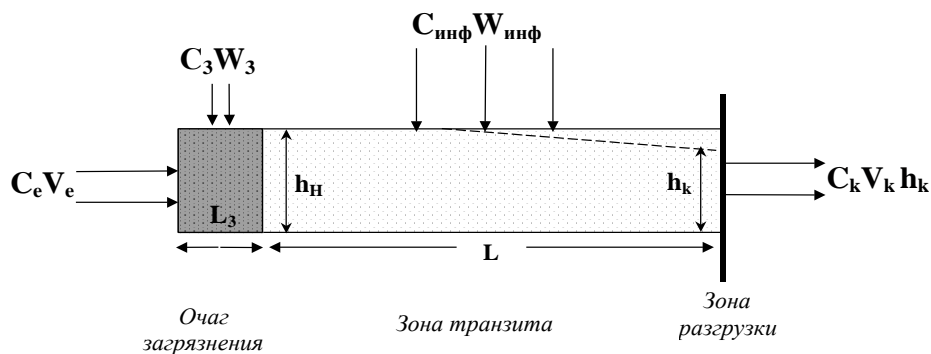


Рисунок 7.1 - Схема формування балансу забруднюючих речовин в виділеному обсязі ґрунтового потоку (від осередку забруднення А - до зони розвантаження - С)

Баланс речовин в наведених блоках в загальному вигляді описується таким рівнянням:

$$C_3 W_3 L_3 + C_e V_e h_H + C_{инф} W_{инф} L = C_k h_k V_k \quad (7.1)$$

де: C_3, W_3 - відповідно концентрація забруднюючих речовин (мг/дм³ в

забруднених водах, які інфільтруються і інтенсивність інфільтрації (м/доб);

$C_e, C_{инф}, C_k$ - концентрації забруднюючих речовин відповідно в природному потоці підземних вод, в атмосферних опадах і в контрольному створі, мг/дм³;

$W_{инф}$ - величина природного інфільтраційного живлення, м/добу;

V_e, V_k - швидкість потоку на вході і виході розрахункового блоку, м/добу;

h_H, h_k - потужність водоносного горизонту в районі осередку забруднення і в розрахунковій точці, м;

L_3, L - довжина області фільтрації відповідно в осередку забруднення і до розрахункової точки, м;

h_H, h_k - потужність водоносного горизонту в межах осередку забруднення і в розрахунковій точці, м;

L_3, L - довжина області фільтрації відповідно в осередку забруднення і до розрахункової точки, м.

Рішенням цього рівняння по відношенню до C_3 буде:

$$C_3 = \frac{C_k h_k V_k - C_e V_e h_H - C_{инф} W_{инф} L}{W_3 L_3}, \quad (7.2)$$

що являє собою допустиму інтенсивність сумарного техногенного навантаження.

При прийнятті початкових умов ($C_e = C_{инф} = 0$; $W_{инф} = const$),

$$C_3 = \frac{h_k V_k}{W_3 L_3} C_k \quad (7.3)$$

Рішенням цього рівняння по відношенню до C_k буде:

$$C_k = \frac{C_3 W_3 L_3 + C_e V_e h_H + C_{инф} W_{инф} L}{h_k V_k} \quad (7.4)$$

При прийнятті початкових умов ($C_e = C_{инф} = 0$; $W_{инф} = const$),

$$C_k = \frac{W_3 L_3}{h_k V_k} C_3 \quad (7.5)$$

Аналізуючи залежність (6.5) можна зробити наступний висновок: техногенне навантаження на підземні води визначається:

-максимально можливою (екологічно прийнятною для конкретних умов) гранично допустимою концентрацією розчинених *нафтопродуктів* в підземних водах в осередку забруднення (зона А);

- техногенне навантаження в районі об'єктів, що охороняються (річки та їх притоки, водойми) залежить від їх *відстані до осередку забруднення (в нашому випадку – від розташування скупчень рідких нафтопродуктів на проммайданчиках)*.

- концентрація розчинених нафтопродуктів в контрольних створах (на кордоні розвантаження підземних вод в річку) при сформованих техногенних умовах буде дорівнювати:

$$C_k = \frac{W_3 L_3}{h_k V_k} C_3 \quad (7.6)$$

В зв'язку з особливостями фізико-хімічних властивостей нафтопродуктів, які піддаються процесам деструкції в часі і др., для запасу надійності розрахункових величин, значення концентрацій на виході з розрахункових блоків доцільно визначати в відносних величинах (долях одиниці). Для цього вміст нафтопродуктів в забруднених водах, що інфільтруються на проммайданчиках в межах лінзи рідких нафтопродуктів, рівний максимальній їх розчинності, приймемо рівним 1,0 ($C_3 = 1$). Тоді вираз (3.6) прийме вигляд:

$$C_k = \frac{W_3 L_3}{h_k V_k} \quad (7.7)$$

Величина відносної концентрації визначається відношенням:

$$C_k = C_k / C_3 \quad (7.8)$$

де C_k - відносна концентрація нафтопродуктів в підземних водах в точці контролю (долі одиниці);

C_k - концентрація нафтопродуктів (мг/л) в цій точці;

C_3 - концентрація нафтопродуктів, рівна їх розчинності (R), мг/л.

Розрахункова концентрація буде рівна:

$$C_k = C_k R \quad (7.9)$$

де R - максимальна розчинність нафтопродуктів, (мг/л).

Максимальна розчинність нафтопродуктів (R) складає 470 мг/л; мінімальна - 15 мг/л /68/.

Зрозуміло, що результати приведених розрахунків концентрацій нафтопродуктів в розрахункових точках мають запас надійності, який перекидає як можливі помилки моделювання, так і похибки в визначенні других параметрів, що використовуються в розрахунках. Однак, вони можуть підтвердити необхідність реалізації заходів з охорони підземних та поверхневих вод - ліквідації скупчень рідких нафтопродуктів і відновлення якості питних вод в населених пунктах (якщо їх реабілітація не відбудеться в результаті ліквідації або локалізації осередку забруднення).

Розроблена методика дозволить на локальному рівні обґрунтувати і скоригувати вихідні параметри при реалізації заходів з охорони підземних і поверхневих вод, а саме – при виборі технології ліквідації лінз рідких нафтопродуктів.

8 ВИБІР СПОСОБІВ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ МІГРАЦІЇ ДО ЗОНИ ДРЕНУВАННЯ РОЗЧИНЕНИХ НАФТОПРОДУКТІВ У ВЕРХНІЙ ЧАСТИНІ ГІДРОЛІТОСФЕРИ ПІСЛЯ ВИЛУЧЕННЯ ЇХ РІДКОЇ ФАЗИ

Невід'ємною частиною управління якістю підземних та поверхневих вод є кількісна оцінка показників якості і ступеню впливу на них різних факторів і процесів. При цьому більш або менш точне рішення математичних задач з описання процесу міграції нафтопродуктів в загальному вигляді неможливе, що викликає необхідність визначити шляхи вибору способів вирішення цих задач в залежності від конкретних умов.

З точки зору авторів роботи, в якості критеріїв при такому підході повинні бути наступні:

- задачі розрахунків в залежності від взаємного розміщення джерел забруднення і об'єкта, що захищається;
- схеми міграції нафтопродуктів в конкретних умовах;
- наявність і точність вихідних даних для виконання розрахунків та можливість їх одержання.

8.1 Основні задачі розрахунків, які необхідно вирішувати при виборі і обґрунтуванні установки селективного вилучення рідких нафтопродуктів

Аналіз задач захисту від забруднення підземних і взаємопов'язаних з ними поверхневих вод, досвіду роботи лабораторії екологічної гідрогеології УКРНДІЕП і других організацій щодо розробки водоохоронних заходів, дозволяє сформулювати наступні задачі розрахунків, які при цьому виникають:

- розрахунки з визначення втрат з джерел надходження нафтопродуктів;

- розрахунки з визначення інфільтраційного живлення ґрунтових вод і якості інфільтраційних вод (концентрацій нафтопродуктів);
- розрахунки з визначення радіусу впливу (зони, полоси) штучних та природних границь потоку (дрен, свердловин, річок, непроникних зон і т.п.);
- розрахунки з визначення витрат дрен і змін швидкості фільтрації;
- гідродинамічні розрахунки фільтрації в обхід непроникних границь і підпору ґрунтових вод, які створюються цими границями;
- розрахунки часу досягнення фронту забруднення від джерела до водного об'єкта, який захищається;
- розрахунки з визначення кількості (витрат) надходження нафтопродуктів в водний об'єкт, який захищається;
- розрахунки з визначення концентрацій (витрат) в дренажних водах нафтопродуктів при їх вилученні.

Звісно, що з приведеного переліку, значна частина задач носить характер гідродинамічних розрахунків. Способи вирішення подібних задач досить добре розроблені і освітлені в літературі, в тому числі довідниковій /69/, і немає необхідності в їх аналізі.

Питання вирішення гідрохімічних задач вимагає більш детального розгляду.

8.2 Аналіз способів вирішення задач міграції розчинених нафтопродуктів у верхній частині гідросфери в умовах селективного вилучення рідких нафтопродуктів

У всіх розглянутих задачах міграції забруднюючих речовин транспортує середовищем, є підземні води, що обумовлює переважну роль в цьому процесі конвективного переносу. Отже, у всіх випадках рішення

гідродинамічних задач, спрямованих на визначення швидкостей і витрат потоку підземних вод є обов'язковим елементом.

При виконанні робіт по даній темі була вивчена література по постановці і вирішенню завдань міграції забруднюючих речовин (мігрантів) в підземних водах. Для одновимірних задач міграції різними авторами отримано багато аналітичних рішень для різних граничних умов [59-64]. Поряд з рішеннями для радіального потоку, вони з успіхом можуть бути використані для оцінки ролі впливу окремих факторів у формуванні якості підземних вод, а також для виконання практичних розрахунків в окремих конкретних випадках.

Так роботами багатьох авторів [61, 63] показано, що в реальних умовах для деяких завдань можна обмежитися прогнозом поширення фронту забруднення за методом «поршневого витіснення» незабруднених вод забрудненими, що виключає необхідність вирішення складних гідрохімічних рівнянь. Для розчинених нафтопродуктів прийнятний саме такий метод, оскільки вони являють собою нейтральні щодо сорбції речовини.

У ряді робіт [62, 63, 64] приводяться чисельні методи вирішення планових і навіть просторових завдань, засновані на кінцевих різницях або кінцевих елементах, реалізовані на ЕОМ. Цей підхід має безсумнівні переваги перед аналітичними рішеннями, так як дає принципову можливість враховувати мінливі в просторі і в часі умови міграції, що має велике значення при вирішенні практичних завдань. Однак, як і всі аналітичні рішення, розглянуті методи мають істотні недоліки, що обмежує можливості їх застосування в практичних розрахунках. У всіх випадках пропонується повне миттєве змішання мігранта з підземними водами по всій потужності водоносного горизонту.

Для подолання цього недоліку в кожному конкретному випадку доцільно оцінити потужність шару, в якому допустимо припущення про повне змішування.

Вище зазначалося, що основними критеріями при виборі способів вирішення міграційних завдань є взаємне розташування джерела забруднення та досліджуваного об'єкта і схеми міграції.

Так для досконалої дрени в водоносному горизонті з однорідною (або близьким до нього) по вертикалі будовою цілком прийнятно допущення про повне змішування за потужністю потоку, так як перехоплюється весь потік.

При неоднорідній будові водоносного горизонту, швидкості потоку в різних шарах різні, тому розшарування потоку по концентрації забруднюючих речовин (мігранта) може істотно відбитися на його надходженні в дренаж. В даному випадку необхідно оцінити глибину, на яку проникає мігрант. Це саме можна сказати і до дрени, яка захоплює лише частину водоносного горизонту. Для вирішення гідродинамічних задач в подібних випадках доцільно вибирати такі залежності, які дають можливість роздільно оцінити витрати в дренаж з різних ділянок потоку підземних вод.

Відмінною особливістю розглянутих типових схем міграції є фільтрація підземних вод з вільною поверхнею. При описі процесу, в основі якого лежить закон Дарсі, градієнт напору, що впливає на швидкість фільтрації, визначають зазвичай виходячи з того, що вертикальна складова швидкості незрівнянно мала в порівнянні з горизонтальною, і першою нехтують.

Насправді градієнт напору по лінії току повинен бути визначений за формулою:

$$I = \frac{\Delta h}{\Delta l}$$

де, Δh - різниця напорів; на відрізку лінії току, довжина якого Δl .

При ухилі поверхні ґрунтових вод, що дорівнює α ,

горизонтальна складова градієнта напору буде:

$$I_x = I \cdot \cos \alpha,$$

вертикальна складова:

$$I_z = I \cdot \sin \alpha,$$

звідки випливає, що

$$I_z = I_x \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

З іншого боку маємо:

$$I_x = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta h}{\Delta x},$$

звідки випливає, що:

$$I_z = I_x^2 = \left(\frac{\Delta h}{\Delta x} \right)^2$$

У реальних умовах, коли $I_x \leq 0.01$, вертикальна складова градієнта напору дійсно у багато разів менше горизонтальної і для звичайних фільтраційних розрахунків, першою можна знехтувати, що не завжди допустимо при міграційних розрахунках.

Наприклад, при коефіцієнті фільтрації водовмісних порід $k = 0,4$ м/доб, пористості $n = 0,4$, відстань від джерела забруднення, розташованого на поверхні ґрунтових вод, $l = 100$ м і ухилі їх $I_x = 0,01$, час, протягом якого мігрант пройде цю відстань (без урахування дифузії і сорбції) складе:

$$t = \frac{l \cdot n}{k \cdot I_x} = \frac{100 \cdot 0.4}{0.4 \cdot 0.01} = 10^4 \text{ сут}$$

За цей час мігрант може під впливом вертикальної складової швидкості фільтрації проникнути у водоносний горизонт на глибину:

$$z = \frac{k \cdot I_z \cdot t}{n} = \frac{0.4 \cdot 10^{-4} \cdot 10^4}{0.4} = 1 \text{ м}$$

Ця величина може виявитися цілком порівнянною з потужністю водоносного горизонту і грати істотну роль при визначенні якості підземних вод.

Наприклад, якщо фільтр свердловини або горизонтальна дрена знаходяться на глибині до 1,5 м, то весь обсяг мігранта, що надійшов в водоносний горизонт, потрапляє в дренаж. У тому випадку, коли фільтр або

закрита горизонтальна дрена знаходяться нижче цієї глибини (при незначних витратах і впливу на потік), мігрант в дрена може і не потрапити.

Описаний прийом може бути використаний як при визначенні потужності шару змішування при вирішенні одновимірних (лінійних) і планових завдань, так і для вирішення просторових міграційних завдань кінцево-різницеvими методами.

В останньому, найбільш загальному випадку, можна застосовувати:

$$V_x = k_x I_x; V_y = k_y I_y; V_z = k_z (I_x^2 + I_y^2)$$

при

$$I_x = \frac{\Delta h_x}{\Delta x}; I_y = \frac{\Delta h_y}{\Delta y}$$

що дає можливість вирішувати завдання масопереносу в неоднорідному середовищі в тримірній постановці.

9 ВИЗНАЧЕННЯ ПРИЙНЯТНИХ УМОВ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ СЕЛЕКТИВНОГО ВИЛУЧЕННЯ З ПІДЗЕМНОГО ПРОСТОРУ РІДКИХ НАФТОПРОДУКТІВ І ЗВОРОТНИХ ВОД

9.1 Аналіз умов для ефективної роботи технологічних схем вилучення рідких нафтопродуктів та підземних вод

При селективному відборі рідких нафтопродуктів з однієї і тієї ж очисної свердловини, у початковий період роботи та стабілізації режимів нафтопродуктової і водяної секцій при інтенсивному припливі забруднених ґрунтових вод, будуть складатись умови близькі до найменш сприятливих.

В окремих випадках, при дуже сильному забрудненні ґрунтів зони аерації і інтенсивній інфільтрації нафтопродуктів з поверхні, в початковий період роботи по наведеній вище технологічній схемі, вміст розчинених НП в підземних водах, які відкачуються, може бути максимальним. Через деякий час вміст розчинених НП буде знижуватись з окремими підвищеннями в періоди інтенсивного інфільтраційного живлення підземних вод.

Нафтопродуктовіддача в процесі санації при звичайній роботі СІЗ, повинна оцінюватись за даними моніторингових досліджень

Істотним для ефективної роботи СІЗ є відносно висока нафтопродуктонасиченість порового простору, що вміщує рідкі нафтопродукти і воду.

Згідно з результатами досліджень [65, 66] вільне переміщення рідких нафтопродуктів починається тоді, коли їх доля перевищує 80-85%.

Отже, першою умовою ефективного вилучення з ґрунтового масиву не води, а рідких нафтопродуктів, навіть при селективній технології, є стимулювання збереження такого співвідношення.

Подальше вдосконалення технології привело до розробки варіантів, які могли забезпечити санацію великих територій, а також територій промислових

майданчиків, де розміщення СІЗ неможливо і неможливе вилучення рідких нафтопродуктів в зв'язку з щільною забудовою та розміщенням технологічних об'єктів.

В цьому випадку основна маса води відкачується не з верхньої, як правило суглинистої, частини розрізу, де, власне, і знаходиться скупчення рідких нафтопродуктів, а відкачується системою спеціальних водознижувальних свердловин з базальної піщаної частини розрізу - системою керованої санації

У разі останньої технологічної схеми, вміст розчинених нафтопродуктів коливається в межах 0,06-0,50 мг / дм³, при типових значеннях 0,09-0,27 мг/ дм³ [57, 58.]

В умовах однорідного піщаного розрізу, внаслідок більш інтенсивної вертикальної міграції, показники дещо гірші, але безумовно не йдуть в порівняння з відстоєм нафтоводяної емульсії, як це відбувається в умовах змішаного вилучення нафтопродуктів.

Так, на майданчику Шебелинського ОПГКН, Харківська область, при селективному відборі з очисних свердловин рідких нафтопродуктів і води, вміст розчинених нафтопродуктів складав 3,8-5,7 мг/дм³, а з водознижувальних свердловин - 1,8-2,5 мг / дм³

Звідси другий практичний висновок: для підтримки оптимальних умов роботи СІЗ доцільне використання зворотних вод з водознижувальних свердловин (якщо схема СІЗ це передбачає).

Таким чином, необхідними умовами для забезпечення ефективної роботи технологічних схем вилучення рідких нафтопродуктів та окремо підземних вод є наступні:

1) забезпечення вільного переміщення рідких нафтопродуктів шляхом стимулювання збереження такого співвідношення води та нафтопродуктів, коли їх доля перевищує 80-85%;

2) для підтримки оптимальних умов роботи установки селективного вилучення нафтопродуктів доцільне використання зворотних вод з водознижувальних свердловин.

Слід відзначити, що використання зворотних вод крім указанного, має ще один напрямок: підживлення оборотних систем технічного водопостачання на діючих підприємствах нафтохімічного комплексу, що економить великий обсяг води господарсько-питного призначення.

Досить сказати, що тільки на ПАТ «Укртатнафта» [12], при нормальному перебігу виробничого циклу, використання зворотних вод, одержаних в результаті роботи установки селективного вилучення рідких нафтопродуктів зберігає в рік до 1,5 млн. м³ води з природних ресурсів.

9.2 Можливі варіанти реалізації технологічних схем вилучення рідких нафтопродуктів та оцінка їх ефективності

Згадані в попередніх розділах патентовані технології передбачають такі умови ліквідації скупчень рідких нафтопродуктів:

- спільне використання водозниження спеціальними свердловинами і водовідбору очисними свердловинами, і на тлі його - відбір рідких нафтопродуктів. (Технологія найбільш продуктивна);

- робота системи тільки очисних свердловин, з яких відбувається селективний відбір води і рідких нафтопродуктів. (Технологія менш ефективна (в 1,5-5 разів), але більш доступна на дрібних об'єктах);

- відбір тільки рідких нафтопродуктів з очисних свердловин. (Ефективність залежить від колекторних властивостей ґрунтів, але за інших рівних умов на порядок і більше поступається попередній);

- відбір тільки рідких нафтопродуктів в умовах відсутності джерела електроенергії (Технологія, маючи ряд аналогів, вперше отримала гідродинамічне обґрунтування) [57, 58] /..(Патент України 56538, Патент РФ 2237800).

9.3 Технічне забезпечення роботи установок селективного вилучення нафтопродуктів

У технологічних схемах для відбору РНП повинні використовуватись вибухозахищені насоси.

Управління двох - або однонасосними агрегатами здійснюється АСУТП СОН (станція відкачування нафтопродуктів) IV покоління «Карат», що випускається малими серіями УМЦ «Гідротон ЛТД» згідно ТУ У2448072.001-99 (Патенти України 28839, 28556, 29180, 74949, 77470, Патенти РФ 2155265, 2137946, 2154191, 2302552, 2302555).

Технологічні схеми системи інженерного захисту, насосного обладнання та систем управління побудовані за єдиним блочно-модульним принципом, що забезпечує максимальну варіантність просторової геометрії СІЗ, приладів і механізмів, перехід з одного режиму роботи на інший, або взагалі без ремонту, або з мінімальними налаштуваннями для забезпечення оптимальної ефективності на новому режимі.

Все обладнання, необхідне для створення і експлуатації ЗІЗ освоєно виробництвом в Україні. Можливість трансферу технологій або вже забезпечена (Україна, Білорусь), або не представляє непереборної складності при бажанні співпрацювати.

На завершення необхідно зупинитися на одному з найважливіших моментів, яким, на жаль, не надають належного значення в практиці екологозахисних робіт: системі контролю ефективності процесу санації і забезпечення його керованості, тобто моніторингу. Чітких вказівок щодо щільності мережі в публікаціях і нормативних документах, стосовно даного виду робіт, автори не зустріли.

Практика робіт показала, що в районі проммайданчиків і в їх межах необхідно від 1,8 до 2,5-3 точок отримання інформації на гектар [67]. При одношаровому розрізі в кожному пункті обладнується одна свердловина, при

двошаровому з формуванням скупчення у верхній суглинистій частини - дві: одна - на нижній, більш проникний шар, друга - на верхню частину розрізу, що містить скупчення РНП.

Немає жодного переконливого підтвердження факту радикальної ліквідації де-небудь на території країн СНД хоча б згадуваних скупчень, як максимально небезпечного фактора екологічних ризиків, не кажучи про глибоку санацію.

У той же час Україна має в своєму розпорядженні повний технологічний комплекс, спрямований на боротьбу з забрудненням РНП, від досліджень і проектування до будівництва, обладнання та обслуговування СІЗ.

Вітчизняне обладнання пройшло сертифікацію, патентну експертизу і перевірку тривалою експлуатацією в виробничих умовах, що повністю виключає необхідність імпорту як технологій, так і обладнання.

Підтвердженням визнання даного технологічного комплексу стало присудження в 2006 році групі розробників «міжнародної паливно-енергетичною компанією» Премії ім. Н.К. Байбакова «За великі досягнення у вирішенні проблем сталого розвитку енергетики та суспільства».

Раніше, в 2005 році, система селективного вилучення РНП і води з свердловин відзначена Дипломом лауреата загальнонаціонального конкурсу «Вища проба» «За Впровадження СУЧАСНИХ технологій, розробка та виробництво високоякісних систем управління станцій відкачки нафтопродуктів».

Таким чином, можливість застосування відповідних методико-технологічних прийомів була підтверджена визнанням в Україні та Російській Федерації.

Основними перешкодами для широкомасштабних робіт є відсутність загальнодержавних нормативних документів, що регламентують підходи до вирішення даної проблеми. У той же час практика роботи на ряді промоб'єктів показала, що вже на сучасному етапі цілком можливе масове будівництво СІЗ з використанням запропонованих технологій і техніки.

9.4 Організаційно-правові та організаційно-технічні питання створення та експлуатації систем інженерного захисту

Підхід до перспектив створення систем інженерного захисту на тій чи іншій території безпосередньо залежить від характеру об'єкта - забруднювача: діючий або недіючий.

Робота будь-якого підприємства пов'язана з нормативними і наднормативними втратами, тому СІЗ на таких об'єктах можуть проектуватися і будуватися виключно як постійно діючі, а першочерговим завданням їх є локалізація осередку забруднення, а потім ліквідація скупчень рідких нафтопродуктів.

На об'єктах, які припинили функціонувати, скупчення РНП носять залишковий характер, і тут основним завданням стає систематичне отримання можливо більшого обсягу РНП, тобто просто ліквідація скупчень.

Слід відзначити, що на початковому етапі санації вдається компенсувати витрати на будівництво і експлуатацію СІЗ, але відбори знижуються в часі і співвідношення прибутку і витрат стає не на користь першої. Разом з тим, при використанні відкачуваних вод для технологічних цілей, значно підвищується економічна ефективність робіт та природоохоронний ефективність санації.

Слід відзначити, що в Україні відсутня нормативно-технічна база виконання відповідних робіт (мається на увазі відсутність загальнодержавних документів, що пройшли міжвідомчі узгодження і містять методичні та технічні нормативи, починаючи з досліджень і закінчуючи експлуатацією СІЗ та моніторингом процесу). Тому при проектуванні і будівництві СІЗ доцільно керуватися патентованими методиками та, технічними засобами, які пройшли сертифікацію і тривалу апробацію у виробничих умовах.

ВИСНОВКИ

1. Важливим висновком, зробленим при виборі та обґрунтуванні водоохоронних заходів ліквідаційного характеру, є наступний: процеси водообміну формуються в основному в умовах взаємодії двох протилежно спрямованих техногенних факторів:

- дренажу (в зоні впливу річок та водойм);
- інфільтрації (в районі розташування технологічних об'єктів, технічних водойм та складів товарної продукції – в місцях формування скупчень рідких нафтопродуктів).

Виходячи з цього, авторами розроблена постановка теоретичних досліджень для обґрунтування водоохоронних заходів шляхом визначення:

- умов міграції рідких нафтопродуктів в залежності від гідрогеологічних особливостей території;
- механізму формування осередків забруднення ґрунтових вод нафтопродуктами;
- умов розтікання лінз рідких нафтопродуктів;
- кількісних показників інтенсивності міграції рідких нафтопродуктів;
- задач водоохоронних заходів в залежності від структури області забруднення підземних вод нафтопродуктами

2. При розробці водоохоронних заходів важлива роль належить гідродинамічним особливостям водоносних горизонтів, оскільки основну участь в формуванні підземного живлення річок приймають зони інтенсивного водообміну, які залягають близько до денної поверхні і характеризуються слабкою захищеністю, що дозволяє проникненню ЗР (рідких та розчинених нафтопродуктів) в водоносні горизонти і далі – в річки та водойми.

3. Зоною інтенсивного водообміну при оцінці впливу підземного стоку на якість поверхневих вод в річок та при розробці заходів з їх захисту, доцільно

вважати перші від поверхні водоносні горизонти, які знаходяться в сфері дренуючого впливу річкової мережі.

4. Забруднення поверхневих водотоків викликає підземне живлення з постійних безнапірних ґрунтових і міжпластових водоносних горизонтів, які зазнали техногенного впливу, формуючи в переважній більшості випадків постійний стік малих річок.

5. З метою визначення шляхів і методів попередження надходження забруднюючих речовин в русла річок (розробка водоохоронних заходів) виконана схематизація гідрогеологічних умов. Основу для вибору, обґрунтування та розробки комплексів заходів по охороні річок від забруднення складає схематизація умов переміщення забруднюючих речовин в водоносних пластах до місць розвантаження.

6. В умовах розробки водоохоронних заходів, при типізації умов розвантаження підземних вод в водотоки (основного джерела підземного живлення річок), брались до уваги варіанти схем міграції з постійним гідравлічним взаємозв'язком. Розвантаження підземного потоку для більшості річок відбувається переважно у вигляді пластових виходів.

7. Виходячи з завдань, які виникають при розробці заходів з охорони річок та водойм у схемі переносу підземним стоком розчинених та рідких нафтопродуктів від джерел забруднення до річки, в межах сформованої області забруднення умовно виділено три специфічні зони, кожна із яких характеризується певними умовами міграції забруднюючих речовин.

8. Завданнями водоохоронних заходів, які вирішуються для кожної зони є наступні:

- в зоні осередку забруднення є максимально можливе зниження техногенного навантаження на водоносний горизонт, зокрема:
- ліквідація або зниження витоків на всіх етапах технологічного процесу;
- зниження інфільтрації атмосферних опадів через забруднені ґрунти та через місця складування рідких нафтопродуктів;
- зниження фільтраційних втрат з технологічних водойм);

- локалізація забруднення рідкими нафтопродуктами у верхньому шарі зони аерації або його перехоплення (повне чи часткове).

9. Основне призначення комплексу водоохоронних заходів в осередку забруднення - максимально знизити концентрацію розчинених та об'єм і площу рідких нафтопродуктів в межах осередку і мінімізувати вихід їх за межі цієї зони.

10. В зоні розвантаження підземних вод завданням водоохоронних заходів є недопущення розвантаження забруднених підземних вод в річки або водойми (перехоплення забруднених вод) і контроль якості підземних вод (ведення моніторингу підземних вод).

11. В зоні трансформації якості підземних вод завданням водоохоронних заходів є подальше зниження концентрації забруднюючих речовин, які проникли з осередку забруднення в підземні води проміжної зони, і повне виключення їх виходу за її межі – в зону розвантаження (в русло річки). Обов'язковим елементом комплексу водоохоронних заходів в цій зоні є система контролю за станом підземних вод - ведення моніторингу підземних вод.

12. Оптимальним методом захисту поверхневих вод річок і водойм від забруднення нафтопродуктами є або локалізація, або пряме вилучення рідких нафтопродуктів з підземної гідролітосфери. Першочерговим завданням повинна бути локалізація осередку забруднення і вилучення рідких нафтопродуктів в максимально можливих обсягах. Слід відзначити, що способи локалізації не вирішують проблему накопичення та утилізації рідких нафтопродуктів, тому постає необхідність в розробці та реалізації локалізаційно-ліквідаційних заходів, а саме – розробки технології селективного вилучення рідких нафтопродуктів в системі інженерного захисту.

13. Оскільки на сучасному етапі економічних можливостей країни ставити питання про повне очищення території, забрудненої рідкими нафтопродуктами, передчасно: досягнення цієї мети неможливе через великі фінансові витрати, розроблена методика визначення величини гранично-допустимих техногенних навантажень на підземні води в межах скупчень рідких нафтопродуктів, що

дозволить обґрунтування умови реалізації системи інженерного захисту при селективному вилученні рідких нафтопродуктів та зворотних вод.

14. Для адаптації установки селективного вилучення скупчень рідких нафтопродуктів з підземної гідросфери виконана типізація геологічної будови зони аерації на конкретних територіях України, завдяки якій виділено 8-м типових розрізів.

15. Необхідними умовами для забезпечення ефективної роботи технологічних схем вилучення рідких нафтопродуктів та окремо підземних вод є наступні:

1) забезпечення вільного переміщення рідких нафтопродуктів шляхом стимулювання збереження такого співвідношення води та нафтопродуктів, коли їх доля перевищує 80-85%;

2) для підтримки оптимальних умов роботи установки селективного вилучення нафтопродуктів доцільне використання зворотних вод з водознижувальних свердловин.

16. При низькому припливі нафтопродуктів у свердловину, що вимагає періодичної зупинки нафтового насосу (при постійній роботі нижнього - водяного насосу) з включенням його по мірі наповнення свердловини нафтопродуктами та ускладнює обслуговування комплексу, виникає і потреба автоматичного управління процесом селективного вилучення рідких нафтопродуктів.

17. Невід'ємною частиною управління якістю підземних та поверхневих вод є вирішення задач міграції до зони дренажу розчинених нафтопродуктів - **кількісна** оцінка показників якості і ступеню впливу на них різних факторів і процесів. При цьому більш або менш точне рішення математичних задач з описання процесу міграції нафтопродуктів в загальному вигляді неможливе, що викликає необхідність визначити шляхи вибору способів вирішення цих задач в залежності від конкретних умов. В якості критеріїв при такому підході повинні бути наступні:

- задачі розрахунків в залежності від взаємного розміщення джерел забруднення і об'єкта, який захищається;
- схеми міграції нафтопродуктів в конкретних геолого-гідрогнологічних умовах;
- наявність і точність вихідних даних для виконання розрахунків та можливість їх одержання.

18. Основними критеріями при виборі способів вирішення міграційних завдань є взаємне розташування джерела забруднення та досліджуваного об'єкта і схеми міграції.

19. В Україні відсутня нормативно-технічна база виконання відповідних робіт (мається на увазі відсутність загальнодержавних документів, що пройшли міжвідомчі узгодження і містять методичні та технічні нормативи, починаючи з досліджень і закінчуючи експлуатацією СІЗ та моніторингом процесу). Тому при проектуванні і будівництві СІЗ доцільно керуватися патентованими методиками та технічними засобами, які пройшли сертифікацію і тривалу апробацію у виробничих умовах.

20. При плануванні та реалізації установок селективного вилучення рідких нафтопродуктів в системі інженерного захисту необхідно надавати належну увагу одному з найважливіших моментів в практиці екологозахисних робіт: системі контролю ефективності процесу санації і забезпечення його керованості, тобто моніторингу.

21. Практика робіт показала, що в районі проммайданчиків і в їх межах необхідно від 1,8 до 2,5-3 точок отримання інформації на гектар.

В залежності від геологічної будови, при одношаровому розрізі в кожному пункті обладнується одна свердловина, при двошаровому, з формуванням скупчення у верхній суглинистій частині, - дві: одна - на нижній, більш проникний шар, друга - на верхню частину розрізу, що містить скупчення РНП. розробці та організації.

Перелік джерел посилання:

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища України у 2014 році. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://menr.gov.ua/files/docs/%D0%A3%202014%20%D0%A0%D0%9E%D0%A6%D0%86.pdf>
2. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища України у 2015 році. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://menr.gov.ua/news/31768.html>
3. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища України у 2016 році. – Режим доступу: <https://menr.gov.ua/news/31445.html>
4. Стан підземних вод України. Щорічник. Державна служба геології та надр України. Державне науково-виробниче підприємство. Державний інформаційний геологічний фонд України. ДНВП «Геоінформ України». – К.: 2017.
5. Стан підземних вод України. Щорічник. Державна служба геології та надр України. Державне науково-виробниче підприємство. Державний інформаційний геологічний фонд України. ДНВП «Геоінформ України». – К.: 2018.
6. Abriola L. M. Experimental investigations of the entrapment and persistence of organic liquid contaminants in the subsurface environment / L. M. Abriola, S. A. Bradford // Environment health perspectives. – 1998. – Vol. 106, Suppl. 4. – P. 1083 – 1095.
7. Деякі проблеми забруднення підземних вод нафтопродуктами, пов'язані з проблемами екологічної безпеки України / [Н. С. Огняник, О. Ю. Митропольський, А. М. Білоус, Є. О. Яковлев]. – К.: «Знання» - «Геоєко - 21», 1997. – 28 с.
8. Мироненко В.А. Забруднення підземних вод вуглеводнями / В.А. Мироненко, М.С. Петров // Геоєкологія. Інженерна геологія. Гидрогеологія. Геокриологія. – 1995. – № 1. – С. 3 – 27.

9. Водний кодекс України: № 213/95-ВР. – [Чинний від 1995-06-06] [Електронний ресурс]. – Режим доступу: – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80>

10. Минкин Е.Л. Исследование и прогнозные расчеты для охраны подземных вод / Е.Л. Минкин. – М.: Недра, 1972. – 107 с.

11. Егоров Н. Н., Особенности загрязнения подземных вод и грунтов нефтепродуктами / Н. Н. Егоров, Ю. К. Шипулин // Водные ресурсы. – 1998. – т. 25, № 5. – С. 598-602.

12. Заключительные отчеты о НИР. Контроль эффективности водоохраных мероприятий, реализуемых ЗАО «Укртатнафта» в зоне размещения объектов Кременчугского нефтеперерабатывающего завода. – Харьков, УКРНИИЭП, 1993-2016.

13. Максимович Н. Г. Опыт очистки подземных вод от нефтяного загрязнения биологическими методами / Н. Г. Максимович, В. Т. Хмурчик, О. Ю. Мещерякова // Промышленная безопасность и экология. – №4 (37). – С. 34-36.

14. Barber L. B. Geochemical heterogeneity in a sand and gravel aquifer: effect of sediment mineralogy and particle size on the sorption of chlorbenzenes / Barber L. B., Thurman E. M., Runnels D. D. // J. of contaminant hydrology. – 1992. – v. 9, 1/2. – P. 35-54.

15. Sorption of polynuclear aromatic hydrocarbons by sediments and soils / Means J. C., Wood S. G., Hassett J. J., Banwart W. L. // Environmental science and technology. – 1980. – v. 14, № 12. – P. 1524-1528.

16. Максимович Н. Г. Методы борьбы с нефтяным загрязнением на закарстованных берегах водохранилищ / Н. Г. Максимович, О. Ю. Мещерякова // Экология урбанизированных территорий. – 2009. – № 4.

17. Куделин Б. И. Гидрологический анализ и методы определения подземного питания рек: труды лаб. гидрогеол. проблем АН СССР им. Ф.П. Саваренского. – М.: Изд. АН СССР, 1949. – т. 5. – 179 с.

18. Мещерякова О. Ю. Факторы миграции и трансформации нефти в геологической среде / О. Ю. Мещерякова // Проблемы геологии и освоения недр: труды XIV международного симпозиума им. академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 65-летию Победы советского народа над фашистской Германией в Великой Отечественной Войне 1941-1945 гг. – Т. 2; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2010. – С. 368-370.

19. Гольдберг В. М. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения / В. М. Гольдберг, С. Газда. – М.: Недра, 1984. – 262 с.

20. Отчет о НИР. Разработать рекомендации по выбору и обоснованию мероприятий для защиты от загрязнения подземных и взаимосвязанных с ними поверхностных вод территории интенсивного хозяйственного освоения. – Харьков: ВНИИОВ, 1990.– т. 4.

21. Итоговый отчет о НИР. Оценка масштабов загрязнения подземных вод в результате производственной деятельности ПАО «АРСЕЛОРМИТТАЛ КРИВОЙ РОГ». – Харьков: УКРНИИЭП, 2015.

22. Отчет о НИР. Разработать и внедрить комплекс мероприятий по предотвращению загрязнения малых рек подземным стоком с территорий интенсивного промышленного освоения. – Харьков: ВНИИОВ, 1987.

23. Шестаков В.М. О кинетике сорбции на грунтах / В. М. Шестаков // Гидрогеологические вопросы подземного захоронения промстоков. – 1969. – С. 23-34. – (Тр. ВСЕГИНГЕО; вып. 14).

24. Орадовская А.Е. Определение сорбционной способности грунтов в целях прогноза распространения промстоков в подземных водах / А. Е. Орадовская // Гидрогеологические вопросы подземного захоронения промстоков. – 1969. – С. 160-173. – (Тр. ВСЕГИНГЕО; вып. 14).

25. Шестаков В. М. Методика определения миграционных параметров в гетерогенных системах / В. М. Шестаков, А. А. Рошаль, И. С. Пашковский // Вопросы гидрогеологии. – М.: МГУ. – 1973. – С. 83-97.

26. Гольдберг В. М. Методические рекомендации по выявлению и оценке загрязнения подземных вод / В. М. Гольдберг, С. Г. Мелькановицкая, В. М. Лукьянчиков – М.: ВСЕГИНГЕО, 1988. — 61 с.

27. Закон України. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року: № 2818-VI. – [Чинний від 2010-12-21] [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2818-17>

28. Закон України. Про затвердження Загальнодержавної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну р. Дніпро на період до 2021 р.: № 4836-VI. – [Чинний від 2012-05-24] [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4836-17>

29. Лукьянчиков В.М. Источники углеводородного загрязнения подземных вод и методы его изучения / В. М. Лукьянчиков // Изучение и прогноз региональных гидрогеологических и инженерно-геологических условий под влиянием техногенных факторов. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1984. – С. 48-52.

30. Гирицкий И. К. Некоторые вопросы динамики подземных вод. К расчету движения подземных вод к скважинам // Гидрогеология и инженерная геология: сб. – ВСЕГИНГЕО, 1947. – № 9.

31. Гирицкий Н. К. Определение коэффициента фильтрации по данным откачек при неустановившемся дебите и понижениях / Н. К. Гирицкий. – Госгеолиздат, 1950.

32. Полубаринова-Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод / П. Я. Полубаринова-Кочина. – [2-е изд.]. – М.: Наука, 1977. – 664 с.

33. Шестаков В. М. Динамика подземных вод / В. М. Шестаков. – М.: МГУ, 1979.

34. Галин Л. А. Упругопластические задачи / Л. А. Галин, Н. Е. Арутюнян, Г. С. Шапиро. – М.: Наука, 1984. — 232 с.

35. Галин Л.А. Контактные задачи теории упругости / Л. А. Галин. – М.: Гостехиздат, 1953. – 264 с.
36. Галин Л. А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости / Л. А. Галин. – М.: Наука, 1980. — 302 с.
37. Пыхачев Г. Б. Подземная гидравлика / Г. Б. Пыхачев, Р. Г. Исаев. – М.: Недра, 1973. – 360 с.
38. Огняник Н. С. Основы изучения загрязнения геологической среды легкими нефтепродуктами / Н. С. Огняник, Н. К. Парамонова, А. Л. Брикс. – Киев: А.П.Н., 2006. – 278 с.
39. Огняник М. С. Дослідження нафтопродуктового забруднення підземних вод України / М. С. Огняник, А.Л. Брикс, Р.Б. Гаврилюк // Геологічний журнал. – 2018. – №3 (364). – С. 59 – 66.
40. Огняник М. С., Проблеми забруднення геологічного середовища нафтопродуктами у зв'язку з охороною підземних вод в Україні / М. С. Огняник, Н. К. Парамонова, І. М. Запольський // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2003. – №3. – С. 12 – 17.
41. Огняник М. С. Розвиток моніторингових досліджень у зв'язку із забрудненням підземних вод нафтопродуктами / М. С. Огняник, А.Л. Брикс, Р.Б. Гаврилюк // Геологічний журнал. – 2017. – № 1 (358). – С. 37 – 46.
42. Hydrophobic organic contaminant transport property heterogeneity in the Borden Aquifer / Allen-King R. M., Kalinovich I., Dominic D. F. [and other] // Water resources research. – 2015. – Vol. 51, № 3. – P. 1723 – 1743.
43. Мироненко В. А. Загрязнение подземных вод углеводородами / В. А. Мироненко, Н. С. Петров // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 1995. – № 1. – С. 3 – 27.
44. Гавич И.К. Гидрогеодинамика/ И.К. Гавич. – Ленинград: Недра, 1988. – 349 с.
45. Гавич И.К. Сборник задач по общей гидрогеологии: уч. пособ. [для студ. высш. уч. зав.] / И. К. Гавич, А. А. Лучшева, С. М. Семенова-Ерофеева. –

М.: Недра, 1985. – 412 с.

46. Витяг нафтопродуктів селективним методом з водоносних горизонтів/ [М. В. Бабаєв, Г. А. Демьохін, В. Д. Бабенко, Ю.С. Солодовников] // Захист довкілля від антропогенного навантаження: зб. наук. праць. – Харків - Кременчук, 1998. – вип. 1 (2). – С. 37-41.

47. Використання математичного моделювання геофільтрації для обґрунтування водоохоронних заходів / [М. В. Бабаєв, Н. К. Маркіна, Я. С. Маркіна, Г. А. Демьохін] // зб. наук. праць Кременчуцького державного політехнічного інституту. – Кременчук, 1997. – вип. 2.

48. Система інженерного захисту територій при забрудненні підземних вод рідкими нафтопродуктами / [М. В. Бабаєв, В. Д. Бабенко, Ю. С. Солодовников, Н.В. Бесєдін] // наук.-тех. жур. «Вісник». – Київ, 1998. – №7 .

49. Деякі питання ідеології комплексу заходів щодо захисту і очищення підземної гідросфери від скупчень рідких нафтопродуктів / [В. Д. Бабенко, Ю. С. Солодовников, В. А. Петик, Н. В. Бесєдін] // наук.-тех. жур. «Вісник». – Київ, 1998. – №7 .

50. Досвід створення і експлуатації систем інженерного захисту підземних вод від забруднення рідкими нафтопродуктами на проммайданчиках діючих підприємств нафтохімічного комплексу / В. Д. Бабенко, Ю. С. Солодовников, В. А. Петик [та інш.] // Захист довкілля від антропогенного навантаження: зб. наук. праць. – Харків - Кременчук, 1999. – вип. 1 (3). – С. 95-100.

51. Бабенко В.Д., Організаційно правові аспекти боротьби з забрудненням підземного простору і підземної гідросфери нафтою і нафтопродуктами / В. Д. Бабенко, Ю. С. Солодовников // Захист довкілля від антропогенного навантаження: зб. наук. праць. – Кременчук, 2000. – вип. 1 (4).

53. Інженерний захист і санація території забруднених рідкими нафтопродуктами - досвід багаторічних робіт / М. В. Бабаєв, Я. С. Маркіна, Г. В. Карагодін [та інш.] // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки.: зб. наук. праць. – Харків, 2006. – С. 93-104.

54. Шляхи і методи ліквідації скупчень рідких нафтопродуктів в підземній гідросфері / А.В. Гриценко, М. В. Бабаєв, Г. В. Карагодин [та інш.] // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки.: зб. наук. праць. – Харків, 2010. – С. 121-135.

55. Технології відновлення ґрунтів, забруднених нафтою і нафтопродуктами: довідник. – М.: «РЕФІА» НІА - Природа, 2003. – 257 с.

56. Методика відносно оцінки ризику на ділянках нафтохімічного забруднення: КНД - 2000. – 2-га ред. – К.: Мін ОНПС та ВХ України, 2000.

57. Пат. 56538 Україна, [База патентів України](#) / Спосіб вилучення рідких нафтопродуктів з поверхні ґрунтових вод і система для його реалізації / заявитель и патентообладач Петік В'ячеслав Олексійович; опубл. 15.10.2004. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uapatents.com/7-56538-sposib-viluchennya-ridkikh-naftoproduktiv-z-poverkhni-gruntovikh-vod-i-sistema-dlya-jjogo-realizaci.html>

58. Пат. 2237800 Російська Федерація, RU2237800C1. Спосіб извлечения жидких нефтепродуктов с поверхности грунтовых вод и система для его реализации / russia inventor [Вячеслав Алексеевич Петик \(UA\)](#); worldwide applications 2002 [UA](#) 2003 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [RU https://patents.google.com/patent/RU2237800C1/](https://patents.google.com/patent/RU2237800C1/).

59. Бочеве́р Ф. М. Защита подземных вод от загрязнения / Ф. М. Бочеве́р, Н. И. Лапшин, А. Е. Орадовская. – М.: Недра, 1979. – 253 с.

60. Беригин Н. Н. Методы лабораторного контроля параметров диффузии и сорбции в пористых средах / Н. Н. Беригин, Н. К. Голованова. – М., 1971. – С. 15-18. – (Тр. ВОДГЕО; вып. 29).

61. Бочеве́р Ф. М. Гидрогеологическое обоснование защиты подземных вод и водозаборов от загрязнения / Ф. М. Бочеве́р, А.Е. Орадовская. – М.: Наука, 1972. – 128 с.

62. Магмедов В. Г. К прогнозу формирования ореола загрязнения подземных вод азотными соединениями / [В. Г. Магмедов, М. А. Захарченко, Х. Герман, Х. Альбарт] // Рациональное природопользование в районах

избыточного увлажнения: всесоюз. конф., 1989 г.: тезисы докл. – Калининград, 1989. – С. 119-121.

63. Лукнер Л. Моделирование миграции подземных вод / Л. Лукнер, В.М. Шестаков. – М.: Недра, 1986. – 208 с.

64. Derek Elsworth. A boundary element-finite element procedure for porous and fractured Media Flow / Derek Elsworth // Water resources research. – 1987. – vol. 23, №4. – P. 551-560.

65. Тютюнова Ф. И. Физико-химические процессы в подземных водах / Ф. И. Тютюнова. – М.: Наука, 1978.

66. Галецкая И. В. К проблеме загрязнения подземных вод и пород зоны аэрации нефтепродуктами и ПАУ на городских территориях / И. В. Галецкая, И. А. Позднякова // Геоэкология. – 2011. – С. 337-343. – (№ 4).

67. Огняник Н. С. Эколого-гидрогеологический мониторинг территорий загрязнения геологической среды легкими нефтепродуктами / Н. С. Огняник, Н. К. Парамонова, А. Л. Брикс и др. – К.: LAT & K, 2013. – 254 с.

68. Краткий справочник по химии / И. Т. Гороновский, Ю.П. Назаренко, Е.Ф. Некряч; под общ. ред. академика АН УССР Пилипенко А. Т. – [5-е изд.] – Киев: Наукова думка, 1987. – 830 с.

69. Альтовский М. Е. Справочник гидрогеолога / М. Е. Альтовский – М.: Госгеолтехиздат, 1962. – 616 с.

ДОДАТОК А

Технічне завдання на створення науково-технічної продукції

ДОДАТОК Б

Зовнішня рецензія

ДОДАТОК В

Внутрішня рецензія

ДОДАТОК Г

Витяг з протоколу № 7 від 10.12.2019 НДР