

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

Принятим дисертації і депозитом  
у місцеві архіви.

На правах рукопису

Виконано  
екземпляр

*Слабана*  
СЛАБАН ВІТАЛІЙ ЗІНОВІЙОВИЧ

*Холми І.Р.*  
*Слабана*

УДК (502.51+556.388):622.276(477.86)

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ЗМЕНШЕННЯ ТЕХНОГЕННОГО  
ЗАБРУДНЕННЯ ГІДРОСФЕРИ НА КІНЦЕВІЙ СТАДІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ  
НАФТОВИХ РОДОВИЩ  
(на прикладі Долинського нафтового родовища)

21.06.01 – екологічна безпека

Дисертація на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Науковий керівник  
Семчук Я.М.  
доктор технічних наук,  
професор



Івано-Франківськ – 2014

*d534*

## ЗМІСТ

	Стор.
<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ТА ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ВИДОБУТКУ НАФТИ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ</b> .....	9
1.1. Короткий огляд стану проблеми .....	9
1.2. Загальна характеристика Долинського нафтового родовища .....	19
1.2.1. Геологічне середовище родовища .....	20
1.2.2. Водне середовище родовища .....	24
1.3. Забруднення та порушення водоносних горизонтів при експлуатації нафтових родовищ.....	32
<b>ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1</b> .....	33
<b>РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПІДЗЕМНИХ ВОД В УМОВАХ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ</b> .....	35
2.1. Джерела забруднення підземних вод .....	35
2.2. Вплив нафтових родовищ на фізико-хімічні властивості води .....	39
2.3. Аналіз аварійних поривів у системі нафтовидобутку НГВУ “Долинанафтогаз” .....	41
2.3.1. Аналіз екологічної небезпеки мінеральних і органічних сполук, які містяться у зворотній пластовій воді .....	45
2.4. Експериментальні дослідження процесів забруднення підземних вод ...	49
2.4.1. Експериментальні дослідження формування хімічного складу підземних вод при нагнітанні зворотних пластових вод .....	50
2.5. Моделювання концентрації сольового потоку у ґрунтових водах .....	56
<b>ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2</b> .....	61
<b>РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ФІЛЬТРАЦІЇ ТА МІГРАЦІЇ СОЛЬОВИХ ЗАБРУДНЕНЬ У ВОДОНОСНИХ ГОРИЗОНТАХ</b> .....	62
3.1 Підходи до оцінки забруднення водоносних горизонтів зворотними пластовими водами .....	62

3.2. Експериментальні дослідження механізму забруднення гідросфери .....	65
3.3 Побудова і дослідження математичної моделі двофазної геофільтрації...	66
3.3.1. Концептуальна постановка задачі .....	68
3.3.2. Математична постановка задачі і вибір методу її вирішення .....	70
3.3.3. Дослідження проведені за допомогою отриманої моделі .....	74
3.4. Програмна реалізація моделі фільтрації .....	79
3.5. Специфікація на розробку програмного забезпечення .....	80
3.6. Структура програмного комплексу .....	82
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3 .....	86
<b>РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МЕТОДІВ ОЧИСТКИ ЗВОРОТНИХ ПЛАСТОВИХ ВОД .....</b>	<b>87</b>
4.1. Методи очищення води від органічних домішок .....	87
4.2. Дослідження ефективності очищення зворотних пластових вод рідинними (гідрофобними) фільтрами .....	90
4.3. Визначення ефективності очищення зворотних пластових вод електрофлотацією .....	92
4.4. Доочистка зворотної пластової води зернистими фільтрами .....	99
4.5. Аналіз існуючих технологічних схем очистки зворотних пластових вод.....	101
4.5.1. Багатоступенева технологія очистки зворотних пластових вод .....	104
4.5.2. Техніко-економічне обґрунтування запропонованої методики .....	108
4.5.3. Розрахунок потужності джерела енергії для електрофлотатора .....	109
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4 .....	111
ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПІДСУМКОВІ ВИСНОВКИ .....	112
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	114
ДОДАТКИ.....	131

## Вступ

**Актуальність роботи.** Розробка нафтових родовищ на кінцевій стадії експлуатації призводить до порушення екологічної рівноваги, що у свою чергу зумовлює забруднення атмосфери, рослинного шару, ґрунтів, поверхневих і ґрунтових вод.

При розробці нафтових родовищ існує надзвичайно багато джерел техногенного забруднення водоносних горизонтів нафтою та продуктами її переробки, зворотними пластовими водами. Основні шляхи потрапляння забруднення у навколишнє середовище – системи для підтримки пластового тиску, витоки і розливи з трубопроводів та підземних сховищ, пориви нафтопроводів та трубопроводів нафтопромислових стічних вод, літологічні вікна, тектонічні порушення, утворення воронок та заклонні перетоки. При попаданні мінералізованих вод у водоносні горизонти відбуваються глибокі незворотні зміни морфологічних, фізико-хімічних та мікробіологічних властивостей поверхневих та ґрунтових вод, що істотно впливають на їхню біологічну активність.

Проблема сольового забруднення ґрунтових вод має місце у межах Долинського нафтогазпромислового району у якому переважна більшість нафтових родовищ знаходиться на завершальній стадії розробки. Зокрема, факт формування аресалу сольового забруднення зафіксовано у селі Діброва в межах якого розробляється Долинське нафтове родовище. Вміст солей у колодязях зріс до  $16,5 \text{ г/дм}^3$ , що призвело до неможливості споживання води.

Вирішення екологічної проблеми, яка пов'язана з експлуатацією нафтових родовищ, вимагало від автора дисертації удосконалення і розроблення нових природоохоронних методів та засобів для зменшення техногенного забруднення гідросфери Долинського нафтогазпромислового району, що зумовлює актуальність роботи.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Вибраний напрямок дисертаційного дослідження відповідає “Концепції національної

екологічної політики України на період до 2020 року”, а також науково-дослідній тематиці кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, а власне, “Визначення сучасної екологічної ситуації та проведення екологічного аудиту території у межах рудних і нафтогазових родовищ” (тема №170/06).

**Мета і завдання досліджень.** *Метою дисертаційної роботи є проведення досліджень, розробка та впровадження у практику методів, природоохоронних заходів для зменшення техногенного забруднення гідросфери на кінцевій стадії експлуатації нафтових родовищ.*

Для досягнення цієї мети необхідно було виконати наступні *завдання*:

1) систематизувати і узагальнити накопичений матеріал щодо зменшення техногенного забруднення гідросфери у районах інтенсифікації видобутку нафти;

2) виконати фізико-хімічне моделювання у системі “зворотна пластова вода-порода” при поступленні забруднюючих компонентів “зверху”;

3) оцінити вплив фільтраційних процесів на ґрунтовий потік методом моделювання концентрації сольового потоку у ґрунтових водах;

4) провести прогнозне математичне моделювання фільтраційно-міграційних процесів сольового забруднення у волоносному горизонті та його реалізацію у вигляді програмного продукту адаптованого під ЕОМ;

5) удосконалити та впровадити у практику технологію очистки зворотних пластових вод з метою захисту підземних водоносних горизонтів від техногенного забруднення.

**Об’єкт дослідження.** Процеси забруднення навколишнього середовища мінералізованими водами у процесі експлуатації нафтових родовищ Долинського нафтогазопромислового району на кінцевій стадії розробки.

**Предмет дослідження.** Зменшення техногенного забруднення підземних вод у районі розробки нафтових родовищ.

**Методи дослідження.** Методологічну основу дослідження складає комплекс, що включає аналіз сучасного стану екологічної ситуації у районі розробки нафтових родовищ; гідродинамічні методи встановлення фільтраційних

параметрів поглинаючого горизонту; геохімічні методи, які включають відбір та аналіз проб ґрунтових та мінералізованих вод у районах видобутку нафти Долинського нафтогазпромислового району; методи математичного моделювання довготривалої міграції зворотних пластових вод у підземних водах; лабораторні методи, які включають технологію підготовки зворотних пластових вод до нагнітання у продуктивні горизонти нафтових родовищ Прикарпаття.

**Фактичний матеріал.** Вихідні дані для дисертаційної роботи отримані у результаті багаторічних досліджень автора при вивченні умов і факторів формування мінералізованих вод та їх вплив на довкілля. При підготовці дисертаційної роботи використані також фондові матеріали НГВУ “Долина нафтогаз”.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у наступному:

1. Вперше шляхом експериментальних досліджень конкретизовано фізико-хімічні процеси, які відбуваються у пласті внаслідок поступлення зворотних пластових вод “зверху”.

2. Дістав подальший розвиток метод гідрогеологічного моделювання прогнозу змін концентрації солей у водоносному горизонті при інфільтрації їх із амбару- накопичувача у ґрунтові води.

3. Вперше шляхом математичного моделювання створено комп'ютерну програму, яка дає змогу оперативно дослідити і отримати достовірну інформацію про інтенсивність вертикальної і горизонтальної міграції розсолів у пласті, ступінь сольового забруднення і площу його розповсюдження.

4. Удосконалено методи багатоступеневої очистки зворотних пластових вод на розробленій автором установці, що дозволяє повторно використовувати їх у системі підтримки пластового тиску.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розв'язані у дисертаційній роботі завдання дають можливість зменшити шкідливий вплив зворотних пластових вод на навколишнє середовище, особливо на кінцевій стадії розробки нафтових родовищ, зокрема занобігти сольовому забрудненню ґрунтових вод, які використовуються для питного водозабезпечення населених пунктів.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень підтверджено фактичними даними, що були отримані здобувачем у процесі наукових досліджень Долинського нафтового родовища та лабораторних робіт у хімікоаналітичній лабораторії НГВУ “Долинанaftогаз”.

Народногосподарська та соціальна цінність виконаної роботи полягає у доведенні можливості безпечної утилізації зворотних пластових вод нафтових родовищ у виснажені розробкою поклади вуглеводнів, як один із ефективних методів підвищення екологічної безпеки.

**Особистий внесок здобувача** полягає у безпосередній його участі на всіх етапах виконання – від формування завдань і експериментальних досліджень до розробки проектів і їх впровадження. Здобувачем особисто вивчено, проаналізовано та узагальнено геоекологічні матеріали з питань охорони поверхневих та підземних вод від забруднень зворотними пластовими водами нафтогазовидобувних підприємств на кінцевій стадії розробки нафтових родовищ, а також розроблено комплекс методів та засобів підвищення екологічної безпеки. Основні ідеї, наукові положення і теоретичні висновки дисертації сформульовані та обґрунтовані здобувачем особисто. У випадках співавторства з Я.М. Семчуком, Б.Й. Маєвським, О.Д. Мельником основні положення останніх базувались на ідеях здобувача. Автор брав безпосередню участь у виконанні експериментальних досліджень, інтерпретації отриманих результатів, підготовці та формуванні висновків.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати дисертаційного дослідження доповідались та обговорювались на наступних конференціях: Всеукраїнська студентська наукова конференція “Геологія XXI століття. Міжнародний рік планети Земля” (Дніпропетровськ-Кривий Ріг, 21-24 квітня 2009 р.); Всеукраїнська наукова конференція молодих вчених “Сучасні проблеми геологічних наук” (Київ, 6-8 квітня 2009 р.); Міжнародна молодіжна наукова конференція “Планета – наш дім” (Алчевськ, Луганська область, 16 квітня 2010 р.); Міжнародна науково-технічна конференція “Еколого-економічні проблеми Карпатського Євротеріону (ЕЕПКС-2011)” (Івано-Франківськ, 25 травня

2011 р.): Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених і студентів “Безпека об’єктів нафтогазового комплексу” (Івано-Франківськ, 5-7 жовтня 2011 р.); Міжнародна науково-практична конференція “Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування” (Івано-Франківськ, 20-22 вересня 2012 р.); Міжнародна науково-практична конференція молодих учених та студентів “Техніка і прогресивні технології у нафтогазовій інженерії-2012” (Івано-Франківськ, 5-7 листопада 2012 р.); VI конференція молодих спеціалістів ПАТ “Укрнафта” “Вклад молодих спеціалістів Товариства в розвиток нафтогазового комплексу України” (Івано-Франківськ, 17-19 червня 2014 р.). У повному обсязі результати досліджень доповідались і обговорювались на засіданні кафедри безпеки життєдіяльності та науковому семінарі інженерно-екологічного факультету в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу (2010-2014 р.р.).

**Публікації.** Основні положення, викладені у дисертаційній роботі, опубліковані у 19 друкованих наукових виданнях, в т.ч. 8 статей у фахових виданнях, рекомендованих Департаментом атестації кадрів МОН України, 7-ми збірниках матеріалів і тез Міжнародних та Всеукраїнських науково-технічних конференцій, 2 статті в іноземному науковому виданні. Отримано два патенти України.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел, додатків та викладена на 140 сторінках друкованого тексту. Дисертація містить 22 таблиці та 23 рисунки. Список використаних літературних джерел містить 162 найменування на 17 сторінках.

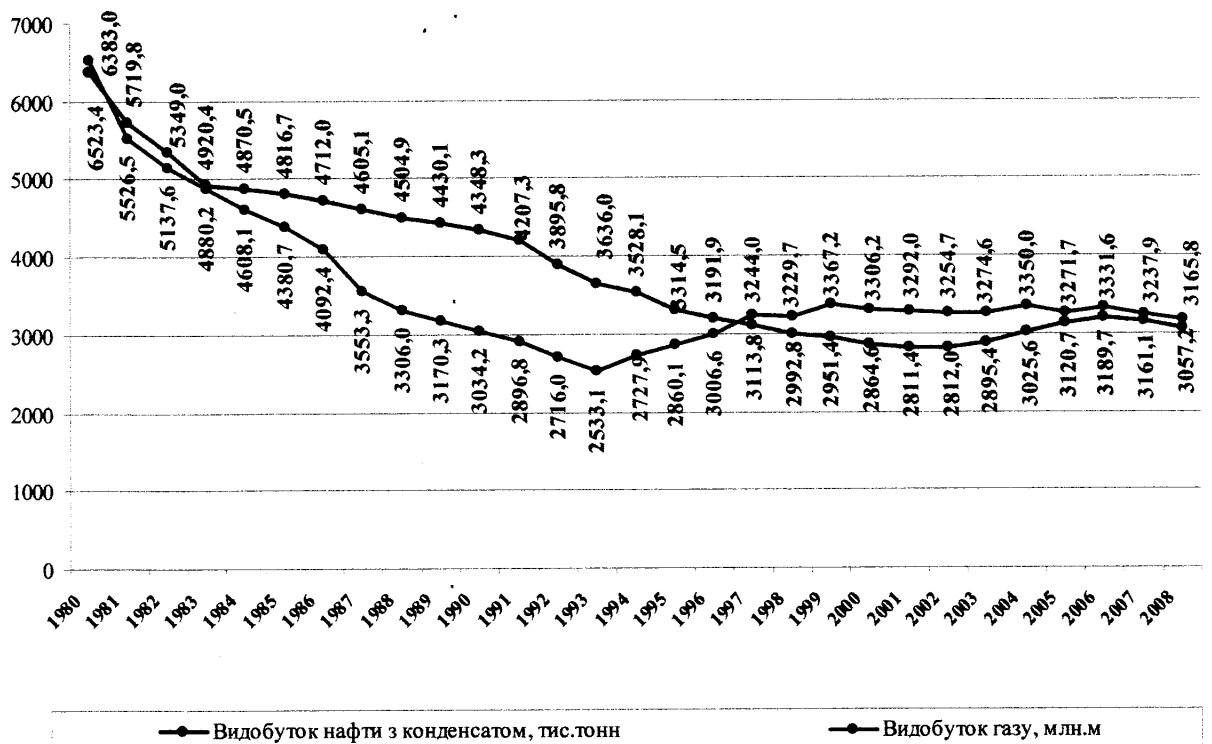


## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ СТАНУ ТА ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ВИДОБУТКУ НАФТИ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

#### 1.1. Короткий огляд стану проблеми.

Розвиток нафтовидобувної промисловості у нашій державі за останнє десятиліття характеризується значним зменшенням приросту видобутку нафти. За 2009 рік найбільшою нафтовидобувною компанією України – ПАТ “Укрнафта” було видобуто 2825,0 тис. т нафти з конденсатом у той час, як у 1997 році цей показник становив 3113,8 тис. т (рис. 1.1).



**Рис. 1.1. Видобуток нафти з конденсатом та газу по ПАТ “Укрнафта” за 1980-2008 роки (за матеріалами ПАТ “Укрнафта”)**

Процес видобування нафти є особливо шкідливим потенційним джерелом забруднення довкілля, при цьому на значних ділянках порушується і забруднюється ґрунтовий покрив, ґрунтові і підземні напірні прісні води, рослинний покрив, повітря. Експлуатація видобувних свердловин,

транспортування нафти супроводжується витіканнями до 2-3 % початкового видобутку [77].

Більшість нафтових родовищ Прикарпаття знаходяться на завершальній стадії розробки, особливістю якої є значне збільшення частки попутних вод під час видобутку корисних копалин. У ряді випадків корисний компонент складає менше 10 % від загального обсягу видобутку. Процеси підготовки нафти, скидання зворотних пластових вод (ЗПВ) у поглинаючі горизонти і використання їх у системі підтримки пластового тиску (ППТ) з часом супроводжуються витратами, які постійно збільшуються і пов'язані з інтенсивним зносом свердловин, очисних споруд та комунікацій, а також із необхідністю проведення спеціальних природоохоронних заходів.

Всі ці технологічні процеси у тій чи іншій мірі призводять до надходження на поверхню ґрунтового покриву та до верхніх водоносних горизонтів мінералізованих промислових вод і нафти.

Для підвищення коефіцієнта нафтовіддачі на Прикарпатті почали широко використовувати систему розробки нафтових родовищ, яка заснована на витісненні нафти водою. Ця система дає можливість підвищити темпи відбору запасів нафти і забезпечує більш високу ступінь вилучення вуглеводнів при менших капітальних затратах. Такий підхід до вирішення проблеми зменшення нафтовидобутку несе у собі велику загрозу для ґрунтових і підземних напірних прісних вод.

Негативний вплив нафтогазової промисловості на навколишнє середовище та його окремі об'єкти обумовлений токсичністю природних вуглеводнів, великою кількістю хімічних речовин, що використовуються у технологічних процесах, а також постійно зростаючими темпами видобутку нафти і газу, їх підготовки, транспортування, зберігання, переробки і широкого використання [136].

Пізня стадія розробки родовища характеризується видобутком разом з нафтою пластової солянки у кількості 10-20 м<sup>3</sup>/т. Ця вода нагнітається назад у нафтоносні пласти для витіснення нафти, а частково у поглинальні водоносні

горизонти із солянками близького хімічного складу [132].

Масштаби та інтенсивність впливу мінералізованих вод на природний стан екосистем несуть значно більшу шкоду ніж вплив нафти та нафтопродуктів [120, 134]. У працях [147, 160] наведено ряд прикладів сольового забруднення підземних вод, які свідчать про те, що боротьба з ними представляє собою складне завдання і вимагає спеціальних природоохоронних заходів.

Основи загальної концепції охорони гідросфери у районах інтенсифікації видобутку нафти викладені у роботах вітчизняних та закордонних вчених: Адаменка О.М., Барановського В.Д., Боревської Н.В., Борзакова Л.А., Бородавкіна П.П., Васильєва А.М., Веселкова С.В., Гаврилова І.Т., Говдяка Р.М., Гольдберга В.М., Кесельмана Г.С., Косаргина В.Г., Лебедєва Б.Я., Леонова В.П., Лозоновської І.М., Панова Г.С., Піковського Ю.І., Попова А.А., Порохова А.А., Рачевського Б.С., Севастьянова О.М., Семчука Я.М., Титова Н.А., Helfrich J.A., Hunt E.W., Jenkins T.F., Parker I.V. та інших вчених. Результати досліджень цих науковців дозволили закласти теоретичні основи та впровадити на практиці методи захисту поверхневих та ґрунтових вод у районах техногенного впливу нафтових родовищ.

Усі технологічні процеси у нафтовій промисловості при відповідних умовах можуть порушити екологічну обстановку. Нафта, зворотні пластові та стічні води, що вміщують різноманітні хімічні з'єднання, здатні негативно впливати на гідросферу. У значній кількості вони проникають у водойми та інші екологічні об'єкти:

- при поривах водоводів, нафтопроводів;
- при порушенні герметичності колони у свердловині і технологічного обладнання;
- при застосуванні методів інтенсифікації видобутку нафти;
- при скиданні неочищених промислових стічних вод у поверхневі водойми.

На Долинському нафтовому родовищі для технологічних процесів видобутку нафти використовують зворотні пластові води і прісні води з власних водозаборів на річках Свіча та Чечва. Вода використовується для заводнення

продуктивних пластових горизонтів, підтримки пластового тиску, компенсації відбору сировини з продуктивних горизонтів. Наведені технологічні процеси дозволяють також утилізувати зворотні пластові води, які видобуваються з продукцією, та різного роду забруднені води, які утворюються на виробництві. Зворотні пластові води мають високу мінералізацію і характеризуються підвищеним вмістом хімічних сполук, що перевищують значення ГДК у сотні, і навіть тисячі разів (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

**Фізико-хімічна характеристика зворотних вод, що закачуються у продуктивні пласти Долинського нафтового родовища (за матеріалами НГВУ “Долинанафтогаз”)**

Параметри	Одиниці виміру	Значення показників							
		план.	факт.						
Об'єм закачування	тис. м <sup>3</sup> /рік	1500,0	1501,038						
Вміст завислих речовин	мг/дм <sup>3</sup>	фактичний 300,0	допустимий 20,0						
Вміст нафтопродуктів	мг/дм <sup>3</sup>	фактичний 94,2	допустимий 15,0						
Вміст розчиненого кисню	мг/дм <sup>3</sup>	відсутній							
Вміст розчиненого вуглекислого газу	мг/дм <sup>3</sup>	580							
Корозійна активність	мм/рік	0,137							
Вміст СВБ	кл/мл	10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup>							
Хімічний склад води, що закачується, мг/дм <sup>3</sup>									
Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K+Na	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Fe <sub>зал</sub>
24425,7	670,3	573,4	—	841,6	340,5	15224,0	—	—	—
Загальна мінералізація	мг/дм <sup>3</sup>	фактична 41676,32		допустима 1000					
pH		6,1		7,0					

Із вище наведених даних можна зробити висновок, що вода, яка

нагнітається у пласт не відповідає вимогам до її якості.

За даними НГВУ “Долинанaftогаз” річний об’єм повторно використаних вод у 2009 р. склав 2477.8 тис. м<sup>3</sup>. Для порівняння – у 2008 р. – 2411.6 тис. м<sup>3</sup>, у 2007 – 2106.9 тис. м<sup>3</sup> води.

Значний вклад у вирішення проблеми забруднення гідросфери у районах інтенсифікації видобутку нафти внесли такі вчені як: Васильєва А.Н. [29], Гаєв А.Я. [38], Журавель Н.Е. [67], Ібрагімов Р.Л. [72, 73], Лилак Н.Н. [68], Петряшин Л.Ф. [109], Рудько Г.І. [119, 121], Тарасов Б.Г. [140] та інші.

При забрудненні водоносних горизонтів формуються ареали сольових забруднень, які поступово збільшують радіус свого поширення і захоплюють ділянки чистих природних вод.

Повністю ліквідувати утворені ареали забруднень і відновити якість підземних вод є практично неможливим завданням.

Запобігання можливого негативного впливу на довкілля при експлуатації нафтових родовищ та збереження життєво-забезпечуючих функцій природного середовища у даний час розглядається як одна з найважливіших та актуальніших проблем [109].

Методичні розробки спрямовані на покращення екологічної ситуації у нафтогазовидобувних районах було закладено ще у 1964 році такими вченими як Е.Е. Керкис і Е.В. Лехтім’як. Окремі питання з цієї проблеми в подальшому були висвітлені у працях А.С. Белицького, В.М. Гольдберга, Б.Ю. Депутата, В.М. Мироненка, Е.І. Орлової, Н.І. Плотнікова, Я.М. Семчука, В.М. Шестакова та інших вчених.

У роботі [130] досліджено джерела і шляхи сольового забруднення ґрунтових вод пластовими водами при експлуатації нафтових і газових родовищ. Встановлено, що у межах Північно-Долинського нафтогазоконденсатного родовища, де застосовують систему для підтримки пластового тиску, виникла проблема сольового забруднення пластовими водами ґрунтових вод.

Враховуючи велику ймовірність нанесення шкоди навколишньому середовищу необхідно серйозно ставитися до оцінювання технічної

характеристики обладнання свердловини і здійснювати пильний контроль за операціями, що проводяться на родовищі. Якщо існує ризик виникнення витоків з неправильно ліквідованих свердловин, необхідно у ході операції контролювати якість води у всіх водоносних горизонтах.

Для ефективного вирішення проблем охорони і раціонального використання підземних вод особливого значення набуває розробка методів прогнозу процесів міграції зворотних пластових вод. Основи теорії міграції викладені в ряді робіт вітчизняних і зарубіжних вчених: С.Ф. Аверьянова, Ф.М. Бочевера, Н.Н. Веригіна, В.А. Мироненка, В.М. Шестакова та інших.

Однак проблема, що розглядається є складною та багатогранною і ще далека від свого вирішення.

У дослідженнях [98] наведені твердження про доцільність використання зворотних пластових вод у процесі інтенсифікації видобутку нафти на кінцевій стадії розробки нафтових родовищ і незаперечні переваги такої системи, які полягають у зменшенні споживання свіжої води і захисті природних водойм від забруднень мінералізованими водами.

На сьогоднішній день видобуток нафти і газу проводиться без належного екологічного контролю [105]. У зв'язку з назрілою проблемою виконання вимог законів України, зокрема “Про екологічну експертизу”, “Про відходи” та “Охорону навколишнього природного середовища” постає важлива науково-практична проблема з проведення оцінки екологічного стану поверхневих і підземних вод у районі інтенсифікації видобутку нафти.

Згідно з Законами України “Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення”, статті 105 Водного Кодексу України для оцінки виробництв з позиції впливу на навколишнє середовище та населення, що мешкає у районі діяльності підприємств, ПАТ “Укрнафта” з 1995 почало розробляти “Систему оцінки та прогнозу санітарно-гігієнічного стану питних підземних і поверхневих вод у районах розташування підприємств ПАТ “Укрнафта”.

Факт сольового забруднення зворотними пластовими водами підземних вод, що використовуються для централізованого водопостачання с. Діброва, було

зафіксовано у межах Долинського нафтового родовища, яке експлуатується з використанням системи для підтримання пластового тиску. Родовище приурочене до Внутрішньої зони Передкарпатського передового прогину, що обумовлює його складну тектонічну будову. Промислові поклади нафти належать до менілітових, вигодсько-бистрицьких та манявських відкладів, представлені пластами пісковиків і алевролітів, які розділяються між собою аргілітами або щільними алевролітами.

За лабораторними дослідженнями пластові води менілітових відкладів родовища представляють собою мінералізовані води з мінералізацією  $40,35 \text{ г/дм}^3$  до розсолів з мінералізацією до  $163 \text{ г/дм}^3$ . Пластові води із продуктивних покладів є гідрокарбонатнонатрієвими або хлормагнієвими розсолами.

Внаслідок виявлення значних масштабів сольового забруднення ґрунтових вод, що використовуються для господарсько-питного водопостачання жителів населеного пункту с. Діброва, нами проведено ряд гідрохімічних та гідродинамічних досліджень.

Для фізико-хімічного опробування використовувались проби води, відібрані з колодязів у с. Діброва (табл. 1.2). Дослідженнями зафіксовано потужний ареал сольового забруднення ґрунтових вод, який витягнутий у північно-західному напрямку і відповідає напрямку руху ґрунтових вод (рис. 1.2-1.3). Загальна мінералізація досліджуваних проб води перевищує значення ГДК у 16 разів, про що свідчить проба відібрана з колодязя №4. У воді присутні такі шкідливі компоненти, як іони  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Сольове забруднення ґрунтових вод мало місце і на землях Підберезької сільської ради Болехівської міської ради.

Витік зворотних пластових вод виник внаслідок прориву нагнітального водопроводу поблизу п'ятого групового збору НГВУ "Долинанафтогаз".

Таким чином, забруднення ґрунтових і підземних вод призводить до того, що вони стають непридатними для господарського використання, а іноді і для технічних потреб.

## Хімічний склад ґрунтових вод у колодязях населеного пункту с. Діброва

Номер колодязя	Аніони, мг/дм <sup>3</sup>			Катіони, мг/дм <sup>3</sup>			Мінералізація, мг/дм <sup>3</sup>
	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup> + Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	
1	1656,3	267,45	333,33	667,12	249,82	639,13	3813,15
2	1513,57	387,95	253,02	849,13	225,12	509,28	3738,07
3	1412,62	329,18	265,46	837,52	233,6	424,45	3502,83
4	4221,99	2318,18	2240,69	2918,85	2202,49	2598,42	16500,62
5	1850,8	518,91	509,24	1216,25	252,96	553,45	4901,61
6	2045,59	539,13	445,35	978,47	314,62	701,64	5024,78
7	2021,0	445,48	354,07	999,49	230,9	745,12	4796,04
8	1569,83	865,45	766,18	1244,01	423,27	655,17	5523,93
9	1554,15	765,09	722,05	455,52	265,43	1028,30	4790,54
10	1610,18	679,6	772,85	833,78	302,79	735,77	4934,97
<b>ГДК, мг/дм<sup>3</sup></b>	<b>250</b>	<b>250</b>	<b>30</b>	<b>250</b>	<b>40</b>	<b>180</b>	<b>1000</b>



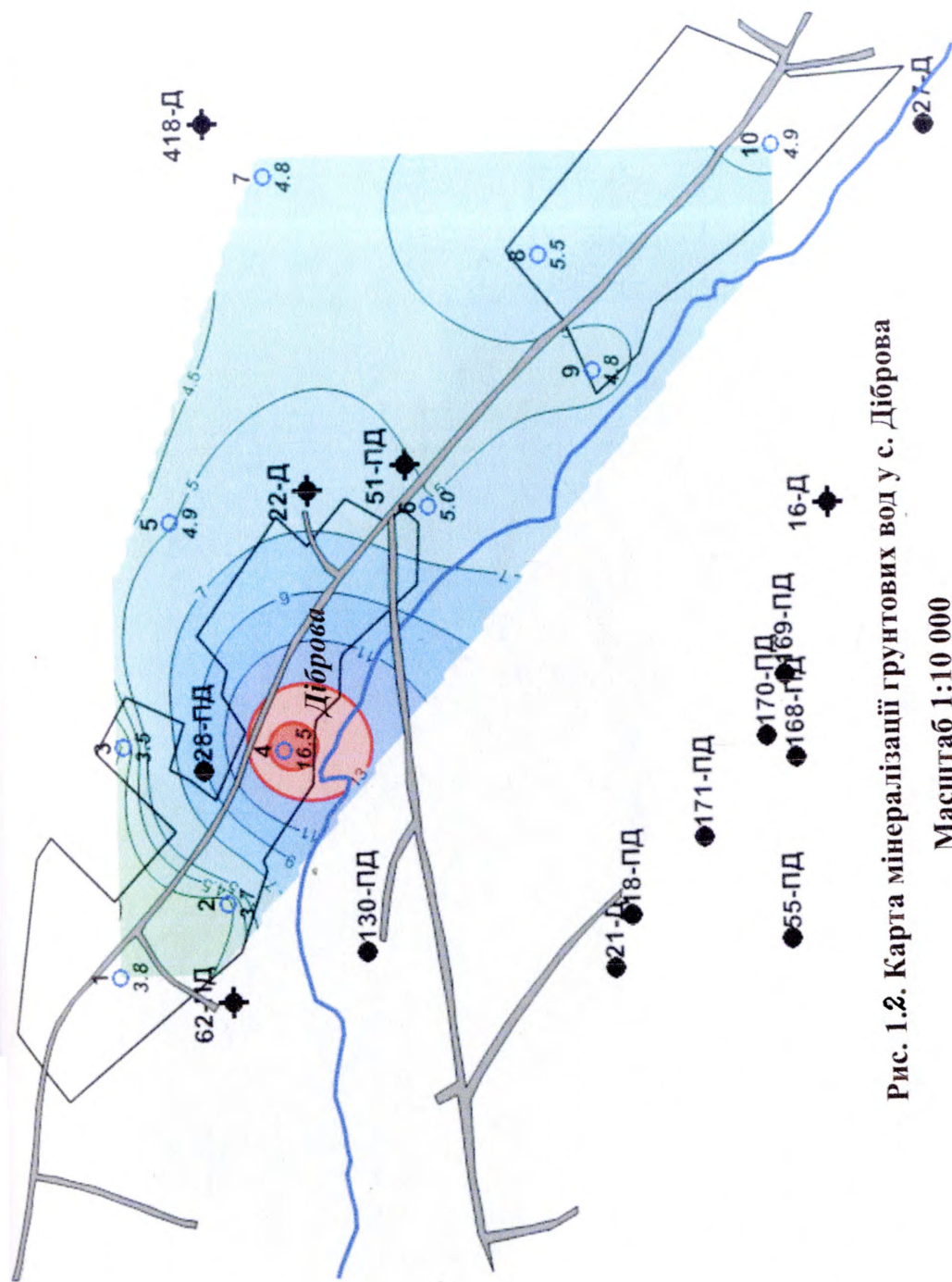


Рис. 1.2. Карта мінералізації ґрунтових вод у с. Діброва

Масштаб 1:10 000

#### Умовні позначення

● 28-ПД - нафтова свердловина та її номер

○ 5  
4,2 - криниця та її номер  
- мінералізація води (г/дм<sup>3</sup>)

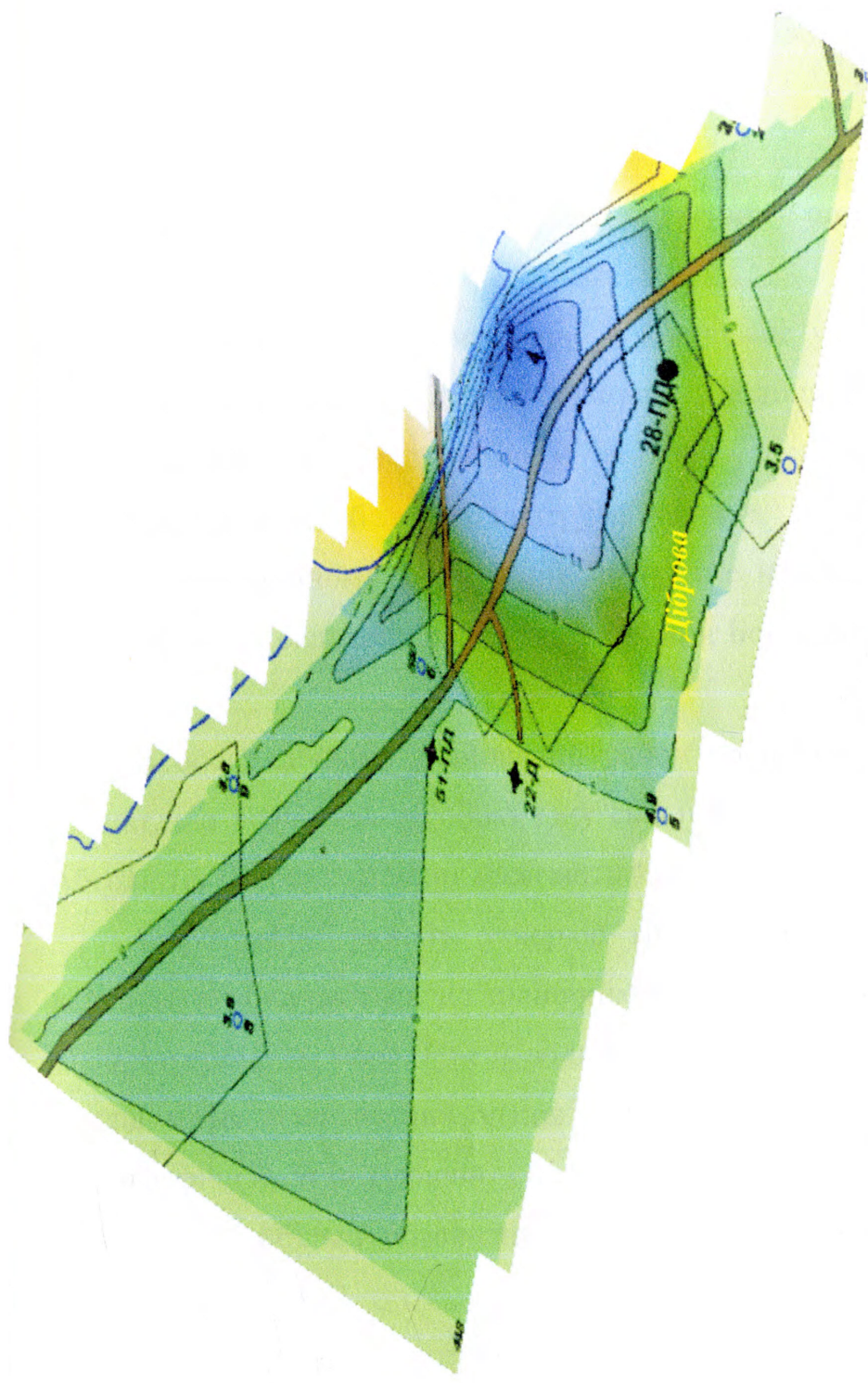
--- - ізопіси мінералізації

— - річка Лучава

● 418-Д - нагнітальна свердловина та її номер



d534



**Рис. 1.3. Карта мінералізації ґрунтових вод у с. Діброва (просторове зображення)  
Масштаб 1:10 000**

**Умовні позначення**

- 28-ПД - нафтова свердловина та її номер
- 4,2 ○ - мінералізація води (г/дм<sup>3</sup>)
- 5 ○ - криниця та її номер

- - ізолінії мінералізації
- - річка Лучава
- ⊕ 418-Д - нагітальна свердловина та її номер

Цей фактор представляє загрозу для здоров'я людини, а також згубно впливає на тваринний і рослинний світ водойм.

На основі проведеного аналізу стану цієї проблеми сформульовано мету та завдання дисертаційної роботи.

## **1.2 Загальна характеристика Долинського нафтового родовища.**

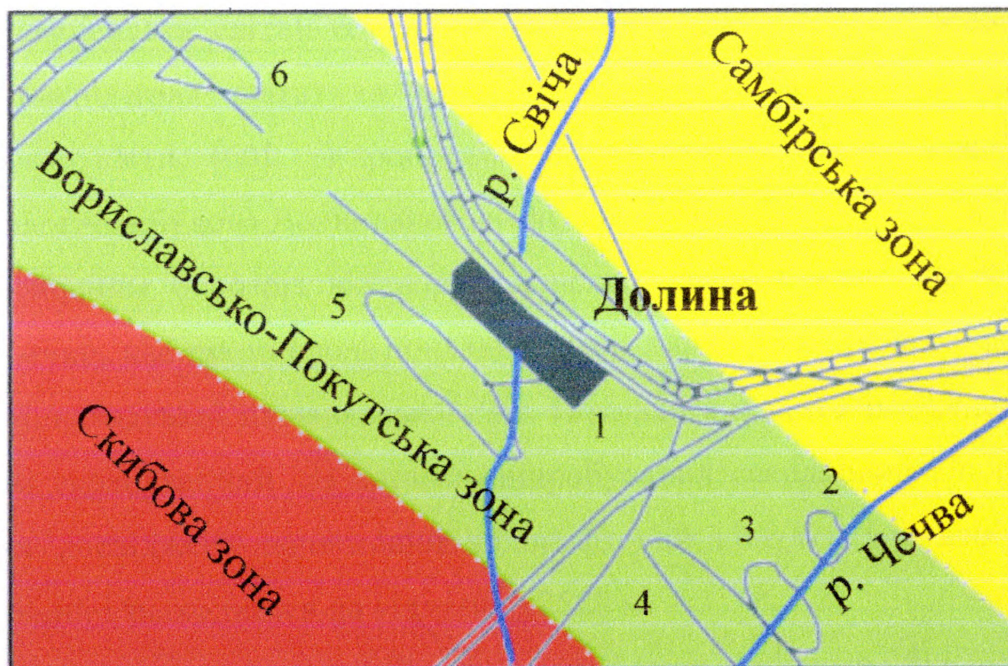
Долинське нафтове родовище розташоване у Долинському районі Івано-Франківської області на відстані 5 км від м. Долина. Місто Долина є найбільшим населеним пунктом, розташованим частково у зоні гірничого відводу родовища. Воно віддалене від обласного центру на 60 км.

У тектонічному відношенні Долинське нафтове родовище знаходиться у першому ярусі складок центральної частини Бориславсько-Покутської зони (рис. 1.4).

В орографічному відношенні район родовища відноситься до передгір'я Карпат, що представляє собою зону сильнорозвинутої системи рік, ярів і балок. Абсолютні висоти поверхні досягають 427-452 м.

Гідрографію району утворює група річок, які своїми розгалуженими верхів'ями починаються на північних схилах Карпатських гір на висоті понад 1000 м над рівнем моря. Рівень води у річках непостійний і залежить від кількості опадів. Сума атмосферних опадів становить 900-1500 мм/рік. Загальна довжина гідрографічної сітки становить 353,5 км, у тому числі ріки – 144,8 км, струмки – 188,7 км. Найбільш розвинена сітка правих притоків р. Дністер: ріки Свіча, Саджава, Лужанка.

Клімат району помірно-континентальний. Середня річна температура становить плюс 5,1 – 7,2 °С; максимальна середньорічна – плюс 19,5 °С, а мінімальна – мінус 9,4 °С. Річна кількість опадів досягає 600-900 мм з максимумом у літній період. Вітри помірні, переважно північно-західні.



Родовища: 1 – Долинське нафтове; 2 – Чечвинське нафтове;  
 3 – Струтинське газонафтове; 4 – Спаське нафтове;  
 5 – Вигодсько-Витвицьке; 6 – Танявське нафтогазоконденсатне

**Рис. 1.4. Схема розташування Долинського нафтового родовища [9]**

У Долинському районі розміщені нафтогазовидобувніс управління “Долина нафтогаз”, яке здійснює розробку і експлуатацію нафтових та нафтогазоконденсатних родовищ; управління бурових робіт, яке займається геолого-розвідувальними роботами на буріння свердловин.

Видобуток нафти на Долинському родовищі розпочато у 1950 р. із менілітового покладу. Промислова нафтоносність вигодських і манявських відкладів була встановлена тільки у 1956-1958 р.р.

### **1.2.1. Геологічне середовище родовища.**

Долинське нафтове родовище пов'язане з одноіменною складкою Бориславсько-Покутської зони Передкарпатського прогину. У геологічній будові структури беруть участь флішові утворення верхньої крейди (стрийська світа),

палеоцену (ямненська світа), еоцену (манявська, вигодська, бистрицька світи), олігоцену (менілітова світа) та моласові відклади міоцену (поляницька і воротищенська світи) [60]. У роботах [88, 100, 143] детально розглянута та описана геологічна будова Долинського нафтового родовища.

Нафтоносним є розріз від воротищенської світи міоцену до манявської еоцену включно, але промислові поклади наявні лише в утвореннях менілітової, бистрицької, вигодської та манявської світ. Поклади є пластовими склепінними з тектонічним екрануванням. За даними випробування свердловин і промислово-геофізичних досліджень початковий водонафтовий контакт для всіх покладів горизонтальний і знаходиться на відмітці – 2520 м.

Висота складки у межах Долинського блоку становить більше 1500 м. Глибина залягання продуктивної частини вигодсько-бистрицького покладу знаходиться у межах 1600-3000 м. Основними колекторами є пісковики і алевроліти. Піски колекторів мають зелено-сірий, сірий колір, дрібно- і середньозернисті. Часто розбиті тріщинами, які наповнені кальцитом.

Скупчення нафти у розрізі менілітової світи містяться у пластах пісковиків та алевролітів. Вся товща ділиться на три горизонти: перший – верхньоменілітова, другий – середньоменілітова і третій – нижньоменілітова підсвіта. У кожному з них виділяють від 4-6 до 15-20 пластів пісковиків товщиною 0,5-8 м. Піскуватість зростає з глибиною.

Відклади менілітової світи представлені чергуванням пісковиків, аргілітів і алевролітів. Пісковики міцно сцементовані і володіють дуже слабкою проникністю. Проникність пісковиків у законтурній зоні зазвичай становить 0,5 мілідарей, що обумовлює слабкі притоки води [48].

Менілітова світа (олігоцен) поділяється на три підсвіти: нижню-, середню- і верхньоменілітову. По літологічній характеристиці у нижньоменілітовій підсвіті виділяється 6 горизонтів (знизу вгору): шешорський, роговиковий, аргілітовий, клівський, горизонт других зеленувато-сірих аргілітів і піщано-аргілітовий. Шешорський і роговиковий горизонти представлені перешаруванням чорних аргілітів, сірих і темно-сірих алевролітів і пісковиків з окремими прошарками

темно-сірих, кремнистих вапняків. Товщина шепорського горизонту 8-16 м, роговикового 10-25 м. Аргілітовий горизонт товщиною 20-40 м складений аргілітами з прошарками пісковиків та алевролітів. Клівський горизонт товщиною 20-50 м представлений чергуванням аргілітів, алевролітів і пісковиків. Горизонт других зеленувато-сірих аргілітів (25-50 м) представлений аргілітами, що чергуються з тонкими (5-20 мм) прошарками алевролітів і пісковиків. Піщано-аргілітовий горизонт (горизонт п'яти пластів) виражений чергуванням пісковиків і аргілітів при домінуючому значенні пісковиків. Загальна товщина нижньоменілітової підсвіти у межах першого структурного ярусу складас 200-280 м.

Середньоменілітова підсвіта за літологічним складом поділяється на два горизонти: зеленувато-сірих аргілітів, складений аргілітами з незначними по товщині пропластками алевролітів і пісковиків, і піщано-аргілітовий високого опору, представлений частим чергуванням дрібнозернистих пісковиків з алевролітами і аргілітами. Загальна товщина підсвіти змінюється від 85 до 200 м.

На розмитій поверхні піщано-аргілітового горизонту високого опору, згідно [22, 37, 24], залягають відклади верхньоменілітової підсвіти у розрізі якої виділяють чотири горизонти: піщано-аргілітовий підвищеного опору, туфітовий, надтуфітовий і аргіліто-алевролітовий. Представлені вони в основному аргілітами у чергуванні з алевролітами і пісковиками, товщина яких змінюється від декількох міліметрів до 0,2-1 м і тільки туфітовий горизонт представлений товщиною щільних темно-сірих туфітів і аргілітів з прошарками алевролітів і пісковиків. Товщина верхньоменілітової підсвіти в північно-східному напрямку інтенсивно зменшується. У результаті цього товщина менілітової світи у межах Долинського родовища змінюється від 100 до 1650 м. Ефективна нафтонасичена товщина складає 48 м.

Другий об'єкт розробки об'єднує поклади бистрицької та вигодської світ. У першій зустрічається від 2 до 7 піщаних пластів, у другій – 11-20 пластів, які містять основну частину запасів родовища.

Вигодська світа (еоцен) до якої приурочені основні запаси нафти у районі, що досліджується, представлена товщиною масивних товстошаруватих пісковиків з прошарками алевролітів і аргілітів. Пісковики жовтувато- або бурова то-сірі, середні- і дрібнозернисті, іноді з прошарками і лінзами крупнозернистих пісковиків, гравелітів і навіть конгломератів. Загальна товщина вигодської світи змінюється від 40 до 150 м, ефективна – до 83 м.

Вигодсько-Бистрицький поклад включає в себе Вигодську та Бистрицьку світи. У Долинській складці відклади цієї світи представлені товстошаруватими пісковиками розділеними алевролітами і аргілітами. Пісковики Вигодської світи сірі, темно-сірі, зеленувато-сірі. Алевроліти світло-сірого, сірого, рідше зеленувато-сірого і темно-сірого кольору, кварцеві, крупнозернисті з примазками вапняку.

Серед пісковиків у верхній і нижній частинах світи зустрічаються прошарки конгломерата, що складається із зерен кварцу, зеленувато-сірих сланців, вивітрених вапняків, пісковиків і зеленуватих аргілітів. Опір пісковиків у продуктивній частині сягає від 70 до 100 Ом. Товщина світи складає 90-140 м (співвідношення пісковиків 50-70 %).

Розріз бистрицької світи (еоцен) представлений піщано-аргілітовим (попельський шар) і сланцевим (бистрицький шар) горизонтами. Піщано-аргілітовий горизонт виражений ритмічним чергуванням аргілітів, алевролітів і пісковиків. У розрізі Долинської складки піщуватість досягає 30-40 %, на крилах зменшується до 10 %. Сланцевий горизонт характеризується відсутністю конгломератів і представлений глинистими сланцями з прошарками щільного мергеля. Загальна товщина світи складає 110-150 м.

Попельська фація представлена вапнистими аргілітами з прошарками пісковиків і середньозернистих алевролітів. В цілому для попельської фації максимальна піщаність (30-40 %) простежується у приклепінній частині структури.

Бистрицька фація представлена аргілітами з рідким чергуванням прошарків алевролітів. Аргіліти не вашиєті. В цілому Бистрицька фація характеризується відсутністю в її розрізі колекторів.

Утворення манявської світи є третім об'єктом розробки, що охоплює до 8 піщаних пластів. Літологічно горизонт представлений перешаруванням аргілітів, іноді зустрічаються малопотужні прошарки сірого пісковика. Загальна товщина манявської світи складає 220-260 м.

### **1.2.2. Водне середовище родовища.**

Перші відомості про підземні води Долинського родовища були отримані у 1951р. На той час водоносні горизонти були відомі тільки в соленосних відкладах міоцену, тобто у воротищенській серії нижнього міоцену. Більш древні утворення (поляницька та менілітова серії олігоцену) до того часу були вскриті тільки однією свердловиною, яка отримала із менілітових відкладів чисту нафту без води.

Перші свідчення про отримання пластових вод із менілітових відкладів Долинської складки були наведені у геологічному звіті нафтопереробного управління "Долинанафта" у 1965 році де зазначається, що на глибині 1495 м менілітових відкладень отримано приплив пластової води з дебітом 500 м<sup>3</sup>/добу [46].

Розгляд даних про водопроявлення, встановлені по свердловинах Долинського родовища, наводить на думку, що у товщі порід, які складають Долинську структуру, водоносними є міоценові (воротищенська серія), олігоценові (менілітова серія) та еоценові відклади. У кожному з наведених комплексів порід підземним водам притаманний своєрідний геохімічний склад.

За лабораторними дослідженнями пластові води менілітових відкладів відносяться до гідрокарбонатнонатрієвого або хлормагнієвого типу з мінералізацією 132-148 г/дм<sup>3</sup>. Води еоценових відкладів відрізняються від води менілітових відкладів меншою мінералізацією – 62,64-86,32 г/дм<sup>3</sup> і за хімічним



складом відносяться до хлоркальцієвого типу. Густина води змінюється у межах 1070-1180 кг/м<sup>3</sup>.

Хімічний склад вод із менілітових відкладів наведено у таблиці 1.3. За хімічним складом менілітові води є неоднорідні і належать до двох генетичних типів: хлоркальцієвого і гідрокарбонатнатрієвого (згідно з класифікацією В.А. Суліна). Води обох типів входять у групу хлоридних, підгрупу натрієвих, клас S<sub>1</sub>. Води високомінералізовані (2640-3900 мг·екв/л).

Питома вага води становить 1,072 г/см<sup>3</sup>.

Хлорбромний коефіцієнт є високим і досягає декількох тисяч. Води характеризуються вмістом нафтових кислот (6-17 мг·екв/л).

Відмінність хімічного складу вод менілітових відкладів, викликана тим, що води у різних свердловинах отримані із різних інтервалів менілітової серії. Для еоценових відкладів вивчались в основному пластові води вигодської і манявської світи.

Дані про пластові води бистрицької світи відсутні, оскільки дослідження водоносної частини бистрицької світи не проводились окремо, а здійснювалися комплексно із випробуванням покладів вигодських відкладів, тому, що колекторські властивості бистрицьких відкладів набагато гірші у порівнянні з вигодськими [48]. Найбільш повні дані отримані по пластових водах вигодської світи, водоносна частина яких вскрита більш ніж десятком свердловин.

Вигодська світа представлена пісковиками потужністю 80-100 м.

Із вигодських відкладів отримано притоки мінералізованих вод (загальна мінералізація 4900-7200 мг·екв/л). Питома вага вод коливається від 1,07 до 1,15 г/см<sup>3</sup>. Води відносяться до хлоркальцієвого типу, хлоридної групи, натрієвої підгрупи, класу S<sub>1</sub>. У водах встановлено нафтові кислоти, вміст яких доходить до 11,8 мг·екв/л. Води кислі (рН = 5-6).

За хімічним складом води манявської світи є подібними до пластових вод вигодських відкладів, але характеризуються більш високою мінералізацією (до 9150 мг·екв/л), питома вага – 1,178 г/см<sup>3</sup>. Води кислі (рН = 5,0-6,5). У водах присутні нафтові кислоти (до 14,2 мг·екв/л).

## Характеристика вод Долинського нафтового родовища

Номер свердловини	Водоносний горизонт	Питома вага, кг/м <sup>3</sup>	Хімічний склад, мг-екв/л										Сольові характеристики			
			Cl	Br	I	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Na+K	Ca	Mg	Затратна мінералізація, мг-екв/л	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	
36	Менілітова серія	1070	1858	1.60	-	0.9	3.0	1425.5	336.0	104.0	3729.0	76.70	23.12	-	0.18	
53	//-//	1055	1207	1.80	-	5.8	104.0	1315.7	1.9	1.0	2637.0	92.12	-	7.66	0.22	
544	//-//	1052	1205	0.14	0.18	10.8	162.5	1474.5	2.3	1.9	2757.3	88.20	-	11.5	0.32	
30	Верхньоменілітова світа	1072	1900	1.67	0.13	24.1	2.4	1819.5	101.0	7.9	3856.7	94.34	5.52	-	0.16	
32	//-//	1060	1610	0.75	0.15	2.3	40.0	1476.2	133.4	43.6	3307.4	89.30	8.28	-	3.42	
58	Нижньоменілітова світа	1045	1005	2.05	0.06	6.1	33.0	1031.2	9.3	5.6	2062.3	96.83	-	1.75	1.44	
62	Вигодська+бистрийська світи	1130	3168	1.44	-	10.0	34.0	2471.0	630.0	112.4	6426.8	76.88	22.06	-	1.06	
49	//-//	1140	3631	1.14	0.10	5.7	6.0	2794.0	710.0	140.0	7287.9	76.68	23.16	-	1.16	
548	//-//	1134	3420	4.56	0.12	3.2	3.0	2690.0	546.3	194.5	6861.7	78.40	21.52	-	0.65	
554	Вигодська світа	1127	3347	5.37	-	1.5	3.0	2668.6	537.5	150.8	6714.8	79.60	20.32	-	0.28	
555	//-//	1119	2956	1.18	0.15	1.6	5.0	2371.4	425.9	166.6	5927.8	80.00	19.84	-	0.12	
549	//-//	1105	2408	2.08	0.08	1.7	7.0	2015.0	298.0	105.1	4837.8	83.34	16.36	-	0.21	
269	//-//	1087	2178	3.16	0.10	1.5	3.6	1786.4	281.8	118.2	4372.8	81.70	19.14	-	0.36	
60	//-//	1076	2135	2.32	-	4.0	7.0	1900.7	181.0	66.3	4296.3	88.46	11.22	-	1.23	
58	//-//	1054	1348	0.15	0.11	15.2	18.9	1309.2	48.6	25.6	2765.8	94.68	3.96	-	0.28	
228	Маявська світа	1123	3099	4.38	0.10	1.3	3.2	2413.5	500.0	194.5	6216.0	77.66	22.33	-	0.18	
231	//-//	1179	4560	7.50	0.06	0.6	6.0	3370.0	1000.0	203.8	9148.0	73.66	26.22	-	0.27	
223	//-//	1143	3387	3.88	0.30	1.3	3.0	2654.8	1388.9	351.8	6791.0	78.20	21.72	-	0.58	

На південно-східному Долинському блоці із свердловини № 58 отримані притоки пластових вод із низів менілітової серії та із вигодських відкладів.

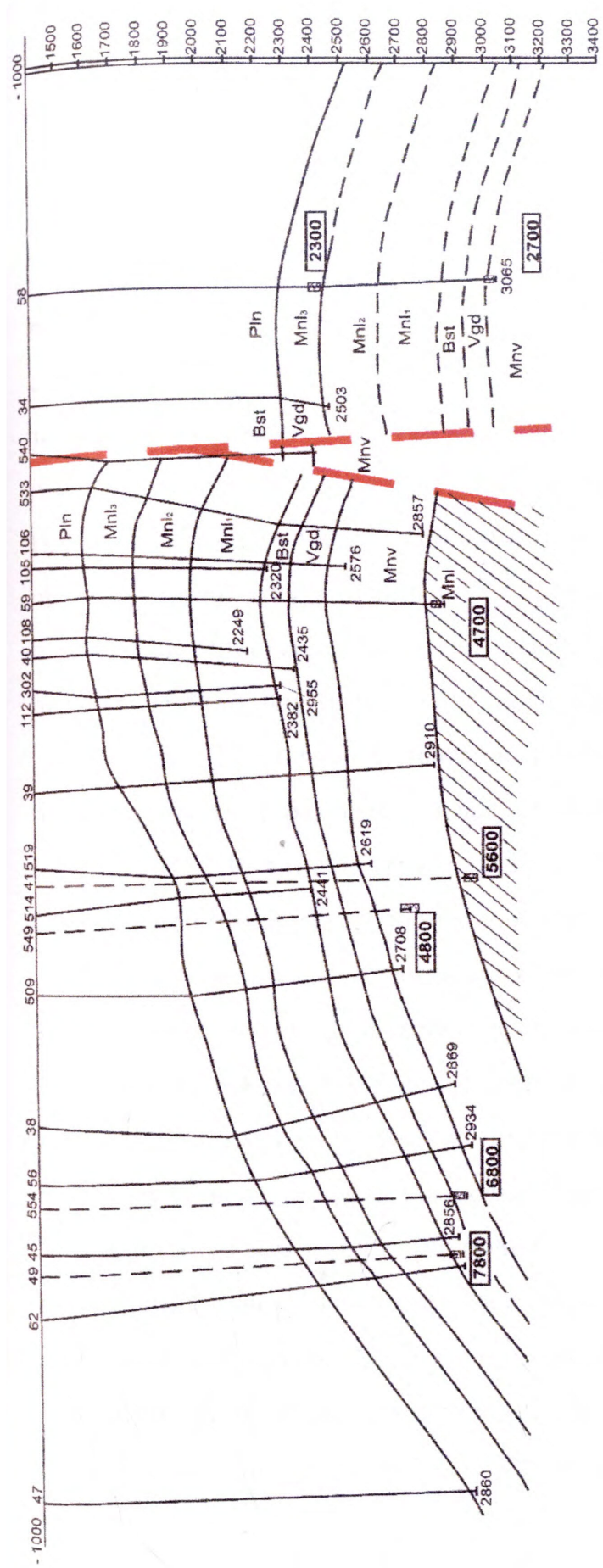
Пластова вода із вигодських відкладів південно-східного блоку з питомою вагою  $1.054 \text{ г/см}^3$  істотно відрізняється від вигодських пластових вод, отриманих із основної частини Долинської площі.

Фізико-хімічна характеристика вод вигодських і манявських відкладів змінюється, як з глибиною так і по площі.

Спостерігається збільшення мінералізації і питомої ваги пластових вод, що свідчить про можливе гравітаційне розшарування останніх.

Порівнюючи гідрохімічні умови північно-західної та південно-східної частини Долинської структури можна відмітити, що північно-західне закінчення структури характеризується підвищеною мінералізацією і більш високою метаморфізацією підземних вод отриманих із еоценових відкладів у той час, як з наближенням до південно-східної частини складки обмеженої скидовим порушенням у породах цього ж віку спостерігається опріснення вод і зниження їх метаморфізації. Наочне відображення цієї послідовності відтворено на повздовжньому гідрохімічному профілі Долинської структури, де позначено зони гідрогеологічного опробування і відповідні величини мінералізації підземних вод (рис. 1.5). Така закономірність свідчить про велику гідрогеологічну закритість еоценових відкладів північно-західної частини Долинської структури, що відповідно до загальноприйнятого правила нафтової гідрогеології характеризує північно-західну ділянку Долинської структури, як більш сприятливу у гідрогеологічному відношенні (у порівнянні з південно-східною частиною) для збереження нафтових і газових покладів.

Порівнюючи розподіл мінералізації вод у склепінні і на крилах складки можна відмітити, що для північно-західної частини характерні більш збалансовані гідрохімічні умови – тут мінералізація вод як у склепінні так і на крилах структури є майже однаковою. Ближче до південно-східної частини структури більш чіткіше прослідковується відмінність гідрохімічних умов у склепінній частині складки і на крилах, причому у склепінні відбувається більш повільніше



Масштаби:  
 Горизонтальний 1:25 000  
 Вертикальний 1:10 000  
 Склад: Сабан В.З. (За матеріалами НГВУ "Долининафтогаз")

**УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ**

- Pln Відклади поляницької серії
- Mnl1 Відклади верхньоменлітрової світи
- Mnl2 Відклади середньоменлітрової світи
- Mnl Відклади нижньоменлітрової світи
- Mnl Менлітові відклади Північно-Долинської структури
- Bst Відклади бистрицької світи
- Vgd Відклади вигодської світи
- Mnv Відклади манявської світи

Тектонічне порушення

Свердловини спроектовані на профіль

Зона гідрологічного опробування

Мінералізація, мг-екв/л

Свердловина  
 62 - номер св.  
 3311 - глибина

5600

40

2435

Рис. 1.5. Повздовжній гідрохімічний профіль Долинської структури

зниження мінералізації води, ніж на крилах. Це дає можливість припускати, що поживлення водообміну більш інтенсивніше відбувається у зоні контурних вод на крилах структури і дещо менше у склепінній частині.

У межах Долинського нафтового родовища можна встановити ділянки структур, що є найбільш гідрогеологічно закритими. На відміну від них ділянки, що відповідають Південно-Долинському блоку характеризуються як структури, які відносно є гідрологічно відкритими. Ближче до південного-сходу знову спостерігається деяка зміна гідрогеологічних умов у сторону закритості. Ці закономірності знайшли графічне відображення на побудованій нами схемі зміни гідрогеологічних умов у структурах Долинського нафтового родовища (рис. 1.6). Наведена схема є досить умовною, але не зважаючи на це вона має великий практичний інтерес, оскільки у певній мірі визначає напрямки подальших досліджень гідрогеологічних зон необхідність яких є особливо важливою для південно-східної частини Долинського району.

Води Долинського нафтового родовища належать до вод застійних басейнів, які характеризуються наявністю затрудненого або відсутнього водообміну. Підвищена мінералізація пластових вод Долинського родовища свідчить про присутність процесів, які призводять до їх концентрування [48].

Води менілітових, еоценових та міоценових відкладів характеризуються значними напорами. Пластові тиски перевищують гідростатичні у менілітових покладах на 5,4-6,8 МПа, а у еоценових – 6,4-7,2 МПа. Дані заміру пластових тисків у менілітових і вигодсько-бистрицьких відкладах наведено у Додатку В.

Грунтові води в межах досліджуваної площі зустрічаються в інтервалі 17,0-20,0 м від поверхні землі і приурочені до гравійно-піщаних відкладів. Води носять споріднений і локальний характер. Водопором даного водоносного горизонту являється водотривка глина без включень піску і сугіску. Розвантаження ґрунтових вод проходить в заболочену балку і далі у праву притоку р. Свіча.

Гідрогеологічний розріз досліджуваного регіону представлено на рисунку 1.7.

зниження мінералізації води, ніж на крилах. Це дає можливість припускати, що поживлення водообміну більш інтенсивніше відбувається у зоні контурних вод на крилах структури і дещо менше у склепінній частині.

У межах Долинського нафтового родовища можна встановити ділянки структур, що є найбільш гідрогеологічно закритими. На відміну від них ділянки, що відповідають Південно-Долинському блоку характеризуються як структури, які відносно є гідрологічно відкритими. Ближче до південного-сходу знову спостерігається деяка зміна гідрогеологічних умов у сторону закритості. Ці закономірності знайшли графічне відображення на побудованій нами схемі зміни гідрогеологічних умов у структурах Долинського нафтового родовища (рис. 1.6). Наведена схема є досить умовною, але не зважаючи на це вона має великий практичний інтерес, оскільки у певній мірі визначає напрямки подальших досліджень гідрогеологічних зон необхідність яких є особливо важливою для південно-східної частини Долинського району.

Води Долинського нафтового родовища належать до вод застійних басейнів, які характеризуються наявністю затрудненого або відсутнього водообміну. Підвищена мінералізація пластових вод Долинського родовища свідчить про присутність процесів, які призводять до їх концентрування [48].

Води менілітових, еоценових та міоценових відкладів характеризуються значними напорами. Пластові тиски перевищують гідростатичні у менілітових покладах на 5,4-6,8 МПа, а у еоценових – 6,4-7,2 МПа. Дані заміру пластових тисків у менілітових і вигодсько-бистрицьких відкладах наведено у Додатку В.

Грунтові води в межах досліджуваної площі зустрічаються в інтервалі 17,0-20,0 м від поверхні землі і приурочені до гравійно-піщаних відкладів. Води носять споріднений і локальний характер. Водопором даного водоносного горизонту являється водотривка глина без включень піску і сугіску. Розвантаження ґрунтових вод проходить в заболочену балку і далі у праву притоку р. Свіча.

Гідрогеологічний розріз досліджуваного регіону представлено на рисунку 1.7.

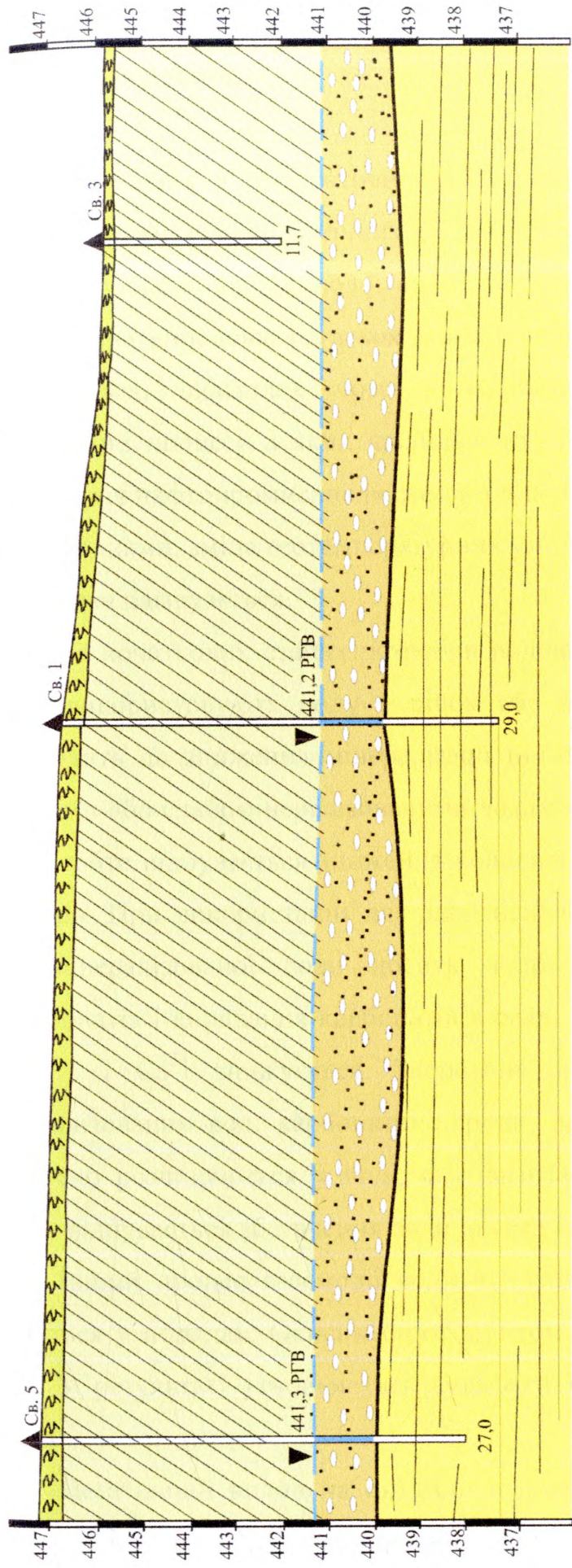




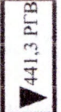


Рис. 1.7. Гідрогеологічний розріз досліджуваного району

МАСШТАБ Гор 1:500  
Верг 1:300

Умовні позначення

-  Грунтово-рослинний шар
-  Суглинок жовтий, жовто-бурий, півтвердий, омарганцюваний
-  Гравійно-піщані ґрунти, водонасичені
-  Глина темно-сіра, комковата, півтвердої консистенції
-  Відмітка рівня ґрунтової води

### 1.3 Забруднення та порушення водоносних горизонтів при експлуатації нафтових родовищ.

Нагнітання у продуктивні пласти чужорідних вод, що супроводжується використанням різних хімічних реагентів 2-4 класу небезпеки [26], викликає безліч проблем як технологічної, так і природоохоронної спрямованості. Сформована впродовж багатьох років рівновага між породою, нафтою і водою порушується, внаслідок чого у нафтових пластах відбуваються складні гідрохімічні процеси з яких найбільш важливими у практичному відношенні є змішування нафтопромислових стоків з пластовою водою, її взаємодія з породами і вуглеводнями, зміна геотемпературних умов, привнесення у пласт кисню разом з водою, яка нагнітається.

На початкових етапах розробки родовищ для підтримки пластового тиску часто використовують воду з річок або верхніх водоносних горизонтів. Це призводить до зниження мінералізації підземних вод за рахунок змішування з прісними або слабомінералізованими водами. Мінералізація знижується до 10-30 г/дм<sup>3</sup>, тобто відбувається зниження концентрації компонентів пластових вод в 5-20 разів. При використанні для заводнення прісної поверхневої, або підземної слабомінералізованої води досить часто відбувається процес розкладання бікарбонатів і випадання карбонатів в осад. У цьому випадку концентрація іонів  $\text{HCO}_3^-$  і  $\text{Ca}^{2+}$  знижується. Зворотній процес відбувається при нагнітанні мінералізованих вод: карбонатні породи, що є колекторами для нафти і газу, посилено розчиняються у воді, яка нагнітається у пласт та містить  $\text{CO}_2$ . При цьому відбувається збагачення води іонами  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  [155].

Інший процес взаємодії води з породами – це окиснення сульфідів, що містяться у породах. Окиснюючим агентом є кисень розчинений у нагнітальній воді. У результаті утворюються сульфати і гідроксиди металів (в основному заліза).

Негативний вплив на підземні водоносні системи при розробці родовищ нафти проявляється при проникненні у них:



- чужорідних літосферних вод та вуглеводнів внаслідок неякісної ізоляції в нагнітальних і експлуатаційних свердловинах;
- чужорідних літосферних вод у процесі законтурного і внутріконтурного заводнення;
- різних хімічних речовин (інгібіторів, обважнювачів), що наповнюють бурові розчини, воду яка використовується у системі підтримки пластового тиску і при комплексних обробках пластів з метою зниження обводненості продукції та підвищення приймальності свердловин [23, 89, 96 104].

При вилученні із надр великих об'ємів флюїду відбувається суттєва перебудова гідродинамічної структури басейну підземних вод, формуються штучно створені гідродинамічні інверсії. Так, за даними Державного управління охорони навколишнього природного середовища в Івано-Франківській області у Долинському нафтогазопромисловому районі формується депресія напору підземних вод нижнього гідрогеологічного поверху, що безпосередньо пов'язана з тривалою та інтенсивною експлуатацією нафтових родовищ. Розмежування напору пластових солених вод від зони прісних з кожним роком збільшується. Порушення рівноважного стану гідродинамічної структури приводить у дію процеси, спрямовані на її квазістабілізацію, провокуючи міжпластові перетоки чужорідних підземних вод по тріщинуватих каналах та гідрогеологічних вікнах [10].

На підставі оцінки стану якості підземних вод Долинського нафтового родовища впливає, що спостереження за підземними водами на території Долинського нафтогазопромислового району мають несистематичний характер, а мережа контрольно-спостережних свердловин за якістю підземних вод – недосконала.

## **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1**

1. Виконано огляд стану проблеми. Визначено, що на сьогоднішній день немає науково обґрунтованих природоохоронних методів та засобів зменшення

техногенного забруднення гідросфери Долинського нафтогазопромислового району.

2. Досліджені потенційні джерела забруднення навколишнього середовища при експлуатації нафтових родовищ на кінцевій стадії розробки, які впливають на природну та соціальну складову, а саме: забруднення ґрунтових і підземних вод, ґрунтів зворотними пластовими водами, синтетичними поверхнево-активними речовинами та іншими хімреагентами.

3. Встановлено, що екологічна проблема сольового забруднення ґрунтових вод, які застосовуються у господарсько-питних цілях виникла у межах розробки Долинського нафтового родовища у селі Діброва. Досліджено, що у воді присутні такі шкідливі компоненти, як іони  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , а мінералізація перевищує значення ГДК у 16 разів.

4. Для зменшення техногенного впливу Долинського нафтового родовища, яке знаходиться на кінцевій стадії розробки, на навколишнє середовище необхідне впровадження нових заходів та засобів екологічної безпеки, розробка та впровадження яких приведені у наступних розділах дисертаційної роботи.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПІДЗЕМНИХ ВОД В УМОВАХ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ

#### 2.1. Джерела забруднення підземних вод.

Зміна гідрогеологічних умов Долинського нафтогазопромислового району істотно пов'язана з інтенсифікацією видобутку нафти. Розробка нафтових родовищ супроводжується значними змінами гідрогеологічних умов як по площі поширення, так і у глиб земної кори. Таке явище пояснюється різким зростанням джерел забруднень на родовищах, що розробляються у районі. Вплив процесів нафтовидобутку на підземні води найбільш виразно і масштабно проявляється на родовищах нафти, які вступили у кінцеву стадію розробки. До таких родовищ відноситься Долинське нафтове родовище, яке і розглядаються у даній роботі.

У загальній класифікації джерел забруднення підземних вод, запропонованої А.Я. Гасвим [39], основними забруднювачами для нафтогазовидобувних регіонів є геотехнологічні (свердловини, КНС, ДНС і ін.) і транспортні (водо- і нафтопроводи) джерела забруднення. При цьому виділяють наступні техногенні чинники, що визначають зміну геологічного середовища та пов'язані з видобутком нафти [21]:

- засолення прісних підземних вод при фільтрації забруднюючих речовин “зверху”;

- засолення підземних вод “знизу” за рахунок розсолів нижніх горизонтів, що проникають через свердловини, літологічні вікна, по тектонічних порушеннях;

- порушення режиму, балансу і осушення водоносних горизонтів;

- розвиток вторинного карсту під впливом циркуляції агресивних солевих вод;

- утворення воронкоподібних перетоків;

- пориви нафтопроводів;
- пориви трубопроводів нафтопромислових стічних вод;
- просідання земної кори.

Найбільш важливим заходом для виявлення та ліквідації джерела забруднення є встановлення місця його локалізації: поверхнєве або підземне забруднення, напрямок надходження солених вод і розсолів у водоносні горизонти: “зверху” або “знизу”.

Під забрудненням “зверху” розуміється інфільтрація вод з поривів нагнітальних водопроводів, при аварійних розливах на насосних спорудах КНС, УКПН і т.д., з тимчасових земляних амбарів, що використовуються у технології буріння, розливи води при розгерметизації нагнітальних свердловин [28, 52]. На даний час більшість випадків виявлення джерел засолення пов'язані з корозією трубопроводів, аварійними розливами при поривах напірних водопроводів і нафтопроводів.

Спочатку забруднюються поверхнєві води річок і струмків, перші від поверхні землі водоносні горизонти. Для досліджуваного регіону це водоносні горизонти четвертинних та неогенових відкладів. Спостереження за розміщенням джерел забруднення показують, що найчастіше вони локалізуються у долинах річок та їх дрібних приток. Як правило, джерела забруднення знаходяться вище по рельєфу, на вододілі і схилі долин. Спочатку забруднюється зона аерації у межах області живлення водоносних горизонтів. Досягнувши перший від поверхні землі водоносний горизонт та засоливши його, ареал забруднення спускається нижче по розрізу і є витягнутим у напрямку розвантаження підземних вод, від вододілу по схилу до долини річки по бортах якої східчасто розвантажуються водоносні горизонти четвертинних відкладів, які піддаються техногенному забрудненню. Саме тому, коли ареал засолення поширюється по всій товщі водоносних порід, реабілітація горизонтів затягується на довгі роки.

У області живлення річок зазвичай знаходиться декілька джерел забруднення і діють вони періодично. Дослідження [96] глибин на яких залягають четвертинні та неогенові відклади показують регіональне забруднення, а на

невеликих глибинах відзначаються дрібні, локальні ареали засолення та зони різної промитості розрізу, що обумовлені впливом рельєфу і рухом ґрунтових та поверхневих вод.

Вирішальну роль при захисті від попадання забруднюючих речовин “зверху” відіграє зона аерації. Складні та неординарні гідрогеологічні умови, які проявляються у зміні водоносних горизонтів, а також присутність численних джерел засолення створюють сприятливі умови для міграції водоносних забруднень.

Під терміном забруднення “знизу” розуміється надходження мінералізованих вод “знизу” за рахунок висхідних перетоків [131, 133]. Шляхами міграції таких перетоків є літологічні вікна, тектонічні порушення, затрубний простір свердловин за відсутності заколонного цементу. Забруднення “знизу” визначається як природними так і техногенними факторами. До природних факторів відноситься надходження розсолів по тріщинуватих каналах, до техногенних – наявність неякісно зацементованого заколонного простору свердловини у випадках, коли поточний пластовий тиск перевищує гідростатичний. Відомі випадки коли через неякісний технічний стан та цементаж експлуатаційних колон і кондукторів здійснювалося “пряме” нагнітання стічних вод у питний водоносний горизонт через наскрізні отвори інтервалу кондуктора.

Результати досліджень [50, 134] свідчать про те, що велику небезпеку з точки зору засолення підземних вод “знизу” представляють зони високих пластових тисків (за наявності свердловин з низьким рівнем підйому цементу і порушенням герметичності колони). Виникаючи при цьому висхідні заколонні перетоки часто досягають рівня прісних підземних вод. Зони підвищених пластових тисків можуть збігатися у плані із зонами інтенсивної тріщинуватості порід. У цьому випадку природні і техногенні фактори діють спільно.

Як бачимо, забруднення підземних вод “знизу” – багатофакторний процес, тому і виявлення цього джерела пов'язане з великими труднощами.

У таблиці 2.1 наводиться характеристика джерел забруднення та пов'язаних з ними забруднювачів прісних підземних вод.

Таблиця 2.1

## Характеристика джерел забруднення ґрунтових вод на нафтопромислах

Тип забруднення	Джерело забруднення	Причини виникнення	Тривалість дії	Типологія джерела забруднення	Шлях проникнення і характер міграційного потоку	Забруднюючі агенти
<b>1. Система збору, транспорту і підготовки нафти та води</b>						
Зверху	1.1 трубопроводи солевих вод	Пориви (корозія і аварії)	Тимчасово	Локальне, регіональне	Інфільтрація у ґрунт. Ареали розтікання	Розсоли, хлориди, броміди, іони натрію, загальна мінералізація
	1.2 нафтопроводи	Пориви	Тимчасово	Локальне	Інфільтрація у ґрунт. Области інфільтрації, ареали розтікання	Розсоли, нафтопродукти, хлориди, броміди, іони натрію, загальна мінералізація
	1.3 кушові насосні станції	Аварії, негерметичність обладнання	Частково, іноді постійно	Локальне	Інфільтрація у ґрунт. Ареали розтікання	Розсоли, хлориди, броміди, іони натрію, загальна мінералізація
	1.4 ставки-відстійники, бурові амбари	Відсутність ізоляції	Постійно	Регіональне	Інфільтрація у ґрунт. Ареали розтікання	Розсоли, хлориди, броміди, іони натрію, загальна мінералізація
	1.5 територія товарних парків	Негерметичність засувки, резервуарів, трубопроводів	Частково	Локальне	Інфільтрація у ґрунт. Ареали розтікання	Розсоли, нафтопродукти, хлориди, броміди, іони натрію, загальна мінералізація
<b>2. Сverdловини</b>						
Зверху	2.1 нагнітальні	Негерметичність устьової арматури, водонафтопрояви на усті, ремонтні роботи	Тимчасово	Локальне	Інфільтрація, ареали розтікання	Розсоли, хлориди, броміди, іони натрію, загальна мінералізація
	2.2 експлуатаційні, розвідувальні та інші	Негерметичність устьової арматури, водонафтопрояви на усті, ремонтні роботи	Тимчасово	Локальне	Інфільтрація, ареали розтікання	Розсоли, нафтопродукти, хлориди, броміди, іони натрію, загальна мінералізація
Знизу	1. тектонічні тріщини, літологічні вікна	Підвищення пластового тиску у зв'язку із нагнітанням води	Постійно	Локальне, регіональне	Міграція по тріщинах, міграція по прониклих пластах у зв'язку із порушенням водоупору	Розсоли, сульфати, хлориди, броміди, загальна мінералізація, іони натрію

## закінчення таблиці 2.1

2. свердловини, зазвичай нагнітальні	Порушення герметичності обсадних колон, відсутність цементу за колоною і кондуктором, підвищення пластового тиску	Постійно, тимчасово	Докальне, регіональне	Порушення простір за колоною без цементу	Розсоли, сульфати, хлориди, загальна мінералізація
--------------------------------------	---	---------------------	-----------------------	--	--

Під впливом сукупності перерахованих чинників у гідрогеологічному розрізі створюються умови, які можуть призвести до незворотних процесів забруднення і непридатності, як прісних підземних вод, так і поверхневих вод, що використовуються для цілей питного водопостачання населення.

Техногенний вплив джерела забруднення нафтовидобувних об'єктів на зону поширення прісних підземних вод тягне за собою зміну гідрохімічних умов формування складу останніх. Сформований склад води у природних умовах представляє собою фон на якому відбувається розвиток техногенних процесів [44; 73; 96].

При забрудненні найбільший геохімічний ефект мають процеси змішування прісних вод з мінералізованими водами глибоких горизонтів, які так чи інакше ("зверху" або "знизу") поступають у зону прісних підземних вод. При цьому процеси фільтрації виконують головну роль у переносі речовини у верхніх водоносних горизонтах, як у природних умовах (при інфільтрації атмосферних опадів і їх змішуванні з природними водами), так і у порушених (при змішуванні вод різного складу і мінералізації).

## 2.2. Вплив нафтових родовищ на фізико-хімічні властивості води.

За даними НІВУ "Долинанафтогаз" щорічний обсяг видобутих разом з нафтою пластових вод становить 1680 тис.м<sup>3</sup>. Техногенний вплив на навколишнє середовище спостерігається при розробці нафтових родовищ з використанням методу підтримки пластового тиску. Даний метод заснований на

нагнітання у пласти мінералізованої води, що з часом призводить до порушення природних гідрогеологічних умов, а зокрема до зміни хімічного складу пластових вод. Внаслідок нагнітання значних об'ємів води, яка відрізняється від пластової, як за генезисом так і за хімічним складом, відбувається істотне порушення гідрогеологічних умов.

Нагнітання води у пласт здійснюється на Долинському (менілітовий, вигодсько-бистрицький і манявський поклади), Північно-Долинському (менілітовий поклад II ділянки Болехівського блоку та I ділянки Долинського блоку і еоценовий поклад), Струтинському (менілітовий і вигодський поклади) і Спаському (менілітовий поклад Спаської складки) родовищах.

Головним методом впливу на поклад нафти Долинського нафтового та Північно-Долинського нафтогазоконденсатного родовищ є заводнення.

Нагнітання зворотних пластових вод (ЗПВ) у поглинаючі горизонти не відповідає рівню сучасних вимог і призводить до забруднення гідросфери [80].

Досвід нагнітання ЗПВ на нафтових родовищах показує, що впродовж доволі короткого проміжку часу у пласти поступають десятки і сотні тон забруднюючих компонентів. Не дивлячись на це у багатьох випадках приймальність нагнітальних свердловин залишається постійною. Основною проблемою при нагнітання ЗПВ є проблема доведення їх до визначених норм по вмісту нафти, зважених твердих частинок і заліза конкретно для кожного родовища [98].

В.М. Гольдбергом проведено ряд робіт по обґрунтуванню системи нагнітання ЗПВ [35], а Н.Н. Веригіном проведено ряд теоретичних досліджень процесів дифузії, масообміну та гідродинаміки [30, 31].

Забруднення ґрунтових вод відбувається при розливах нафти і пластової води внаслідок аварій на трубопроводах, витоку нафти з кушових насосних станцій; переповнення шламових амбарів; скидах неочищених або недостатньо очищених стічних вод у поверхневі водотоки і на рельєф. Забруднення ґрунтових вод пов'язане з інфільтрацією стічних вод, атмосферних опадів і поверхневого стоку.



Засолення ґрунтів також є джерелом утворення техногенних вод. Весною, осінню, а також у період літніх опадів ці ґрунти піддаються розсоленню, завдяки чому значні об'єми мінералізованих вод спрямовуються до найближчих водойм і фільтруються у водоносні горизонти. У верхніх водоносних горизонтах формуються ареали засолення, які швидко рухаються за потоком ґрунтових вод [128].

При попаданні нафтовмісних ЗПВ у природне середовище виділяють три основні категорії забруднення навколишнього середовища [23, 81]:

- нафта і нафтопродукти;
- хімічні реагенти нафтовидобутку (ЦАР);
- токсичні неорганічні компоненти.

Пласт-колектор може бути потенційним джерелом забруднення водного середовища: ґрунтових та підземних вод. У зв'язку з високим вмістом різних солей і нафти, зворотні пластові води у випадку їх потрапляння у водойму здійснюють негативний вплив на водні організми. Вода, забруднена ЗПВ і стічними нафтопромисловими водами характеризується високим вмістом хлоридів, низьким (наближеним до природного) вмістом сульфатів, підвищеним вмістом Вг (іноді до 50 мг/л), рідше І – (до 0,01-0,8 мг/л) і токсичних неорганічних компонентів. З органічних забруднювачів у ЗВП виявлені феноли, діетиленгліколь, метанол та інші низькоатомні спирти, а також нафтопродукти, ЦАР [23].

Основною причиною забруднення ґрунтів у процесі нафтовидобутку є пориви промислових і магістральних трубопроводів. В зв'язку з цим у наступному розділі роботи детально зупинимося на статистиці поривів трубопроводів на прикладі Долинського нафтогазпромислового району.

### **2.3. Аналіз аварійних поривів у системі нафтовидобутку НГВУ “Долинанафтогаз”.**

Відомості про аварійні пориви трубопроводів у системі нафтовидобутку НГВУ “Долинанафтогаз” з 2006 р. по 2010 р. представлені у таблиці 2.2. З кожним роком кількість поривів збільшується, що становить велику техногенну загрозу для навколишнього середовища.

Таблиця 2.2

**Аналіз поривів трубопроводів в НГВУ “Долинанафтогаз” за період з  
01.01.2006 р. – 31.12.2010 р.**

Назва трубопроводу	Рік вводу в експлуатацію	Кількість поривів	По причині корозії	По причині абразивно-ерозійного зносу
Водопровід від ГХУ до ставків додаткового відстоювання	01.12.1990	14	0	14
Водопровід від головних споруд до КНС-7	01.06.1991	512	0	512
Нагнітальний колектор від КНС-7 до ВРБ-8	31.12.2001	142	50	92
Нагнітальний колектор ВРБ-1 до ВРБ-10	31.12.2002	106	53	53
Напірний колектор від КНС-1 до ВРБ-301	01.12.1994	85	50	35
Нагнітальний колектор від КНС-12 до ВРБ-5	31.12.2001	50	28	22
Нафтопровід від св. 282-Д	01.09.1974	38	20	18
Нафтопровід від св. 92-ПД до ГЗ-6	01.12.1995	37	33	4
Нафтопровід від св.118-Д до ГЗ-1	31.12.2007	31	31	0
Водопровід від КНС-2 до св.185-ПД	29.12.2006	185	79	106
Водопровід від ВРБ-301 до св. 360-Д	01.09.1997	183	84	99
Водопровід від ВРБ-301 до св.680-Д	01.07.1971	155	102	53
Водопровід від ВРБ-12 до св.284-Д	31.12.2002	144	92	52
Водопровід від ВРБ-11 до св.287-Д	01.12.1999	125	101	24
Водопровід від ВРБ-9 до св. 810-Д	31.12.2005	105	62	43
Водопровід від ВРБ-11 до св. 674-Д	01.11.1990	95	78	17

закінчення таблиці 2.2

Водопровід ВРБ-11 до св. 261-Д	01.12.1980	57	28	29
Водопровід від ВРБ-9 до св.709-Д	01.12.1992	74	44	30
Водопровід від св. 801-Д до св. 293-Д	01.12.1996	68	42	26
Водопровід від КНС-2 до св. 74-ПД	01.04.1997	69	38	31
Водопровід від ВРБ-9 до св. 103-Д	01.12.1998	68	37	31
Водовід до св. 94-Стр.	01.11.1972	65	58	7
Водопровід від ВРБ-4 до св. 761-Д	01.12.1996	64	25	39
Водопровід від ВРБ-1 до св.115-ПД	01.11.1990	61	25	36
Водопровід від ВРБ-1 до св. 132-ПД	31.12.2002	60	30	30
Водопровід від магістралі КНС-2-ПД до ВРБ-12 до св. 263-Д	31.12.2002	48	27	21
Водопровід від водопроводу (ВРБ-11Д-ВРБ-10) до св. 192-ПД	31.12.2009	51	25	26

Корозія – одна з основних причин виникнення аварійних поривів. Вона обумовлена високою агресивністю мінералізованих пластових вод і високою обводненістю продукції нафтових свердловин (до 80-90 %).

За підсумком 2013 року по НГВУ “Долинанафтогаз” зафіксовано 1018 поривів (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

### Кількість аварій трубопроводів по НГВУ “Долинанафтогаз” за 2013 р.

Місяць	Кількість аварій (поривів) трубопроводів, шт.						
	Загальна кількість поривів			В тому числі			
	всього	в тому числі		нафто-проводів	нафто-збірні колектори та нафто-проводи	водоводів	
		з інгібіторним захистом	без інгібіторного захисту			з інгібіторним захистом	без інгібіторного захисту
Січень	87	87	29	2		55	
Лютий	62	62	11			51	

закінчення таблиці 2.3

Березень	64		64	17			47
Квітень	97		97	24	2		68
Травень	71		71	14	1		55
Червень	60		60	12	1		47
Липень	173		173	118	4		50
Серпень	98	35	63	45	6	35	12
Вересень	63	31	32	24		31	8
Жовтень	77	39	38	25		39	12
Листопад	119	25	94	72	1	25	19
Грудень	47	25	22	3	1	25	18
<b>3 початку року</b>	<b>1018</b>	<b>155</b>	<b>863</b>	<b>394</b>	<b>18</b>	<b>155</b>	<b>442</b>

Фактичний термін служби нафтопромислового обладнання та трубопроводів через високу корозійну агресивність мінералізованих пластових вод знизився до 1-3 років по причині внутрішньої корозії.

Станом на 31.12.2013 р. по НГВУ "Долинанафтогаз" необхідна заміна більше 350 км викидних ліній, 190 км високонапірних водоводів, 75 км нафтозбиральних колекторів, 40 км низьконапірних водоводів пластових вод.

Очевидно, що основна частка поривів пов'язана з пластовими водами. Об'єм розливої нафтовмісної рідини в 2009 р. склав 62,552 м<sup>3</sup>.

У березні 2009 р. сталася найбільша аварія перекачуючого нафтопроводу Струтин-Долина. Відбувся витік рідини (суміш нафти з вмістом води 35 %) на рельєф (за селом Ясеновець) у кількості близько 4,978 т. Площа забруднення становила 450 м<sup>2</sup>. Внаслідок пориву було пошкоджено громадське пасовище площею 1 га, на якому зростають багаторічні трави.

Землі, які використовувалися для сільськогосподарських посівів стали непридатними для подальшого використання.

Зниження терміну служби нафтопромислового обладнання та трубопроводів системи нафтозбору родовищ характеризується агресивністю технологічних потоків, виснаженням родовищ та показує, що нафтовидобувний комплекс має високий виробничий та екологічний ризик, а також високу ймовірність виникнення аварій.

### 2.3.1. Аналіз екологічної небезпеки мінеральних і органічних сполук, які містяться у зворотній пластовій воді.

Екологічна небезпека зворотних пластових вод нафтовидобувних підприємств може бути оцінена за ступенем перевищення концентрації кожного хімічного компонента над гранично допустимою концентрацією (ГДК):

$$J = c/GDK \quad 1.1$$

Токсикологічні характеристики основних компонентів ЗПВ представлені у таблиці 2.4 (ГДК<sub>г.п.</sub> – гранично допустима концентрація для водних об'єктів господарсько-питного та комунально-побутового водокористування, ГДК<sub>р.п.</sub> – гранично допустима концентрація для водних об'єктів рибогосподарського призначення, ЗЖ – загальна твердість, ЗМ – загальна мінералізація) [34, 35].

Зворотні пластові води є солонуватими та солоними і містять токсичні неорганічні компоненти. Тому актуальним є визначення переліку найбільш токсичних елементів ЗВП на основі вивчення їхнього складу.

**Таблиця 4.4**

**Гранично допустимі концентрації деяких компонентів зворотних пластових вод**

Компонент	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	ЗЖ, мекв/л	ЗМ	Li <sup>+</sup>	Sr <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Fe	B	Br	I
ГДК <sub>г.п.</sub> мг/дм <sup>3</sup>	500	350	200	7	1000	0,03	7	0,1	0,3	0,5	0,2	–
ГДК <sub>р.п.</sub> мг/дм <sup>3</sup>	100	300	120	–	–	0,0007	10	0,01	0,1	0,5	–	–

Зворотні пластові води нафтових родовищ Прикарпаття у своєму складі містять наступні хімічні речовини:

- 1) нафта і нафтопродукти;
- 2) солі мінеральних кислот – CaCl<sub>2</sub>, Ca (HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, CaSO<sub>4</sub>, NaCl, KCl, MgCl<sub>2</sub>, MgBr<sub>2</sub>, MgI<sub>2</sub>, LiCl;
- 3) хімічні реагенти нафтовидобутку.

**Нафта і нафтопродукти.** Нафта класифікується як одна із найбільш небезпечних органічних речовин, що забруднює навколишнє середовище. Вона представляє собою складний комплекс речовин, що вміщує у собі близько 3000 компонентів, окиснення яких вимагає значних затрат кисню. Токсичність нафти визначається водорозчинними фенольними зв'язками і ароматичними вуглеводнями, що спричинює надзвичайно великий токсичний вплив нафти і нафтопродуктів на всі види рослин і живих організмів. Присутність нафтопродуктів в абіотичних компонентах навколишнього середовища [8] негативно впливає на їхню якість. Іншим важливим чинником є здатність нафти, особливо її легких фракцій, з великою швидкістю розтікатися по поверхні води, утворюючи при цьому тонку плівку великої площі, яка порушує природний обмін енергією, теплом, газами та вологою між атмосферою і водоймою, що негативно відбивається на процесах природного самоочищення водойм. Попадання нафти у водойму є більш небезпечним явищем, а ніж її розлив на ґрунт, де вона має властивість певний час утримуватися на поверхні.

Для водойм у які потрапляють ЗВІІ, що містять нафтопродукти, можна виділити наступні форми вмісту нафти у водному середовищі: плаваючу (вільну), розчинену (до 2 мг/л) і емульговану. Вільна – розлита нафта плаває на поверхні відкритих водойм, або просочуючись через ґрунт утворює на поверхні підземних водоносних горизонтів так звані лінзи (техногенні родовища) [15].

Запах нафти у воді відчувається у невеликих концентраціях: порогове значення концентрацій для більшості нафт і нафтопродуктів становить 0,1-0,3 мг/дм<sup>3</sup>. Відповідно до ГОСТ 38.01378-85 сумарний вміст нафтопродуктів у водоймах рибогосподарського призначення не повинен перевищувати 0,05 мг/дм<sup>3</sup> [109].

**Солі мінеральних кислот.** Хлорид кальцію ( $\text{CaCl}_2$ ) у концентраціях 500-1000 мг/дм<sup>3</sup> спричинює токсичний вплив на риб та дафній – 649 мг/дм<sup>3</sup>; для рослин токсична концентрація  $\text{CaCl}_2$  складає 3500 мг/дм<sup>3</sup>.

Присутність катіона кальцію ( $\text{Ca}^{2+}$ ) у воді для нижчих водних організмів при експозиції 48 год – 3000-7000 мг/дм<sup>3</sup> [148], лімітуючий показник шкідливості

(ЛІШІ) – санітарно-токсикологічний. ГДК<sub>р.г</sub> для  $\text{Ca}^{2+}$  становить  $180 \text{ мг/дм}^3$  [104]. Вміст кальцію у ЗПВ перевищує ГДК від 10 до 120 разів. ГДК<sub>г.п</sub> =  $350 \text{ мг/дм}^3$  (ЛІШІ – органолептичний); ГДК<sub>р.г</sub> =  $300 \text{ мг/дм}^3$  (ЛІШІ – санітарно-токсикологічний).

Токсична концентрація сульфату кальцію ( $\text{CaSO}_4$ ) для риби складає  $633 \text{ мг/дм}^3$ . ГДК сульфатів ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) для водойм господарсько-питного та рибогосподарського призначення складає  $500 \text{ мг/дм}^3$  і  $100 \text{ мг/дм}^3$  відповідно. Вміст сульфатів досягає  $1589,2 \text{ мг/дм}^3$  (15 ГДК).

У токсичних дозах натрій викликає параліч нервово-м'язового апарату та ураження зябрового епітелію у риби. ГДК<sub>г.п</sub> =  $200 \text{ мг/дм}^3$ ; ГДК<sub>р.г</sub> =  $120 \text{ мг/дм}^3$ , ЛІШІ – санітарно-токсикологічний. Катіон натрію у ЗПВ міститься у кількості від 5328 до 62935  $\text{мг/дм}^3$ , тобто перевищує ГДК від 30 до 500 разів.

ГДК<sub>р.г</sub> ( $\text{K}^+$ ) =  $50 \text{ мг/дм}^3$ . Вміст калію у ЗПВ ( $1458 \text{ мг/дм}^3$ ) перевищує ГДК у 30 разів.

Для більшості сільськогосподарських культур вміст магнію понад 2,5 % є надлишковим. ГДК<sub>р.г</sub>  $\text{Mg}^{2+}$  становить  $40 \text{ мг/дм}^3$ . При вмісті магнію у ЗПВ у кількості від 622 до  $3405 \text{ мг/дм}^3$  перевищення ГДК збільшується у 85 разів.

Вміст бромідів ( $\text{Br}^-$ ) для водойм рибогосподарського призначення не нормується, ГДК<sub>г.п</sub> =  $0,2 \text{ мг/дм}^3$  (вміст у ЗПВ перевищує ГДК від 340 до 2700 раз).

Токсичний ефект йодидів обумовлений окисненням ліпідів внаслідок утворення великої кількості вільних радикалів. Йодид калію пригнічує синтез білка. Для прісноводних водойм вміст йодидів не нормується. Вміст йодидіонів у ЗПВ змінюється від 7,4 до  $30,4 \text{ мг/дм}^3$ .

Бор не відноситься до високонебезпечних елементів, але може викликати ураження нирок і шлунково-кишкового тракту, ендемічні ентерити. Тривалентний іон бору ( $\text{B}^{3+}$ ) нормується у воді: ГДК<sub>г.п</sub> =  $0,5 \text{ мг/дм}^3$ ; ГДК<sub>р.г</sub> =  $0,17 \text{ мг/дм}^3$ . Вміст бору у ЗПВ досягає  $51,0 \text{ мг/дм}^3$  (ГДК<sub>р.г</sub> =  $30 \text{ мг/дм}^3$ ) [12, 138, 148, 149].

**Хімічні реагенти.** У процесі експлуатації нафтових родовищ використовується цілий ряд синтетичних поверхнево-активних речовин:

деемультгатори, бактерициди, інгібітори корозії та парафіновідкладень. Типовим представником є дісолван, що представляє собою 65 % розчин неіоногенної поверхнево-активної речовини поліалкіленгліколя у суміші метилового спирту і води (3:1). ГДК<sub>р.г</sub> = 0,05 мг/дм<sup>3</sup>. Вміст дісолвана у ЗПВ складас від 40 до 180 мг/дм<sup>3</sup>, тобто перевищує ГДК від 800 до 3600 раз.

У процесі нафтовидобутку у пластову воду додають інгібітори корозії у кількості 40-200 мг/дм<sup>3</sup>, deemультгатори, інгібітори парафіновідкладень, бактерициди, реагенти підвищення нафтовіддачі та ізоляції водопритоків.

Інгібітор парафіновідкладень представляє собою реагент здатний надавати воді специфічний запах, змінювати її поверхневий натяг, утворювати піну на поверхні води [147]. Порогові концентрації препарату за загальносанітарними характеристиками небезпечного впливу складають 1,0 мг/дм<sup>3</sup>.

Реагент підвищення нафтовіддачі – неіоногенна ЦАР. Застосовується у якості поверхневої добавки до води, яка використовується у системі підтримання пластового тиску (ПШТ). Попадання на шкіру викликає контактний дерматит. ГДК<sub>г.п</sub> = 0,1 мг/дм<sup>3</sup>. Лімітуючий показник шкідливості – органолептичний.

Інгібітор солевідкладення є азотофосфороорганічним з'єднанням. За даними вивчення впливу препарату на процеси природного самоочищення води в якості граничної концентрації прийнята – 13,0 мг/дм<sup>3</sup> [89, 148]. Показник шкідливості – загальносанітарний.

Інгібітор корозії – органічний продукт. Він надає воді стійкий ароматичний запах, гранично-допустима концентрація становить 0,08 мг/дм<sup>3</sup>.

Бактерицид – сіль органічного аміну у розчині монопропіленгліколя. Володіє різковираженим місцевим впливом на шкіру та слизові оболонки очей [89, 148].

Реагенти для ізоляції водопритоків у свердловинах – сополімери метакрилової кислоти. У незначних кількостях впливають на прозорість води, її смакові якості і одорометричні властивості. Гранична концентрація по впливу на загальний санітарний режим водойм (пригнічення процесів біохімічного



окиснення) становить – 5,0 мг/дм<sup>3</sup>. Лімітуючий показник шкідливості – органолептичний [89, 148].

#### **2.4. Експериментальні дослідження процесів забруднення підземних вод.**

Визначення фізичних та фізико-хімічних властивостей води, при проведенні експериментальних досліджень, проводили згідно методик атестованих та регламентованих “Переліком методик виконання вимірювань (визначень) складу та властивостей проб об’єктів довкілля, викидів, відходів і скидів, тимчасово допущених до використання Мінекоресурсів України”.

Для вимірювання показників забрудненості води використовувались засоби вимірювальної техніки, атестовані органами державної метрологічної служби, відповідно до вимог держстандарту.

В цілому перелік досліджуваних показників наступний:

- водневий показник рН. Метод базується на вимірюванні рН-метром значення водневого показника у пробі води. Сумарна відносна похибка вимірювання складає 0,1 од. рН;

- мінералізація води. Метод базується на вимірюванні мінералізації води за допомогою портативного TDS-метра, принцип дії якого заснований на прямій залежності електропровідності розчину (сили струму і постійному електричному полі, яке створюється електродами приладу) від кількості розчинених у воді сполук (частин на мільйон 1 ppm = 1 мг/л);

- масова концентрація хлоридів. Метод базується на титруванні проби мінералізованої води іону хлориду розчином азотнокислого срібла, який утворює з іоном хлориду важкорозчинне з’єднання. Для встановлення кінцевої точки титрування у розчин додають хромат калію, який утворює з надлишком срібла осад, що зумовлює перехід забарвлення розчину від жовтого до червоно-бурого. Сумарна відносна похибка складає 15 % - 5 %;

- масова концентрація сульфатів. Метод вимірювання ґрунтується на осадженні сульфат-іонів барієм хлористим у вигляді суспензії барію сульфату,

– масова концентрація сульфатів. Метод вимірювання ґрунтується на осадженні сульфат-іонів барієм хлористим у вигляді суспензії барію сульфату, стабілізованої сумішшю етиленгліколю з етиловим спиртом, і наступному визначенні фотоколориметричним методом. Вміст сульфатів (мг/л) розраховують за формулою:

$$W(SO_4^{2-}) = \frac{(nK - mK_1) \cdot 2.4 \cdot 1000}{V}$$

де  $n$  – кількість доданого розчину трилону Б, см<sup>3</sup>;  $K$  – поправочний коефіцієнт до нормальності розчину трилону Б;  $m$  – кількість хлориду магнію, витраченого на титрування, см<sup>3</sup>;  $K_1$  – поправочний коефіцієнт до нормальності розчину хлориду магнію;  $V$  – об'єм досліджуваної води, см<sup>3</sup>.

Припустиме відхилення між повторними визначеннями сульфатів: 3 - 5 мг/дм<sup>3</sup>, якщо їх вміст не перевищує 25 мг/дм<sup>3</sup>, 5-10 мг/дм<sup>3</sup>, якщо їх вміст не перевищує 25 - 300 мг/дм<sup>3</sup>, при більш високих концентраціях – 3 % відношення;

– масова концентрація натрію та калію. Метод базується на визначенні інтенсивності вимірювання атомів натрію і калію за допомогою полум'яного фотометра;

– масова концентрація кальцію. Метод ґрунтується на титруванні проби трилоном Б при рН = 10 у присутності індикатора;

– масова концентрація магнію визначається розрахунковим методом. Розчинність солей Mg<sup>2+</sup> вища, ніж у Ca<sup>2+</sup>, але у хімічному складі вод іон Mg<sup>2+</sup> відіграє підпорядковану роль;

– гідрокарбонатні (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) і карбонатні (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) іони. Метод ґрунтується на потенціометричному титруванні розчином соляної кислоти.

#### **2.4.1. Експериментальні дослідження формування хімічного складу підземних вод при нагнітанні зворотних пластових вод.**

Нагнітання зворотних пластових вод (ЗПВ) у підземне геологічне середовище призводить до техногенних процесів у пласті. Для їх підтвердження

свердловини, спричиняють наступні фізико-хімічні процеси у геологічному середовищі пласта:

- у системі “ЗПВ – кремнієва порода” відбувається вилугування карбонатних порід зворотними пластовими водами з підвищеною іонною силою, які впливають на теригенно-карбонатні породи, що в свою чергу активізує процес розчинення і вилугування солей кальцію і магнію з наступним їх надходженням у підземні води;

- у системі “ЗПВ – карбонатна порода” при поступленні агресивних хлоридних вод у результаті техногенних перетоків через затрубний простір свердловини також відбуваються процеси інтенсифікації вилугування розчином з підвищеною іонною силою з подальшим переходом іонно-сольового комплексу  $\text{Cl}^-$  і  $\text{Na}^+$  у воду;

- у системі “ЗПВ – кремнієвоалюмінатна порода” можлива кристалізація з підземних вод слабозрчинних з'єднань при досягненні ними межі розчинності ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ).

Експериментальні дослідження з контактування ЗПВ з різними породами проводили методом подачі-фільтрування ЗПВ “зверху”, оскільки вони закачуються з поверхні землі.

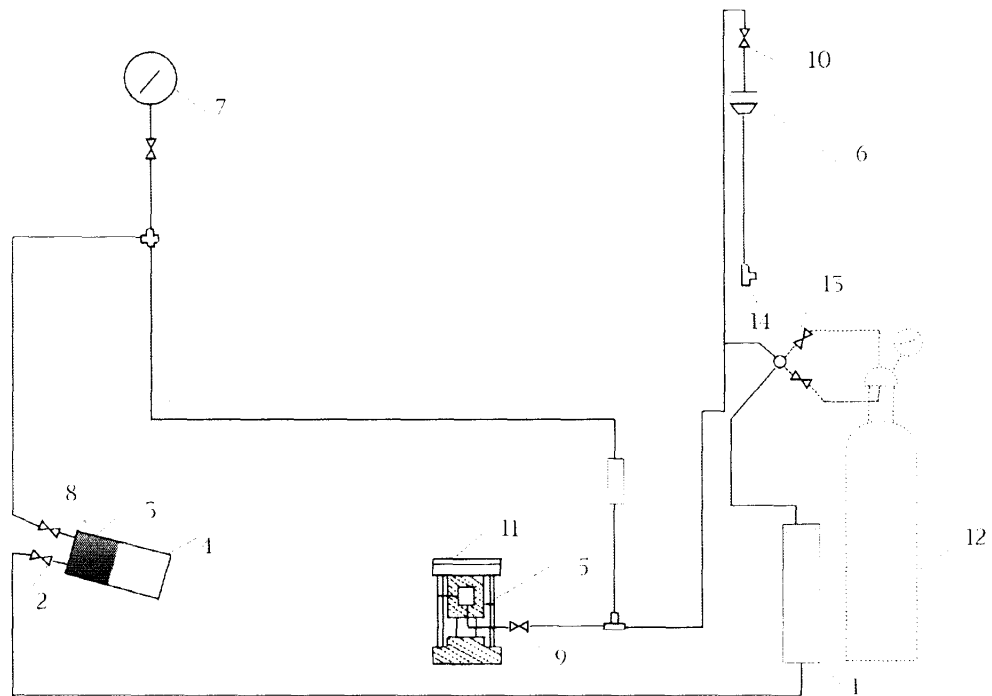
У дисертаційній роботі дослідження проводились з використанням трьох типів порід, які є характерними для досліджуваного регіону. У першому випадку розріз повністю складався з пісковиків; другий випадок – у пісковиках в якості домішок були присутні карбонати; третій – у якості домішок присутні глини.

Дослідження проводили за допомогою установки УИПК-1М (рис. 2.1 – 2.2), яка призначена для визначення проникності керну в умовах наближених до пластових.

У дослідженнях проводили зміну складу модельної води, що відповідала певним середнім значенням показників ЗПВ, а також використовували реальні ЗПВ відібрані із амбару-накопичувача.

Принцип роботи установки полягає в наступному. Смієсть  $I$  наповнюють досліджуваною водою об'ємом  $1 \text{ дм}^3$  з наступним прокачуванням її через

змодельований розріз порід у кернаутримувачі. При відкритті вентиля 2 вода поступає в область поршневого роздільника 3, який розташований з іншої сторони поршня 4. З цієї області досліджувана рідина рухається до керну, який поміщений у кернаутримувач 5, диференціального манометра 6 і до пружинного манометра 7. Для регулювання руху рідини використовують вентиля: 8 – на виході із поршневого роздільника, 9 – на вході у kern і 10 – на вході у диференціальний манометр. До і після досліджуваного взірця породи знаходиться фільтр 11, який перешкоджає руху механічних частинок.



- 1 – смість, 2 – вентиль, 3 – поршковий роздільник, 4 – поршень,  
 5 – кернаутримувач, 6 – диференціальний манометр, 7 – пружинний манометр, 8 – вентиль на виході із поршневого роздільника, 9 – вентиль на вході у kern, 10 – вентиль на вході у диференціальний манометр, 11 – фільтр,  
 12 – балон з газом, 13 – вентиль, 14 – випускна трубка

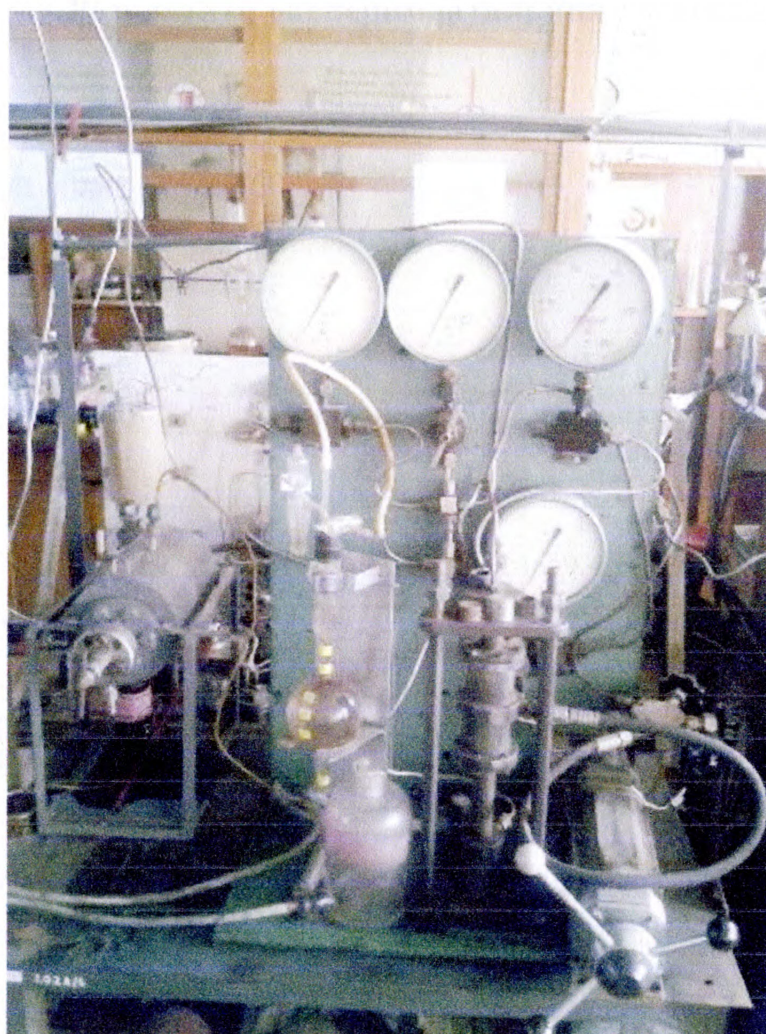
**Рис. 2.1. Технологічна схема лабораторної установки УІПК-1М**

Лабораторні моделі порід геологічних розрізів (кern) складені з відповідних матеріалів, що відповідають досліджуваній території.

Перед проведенням лабораторних досліджень зразкам кернавого матеріалу необхідно надати форму правильного циліндра діаметром 30 мм і висотою 50 мм. Підготовлені циліндри висушують у сушильній шафі при температурі 102-105 °С. Для цього кернавий матеріал витримують у сушильній шафі в продовж 6-8 годин.

Для охолодження зразки необхідно помістити в ексикатор з хлористим кальцієм і тільки після цього приступати до проведення аналізів.

Керн закладають у керноутримувач і перевіряють герметичність закладки. Для цього, відкривають вентиль 13 на головці балона з газом 12 і за допомогою редуктора у системі піднімають тиск до 49 Па. Після цього, закривають вентиль 10, спостерігають за стрілкою манометра 7. Якщо впродовж 10-15 хвилин тиск не знижується і немає просочування масла у керноутримувачі, то керн стиснутий надійно.



**Рис. 2.2.** Загальний вигляд лабораторної установки УІПК-1М

Після того як взірець вставлено і перевірена герметичність, підвищують тиск у системі і приступують до просочування рідини у керн. Для цього на початку експерименту в системі необхідно встановити заданий тиск. Тиск в системі повинен на 147-196 Па перевищувати тиск фільтруючої рідини, що пропускається через взірець кернавого матеріалу.

Після виконання вищенаведених операцій відкривають вентиль 10, підставивши під випускну трубку 14 мірний циліндр для збору і заміру рідини, що виходить і проводять лабораторні дослідження з метою визначення фізико-хімічних показників проб води до та після прокачки [75].

Результати узагальнених показників експериментальних досліджень приведено у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

## Результати експериментальних досліджень

№ п/п	Показники, мг/дм <sup>3</sup>	Хімічний склад ЗПВ до початку експерименту, мг/дм <sup>3</sup>	Експеримент - 1	Експеримент - 2	м о д е л ь					
					пісковик		карбонатно-глиниста		піщано-глиниста	
					Експеримент - 3	Експеримент - 4	Експеримент - 5	Експеримент - 6		
1	Ca <sup>2+</sup>	795.5	754.2	763.4	781.2	789.8	779.7	785.6		
2	Mg <sup>2+</sup>	315.4	261.4	273.7	294.4	301.9	289.3	298.5		
3	Cl	25253.1	23121.4	24799.7	24659.4	25189.9	24564.5	25131.1		
4	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	537.2	419.7	480.4	499.8	530.8	424.3	432.2		
5	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	250.2	232.2	241.5	247.3	249.4	245.1	248.7		
6	K+Na	12451.3	10735.4	11541.7	12111.4	12344.5	11988.8	12421.1		
7	Мінералізація	39341.6	36899.3	37574.3	38774.3	39211.1	38585.6	39123.4		
8	Нафтопродукти	35.1	-	28.6	-	32.2	-	30.4		
9	pH (одн.)	6.7	7.5	6.9	6.8	7.6	7.2	6.7		

У першому варіанті досліджень (Е-1, Е-2) аналіз показників ЗПВ показав, що подача ЗПВ, для яких характерним є незначний вміст сульфатів, у пласт пісковиків призводить до підвищення рН води – до значення 6,9. Зміна складу модельної води ЗПВ в експерименті частково позначилася на фізико-хімічних показниках підземних вод. Так, вміст Cl становив 23121,4 мг/дм<sup>3</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> – 232,2

мг/дм<sup>3</sup>, а  $\text{HCO}_3^-$  складав у розчині 419,7 мг/дм<sup>3</sup>. Катіонний склад досліджуваного розчину характеризувався наступними показниками:  $\text{K}^+\text{Na}^+$  – 10735,4 мг/дм<sup>3</sup>,  $\text{Mg}^{2+}$  – 261,4 мг/дм<sup>3</sup>,  $\text{Ca}^{2+}$  – 754,2. Мінералізація води при цьому становила – 36899,3 мг/дм<sup>3</sup>.

Аналіз складу реальних ЗПВ у першому варіанті після контактування з пісковиковою породою показав, що кількість хлоридів зменшилась від 25253,1 мг/дм<sup>3</sup> до 24799,7 мг/дм<sup>3</sup>, що можна пояснити незначною сорбційною здатністю пісковика.

Другий варіант досліджень (Е-3, Е-4) відбувався за контактування ЗПВ з карбонатним модельним розрізом (керном) в який було додано глинистий матеріал. Результати досліджень показали, що склад ЗПВ істотно не змінився – сульфати та хлориди зменшились від 250,2 мг/дм<sup>3</sup> до 249,4 мг/дм<sup>3</sup> та від 25253,1 мг/дм<sup>3</sup> до 25189,9 мг/дм<sup>3</sup> відповідно. Проведені дослідження за умовами другого варіанту експерименту показали, що коли у системі присутній карбонат кальцію у кількості 0,0012 моль, спостерігається різке розчинення карбонатів породи, що стимулює ріст концентрації кальцію у воді. У міру збільшення кількості додавання ЗПВ, вода, що формується при цьому процесі характеризується збільшенням рН з 6,7 до 7,6. При цьому динаміка зміни величини рН має плавний профіль збільшення, що сприяє зникненню з породи глинистих мінералів, які при рН вище 7,6 були виключно натрієвими, а у інтервалі рН від 5,54 до 7,6 в осаді у однаковій кількості присутні і натрієві, і кальцієві глини, що прозводить до зміни рН води через зміну складу глин. Зміна температури ЗПВ при дослідженнях незначно зменшувала (при 7 °С) або збільшувала (при 40 °С) рН води.

Важливим моментом варто визнати той, що в отриманих ЗПВ після контакту з породою, концентрація сульфатів не є суттєвою. Підвищений вміст концентрації сульфатів у підземних водах, водовміщуючим середовищем яких є пісковики, можливий у випадку розчинення сульфатів, або надходження сульфатно-натрієвих вод, що залягають у більш глибоких водоносних горизонтах. У геологічному розрізі пісковиків, на досліджуваній ділянці, відсутні сульфатні мінерали та техногенні об'єкти, які можуть забруднювати воду сульфатами. Отже,

надходження глибинних солоних сульфатно-натрієвих вод пояснюється за рахунок природного фактору, що посилюється у результаті інтенсивного техногенного впливу – забруднення прісних вод “знизу”. Причиною такого забруднення може бути: порушення герметичності затрубного простору або просочування розсолів у зону поширення сульфатних натрієвих вод; їх змішування і надходження у зону прісних вод.

Дослідження з прокачування ЗПВ через третій тип модельного керну (Е-5, Е-6) характеризуються помітною зміною складу підземних вод. Вміст сульфатів у реальних ЗПВ зменшився з 537,2 мг/дм<sup>3</sup> до 432,2 мг/дм<sup>3</sup>, а показник хлору суттєво не змінився. Мінералізація досліджуваної води дещо знизилась і наприкінці експерименту становила 39123,4 мг/дм<sup>3</sup>, водневий показник (рН) не зазнав зміни і становив 6,7 одиниць.

Таким чином, результати проведених досліджень вказують, що у підземній воді внаслідок її контакту із ЗПВ спостерігається підвищений вміст кальцію та магнію, що призводить до збільшення мінералізації води вище значення ГДК; внаслідок надходження незначних об’ємів ЗПВ хлоридно-натрієвого складу, підземні води набувають хлоридно-гідрокарбонатний натрієво-кальцієвий тип з невеликим показником мінералізації і твердості; в результаті взаємодії ЗПВ з прісними водами у водоносних горизонтах прослідковується збільшення концентрації сульфатів та кальцію вище ГДК, що призводить до збільшення твердості води у еоценових відкладах.

Важливим аспектом проведених досліджень є те, що не всі отримані результати відповідають ситуаціям, які зустрічаються у природних умовах.

## **2.5. Моделювання концентрації сольового потоку у ґрунтових водах.**

В гідрогеологічному відношенні досліджувана площа приурочена до Передкарпатського прогину Карпатської гідрогеологічної складчастої області. Геоморфологічними особливостями району являються тектонічні ерозійно-денудаційні середньовисокі гори, з різною вертикальною зональністю



метеорологічних і гідрогеологічних показників і відноситься до зони надмірного зволоження. Водовмісними породами є суглинки і гравійно-галечникові відклади з спорідненим і локальним поширенням ґрунтових вод. Регіональним водоупором представлені неогенові глини.

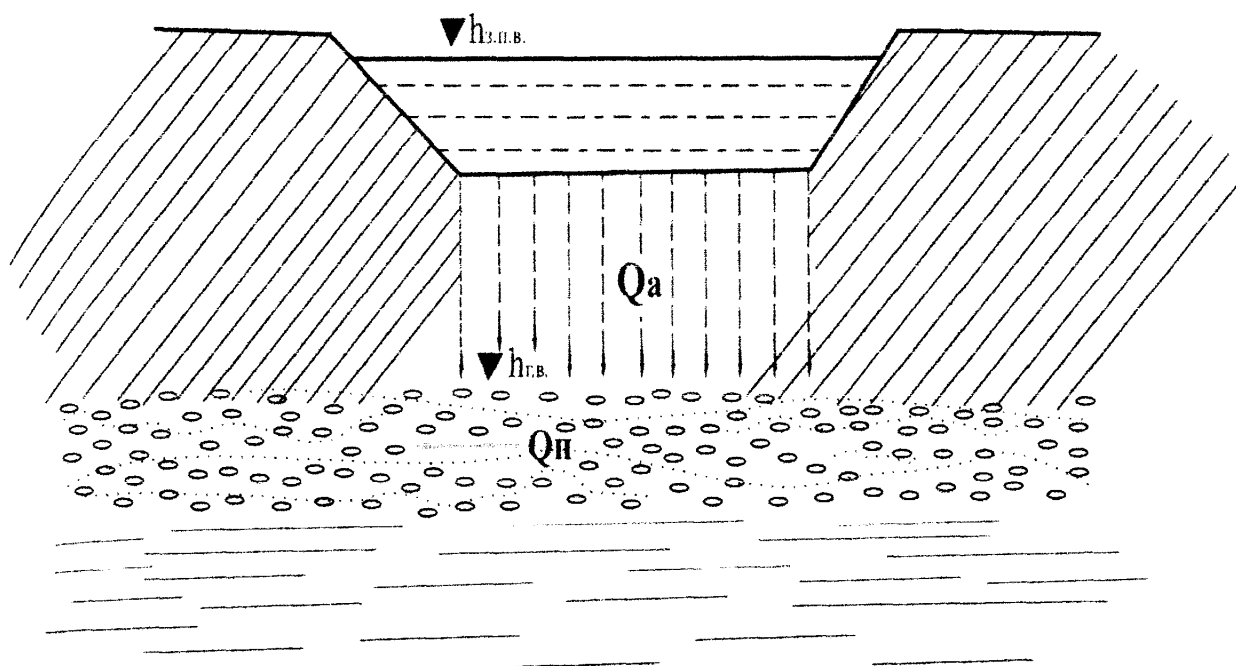
Автором дисертаційної роботи проведено математичне моделювання прогнозу змін концентрації солей у водоносному горизонті при інфільтрації їх із амбару-накопичувача, який використовується для додаткового відстою зворотних пластових вод.

Мінералізована вода, поступаючи із амбару-накопичувача у водоносний горизонт, переміщується із природним ґрунтовим потоком. В результаті такого переміщення утворюється мінералізований розчин дещо меншої концентрації. Змішування мінералізованого розчину з природним потоком ґрунтових вод є надзвичайно складним процесом у формуванні якого беруть участь, як гідравлічні так і фізико-хімічні фактори.


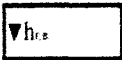




З гідравлічної точки зору, перш за все слід мати на увазі, що в будь-яких умовах мінералізований розчин, у зв'язку з більшою його густиною по відношенню до води, поступово як би тоне у ґрунтовому потоці, намагаючись рівномірно розподілитися по його висоті. Ця обставина дає підставу для проведення загальної оцінки забруднення потоку і осереднення його концентрації по глибині потоку. Крім того, при вивченні потоку під амбаром накопичувачем, зважаючи на його невеликі розміри у порівнянні із розмірами ґрунтового потоку, можна усереднити значення концентрації по площі амбару накопичувача і вважати, що фільтраційний потік під амбаром має однакову концентрацію  $C_0$ .

Загальний приплив мінералізованих вод із амбару  $Q_a$  у ґрунтові води розподіляється на два припливи  $q_1$  і  $q_2$ , які розділяються “вниз” і “вверх” по потоку.

Після змішування з природними ґрунтовими водами з витратою  $Q_n$  під амбаром утворюється розчин з мінералізацією  $C_0$ , який рухається частково за течією потоку ( $q_1 + Q_n$ ), а частково за рахунок дифузійних процесів, проти течії на незначну відстань ( $q_2 - Q_n$ ) (рис. 2.3).



Умовні позначення

	Суглинок		Рівень ґрунтових вод
	Гравійно-піщані ґрунти		Рівень зворотної пластової води (ЗПВ)
	Глина водотривка		Напрямок руху ґрунтових вод

**Рис. 2.3. Фільтраційна модель засолення ґрунтових вод**

Враховуючи вище наведене, а також дослідження у роботі [155] складемо балансове рівняння витрат мінералізованих вод із амбару-накопичувача у ґрунтові води:

$$Q_a = q_1 + q_2 + n_n \cdot S_a \cdot \frac{dh_a}{dt}, \quad 2.1$$

де  $h_a$  – середній рівень ґрунтових вод під амбаром-накопичувачем, м;  
 $n_n$  – пористість суглинків.

Тепер складемо рівняння сольового балансу, враховуючи, що приплив із амбару розповсюджується по обидві сторони потоку ґрунтових вод:

$$C_a Q_a = C_0 \cdot (q_1 + q_2) + C_0 \cdot n_n \cdot S_a \cdot \frac{dh_a}{dt} + n_0 \cdot S_a \cdot h_a \frac{dC_0}{dt}, \quad 2.2$$

де  $n_0$  – активна пористість ґрунтів.

Або, враховуючи вираз (2.1) отримасмо:

$$C_v Q_v = C_v \cdot Q_v + n_0 \cdot S_a \cdot h_a \cdot \frac{dC_v}{dt}. \quad 2.3$$

$$\text{Позначимо } \frac{C_v}{C_a} = \bar{c} \quad \text{і} \quad \frac{Q_v}{n_0 \cdot S_a \cdot h_a} = \alpha,$$

де  $\alpha$  – параметр часу, доба<sup>-1</sup>;  $\bar{c}$  – відносна концентрація солей у ґрунтових водах.

$$\text{Тоді запишемо: } \frac{d\bar{c}}{dt} = \alpha(1 - \bar{c}). \quad 2.4$$

Осереднюючи величину  $\alpha$  у межах розрахункового відрізка часу, проінтегруємо рівняння (2.4), тоді  $-\ln(1 - \bar{c}) = \alpha t + A$ . 2.5

Маючи на увазі, що при  $\bar{c} = 0$ ,  $t = 0$ , отримаємо довільну постійну  $A=0$  і кінцевий вираз:

$$\bar{c} = \frac{C_v}{C_a} = (1 - e^{-\alpha t}). \quad 2.6$$

Одержані вищенаведені залежності, а також результати вивчення інженерно-геологічних умов розгашування амбару-накопичувача з пластовими зворотними водами, які закачують у глибокозалягаючі горизонти для підтримання пластового тиску, дозволяють виконати прогностичні розрахунки сольового забруднення ґрунтових вод.

Інтенсивність інфільтрації мінералізованих вод із амбару-накопичувача у ґрунтові води за даними наших досліджень становить  $K_f = 2 \cdot 10^{-4}$  м/добу; площа амбару-накопичувача  $S_a = 500$  м<sup>2</sup>; середній рівень потоку під амбаром-накопичувачем  $h_a = 15$  м; пористість ґрунту  $n_0 = 0,3$ . Для проведення розрахунків використовуємо рівняння [2.6], маючи на увазі, що:

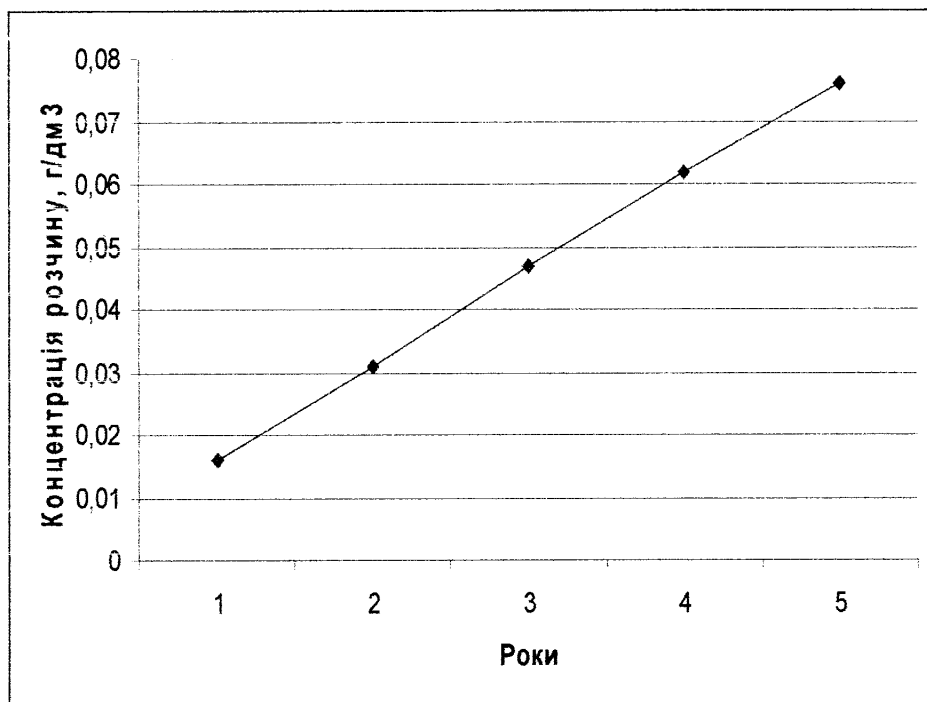
$$\frac{Q_v}{S_a} = K_f \quad \text{і} \quad \alpha = \frac{K_f}{n_0 h_a} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,3 \cdot 15} = 4,4 \cdot 10^{-5} \text{ (добу)}.$$

Подальші розрахунки приведемо у формі таблиці (табл. 2.6).

**Результати прогнозного розрахунку сольового забруднення  
грунтових вод упродовж 5 років**

Розрахункові параметри	Одержані результати розрахунку				
$t_{\text{днів}}$	365	730	1 095	1 460	1 825
$\alpha t$	0,016	0,032	0,048	0,064	0,080
$e^{-\alpha t}$	0,984	0,969	0,953	0,938	0,924
$\bar{c}$	0,016	0,031	0,047	0,062	0,076

Виходячи із результатів розрахунку сольового забруднення ґрунтових вод побудуємо графік залежності концентрації сольового потоку від часу прогнозування (рис. 2.4).



**Рис. 2.4. Графік залежності концентрації сольового потоку від часу**

Аналізуючи отримані результати можна стверджувати, що сольове забруднення ґрунтових вод, яке має місце у межах досліджуваного регіону, характеризується негативною динамікою, а саме наростаючим щорічним збільшенням концентрації сольового забруднення в середньому на  $0,046 \text{ г/дм}^3$ .

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

1. Проведено фізико-хімічне моделювання у системі “зворотна пластова вода – порода” при поступленні забруднюючих компонентів “зверху”. У першому варіанті експерименту розріз повністю складався з пісковиків; другий випадок – у пісковиках у якості домішок присутні карбонати; третій – у якості домішок присутні глини. Встановлено, що після контактування зворотних пластових вод (ЗПВ) з пісковиковою породою кількість хлоридів зменшилась від 25253,1 мг/дм<sup>3</sup> до 24799,7 мг/дм<sup>3</sup>, що можна пояснити незначною сорбційною здатністю пісковика; результати досліджень за умовами другого варіанту експерименту показали, що склад ЗПВ істотно не змінився – сульфати і хлориди зменшились від 250,2 мг/дм<sup>3</sup> до 249,4 мг/дм<sup>3</sup> та 25253,1 мг/дм<sup>3</sup> до 25189,9 мг/дм<sup>3</sup> відповідно; прокачування ЗПВ через третій тип модельного керну характеризується помітною зміною складу досліджуваної води. Вміст сульфатів у реальних ЗПВ зменшився з 537,2 мг/дм<sup>3</sup> до 432,2 мг/дм<sup>3</sup>. Мінералізація води дещо знизилась і наприкінці експерименту становила 39123,4 г/дм<sup>3</sup>, водневий показник (рН) не зазнав зміни і становив 6,7 одиниць.

2. Виконано моделювання концентрації сольового потоку у ґрунтових водах шляхом оцінки впливу фільтраційних процесів з амбару-накопичувача на ґрунтовий потік методом розв’язання математичної задачі.

3. Встановлено, що в умовах розташування джерел забруднення підземних вод в районі Долинського нафтового родовища сольове забруднення ґрунтових вод з кожним роком зростатиме на 0,046 г/дм<sup>3</sup> і через 5 років становитиме 0,232.

## РОЗДІЛ 3

### МОДЕЛЮВАННЯ ФІЛЬТРАЦІЇ ТА МІГРАЦІЇ СОЛЬОВИХ ЗАБРУДНЕНЬ У ВОДОНОСНИХ ГОРИЗОНТАХ

#### **3.1. Підходи до оцінки забруднення водоносних горизонтів зворотними пластовими водами.**

Нафтовидобувна промисловість є однією із найбільш екологічно небезпечних галузей виробництва. Існує надзвичайно багато джерел забруднення водоносних горизонтів нафтою та продуктами її переробки, зворотними пластовими водами (ЗПВ). Система для підтримання пластового тиску, витоки і розливи з трубопроводів та підземних сховищ – одні з основних забруднювачів навколишнього середовища. При попаданні мінералізованих вод у водоносні горизонти відбуваються глибокі, незворотні зміни морфологічних, фізико-хімічних та мікробіологічних властивостей поверхневих та підземних вод, що істотно впливає на їхню біологічну активність (рис. 3.1).

Основним критерієм ступеня забруднення гідросфери є перевищення у ній вмісту ГДК шкідливих речовин. Гідросфера та недосфера вважаються забрудненими, якщо концентрація нафтопродуктів у них досягає такої величини, при якій починаються негативні екологічні зміни у навколишньому середовищі, а саме: порушується екологічна рівновага у екосистемі; знижується продуктивність або настає загибель рослин; відбувається зміна морфології, водно-фізичних властивостей ґрунтів, знижується їхня родючість; створюється небезпека забруднення підземних і поверхневих вод у результаті попадання нафтопродуктів з ґрунту у водоносний горизонт.

Мінімальний рівень вмісту мінералізованих розсолів у ґрунтах і підземних водах, вище якого настає погіршення якості природного середовища, розглядається як верхній безпечний рівень концентрації (ВБРК) [110]. ВБРК розсолів у поверхневих та підземних водах залежить від поєднання багатьох чинників, таких як: тип, склад і властивості водного середовища.



Наслідки аварії, що виникла у результаті пориву нагнітального водопроводу



Технологічні ставки облаштовані протифільтраційним екраном

Земляні амбари додаткового відстою зворотних пластових вод



Аварійний розлив мінералізованих розсолів з трубопроводу

**Рис. 3.1. Джерела забруднення ґрунту та ґрунтових вод**

Природні екосистеми мають більший потенціал до самоочищення. У них активно діють фізико-хімічні і мікробіологічні процеси руйнування вуглеводнів. Тому, якщо вчасно усунути джерело забруднення, то концентрація мінералізованих вод у ґрунтах буде знижуватися і надалі досягне безпечного рівня.

Спостереження за забрудненням водоносного горизонту можуть служити для розробки міграційного водного показника шкідливості, що характеризує здатність хімічної речовини переходити у ґрунтові води.

На основі світового досвіду [110] та експериментальних даних автором складена таблиця нормативів вмісту висококонцентрованих розсолів у ґрунтах, що підлягають рекультивації (табл. 3.1).

**Таблиця 3.1**

**Відносна ступінь забруднення ґрунту, що містить різну кількість нафти**

Ступінь забруднення	Вміст нафти у ґрунті, мг/кг сухого ґрунту	
	Мінеральна частина ґрунту	Органічна частина ґрунту
Від легкого до помірного: при відсутності спеціальних заходів прослідковується тимчасове пригнічення росту рослин.	5 000-20 000	40 000-150 000
Від помірного до високого: нормально розвиватися можуть лише окремі види рослин: відновлення ґрунту відбувається упродовж трьох років: без рекультивації землі час відновлення триває у 2-3 рази довше.	20 000-50 000	150 000-750 000
Від високого до дуже високого: нафта просочує ґрунт на глибину до 10 см: більшість рослин гине: при раціональній рекультивації ґрунт може бути відновлений через 3-5 років: без рекультивації відновлення ґрунту триває 20 років, а то і більше.	понад 50 000	понад 75 000

Експериментальними дослідженнями на прикладі ґрунтів Передкарпатського прогину доведено, що відносно слабке сольове забруднення (менше 10 дм/м<sup>2</sup>) через рік не робить помітного впливу на фотосинтезуючу



функцію рослин, тоді як при високих дозах (більше 20 дм/м<sup>2</sup>) навіть через рік рослини не здатні розвиватися на забрудненій території.

Виявлення концентрацій сольового забруднення і характер його просторово-часового розподілу можливий тільки на підставі наукових досліджень, що включають аналіз природних умов, постановку експериментальних досліджень хімічного складу забруднюючої речовини і фільтраційних властивостей ґрунту.

### **3.2. Експериментальні дослідження механізму забруднення гідросфери.**

Оскільки рельєф поверхні ґрунту є неоднорідним і складається з різного роду височин і западин, то у процесі двомірного гідродинамічного розтікання відбувається наповнення западин нафтою. Це обумовлює нерівномірне поширення рідини по поверхні. Площа сольового забруднення залежить в основному від характеру гідродинамічного потоку джерела, характеристики природного бар'єру на шляху розтікання, процесів взаємодії мінералізованих розчинів з рослинністю і ґрунтом, фізико-хімічних властивостей розсолу.

При контакті рідини з поверхнею ґрунту відбуваються процеси міжфазного масообміну у системі "розсіл-ґрунт". Враховуючи те, що переважна більшість усіх різновидів ґрунтів є капілярно-пористим матеріалом, то із змінною структури пор у результаті масообміну відбувається перенос розсолу у пористі матеріали – капілярне просочування ґрунту.

У випадку незначних аварійних проливів або витоків, рідина в першу чергу заповнює собою великі тріщини, пори і капіляри по яких за рахунок капілярного підняття відбувається природна дифузія до поверхні ґрунту та випаровування ґрунтових вод. Через деякий час, необхідний для заповнення вільного простору великих тріщин, мінералізована речовина досягає верхнього статичного рівня ґрунтових вод.

Основна маса рідини через дрібні пори і капіляри просочується у ґрунт, заповнює і перекриває собою сферичні розміри порового простору.

При застосуванні системи підтримання пластового тиску у нафтоносних пластах велика маса ЗПВ по капілярних каналах проникає вглиб ґрунту і досягає рівня ґрунтових вод.

Тривалість процесу міграції рідини та досягнення нею певної глибини у ґрунті визначається її фізико-хімічними властивостями і параметрами середовища.

### **3.3. Побудова і дослідження математичної моделі двофазної геофільтрації.**

У моделюванні, як і у більшості методів наукових досліджень, виділяють експериментальну і теоретичну частини. Перший метод дозволяє отримати корисні та якісні відомості про закономірність руху рідини у пористому середовищі. Другий – заснований на дослідженні характеристик спільної фільтрації за допомогою системи рівнянь та різних математичних методів.

Більшість літературних джерел вказує на те, що теоретичні дослідження задач двофазної фільтрації рідини у пористому середовищі засновані на моделях Баклея-Льюверетта (БЛ) і Маскет-Льюверетта (МЛ) та їх модифікаціях.

Модель Баклея-Льюверетта включає у себе рівняння двофазного потоку нестисливої рідини у пористому середовищі без врахування капілярних сил. Виводиться зазвичай із закону збереження кожної фази і закону Дарсі у якому передбачається рівність фазових тисків ( $P_1=P_2$ ). Рівняння для насиченості порового простору будь-якою фазою є нелінійним рівнянням похідних гіперболічного типу. Єдиним способом вирішення цього рівняння є чисельний метод. Ця модель, запропонована Баклі та Льювереттом, докладно вивчалася у роботах А. Н. Коновалова, І. А. Чарного, М. І. Швідлера і багатьох ін. [79, 151, 153].

Для опису капілярних ефектів необхідно використовувати повну систему рівнянь з врахуванням капілярного тиску. Модель Маскет-Льюверетта, на

відміну від моделі Баклея-Льюверетта, враховує капілярні сили ( $P_1 \neq P_2$ ), а у систему рівнянь додається закон Лапласа. У моделі МЛ є можливість використовувати широкий набір комбінацій шуканих параметрів. Рівняння насиченості є квазілінійним рівнянням похідних параболічного типу.

Перетворення відносної фазової проникності в нуль перетворює модель у систему диференціального рівняння. Саме це і створює труднощі, як при постановці крайових умов, так і при чисельній реалізації моделі. Дана модель досліджувалася такими вченими як Г.І. Баренблатт, О.Б. Бочаров, В.М. Ентов, А.Н. Коновалов, В.Н. Монахов та багатьма іншими [13, 18, 65, 79].

У залежності від технологічного завдання будують той чи інший тип моделі. На сьогодні створено величезну кількість математичних моделей проникних структур (феноменологічні і структурні моделі пористого середовища, моделі стохастичних процесів), появились нові методи їх побудови та аналізу. Однак, повне дослідження моделей багатофазної фільтрації є ще далекими від свого повного завершення. Одні питання залишаються невирішеними, а інші вимагають більш досконалого дослідження – це задача експериментального обладнання моделей; розробка та використання моделей багатофазного потоку з урахуванням усіх діючих факторів; завдання усталеної плоскої та просторової фільтрації у неоднорідних нашаруваннях (наявність тріщин і каналів) пористих середовищ; розробка і використання ефективних чисельних методів розв'язання нелінійних диференціальних рівнянь, зокрема вивчення інтенсивності та характеру розподілу різних забруднювачів у ненасиченій і насиченій зонах.

У теоретичній частині даного розділу для моделювання і дослідження математичної моделі двофазної геофільтрації застосовується об'єктно-орієнтований підхід. Він є одним із перспективних підходів і заснований на виділенні ключових елементів досліджуваного явища, вирішенні та аналізі фізичнозмістовних модельних задач, важливих для розуміння механізму фільтраційних процесів.

### 3.3.1. Концептуальна постановка задачі.

Розглянемо побудову моделі процесу фільтрації рідини у поровому середовищі та дослідження на її основі інтенсивності і характеру розподілу сольового забруднення з урахуванням впливу зовнішніх чинників на цей процес.

В якості найбільш використовуваного методу кількісного опису фільтраційних процесів у підземній гідромеханіці застосовується макроскопічний метод в основі якого лежить гіпотеза суцільності, а також закони і методи механіки суцільного середовища.

Складемо список параметрів моделі від яких залежить ступінь і характер забруднення гідросфери. Для цього розглянемо основні поняття геофільтрації. Під геофільтрацією розуміють рух рідини у пористому середовищі. Пористим матеріалом є багато природних та штучних тіл: вуглецеве волокно, нікель-алюмінієвий сплав, деревина, ґрунти, гірські породи і т. д. Структура цих матеріалів може бути різноманітною. Характерною рисою згаданих матеріалів є здатність накопичувати у собі рідину і дозволяти їй рухатися під дією зовнішніх чинників.

Основними властивостями водонафтової емульсії є в'язкість  $\mu$  та густина  $\rho$ , які визначаються у лабораторних умовах шляхом аналізу проб рідкого забруднювача. Пористе середовище характеризується двома основними ознаками: пористістю  $m$  і проникністю  $k$ .

Пористість (ефективна) визначається співвідношенням  $m = V_n/V$ ,  $V_n$  – об'єм сполучених пор, а  $V$  – загальний об'єм пористого середовища, таким чином, пористість величина безрозмірна і змінюється у порівняно вузьких межах: 0,2-0,4. Іншою макроскопічною характеристикою ґрунту є проникність, яка характеризує властивість ґрунту пропускати через себе рідину. Проникність вимірюється в одиницях площі ( $m^2$ ). У процесі проникнення рідини у ґрунт спостерігається багатофазна фільтрація. Тому для характеристики проникності ґрунтів вводиться поняття відносної фазової проникності  $k_f(s)$ . Величина її залежить не тільки від фізичних властивостей порід, але також і від ступеня насиченості порового

простору рідиною та газом. При дослідженнях виникає важливе питання про те, яку частину порового простору займає кожна компонента.

Насиченість порового середовища визначається як відносна величина обсягу пор середовища, що зайняті рідкою фазою. Звідси, позначаючи насиченість через  $s$ , отримуємо:  $s = V_c / V$ ,  $V_c$  – об'єм середовища, що зайнятий даною компонентою, а  $V$  – загальний об'єм пор середовища. Під швидкістю фільтрації  $u$  розуміють об'єм рідини, що протікає за одиницю часу через одиничну площу пористого середовища перпендикулярно напрямку потоку. Вектор швидкості фільтрації направлений по нормалі до тієї площі, через яку відбувається найбільша витрата.

$$u = \frac{Q}{F} = \frac{k}{\mu} \cdot \frac{\Delta p}{L}, \quad 3.1$$

де  $u$  – швидкість лінійної фільтрації;  $Q$  – об'ємна витрата рідини за одиницю часу;  $\mu$  – динамічна в'язкість рідини,  $F$  – площа фільтрації;  $\Delta p$  – перепад тиску;  $L$  – довжина пористого взірця.

Побудову моделі будемо виконувати при наступних припущеннях:

1. Об'єктом дослідження є процес сольового забруднення ґрунтових та підземних вод внаслідок використання системи для підтримання пластового тиску, аварійних витоків і розливів висококонцентрованих розсолів.

2. Розглядається нестислива рідина ( $\rho = \text{const}$ ,  $\mu = \text{const}$ ) у макрооднородному ґрунті ( $m = \text{const}$ ,  $k = \text{const}$ ).

3. У першому випадку розглядається насичення ґрунту повітрям. Тиск повітря вважаємо рівним атмосферному.

4. Припускаємо, що надходження розсолу відбувається вздовж осі  $z$ , спрямованої від поверхні досліджуваної області вертикально вниз. Бокові границі області не впливають на процес фільтрації.

5. Для двофазної фільтрації  $s_1 + s_2 = 1$ , тому з двох насичень незалежним є тільки одне, внаслідок чого вводиться позначення  $s = s_1$  – водонасиченість,  $s_2 = 1 - s$ .

6. При двофазному потоку рідини, що не змішується, тиск у кожній із фаз є нерівним між собою ( $p_1 \neq p_2$ ),  $p_c(s) = p_1 - p_2$ , індекси 1 та 2 відносяться до забруднювача і повітря відповідно.

### 3.3.2. Математична постановка задачі і вибір методу її вирішення.

На основі вище наведених гіпотез, для формалізації моделі використовуємо відомі з нафтогазової підземної гідромеханіки закони суцільного середовища. Основними рівняннями, що описують рух рідини у пористому середовищі є рівняння нерозривності і закон фільтрації Дарсі. З урахуванням пористості закон збереження маси у пористому середовищі, або рівняння нерозривності у дивергентній формі і декартовій системі координат для однорідної рідини у недеформованому середовищі має вигляд [13]:

$$m \frac{\partial s}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \bar{u}) = 0, \quad 3.2$$

де  $s$  – насиченість порового середовища,  $m$  – пористість матеріалу,  $\rho$  – густина,  $\bar{u}(u_x, u_y, u_z)$  – вектор швидкості фільтрації,  $u_x, u_y, u_z$  – компоненти вектора фільтрації,  $x, y, z$  – координати,  $t$  – час.

Закон збереження (3.2) перепишемо у вигляді:

$$m \frac{\partial s}{\partial t} + \left[ \frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho u_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho u_z)}{\partial z} \right] = 0 \quad 3.3$$

Узагальнений закон фільтрації (закон Дарсі) для тривимірного потоку матиме наступний вигляд:

$$\bar{u} = -k \frac{k(s)}{\mu} (\nabla p - \rho \bar{g}), \quad 3.4$$

де  $k$  – проникність пористого середовища,  $\mu$  – динамічна в'язкість,  $p$  – тиск,  $\rho$  – густина,  $k(s)$  – відносна проникність,  $\bar{g}$  – вектор прискорення вільного падіння.

Для опису багатофазного потоку використовують закон фільтрації Дарсі в узагальненому вигляді:

$$\bar{u}_l = -k \frac{k_l(s)}{\mu_l} (\nabla p_l - \rho_l \bar{g}), \quad 3.5$$

де  $k$  – проникність пористого середовища,  $\mu_l$  – динамічна в'язкість  $l$ -ої фази,  $p_l$  – тиск  $l$ -ої фази,  $\rho_l$  – густина  $l$ -ої фази,  $k_l(s)$  – відносна фазова проникність  $l$ -ої фази,  $\bar{g}$  – вектор прискорення вільного падіння.

Розглянемо тривимірну постановку задачі геофільтрації, яка є вихідною для більшості моделей, які використовуються у задачах геоекології. Рух розсолу і повітря з урахуванням взаємозв'язку фільтраційних властивостей порід за рівнем та інтенсивністю їх забруднення у тривимірній постановці описується системою рівнянь у декартовій системі координат:

$$m \frac{\partial s}{\partial t} + \left[ \frac{\partial(\rho_1 u_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_1 u_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho_1 u_z)}{\partial z} \right] = 0, \quad 3.6$$

$$m \frac{\partial(1-s)}{\partial t} + \left[ \frac{\partial(\rho_2 u_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_2 u_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho_2 u_z)}{\partial z} \right] = 0.$$

У циліндричній системі координат  $(r, \theta, z)$  система рівнянь (3.6) набуває вигляду:

$$m \frac{\partial s}{\partial t} + \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial(r \rho_1 u_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(\rho_1 u_\theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial(\rho_1 u_z)}{\partial z} \right] = 0, \quad 3.7$$

$$m \frac{\partial(1-s)}{\partial t} + \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial(r \rho_2 u_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(\rho_2 u_\theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial(\rho_2 u_z)}{\partial z} \right] = 0.$$

В умовах, що розглядаються, закон фільтрації (закон Дарсі) записується у вигляді (3.8), індекси 1 та 2 відносяться до розсолу і повітря:

$$u_1 = -k \frac{k_1(s)}{\mu_1} (\nabla p_1 - \rho_1 \bar{g}), \quad u_2 = -k \frac{k_2(s)}{\mu_2} (\nabla p_2 - \rho_2 \bar{g}). \quad 3.8$$

Капілярний тиск визначається співвідношенням:  $p_c(s) = p_2 - p_1$ . Ключовим моментом у виразі (3.8) є наявність двох членів. Перший з них – це фазовий тиск  $p_l$ . Наявність цього члена означає, що у теорії фільтрації розсолу у пористому середовищі повинна враховуватися відмінність фазових тисків, обумовлена дією капілярних сил. Інший важливий параметр – відносна фазова проникність  $k_l(s)$ . Функція відносної фазової проникності відображає кількісну втрату швидкості фази за рахунок того, що частина порового середовища зайнята

іншою фазою і є експериментально вимірюваною функцією насиченості витісняючої фази. Проникність вимірюється шляхом утворення у зразку одновимірною потоку і обробки результатів вимірювання за допомогою відповідної формули із закону Дарсі. При цьому враховують граничні значення насиченості витісняючої фази  $s_*$  і  $s$ , що при  $s \leq s_*$  і  $s \geq s^*$ . Відповідні фазові проникності  $k_l(s)$  перетворюються у нуль. Тоді із узагальненого закону Дарсі випливає, якщо  $s \leq s_*$ , то витісняє нерухома фаза, якщо  $s \geq s^*$ , то витісняється нерухома фаза. При цьому  $s_*$  називається залишковою нафтонасиченістю,  $(1 - s^*)$  – залишковою газонасиченістю. При  $s \geq s^*$  капілярними ефектами можна знехтувати. Тобто,  $k_l(0) = k_2(1) = 0$ ,  $k_l(1) = k_2(0) = 1$ . Типовий вид функції відносної фазової проникності  $k_l(s)$  приведений у багатьох літературних джерелах [13, 14, 65, 76, 79].

У задачах, які представляють практичний інтерес, зручно користуватися емпіричними формулами Вікова-Ботсета або Чень-Чжун-Сяна [14, 49, 76]:

$$k_1(s) = \begin{cases} \left(\frac{s-s_*}{s^*}\right)^{\alpha_1}, & s_* < s \leq 1 \\ 0, & 0 \leq s \leq s_* \end{cases} \quad 3.9$$

$$k_2(s) = \begin{cases} \left(\frac{s^*-s}{s^*}\right)^{\alpha_2}, & 0 \leq s \leq s^* \\ 0, & s^* \leq s \leq 1 \end{cases} \quad 3.10$$

$$0, \quad s^* \leq s \leq 1$$

Співвідношення (3.8), що задає зв'язок  $p_l$  і  $k_l(s)$  з фазовими насиченостями  $s_l$  визначає характер моделі.

Підставимо рівняння (3.8) у рівняння нерозривності (3.6). У результаті отримаємо (3.11):

$$m \frac{\partial s}{\partial t} = \operatorname{div} \left[ k \frac{k_1(s)}{\mu_1} (\nabla p_1 - \rho_1 \bar{g}) \right], \quad 3.11$$

$$m \frac{\partial (1-s)}{\partial t} = \operatorname{div} \left[ k \frac{k_2(s)}{\mu_2} (\nabla p_2 - \rho_2 \bar{g}) \right], \quad 3.12$$

$$p_2 = p_1 + p_c(s), \quad 3.13$$

$s_1 + s_2 = 1$ , при  $s \equiv s_1$  значення  $s_2 = 1 - s$ .



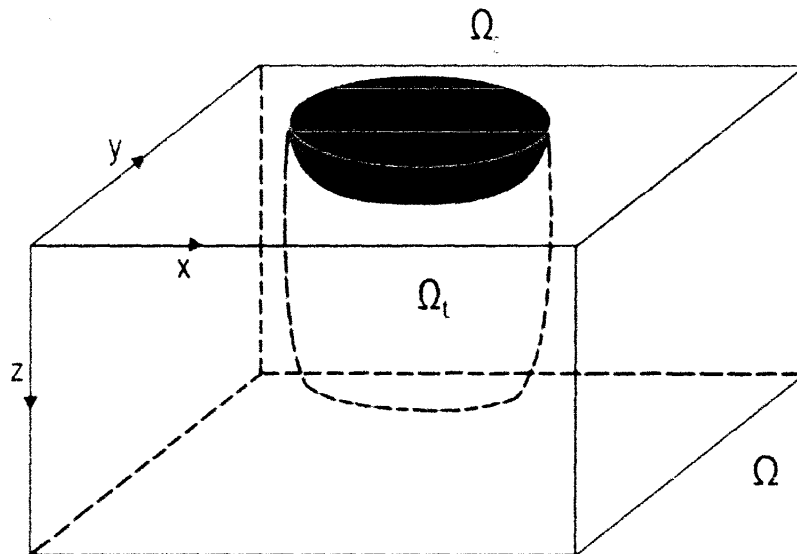
Рівняння (3.11) і (3.12) після ряду перетворень з урахуванням (3.13) запишемо у безрозмірній формі:

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \left[ k \left( \frac{k_1(s)}{\mu_1} + \frac{k_2(s)}{\mu_2} \right) \nabla p_1 \right] = \\ = -\operatorname{div} \left[ k \frac{k_2(s)}{\mu_2} \nabla p_c(s) \right] + k \frac{\partial k_1(s)}{\mu_1 \partial z} \rho_1 \bar{g} + k \frac{\partial k_2(s)}{\mu_2 \partial z} \rho_2 \bar{g}. \end{aligned} \quad (3.14)$$

Припустимо, що відношення в'язкості фаз  $\mu_0 = \frac{\mu_1}{\mu_2}$  і  $p = p_1$ , тоді (3.14) перепишемо у вигляді:

$$\operatorname{div} [(k_1(s) + \mu_0 k_2(s)) \nabla p] = -\operatorname{div} [\mu_0 k_2(s) \nabla p_c(s)] + k_1(s) \rho_1 \bar{g} + \mu_0 k_2(s) \rho_2 \bar{g}. \quad (3.15)$$

Сформулюємо постановку задачі, тобто задамо умови в початковий момент часу і граничні умови на границі досліджуваної області, яка представляє собою частину простору (рис. 3.2). Система рівнянь (3.9 – 3.15) розглядається в області  $\Omega \times (0; T]$ , де  $\Omega$  – тривимірний куб з границею  $\Gamma$ ,  $\Omega = [0; l_1] \times [0; l_2] \times [0; l_3]$ .



**Рис. 3.2. Формальне представлення предметної області**  
**( $\Omega_t$  – область фільтрації рідини,  $\Omega_0$  – область поступлення водонафтової емульсії,  $\Omega$  – розрахункова область)**

*Початкові умови:*

– при  $t = 0$ :  $s = 1$ ,  $(x, y, z) \in \Omega_0$ ,

$p = \rho_l \bar{g} z + p_{атм}$ ,  $(x, y, z) \in \Omega_0$ ,

$s = 0$ ,  $(x, y, z) \in \Omega_0 \setminus \Omega_0$ ,  $p = 1$ ,  $(x, y, z) \in \Omega_0 \setminus \Omega_0$ .

3.16

*Граничні умови:*

– границя з атмосферою ( $\Gamma_1$ ).

На поверхні контакту з атмосферою маємо умови  $p = p_{атм}$ ,

де  $p_{атм}$  – атмосферний тиск;

– на границі ( $\Gamma_2$ ) між фазами тиску води має місце умова:

$p = p_{атм} + p_c(s)$ ;

3.17

– непроникна межа ( $\Gamma_3$ ).

Рідина не проходить через непроникну границю, тому умову непроникності можна записати у наступному вигляді:

$$k \frac{k_1(s)}{\mu_1} (\nabla p_1 - \rho_l \bar{g}) \cdot n|_{\Gamma_3} = 0,$$

3.18

де  $n$  – вектор нормалі до границі  $\Gamma_3$ .

Таким чином, математична модель даного процесу складена (3.9) – (3.18).

Побудована модель ґрунтується на двофазній фільтрації із врахуванням діючих факторів та дає можливість вирішувати низку завдань, а саме: вивчити динаміку поширення ареалу сольового забруднення, проаналізувати взаємозв'язок фільтраційних властивостей різного типу ґрунтів з інтенсивністю їх забруднення та визначити закономірність зміни забрудненої зони.

### 3.3.3. Дослідження проведені за допомогою отриманої моделі.

Для того, щоб виявити взаємозв'язок фільтраційних властивостей ґрунтів різного типу з інтенсивністю забруднення підземних вод, розв'яжемо систему рівнянь (3.9) – (3.18). Виконаємо спрощення вихідної тривимірної моделі до одновимірної. Тобто, зміна параметрів буде відбуватися вздовж вертикальної осі  $O_z$ , спрямованої від поверхні розглянутої області вертикально вниз.

При підстановці у рівняння нерозривності (3.6) першого рівняння (3.8) з урахуванням співвідношення для тиску, отримаємо:

$$(k_1 + \mu_0 k_2) \frac{dp}{dz} = k_1 \rho_1 g - \mu_0 k_2 \frac{dp_c}{dz} + \mu_0 k_2 \rho_2 g \quad 3.19$$

Виконавши відповідні перетворення отримаємо систему рівнянь:

$$m \frac{ds}{dt} = \frac{d}{dz} \left( \left( -\frac{k}{\mu_1} \cdot \frac{k_1(s)k_2(s)}{\frac{\mu_2}{\mu_1} k_1(s) + k_2(s)} \right) \frac{dp_c(s)}{dz} \right) - \frac{k}{\mu_1} \cdot \frac{d}{dz} \cdot \frac{k_2(s)}{\frac{\mu_2}{\mu_1} k_1(s) + k_2(s)} \rho_1 g$$

$$+ \frac{k}{\mu_1} \cdot \frac{d}{dz} \cdot \frac{k_1(s)k_2(s)}{\frac{\mu_2}{\mu_1} k_1(s) + k_2(s)} \quad 3.20$$

$$\Psi = \frac{k_1 k_2}{(k_2 + \frac{\mu_2}{\mu_1} k_1)} \quad \text{і} \quad F = \frac{k_2}{\frac{\mu_2}{\mu_1} k_1 + k_2}$$

Введемо позначення:

Рівняння (3.20) запишемо у вигляді:

$$m \frac{ds}{dt} = \frac{d}{dz} \left( -\frac{k}{\mu_1} \Psi p_c(s) \right) \frac{ds}{dz} + \frac{k}{\mu_1} \frac{d\Psi}{dz} \rho_2 g - \frac{k}{\mu_1} \frac{dF}{dz} \rho_1 g \quad 3.21$$

враховуючи, що у ході циклу просочування капілярний тиск є нижчим, ніж при витісненні. У чисельних розрахунках необхідно вводити функцію капілярного тиску з обмеженою похідною. При введенні капілярного тиску зазвичай визначається безрозмірна функція насиченості змочуваною фазою – функція Леверета  $J(s)$ , яка встановлює зв'язок між капілярним тиском  $P_c$ , проникністю і пористістю середовища:

$$J(s) = \frac{\sqrt{k/m}}{\sigma \cos \theta} P_c(s), \quad P_c(s) = \frac{\sigma \cos \theta}{\sqrt{k/m}} J(s), \quad 3.22$$

З урахуванням (3.20) співвідношення (3.21) можна спростити до вигляду:

$$m \frac{ds}{dt} = \frac{d}{dz} \left( a(s) \frac{ds}{dz} \right) - \frac{k \rho_1 g}{\mu_1} \cdot \frac{dF}{dz}, \quad 3.23$$

де 
$$a(s) = -\frac{k}{\mu_1} \Psi \frac{dp_c}{ds} = a_0 \Psi \frac{dJ(s)}{ds},$$

$$a_0 = -\frac{\sigma \cos \theta}{\mu_1} \sqrt{km}.$$

Необхідно розв'язати задачу, яка записана у вигляді (3.23), при таких умовах:

$$- \text{при } t = 0: \quad s(z, 0) = 0, \quad 3.24$$

- на верхній границі досліджуваної області гранична умова для насичення розсолоним має вигляд:

$$s(0, t) = s_0, \quad 3.25$$

- на нижній границі при  $u_l = 0$ :

$$\frac{ds}{dz} = 0. \quad 3.26$$

Для зручності проведення подальших розрахунків запишемо:

$$n_z = \frac{L}{h_z}, h_z = \frac{L}{n_z}; n_t = \frac{T}{\tau}, \tau = \frac{T}{n_t}, T = \frac{m\mu_1 L}{k\rho_1 g}. \quad 3.27$$

Для того, щоб побудувати схему для вихідної задачі необхідно вибрати рівномірну сітку з кроком  $h_z$  по змінній  $z$  і кроком  $\tau$  за часом  $t$ . Отриману сіткову область запишемо у вигляді:  $w_{h,\tau} = \{z = ih_z (0 \leq i \leq n_z), t_j = j\tau, 0 \leq j \leq n_t\}$ ,

де  $n_z = L/h_z, n_t = T/\tau$ .

Здійснивши заміну похідних у внутрішніх вузлах  $w_{h,\tau}$  кінцево-різницевиими співвідношеннями з урахуванням змінного коефіцієнта отримаємо стійку різницеву схему [7]:

$$\frac{s_i^{j+1} - s_i^j}{\tau} = \frac{1}{h^2} [a_{i+1/2}^{j+1}(s_{i+1}^{j+1} - s_i^{j+1}) - a_{i-1/2}^{j+1}(s_i^{j+1} - s_{i-1}^{j+1})] + f(s_i^{j+1}), \quad 3.28$$

$$\text{де } a_{i-1/2}(s) = k \left( \frac{s_{i-1}^{j+1} + s_i^{j+1}}{2} \right), \quad a_{i+1/2}(s) = k \left( \frac{s_i^{j+1} + s_{i+1}^{j+1}}{2} \right).$$

$$s_i^0 = 0, \quad j = 0, i = 0, \dots, n_z; \quad s_0^{j+1} = 1, \quad i = 0, j = 0, \dots, n_t - 1.$$

Різницєва схема (3.28) апроксимує початкове рівняння з похибкою  $O(\tau + h^2)$ .

Рекомендується вирішення системи (3.28) виконувати методом прогонки. Різницєва апроксимація рівняння (3.23) з ітераціями по нелінійності приводить до трьохточкового різницєвого рівняння:

$$A_i s_{i-1}^{j+1} - C_i s_i^{j+1} + B_i s_{i+1}^{j+1} = -F_i, \quad 0 < i < n, \quad 3.29$$

де

$$A_i = \frac{\tau}{h^2} a_{i-1/2}^{j+1},$$

$$B_i = \frac{\tau}{h^2} a_{i+1/2}^{j+1},$$

$$C_i = 1 + A_i + B_i;$$

$$F_i = s_i^j + \mathcal{F}_i^j,$$

з крайовими умовами:

$$s_0 = \chi_1 s_1 + \nu_1, \quad s_n = \chi_2 s_{n-1} + \nu_2, \quad 3.30$$

або у матричному вигляді:

$$\begin{bmatrix} 1 - \chi_1 \\ a_1 - c_1 b_1 \\ a_2 - c_2 b_2 \\ a_3 - c_3 b_3 \\ \dots \\ a_{n-1} - c_{n-1} b_{n-1} \\ -\chi_2 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_0 \\ s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ \dots \\ s_{n-1} \\ s_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \nu_1 \\ -F_1 \\ -F_2 \\ -F_3 \\ \dots \\ -F_{n-1} \\ \nu_2 \end{bmatrix}.$$

Отримаємо чисельне вирішення задачі (3.29), (3.30) за допомогою наступного алгоритму (формули методу прогонки):

$$\alpha_{i+1} = \frac{B_i}{C_i - \alpha_i A_i}, \quad \beta_{i+1} = \frac{A_i \beta_i + F_i}{C_i - \alpha_i A_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad 3.31$$

Коефіцієнти  $\alpha_i, \beta_i$  визначаються із крайових умов на лівому кінці,  $s_n$  визначається із крайових умов на правому кінці нерівності (3.30) при  $i = n-1$

$$s_0[0] = 1, \alpha_1 = 0, \beta_1 = s_0[0], s_n = \frac{\nu_2 + \chi_2 \beta_n}{1 - \chi_2 a_n}.$$

Для завершення ітерацій при рахунку за схемою (3.28) використовується

умова  $\max_i |s_i^{j+1} - s_i^j| \leq \varepsilon$  ( $\varepsilon$  – точність ітерацій), або ж задається певна кількість ітерацій.

Як уже зазначалось, одним із основних чинників, що визначає ступінь і характер забруднення підземних вод є фільтраційні властивості середовища. У зв'язку з цим проведено дослідження впливу макроскопічних параметрів

пористого середовища, а зокрема – пористості та проникності порід на рівень їх забруднення. Дослідження розповсюдження водонафтової емульсії у ґрунт під дією сили тяжіння та з урахуванням впливу тиску виконували за схемою (3.27).

Для чисельних розрахунків були використані наступні параметри:

- пористість ґрунту –  $m = 0,3$ ;
- проникність –  $k = 11,5 \text{ мкм}^2$ ;
- густина водонафтової емульсії –  $\rho_1 = 1 \text{ г/см}^3$ ;
- густина повітря –  $\rho_2 = 0,00123 \text{ г/см}^3$ ;
- в'язкість водонафтової емульсії –  $\mu_1 = 0,9 \text{ сПз}$ ;
- висота області фільтрації водонафтової емульсії –  $L = 1-17 \text{ м}$ ;
- граничні значення насиченості –  $s^* = 0,9$ ;  $s_* = 0,1$ ;
- насиченість на верхній границі області  $S_0 = 1,0$ ;
- прискорення вільного падіння –  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ .
- При розрахунках використовувались функціональні параметри із (3.24):

$$k_1(s) = \left( \frac{s-0,1}{0,9} \right)^{3,5}, \quad k_2(s) = \left( \frac{0,9-s}{0,9} \right)^{3,5} \cdot (1+3s), \text{ похідна від функції Леверетта}$$

$$J(s) \text{ була визначена як } \frac{dJ(s)}{ds} = 0,01 \cdot (1-s). \quad 3.32$$

Значення фільтраційних параметрів моделі були наближені до експериментальних даних. Модель (3.11) – (3.18) дозволяє візуально спостерігати за зміною різного типу ґрунтів під дією водонафтової емульсії.

Результати чисельних розрахунків показали, що час фільтрації водонафтової емульсії у пісок на глибину 1 метр становив 22 години, а швидкість просування фронту забруднення дорівнювала  $5 \cdot 10^{-5}$ ; час фільтрації у супісок становив 33 години, швидкість просування фронту забруднення дорівнює  $1,67 \cdot 10^{-5}$ ; час фільтрації у суглинки тривав 39 годин, а швидкість просування фронту –  $1,25 \cdot 10^{-5}$ , що узгоджується з експериментальними даними.

В цілому процес фільтрації водонафтової емульсії у ґрунт відбувається доволі швидко, але необхідно відмітити, що максимальні швидкості фільтрації були встановлені для порід з мінімальним вмістом піщаної фракції, а мінімальні

швидкості для порід з максимальним вмістом піщаної фракції. Отже, значна кількість водонафтової емульсії мігрує у напрямку поліпшення фільтраційних властивостей ґрунту, і саме тут необхідно очікувати на максимальне забруднення, як ґрунту так і ґрунтових вод.

Розрахунки також показують, що гравітаційно-капілярна взаємодія впливає на динаміку поточної глибини проникнення водонафтової емульсії у ґрунт. Збільшення гравітаційного параметру призводить до зменшення  $s^*$ , що свідчить про повне просочування водонафтового забруднювача в глибину ґрунту, а відтак і у водоносний горизонт. Якщо капілярна протидія є сильнішою, то орієнтаційний ефект знижується – форма фронту стає більш згладженою. Поясненням цьому є те, що капілярні сили гальмують рух забруднювача “зверху - вниз”. У запропонованій математичній моделі форму фронту визначають криві  $k(s)$  і члени дисперсійного типу, для цього варіанту розрахунку у якості модельних фазових проникностей були використані наступні функціональні залежності (3.32). Ці параметри є експериментально вимірюваними функціями насиченості, а можливість відтворення характеристик процесу фільтрації у моделі напряму пов’язана з експериментальними даними реального об’єкту. Цей факт необхідно враховувати при розрахунку зони забруднення.

Для реалізації обчислювального алгоритму (3.31) була побудована комп’ютерна модель з використанням технології візуального програмування Borland Delphi. Комп’ютерна реалізація моделі досліджуваного процесу розглянута у наступному розділі.

### **3.4. Програмна реалізація моделі фільтрації.**

У науковій та виробничій практиці для чисельного моделювання гідрогеологічних процесів широкого поширення набула розробка комп’ютерних програм та інформаційних систем.

На сьогоднішній день існує широкий спектр програмних засобів, які забезпечують комп'ютерну реалізацію моделювання. Цей інструментарій можна поділити на три класи:

- системи програмування (Borland Delphi, Borland JBuilder, MS Visual C++ і т.д.);
- пакети програм математичного призначення (Mathematica, Maple, MathCAD, MATLAB і т.д.);
- спеціалізовані моделюючі програми (CosmosWorks, MSC Nastran або ANSYS).

На універсальній алгоритмічній мові високого рівня можна реалізувати будь-яку математичну модель, витративши при цьому значні зусилля. Однак програми на мовах високого рівня програмування не приховують математичної моделі та методів її реалізації.

Процес створення програмного забезпечення містить у собі декілька етапів:

- 1) розробка специфікації на створення програмного забезпечення;
- 2) проектування структури програмного комплексу;
- 3) кодування алгоритму;
- 4) тестування та налагодження;
- 5) супровід і експлуатація.

Даний комплекс створено для аналізу інтенсивності і характеру просторово-часового розподілу висококонцентрованих розсолів у пористому середовищі.

У наступних пунктах розділу наводиться специфікація на розробку програмного комплексу і його структура.

### **3.5. Специфікація на розробку програмного забезпечення.**

Автором дисертаційної роботи розроблено комп'ютерну програму, яка реалізована в інтегрованому середовищі Delphi і адаптована для ПК забезпечених графічним адаптером. Велика увага приділено сервісному оформленню програми



у вигляді системи меню та наглядному графічному представленню отриманих результатів з візуалізацією змодельованих фізичних процесів.

Передбачено виведення результатів чисельних розрахунків на екран монітора, принтер або у файл даних.

Розроблена комп'ютерна програма реалізує математичну модель досліджуваного процесу з використанням системи програмування Borland Delphi.

Побудована математична модель дозволяє проводити дослідження динаміки розповсюдження сольового забруднення у пористому середовищі з урахуванням впливу зовнішніх чинників на цей процес. Модель включає у себе систему рівнянь похідних.

У число диференціальних рівнянь входить рівняння балансу маси в елементі пористого середовища – рівняння нерозривності, а також диференціальні рівняння руху. Для замикавання системи вводиться рівняння стану рідини та середовища. Початкові і граничні умови відповідають фільтраційним процесам.

Особливістю складеної математичної моделі є те, що вона має об'єктно-орієнтований характер. Для вирішення такого класу задач використовуються методи комп'ютерного математичного моделювання і чисельного вирішення диференціальних рівнянь. У даній роботі для вирішення поставлених завдань використовується теорія різницевих схем.

Дослідження різницевих схем базується на використанні загальної теорії стійкості операторно-різницевих схем.

Вхідними даними для математичного розрахунку є пористість ґрунту  $m$  і проникність  $k$ ; густина рідини  $\rho_1$ , густина повітря  $\rho_2$ ; в'язкість рідини  $\mu_1$ ; в'язкість повітря  $\mu_2$ ; висота і ширина області фільтрації рідини  $L_2$ ; граничні значення насиченості  $s^*$ ,  $s_0$ ; насиченість на верхній границі області  $S_0$ ; прискорення вільного падіння.

Комп'ютерна математична модель дозволяє визначити: насиченість  $s_1$ ; розподіл тиску у кожній з фаз  $p_1$ , розподіл швидкостей фільтрації у ґрунті в будь-який момент часу.

При введенні вихідних даних передбачений контроль:

- для первинного введення даних можна скористатися довідковою інформацією правого вікна діалогу завантаження первинних даних, або ввести інформацію самостійно;
- значення які вводяться повинні бути додатніми;
- крайовий кут змочування повинен знаходитися у межах від 0 до 1 градуса;
- насиченість на верхній межі області  $s_0$  приймається рівною 1 і т.д.

При діагностуванні перерахованих помилок програма видає відповідні повідомлення про помилку, а далі необхідно усунути помилки і повторити запуск програми.

### **3.6. Структура програмного комплексу.**

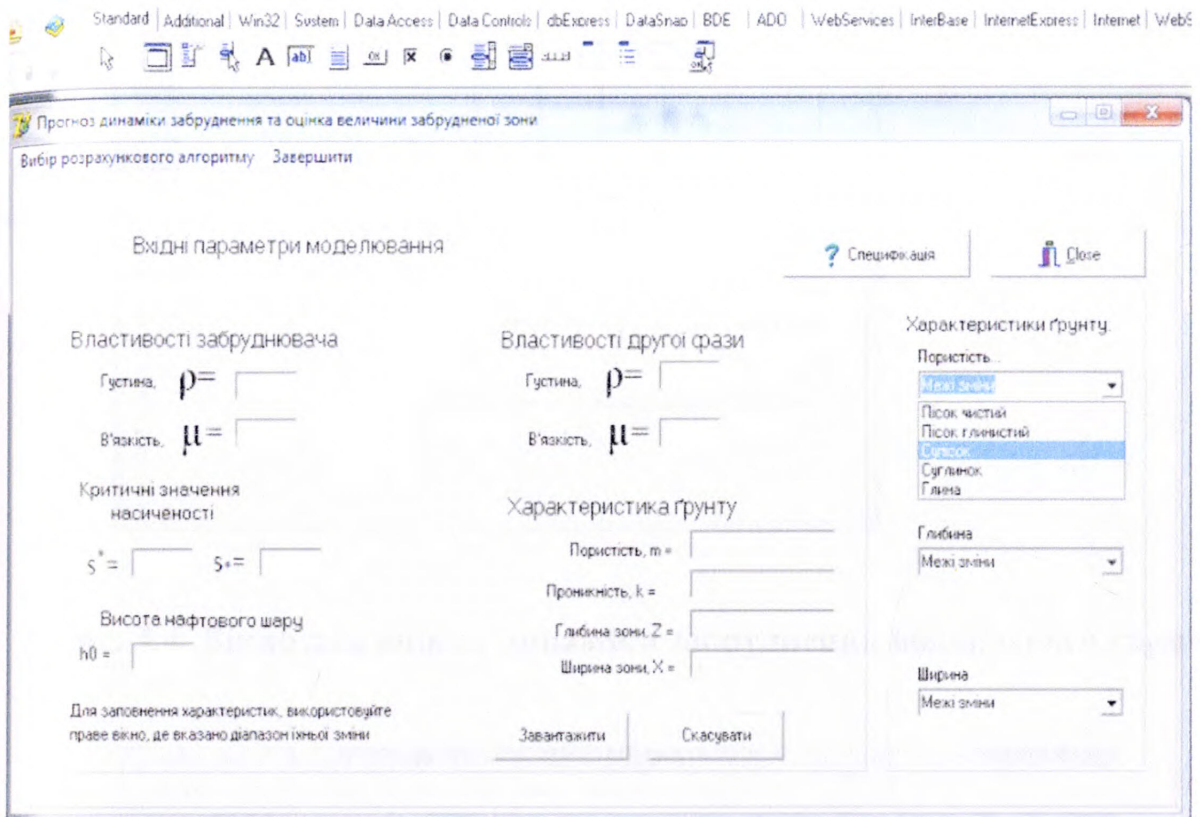
Архітектура програмного комплексу складається з трьох частин:

- 1) процесор забезпечує імпортування початкових даних та їх редагування;
- 2) процесор здійснює чисельне вирішення завдань згідно розробленого обчислювального алгоритму;
- 3) процесор здійснює обробку та візуалізацію результатів розрахунку.

Робота програми починається із завантаження вихідних даних у поля редагування (рис. 3.3).

При моделюванні екологічних процесів виникає питання про чисельну ідентифікацію параметрів, що беруть участь у моделі, тому у програмному продукті запропонований початковий банк даних, що має конкретний фізичний зміст. Для прив'язки математичної моделі до конкретної аварійної ситуації параметри повинні бути визначені експериментально на кожному досліджуваному об'єкті. У лівому верхньому кутку проекту знаходиться головне меню за допомогою якого можна вибрати обчислювальний алгоритм вирішення задачі. Розроблений алгоритм і програма моделювання процесу оформлені у вигляді інформаційно-обчислювальної системи, яка складається з трьох модулів і

ДОЗВОЛЯЄ чисельно аналізувати вплив основних фізико-механічних параметрів на характеристики досліджуваного процесу сольового забруднення.



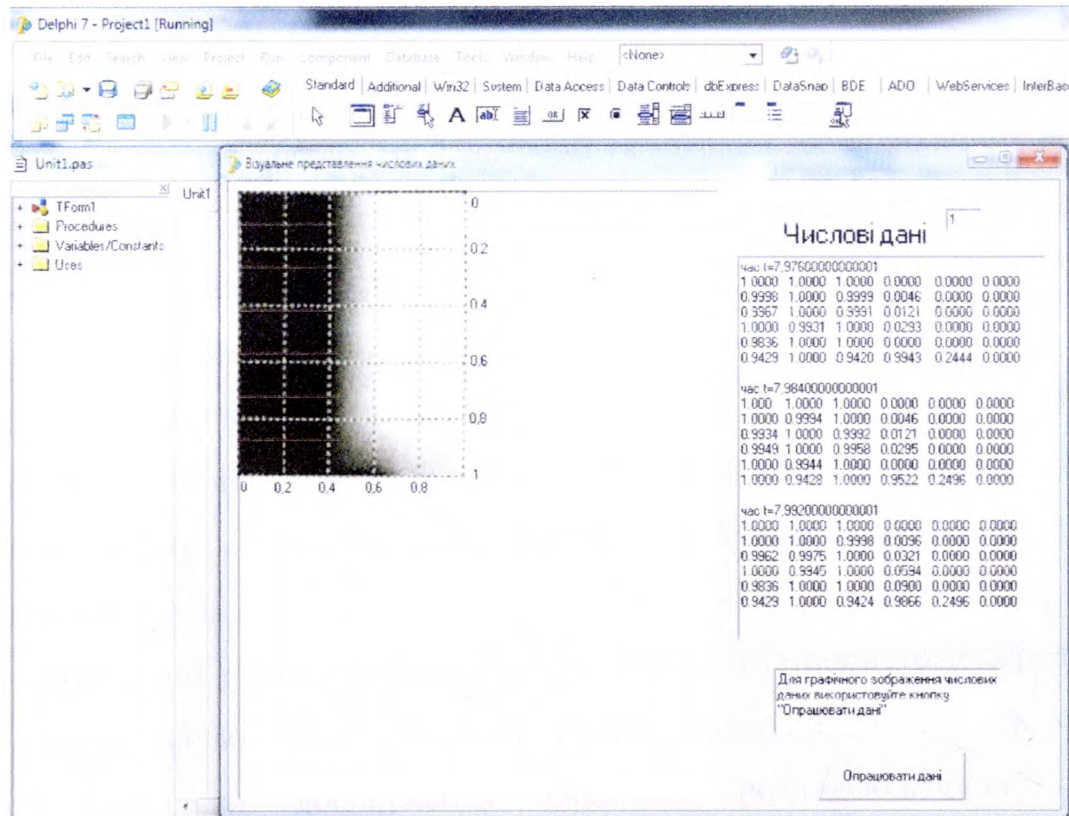
**Рис. 3.3. Вікно вводу початкових даних**

Покроковий розрахунок задачі проводиться керуючою програмою комплексу. Керуюча програма взаємодіє із розрахунковими модулями через ядро комплексу, яке здійснює роботу з даними за допомогою набору відповідних інтерфейсів. Вікно (рис. 3.4) призначене для оцінки динаміки забруднення водоносного горизонту за поточною глибиною. Обчислення виконуються при натисканні на кнопку „Намалювати графік”. Програма виводить графік.

Також, виводиться і числова інформація про розподіл сольового забруднення у різні інтервали часу.

Вікно (рис. 3.5) призначене для оцінки швидкості утворення зони забруднення та її розмірів. Обчислення виконуються при натисканні на кнопку „Візуалізувати дані”.





**Рис. 3.6. Вікно для оцінки області та ступеня забруднення ґрунтових вод при інфільтрації мінералізованих розсолів у динамічному режимі**

Програма виводить графічне зображення на якому градаціями кольору вказані межі зон з різним ступенем забруднення.

Вікно (рис. 3.6) призначене для оцінки області та ступеня забруднення гідросфери у динамічному режимі. Обчислення виконуються при натисканні на кнопку “Опрацювати дані”. Результати розрахунків можна зберегти у файл для подальшого опрацювання.

Таким чином, була створена комп'ютерна математична модель фільтраційного процесу, що дозволяє візуалізувати формальну модель і реалізувати її на етапі дослідження області сольового забруднення ґрунтів та гідросфери, а також отримати результати моделювання, як чисельно так і графічно.

### ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

1. Проведено моделювання фільтрації та міграції забруднюючих речовин у водоносному пласті. Використано закони суцільного середовища, а саме рівняння нерозривності та закон фільтрації Дарсі, що дало змогу отримані результати досліджень максимально наблизити до натурних умов.

2. Розроблено математичну модель засновану на двофазній фільтрації, яка дає можливість вирішувати ряд завдань пов'язаних із визначенням динаміки поширення ареалу сольового забруднення з урахуванням впливу зовнішніх чинників на цей процес.

3. Розв'язано рівняння балансу маси в елементі пористого середовища, а також диференціальні рівняння руху рідини методом різницевих схем, що дозволяє проводити дослідження динаміки розповсюдження сольового забруднення у пласті.

4. Розроблено комп'ютерну програму, яка реалізує математичну модель фільтраційного процесу і дозволяє візуалізувати формальну модель на етапі дослідження області сольового забруднення гідросфери.

## РОЗДІЛ 4

## РОЗРОБКА МЕТОДІВ ОЧИСТКИ ЗВОРОТНИХ ПЛАСТОВИХ ВОД

## 4.1. Методи очищення води від органічних домішок.

Кількість твердих механічних домішок (переважно пісок), їх діаметр, а також вміст нафтопродуктів допустимих у воді мають значний негативний вплив на приймальність нагнітальних свердловин, а у кінцевому результаті на ефективність розробки родовищ нафти в цілому [106].

Для визначення допустимого вмісту механічних домішок і нафтопродуктів у воді, яка використовується для підтримання пластового тиску, застосовують галузевий стандарт ГОСТ 39-225-88 (табл. 4.1) [33].

Таблиця 4.1

**Допустимий вміст механічних домішок і нафти у воді, яка нагнітається в продуктивний колектор з метою підтримання пластового тиску**

Проникність пористого середовища колектора, мкм <sup>2</sup>	Допустимий вміст механічних домішок у воді, мг/дм <sup>3</sup>	Допустимий вміст нафти у воді, мг/дм <sup>3</sup>
до 0,1	до 3	до 5
< 0,1	до 5	до 6
до 0,35	до 15	до 15
< 0,35	до 30	до 30
до 0,6	до 40	до 40
< 0,6	до 50	до 50

Вибір методу очистки води від зважених частинок і нафти залежить від розміру частинок, фізико-хімічних властивостей і концентрації, а також від необхідної ефективності очистки.

В усіх випадках першою ступінню очистки є механічна (для видалення зважених і дисперсних колоїдних частинок, емульгованих нафтопродуктів). Існує декілька способів очистки зворотних пластових вод (ЗПВ): проціджування, відстоювання (гравітаційне і відцентрове), фільтрування. Використовують відстійники різноманітних конструкцій: напірні горизонтальні (200 м<sup>3</sup>) і

вертикальні (до 1000 м<sup>3</sup>). Характеристика роботи очисного обладнання приведена у таблиці 4.2. Розрахунки ефективної роботи промислових відстійників базувались на швидкості спливання глобул нафти розміром 50-80 мкм і осіданням зважених частинок розміром 20-30 мкм [114].

Таблиця 4.2

## Характеристика роботи очисного обладнання

Тип, марка установки	Продуктивність, тис.м <sup>3</sup> /доб	Вміст домішок, мг/дм <sup>3</sup> до очистки – після очистки	
		нафтопродукти	зважені речовини
Мультигідроциклон НУР-3500	3.5	<u>70-220</u>	<u>100-500</u>
		25-60	5-28
Установка УБО-3000	3.0	<u>До 10000</u>	<u>200</u>
		30	20
Фільтр-відстійник ФЖ-2973	1.5	<u>До 20000</u>	<u>20-70</u>
		10-15	10-20
Резервуар-відстійник РВС-2000	3-4	<u>1000</u>	<u>200</u>
		50	40
Резервуар-відстійник РВС-3000	5-6	<u>1000</u>	<u>200</u>
		50	40
Резервуар-відстійник РВС-5000	8-10	<u>1000</u>	<u>200</u>
		50	40

На нафтопромислах найбільш поширеними є резервуари-відстійники РВС-1000 та РВС-5000, обладнані двопроменевими й ковпачковими розподільниками потоків рідини [90]. У сучасній зарубіжній практиці зазвичай застосовують технологічні схеми з використанням індукційного газового флотатора з гідроциклоном.

При подальшому очищенні зворотних пластових вод, самостійно або в різних комбінаціях, використовуються такі методи [156]:

– фізико-хімічні (флотація, адсорбція, іонообмінна адсорбція, дистиляція, зворотний осмос та ультрафільтрація, кристалізація, десорбція та і.н.);

– хімічні (нейтралізація, коагуляція, флокуляція, окисно-відновна реагентна очистка);

– електрохімічні (електроліз);

– біологічні;

– термічні.



Ступінь біохімічного окиснення багатьох органічних сполук, які забруднюють ЗПВ є невисокою. Відношення повного біохімічного споживання кисню речовини до його хімічного споживання в основному відображає ступінь біохімічного очищення і для окремих класів та груп речовин має наступні значення: нафта різних родовищ – 0,04-0,1; продукти прямої перегонки нафти (бензин, гас і т.д.) – 0,03-0,12; вуглеводні – 0,12-0,45; галогеновміщуючі вуглеводні – 0,4. Відомо, що феноли та їх похідні, що не містять галогени, хоча й повільно, але окиснюються біохімічно і для них це відношення становить – 0,5-0,75, а для альдегідів і кислот – 0,6-0,95. Ступінь біохімічного окиснення сірчаних і азотовміщуючих сполук є різною - від 0,02 до 0,95 [114].

Сорбційний метод забезпечує максимальне очищення ЗПВ води і є одним з найбільш ефективних. Практика очищення ЗПВ показує, що витрати на сорбційну очистку води складають до 30 % від загальної вартості. Тому, щоб знизити навантаження на фільтри при очищенні ЗПВ створюють складні схеми із застосуванням відстійників, нафтовловлювачів або флотаторів та установок фільтрування. При організації процесу очищення розрізняють сорбцію у статичних і динамічних умовах. При сорбції у статичних умовах проводиться інтенсивне перемішування оброблюваної води з сорбентом і подальший її поділ при відстоюванні, фільтрації і т.п. У цьому випадку сорбція є періодичним процесом у зв'язку з чим вона отримала найбільше розповсюдження.

Послідовним введенням сорбенту у воду, що очищається (багатоступенева екстракція), можна очистити її від домішок до будь-якої заданої концентрації.

У зв'язку з відсутністю точних моделей сорбційного процесу, а також недостатньою інформацією про повний і точний склад забруднень, без яких не можливо використовувати будь-які моделі, у практиці зазвичай користуються експериментальними даними. У кожному конкретному випадку за спеціальною експрес-методикою досліджень на реальних стічних водах, або їх аналогах отримують дані для розрахунку споруд.

Сорбція у динамічних умовах – безперервний процес. Вона має великі технологічні, експлуатаційні та економічні переваги у порівнянні із статичними

умовами. Сорбцію реалізують у апаратах різної конструкції з нерухомими і рухомими шарами адсорбенту.

Найбільш простим є насипний фільтр, який представляє собою колонку з нерухомим шаром сорбенту, через який фільтрується ЗПВ. Швидкість фільтрації залежить від концентрації домішок і становить 1-6 м/год при крупності сорбенту 1,5-5 мм [1, 156].

#### 4.2. Дослідження ефективності очищення зворотних пластових вод рідинними (гідрофобними) фільтрами.

На практиці очищення зворотних пластових вод гідрофобні фільтри отримали найбільш поширене використання. Ці фільтри відносяться до фізико-хімічних методів очищення вод. Перевагою таких фільтрів є:

- високий ефект очищення води від нафти і нафтопродуктів при високій мінералізації води до 10 г/дм<sup>3</sup>;
- буферна функція фільтра допускає скиди мінералізованої та забрудненої нафтою води без погіршення якості фільтрату.

Для визначення швидкості фільтрування нами проведено дослідження на зворотній пластовій воді (ЗВП), яка закачується у продуктивні пласти Долинського нафтового родовища. Результати представлені у таблиці 4.3.

**Таблиця 4.3**

#### **Ефект очистки мінералізованих вод Долинського нафтового родовища від нафти**

Швидкість фільтрування, м/год	Вміст нафти, мг/дм <sup>3</sup>	Ефект, %
0	1010	
5	12	98,8
8	21	97,7
10	30	97,0

На основі проведених досліджень встановлено оптимальну швидкість фільтрування, яка становить 5 м/год та при якій досягнуто ефект очищення від нафти – 98,8 %.

При цій швидкості фільтрування були проведені досліді на модельній ЗПВ Долинського нафтового родовища. Результати представлені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

**Ефект очистки модельної зворотної пластової води  
Долинського нафтового родовища**

Параметр	Початкове значення	Після накопичувача	Ефект очистки, %	Після гідрофобного фільтра	Ефект очистки, %	Загальний ефект очистки, %
Нафта, мг/дм <sup>3</sup>	759.9	242.5	68.1	29.10	88.0	96.2
Мінералізація, мг/дм <sup>3</sup>	24425.21	18132.95	25.8	1150.30	93.6	95.3
pH	7.49	7.49		7.24		

З метою встановлення можливості вилучення зважених частинок із ЗПВ було проведено досліді з фільтрування води через 1 добу відстоювання її у відстійнику. Результати наведено у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5

**Ефект очистки мінералізованої води Долинського нафтового родовища  
від зважених частинок**

Параметр	Початкове значення	Після накопичувача	Ефект очистки, %	Після гідрофобного фільтра	Ефект очистки, %	Загальний ефект очистки, %
Нафта, мг/дм <sup>3</sup>	18.9	5.96	68.5	5.04	15.4	73.3
Зважені частинки, мг/дм <sup>3</sup>	289.2	90.4	68.7	10.3	88.6	96.4
pH	7.34	7.34		6.43		

Проведені нами дослідження свідчать про досягнення високого ефекту очищення ЗВП методом рідинного фільтрування на гідрофобних фільтрах від нафти і зважених речовин. Подальше покращення якості ЗВП можна досягнути фізико-хімічними методами, зокрема флотацією і фільтруванням.

#### **4.3 Визначення ефективності очищення зворотних пластових вод електрофлотацією.**

Приплив рідини і газу до вибою видобувних свердловин відбувається у результаті різниці тисків між пластом і вибоєм свердловини. Джерелами пластової енергії для підтримки цієї різниці тисків є:

- енергія напору пластових вод;
- пружна енергія стислих порід і рідин;
- енергія гравітації.

Природна пластова енергія не забезпечує повноту відбору нафти і необхідні темпи розробки нафтових родовищ. Для підвищення ступеня вилучення нафти з пласта і досягнення необхідних темпів розробки широко застосовують методи підтримки пластового тиску (ППТ) шляхом нагнітання води у вуглеводневоутримуючий пласт.

Досвід експлуатації нафтових родовищ із застосуванням заводнення показує, що нагнітання води у пласт не тільки збільшує темпи розробки нафтового родовища, а й забезпечує високий коефіцієнт нафтовіддачі – 50 ... 60 % від початкових запасів.

Для заводнення пластів використовують прісні, пластові, підтоварні, поверхневі, промислові та дренажні води.

Стічні нафтопромислові води є сумішшю пластових вод, що видобуваються разом з нафтою; прісних вод, що видобуваються у процесі знесолення нафти; промстоків від різних експлуатаційних служб, підтоварних і поверхневих вод.

Вміст пластових вод у стічних водах становить 80...90 %, що визначає якість стічних вод. Як правило, пластові води відносяться до хлоркальцієвого типу із загальним вмістом солей від 1 до 100 г/дм<sup>3</sup>.

Зворотні пластові води характеризуються високим вмістом емульгованої нафти 3000...5000 мг/дм<sup>3</sup> і твердих зважених частинок до 2000...3000 мг/дм<sup>3</sup>. Внаслідок контакту твердих зважених часток з нафтою їх поверхня у деякій мірі гідрофобізується, що змінює їх молекулярно-поверхневі властивості.

Розмір зважених часток змінюється у широких межах від часток мкм до 100 мкм [51].

Наявність дрібних включень (глобул) нафти у воді, що нагнітається у пласт, призводить до забруднення фільтруючого середовища і збільшення опору фільтрації. На відміну від зважених речовин глобули нафти мають широкий діапазон розмірів, оскільки вони легко подрібнюються під впливом силового поля. Дисперсність глобул нафти визначається концентрацією водо- і маслорозчинних поверхнево-активних речовин (ПАР), колекторськими властивостями пласта, типом насосного обладнання, фізико-хімічними властивостями води і нафти. Розмір емульгованих включень нафти змінюється від 0,01 до 1000 мкм [51].

На основі численних лабораторних і промислових досліджень провідних наукових установ сформовано вимоги до якості води, яка нагнітається у нафтові пласти [41, 141]. З галузевого стандарту випливає, що при контакті у пластових умовах нагнітальної води з пластовою водою та породою колектором допускається зниження фільтраційної характеристики на 20 %. Розмір часток завислих речовин і глобул нафти не повинен на 90 % перевищувати 5 мкм для колекторів проникністю понад 0,1 мкм<sup>2</sup> і 1 мкм<sup>2</sup> для колекторів проникністю нижче 0,1 мкм<sup>2</sup>.

У залежності від проникності і відносної тріщинуватості колектора допустимий вміст нафти і механічних домішок встановлюється за таблицею (4.6) [101].

Наведені у таблиці 4.6 норми витримуються при підготовці зворотних пластових вод для нагнітання у пласти відносно простими гравітаційними

методами без істотних затрат. Однак, аналіз промислових даних показав, що приймальність нагнітальних свердловин при закачуванні таких вод зменшується з більшою швидкістю, аніж при закачуванні більш чистіших прісних вод. Зменшення приймальності нагнітальних свердловин вимагає додаткових затрат на збільшення тиску нагнітання і проведення частіших капітальних ремонтів свердловин з метою відновлення їхньої приймальності.

Автором дисертаційної роботи розроблено, запатентовано та впроваджено спосіб видалення кольматуючих утворень із вуглеводневоутримуючих пластів, які виникають у процесі закачки зворотних пластових вод (Додаток Б, Е).

Таблиця 4.6

**Допустимий вміст механічних домішок і нафти у воді, яка нагнітається у продуктивний колектор з метою ППТ**

Проникність пористого середовища колектора, мкм <sup>2</sup>	Коефіцієнт відносної тріщинуватості колектора	Допустимий вміст	
		механічних домішок, мг/дм <sup>3</sup>	нафти, мг/дм <sup>3</sup>
до 0,1	—	до 3	до 5
< 0,1	—	до 5	до 10
до 0,35	Від 6,5 до 2	до 15	до 15
< 0,35	> 2	до 30	до 30
до 0,6	Від 35 до 3,6	до 40	до 40
< 0,6	> 3,6	до 50	до 50

Зворотна пластова вода містить велику кількість солей, агресивних газів, диспергованих вуглеводнів. Використання її у системі заводнення нафтових родовищ дозволяє мати постійне джерело води.

Систему ППТ слід розглядати, як систему замкнутого водопостачання з усіма необхідними для цього вимогами. Зворотна пластова вода повинна бути стабільною по відношенню до конструкційних матеріалів при контакті з породою колектора і при змішуванні з водою пласта, очищена від зважених речовин і нафти, бактерицидно безпечною для пласта.

Водночас вода, що нагнітається у пласт є нафтовитісняючим агентом від властивостей якого залежать коефіцієнт охоплення пласта фільтрацією, гідравлічний опір пласта, тиск нагнітання, коефіцієнт нафтовитіснення і нафтовіддачі.

Зворотні пластові води представляють собою дисперсну систему у якій дисперсійним середовищем є вода, а дисперсною фазою – нафта, нафтопродукти і зважені речовини. Характерними ознаками такої системи є наявність великої поверхні розділу фаз, а також висока стійкість дисперсної системи. Глобули нафти диспергованої у воді спливають на поверхню під дією сили витіснення. Швидкість спливання часток відбувається згідно закону Стокса і залежить від різниці щільності води і нафти, динамічної в'язкості води, радіуса глобул нафти. Близько 70 % глобул нафти мають розмір менше 10 мкм. Швидкість спливання таких частинок дорівнює мікрометру в секунду. Подібні частинки можна розглядати нерухомими, а їх поверхню – сферичною.

Глобули нафти, що мають розмір близько 100 мкм, легко видаляються із ЗВП седиментацією. Однак, видалити седиментацією високодисперсні глобули розміром у кілька мікрометрів – неможливо. Тому для цієї мети слід використовувати метод флотації.

Флотаційна очистка води від диспергованої нафти полягає у захопленні глобул нафти бульбашками газу та транспортуванні їх на поверхню води у пінний шар.

При молекулярному прилипанні глобул нафти до пухирця газу відбувається зменшення поверхневої енергії шарів, молекулярне прилипання визначається поверхневими ефектами. Поверхневі явища відіграють визначальну роль у процесі флотаційної очистки ЗВП, проте для управління цим процесом необхідно враховувати молекулярні, гідродинамічні, електростатичні і гравітаційні сили.

Закріплення частинки на бульбашці може відбуватися за рахунок рівнодіючої всіх сил, діючих на частинку спрямовану до поверхні бульбашки [57]:

$$R = F_v + F_E + F_H + F_G < 0,$$

де  $R$  – рівнодіюча сил;

$F_v$  – молекулярні сили;

$FE$  – електростатичні сили;

$F_H$  – гідродинамічні сили;

$FG$  – гравітаційні сили.

Стосовно питання очищення зворотних пластових вод великий інтерес викликає процес флотаційного вилучення дрібних частинок розміром 10 мкм і менше. Флотація таких частинок отримала назву мікрофлотації. На відміну від звичайної флотації, мікрофлотація у повній мірі є колоїдно-хімічним процесом.

Ймовірність закріплення частинки на поверхні бульбашки визначається вірогідністю її прилипання і збереження на бульбашці, оскільки є можливим відрив цієї частинки під дією сили тяжіння, або під впливом сил інерції. Ці сили пропорційні об'єму частинки, тобто є великими для крупних частинок і малими для дрібних.

Для крупних частинок можлива лише одна форма їх закріплення – формування трифазного периметра змочування, що призводить до утворення кута змочування. Подібна флотація носить назву контактної. Для малих частинок поряд із контактною можлива і безконтактна флотація при якій частинка закріплюється без утворення периметра змочування [58].

Різниця між двома формами закріплення є можливою лише для дрібних гідрофільних часток. Для флотації великих гідрофільних частинок необхідно застосовувати реагенти. Флотація дрібних гідрофільних часток можлива і без застосування реагентів.

Внаслідок того, що електричні заряди бульбашки і частинки зазвичай збігаються за знаком, виникає бар'єр електростатичних сил відштовхування, що може перешкодити зближенню частинок на відстань при якій настає їх зчеплення.

Ефект флотаційного вилучення дрібних частинок може бути істотно збільшений шляхом введення у воду поліелектролітів, коагулянтів і флокулянтів. При введенні поліелектролітів товщина дифузійної частини подвійного шару зменшується, що призводить до спадання сил електролітичного відштовхування.



При введенні коагулянту, пластівці якого володіють протилежним знаком заряду, частинки забруднень сорбуються коагулянтом, а потім вилучаються флотацією.

За об'єкт дослідження нами використана нафта з Долинського нафтового родовища. Фізико-хімічні властивості нафти наведені у таблиці (4.7).

Емульсію нафти у воді отримували шляхом перемішування її у міксері з числом обертів 7000 об/хв. Отриману емульсію відстоювали впродовж 1 доби, після чого плівкову нафту видаляли, а у воді визначали початковий вміст нафти, зважених частинок, мінералізацію, а також оптичну густину отриманої дисперсної системи.

**Таблиця 4.7**

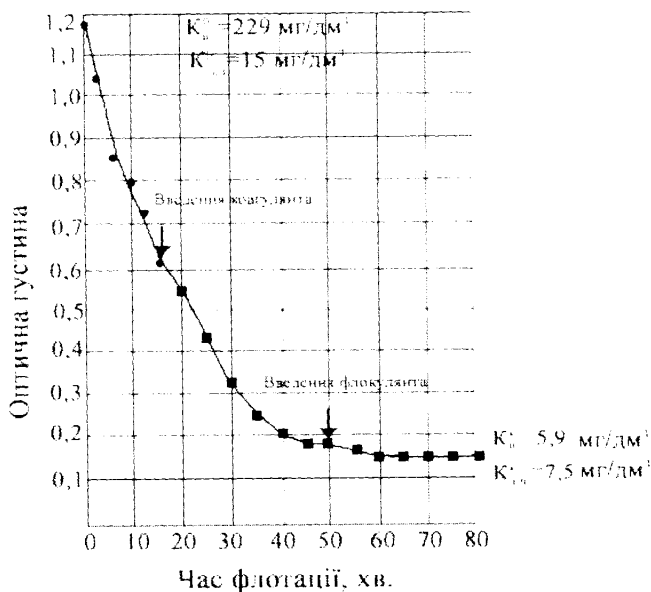
**Фізико-хімічна характеристика водонафтової емульсії**

Параметри	Одиниця вимірювання	Величина
Густина	г/см <sup>3</sup>	0,844
В'язкість при t = 20 °С	мПа·с	14,5
Сірка	%	0,34
Вода	%	86
Хлориди	мг/дм <sup>3</sup>	270
Зважені частинки	%	0,05

У процесі флотації періодично визначали оптичну густину дисперсної системи. Наприкінці лабораторних досліджень у воді визначили залишковий вміст нафти, зважених речовин і мінералізацію.

Результати зміни оптичної густини води, яка піддавалася очищенню, наведені на рисунку 4.1 і у таблиці 4.8.

Графік представлений на рисунку 4.1 поділено на 3 етапи. На першому етапі впродовж 15 хвилин вода очищала електрофлотацією, зміна оптичної густини склала 48,3 %. На другому етапі впродовж 35 хвилин вода очищала електрофлотацією у присутності коагулянта. На цьому етапі досягнуто максимальну зміну оптичної густини – 73,3 %. Третій етап – завершення очистки води флотацією у присутності коагулянта і флокулянта, додатковий ефект очистки склав – 12,5 %.



**Рис. 4.1. Зміна оптичної густини моделі нафтопромислової води у процесі флотації**

З наведених результатів випливає, що методом електрофлотації із застосуванням реагентів досягнуто високий ефект очищення води від нафти – 97,4 %, розчинених солей – 95,5 % і відносно невисокий ефект очищення від зважених частинок – 50,0 %.

**Таблиця 4.8**

**Ефект очистки води із застосуванням флотації, коагулянта і флокулянта (О – оптична густина)**

Параметр	Од. вим.	Час. хв.	Вихідна	Кінцева	Ефект. %
Концентрація нафти	мг/дм <sup>3</sup>	80	229	5.9	97.4
Концентрація зважених частинок	мг/дм <sup>3</sup>	80	15	7.5	50.0
О - флотація	-	15	1.16	0.60	48.3
О - флотація + коагуляція	-	35	0.60	0.16	73.3
О - флотація + коагуляція + флокуляція	-	30	0.16	0.14	12.5
О - загальна	-	80	1.16	0.14	87.9
Мінералізація	мг/дм <sup>3</sup>	80	24425.21	1095.22	95.5

#### 4.4. Доочистка зворотної пластової води зернистими фільтрами.

Суть експерименту полягала в наступному. Водонафтову емульсію відстоювали впродовж однієї доби, після чого проводили її очищення електрофлотацією. Результати досліджень представлено на рисунку 4.2.

Попередньо очищену електрофлотацією воду фільтрували через фільтр наповнений мінеральним зернистим матеріалом – силіційованим кальцитом. Цей фільтруючий матеріал володіє каталітичним ефектом і прискорює процес утворення пластівців коагулянту на його поверхні.

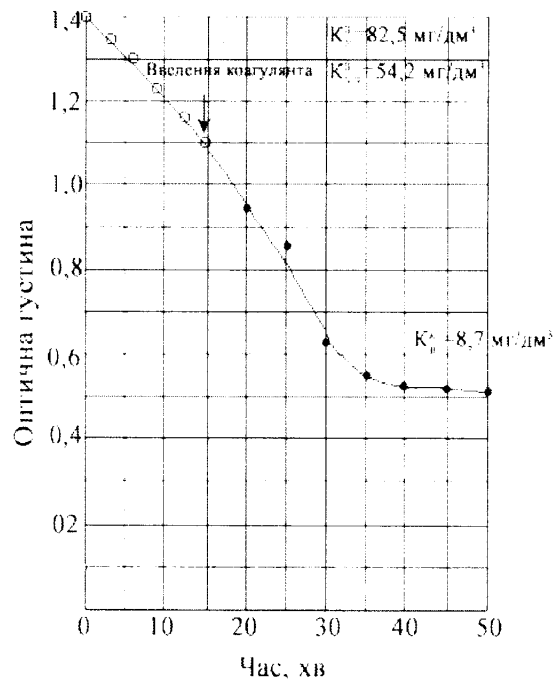


Рис. 4.2. Зміна оптичної густини ЗПВ у процесі електрофлотаційної очистки

Результати очищення ЗПВ флотацією і фільтруванням наведені у таблиці 4.9. Швидкість фільтрування дорівнювала 5,2 м/год.

Таблиця 4.9

#### Ефект очистки нафтопромислової води флотацією і фільтруванням

Параметр, мг/дм <sup>3</sup>	Початковий вміст	Після флотації	Після фільтрування	ГДК, мг/дм <sup>3</sup>	Ефект очистки, %
Нафтопродукти	82,5	9,74	0,72	0-5	99,1

закінчення таблиці 4.9

Зважені частинки	52,4	9,8	3,73	1-5	92,9
Мінералізація	24231,64	1985,26	1560,1	1000	93,6
pH, одн.	7,53	5	6,77	6-8	–

Фільтроцикл тривав 12 годин, після регенерації води зворотним струмом властивості фільтруючого матеріалу відновилися. Результати очищення нафтопромислової води фільтруванням наведені у таблиці 4.10. Швидкість фільтрування дорівнювала 5,2 м/год..

Таблиця 4.10

**Ефект очистки нафтопромислової води Долинського нафтового родовища фільтруванням**

Параметр, мг/дм <sup>3</sup>	Початковий вміст	Після фільтрування			
		Електрохімічний фільтр	Ефект, %	Зернистий фільтр	Ефект, %
Нафта	25,01	0,69	97,2	0,37	98,5
	3,99	1,22	69,4	0,75	81,2
Зважені частинки	40	10	75,0	10	75,0
pH, одн.	7,99	7,80	–	7,79	–

З наведених результатів випливає, що методом фільтрування при вихідній концентрації нафти не менше 20 мг/дм<sup>3</sup> досягнуто високий ефект очищення води від вуглеводневих сполук – 98,5 %. Відносно невисокий ефект очищення води від вуглеводневих сполук (81,2 %) отримано при початковій концентрації нафти менше 20 мг/дм<sup>3</sup>. Значення показника рН знаходиться у рекомендованому інтервалі 6-8.

#### 4.5 Аналіз існуючих технологічних схем очистки зворотних пластових вод.

Як було сказано вище, зворотні пластові води, які складаються із пластових, стічних, технічних та деяких інших стоків, представляють собою хімічноскладну, багатокomпонентну, полідисперсну і нестійку систему із високим вмістом нафти та механічних домішок.

Вибір методики очищення цих вод регламентується вимогами, що застосовуються до якості очищення води на кожному конкретному нафтопромислі.

Відоме двоступеневе очищення ЗПВ, яке полягає у пропусканні нафтоутримуючих вод через шар згорілої породи з розмірами частинок 0,12-0,5 мм із швидкістю фільтрації 0,13 см/с з наступним очищенням через шар бавовновмісного сорбента із швидкістю фільтрації 0,15 см/с [85].

Контактування очищуваної води із сорбентами проводять доти, доки кількість нафти і нафтопродуктів у ній не забезпечить нафтопоглинання 5 г/г для згорілої породи та 24 г/г для бавовновмісного сорбента [11].

Пристрій, який реалізує двоступеневе очищення ЗПВ, складається з резервуара із камерами завантаження сорбентів (згорівшої породи та бавовновмісного сорбента) та пристроїв перемішування і фільтрування. Однак, таке очищення не передбачає бактерицидного знезараження ЗПВ, що нагнітаються у пласт чи скидаються у водойми.

Відома конструкція фільтра для адсорбційно-фільтраційного вилучення нафтопродуктів з води. У шаруватому фільтрі створюються умови для зменшення турбулентності потоку і стійкості водонафтової емульсії, при цьому розвивається процес ефективного відокремлення вуглеводневих частинок від води. Такі гідродинамічні умови сформовані за допомогою перфорованих дисків, розташованих на певній відстані один від одного та вхідного патрубку.

Для очищення високодисперсних зворотних пластових вод запропонований метод електрохімічної коагуляції, що належить до енергозберігаючих технологій.

За рахунок застосування електродних процесів у них інтенсивно протікають окиснювально-відновлювальні реакції, фазово-дисперсні перетворення. Електрохімічні коагулятори добре сполучаються із традиційними методами очищення і доочищення води.

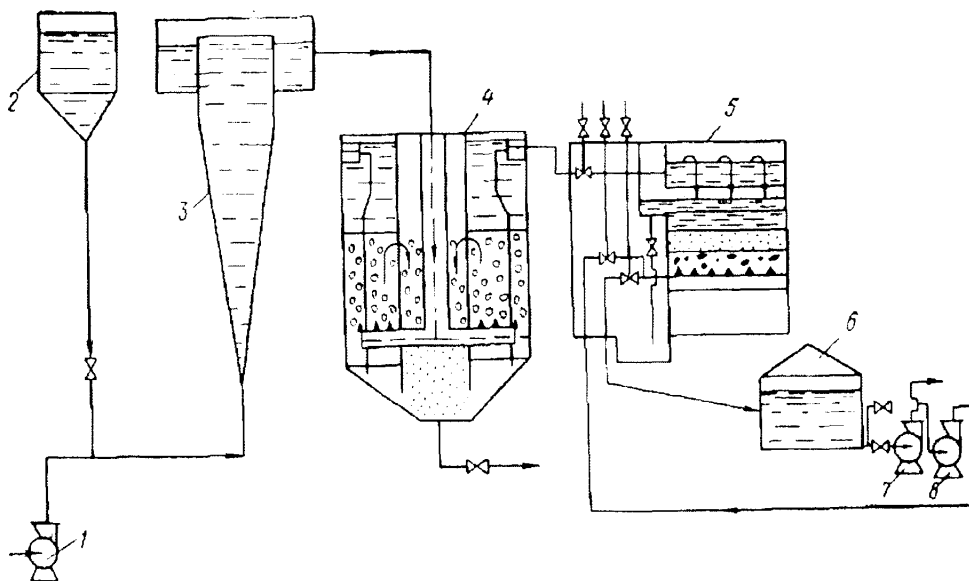
Відома установка для біологічного очищення ЗПВ, яка забезпечує інтенсифікацію насичення аерованої рідини киснем повітря. Установка складається із резервуару з якого насосом подається стічна вода у аераційний насадок, звідки вона вільноспадаючим струменем, який захоплює на шляху атмосферне повітря, насичується ним, утворює водоповітряну суміш, надходить у аеровану рідину по циліндричній порожнині. При підйомі вгору бульбашки повітря через нижні отвори трубчастих секцій попадають у ці секції і тим самим забезпечують циркуляцію рідини і активного мулу (ефект ерліфта), а потім через верхні отвори трубчастих секцій спливають, перетинаючи основний циркуляційний потік рідини, насичують його киснем. Конструкція установки забезпечує видовження шляху руху бульбашок завдяки чому підвищується коефіцієнт використання кисню. Застосування установки дозволяє інтенсифікувати насичення аерованої рідини киснем повітря і тим самим підвищити ефективність роботи установки і, відповідно, скоротити об'єми споруд і експлуатаційні витрати за рахунок зменшення потужності циркуляційних насосів.

Зворотна пластова вода, що надходить на водоочисну установку у залежності від її якості, може піддаватися тим чи іншим операціям з очищення: коагуляції, фільтрації, знезалізнення, пом'якшення, хлорування або стабілізації. У більшості випадків для отримання води належної якості необхідно провести лише два-три процеси.

На рисунку 4.3 наведена типова схема водоочисної установки [155].

Насос 1 вбирає воду і направляє її у змішувач 3. В той час дозуючий пристрій 2 подає коагулянт у нагнітальну лінію насоса 1. У змішувачі 3 коагулянт інтенсивно перемішується з водою, після чого оброблена вода поступає в освітлювач 4 де утворюються і затримуються пластівці. У фільтрі 5, що

представляє собою резервуар і заповнений піском або подрібненим антрацитом, вода проходить кінцеву стадію очистки і поступає у резервуари 6. Після чого насос 7 перекачує воду на кушові насосні станції, які подають воду у нагнітальні свердловини. Насос 8 з резервуарів 6 періодично подає чисту воду у фільтр 5 для очищення її від зважених частинок.



1 – насос; 2 – дозуючий пристрій; 3 – змішувач; 4 – освітлювач; 5 – фільтр;  
6 – резервуар; 7, 8 – насос

### Рис. 4.3. Принципова схема водоочисної установки

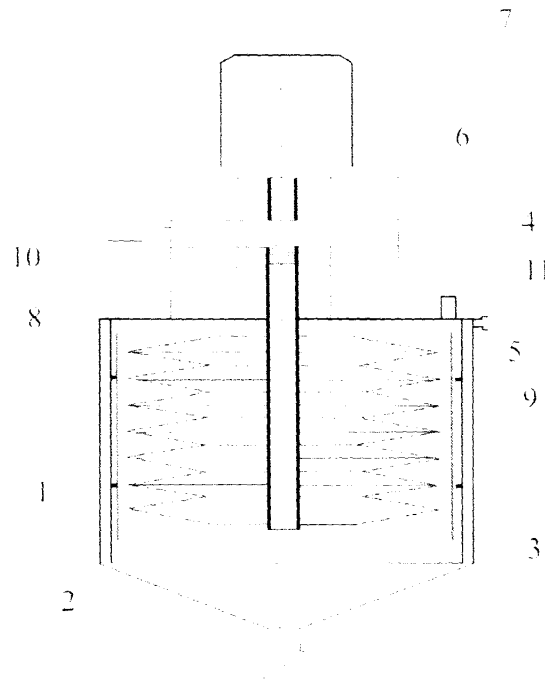
Для попередження корозії та стабілізації по хімічному складу, за допомогою спеціальних дозуючих насосів, у воду додають реагент гексаметафосфат натрію (2-3 мг/дм<sup>3</sup>).

З метою видалення з води бактерій та інших мікроорганізмів у практиці набув широкого використання метод біохімічного очищення.

Принципова схема обробки зворотних пластових вод методом біохімічного очищення висококонцентрованих стоків, які містять нафтопродукти полягає у наступному (рис. 4.4).

Впродовж часу, коли ЗПВ рухається до кінчного днища, відбувається сорбція нафтопродуктів. Очищення здійснюється за рахунок діяльності

мікроорганізмів, що утримуються у біологічно-активному матеріалі, який обгортає поверхню фільтрувальних дисків.



*1 – ємність; 2 – конічне днище; 3 – зливний патрубок; 4 – вхідний патрубок; 5 – фільтрувальні диски; 6 – порожнистий вал; 7 – електропривід; 8 – крильчатка; 9 – ультрафіолетова лампа; 10 – трубопровід для відводу очищеної води; 11 – патрубок для відводу газів*

**Рис. 4.4. Схема установки для біохімічного очищення зворотних пластових вод**

Завдяки постійному перемішуванню ЗПВ у ємності здійснюється самоочищення фільтрувальних насадок від забруднень органічного походження, які зливаються через зливний патрубок 3, а очищена вода через патрубок 10 зливається у трубопровід і направляється на технологічні потреби [107].

#### **4.5.1. Багатоступенева технологія очистки зворотних пластових вод.**

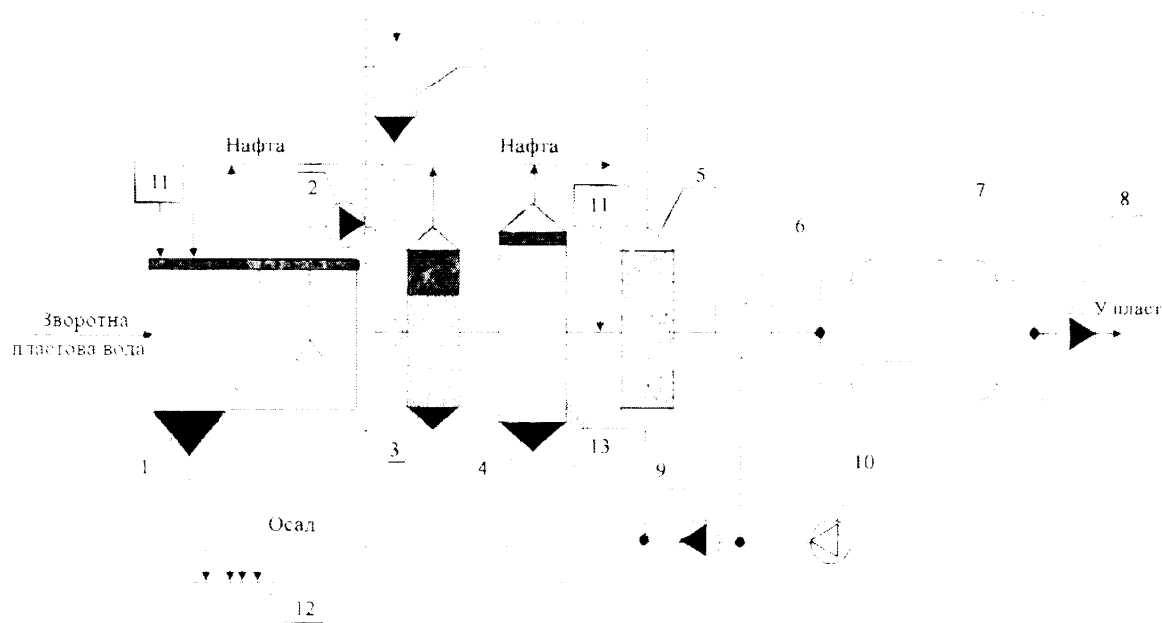
Як уже було сказано вище, вода яка видобувається разом з нафтою, перед нагнітанням у пласт повинна відповідати певним вимогам, особливо за вмістом нафти, зважених частинок та мінералізацією. Так, наприклад, вміст нафти



повинен становити менше  $5 \text{ мг/дм}^3$ , зважених частинок коливатися у межах  $1\text{-}5 \text{ мг/дм}^3$ , а мінералізація не повинна перевищувати  $1000 \text{ мг/дм}^3$ .

На основі отриманих результатів досліджень, проведених у роботі, була розроблена і рекомендована технологія підготовки води для закачування у нафтові пласти експлуатація яких перебуває на завершальній стадії розробки.

Розроблено варіант очисної установки, а також технологію водопідготовки продуктивністю  $6 \text{ тис.м}^3/\text{добу}$  (рис. 4.5). Запропонована технологічна схема розроблена на основі отриманих нами у процесі досліджень експериментальних даних, запатентована та прийнята до впровадження на об'єктах ПАТ “Укрнафта” (Додаток А, Д).



- 1 – накопичувач; 2 – насосна станція; 3 – гідрофобний фільтр; 4 – електрофлотатор; 5 – фільтр з силіційованим кальцитом; 6 – резервуар для чистої води; 7 – ультрафіолетові лампи; 8 – куцтова насосна станція; 9 – промивний насос; 10 – компресор; 11 – реагентне господарство; 12 – майданчик для зневоднення осаду; 13 – джерело електроживлення; 14 – відстійник.

**Рис. 4.5. Технологічна схема установки для очистки зворотних пластових вод**

З накопичувача 1 зворотна пластова вода подається насосом із насосної станції 2 у гідрофобний фільтр 3. Початковий вміст нафти може становити до  $100 \text{ мг/дм}^3$ , зважених частинок – до  $300 \text{ мг/дм}^3$ . Далі вода подається у

електрофлотатор 4 у якому відбувається перша ступінь очищення від нафти і зважених частинок.

У фільтрі із зернистим мінеральним матеріалом 5 відбувається доочищення води від забруднюючих речовин. З цією метою перед фільтром дозують реагент, який утворює пластівці гідроксиду металу на поверхні зерен фільтруючого матеріалу. У цьому випадку фільтр працює у режимі контактної коагуляції, а сам фільтр називають контактним. Фільтр наповнений спеціальним фільтруючим матеріалом – силіційованим кальцитом, який володіє каталітичним ефектом, прискорюючи процес утворення гідроксидів металу і сприяє ефективному вилученню забруднюючих речовин.

Очищена ЗПВ накопичується у резервуарі для чистої води 6, знезаражується ультрафіолетовими променями ламп 7, а потім закачується у пласт. Фільтр 5 промивається зворотним струмом води і повітря за допомогою насоса 9 і компресора 10. Промивна вода після відстоювання надходить у головну частину очисної установки. Нафта вилучається із накопичувача 1, гідрофобного фільтра 3 і флотатора 4 та змішується з товарною нафтою. Осад вилучається із накопичувача 1, гідрофобного фільтра 3, флотатора 4 і відстійника 14 та поступає на майданчик зневоднення осаду 12. Результати досліджень з очищення зворотних пластових вод наведені у таблиці 4.11.

Розроблено багатоступеневий метод очищення ЗПВ Долинського нафтогазопромислового району за схемою: накопичувач → гідрофобний фільтр з інертним фільтруючим матеріалом (скло) → електрофлотатор із введенням і без введення реагенту → зернистий фільтр із силіційованим кальцитом. При цьому досягнутий ефект очищення: 95,8 % від нафти; 99,7 % від зважених частинок (при вихідному вмісті у воді відповідно 100 мг/дм<sup>3</sup> нафти і 300 мг/дм<sup>3</sup> зважених частинок), рН води змінювався у межах 6-7. У накопичувачі відбувається спливання і збір до 35,0 % вуглеводнів нафти і 69,9 % зважених частинок. Високу ефективність очищення від нафти показала також і реагентна електрофлотація – 56,1 %. Дослідження показали високий ефект очищення зворотних пластових вод методом рідинного фільтрування на гідрофобних фільтрах.

**Таблиця 4.11**  
**Ефект очистки зворотних пластових вод після багаступеневої системи очистки**

Параметр, мг/дм <sup>3</sup>	Початкове значення	Після накопичувача		Після гідрофобного фільтра		Після електрофлотації		Після зернистого фільтра		Загальний ефект очистки, %
		Ефект очистки, %	Ефект очистки, %	Ефект очистки, %	Ефект очистки, %	Ефект очистки, %	Ефект очистки, %			
Нафта	100	65	35,0	33,9	47,8	14,9	56,1	4,2	71,8	95,8
Зважені частинки	300	90,3	69,9	13	85,6	3,1	76,1	0,94	69,7	99,7
Мінералі- зація	35143,4	19000	45,9	12700	33,2	6700	47,2	1100	83,5	96,9
pH, одн.	-	6,07	-	6,75	-	6,88	-	7,2	-	-

#### 4.5.2. Техніко-економічне обґрунтування запропонованої методики.

Вартість основного обладнання для установки з підготовки води наведена у таблиці 4.12. Проектовані очисні споруди на рисунку 4.5 позначені пунктиром.

**Таблиця 4.12**

#### Розрахунок вартості установки по очистці зворотних пластових вод

Обладнання	Кількість обладнання при продуктивності установки	Ціна, тис. грн.	Ціна і вартість, тис.грн.
1. Обладнання		6 тис. м <sup>3</sup> /добу	
1.1 Електрофлотатор	10	68 290,00	682 900,00
1.2 Фільтр гідрофобний	6	101 500,00	609 000,00
1.3 Фільтр зернистий	6	100 600,00	603 600,00
1.4 Резервуар чистої води	1	65 000,00	65 000,00
1.5 Ультрафіолетові лампи	6	90 300,00	541 800,00
1.6 Насос промивочний	1	10 250,00	10 250,00
1.7 Реагентне господарство	6	6 800,00	40 800,00
1.8 Компресор	6	6 000,00	36 000,00
2. Матеріали			
2.1 Труби, арматура	1 комплект	12 000,00	24 000,00
2.2 Кабеля, провoda, контрольно-вимірвальна апаратура	1 комплект	20 000,00	40 000,00
		<b>Всього</b>	2 653 350,00
		<b>Разом з ПДВ</b>	3 184 020,00

### 4.5.3. Розрахунок потужності джерела енергії для електрофлотатора.

На рис.4.6. наведено схему електрофлотатора.

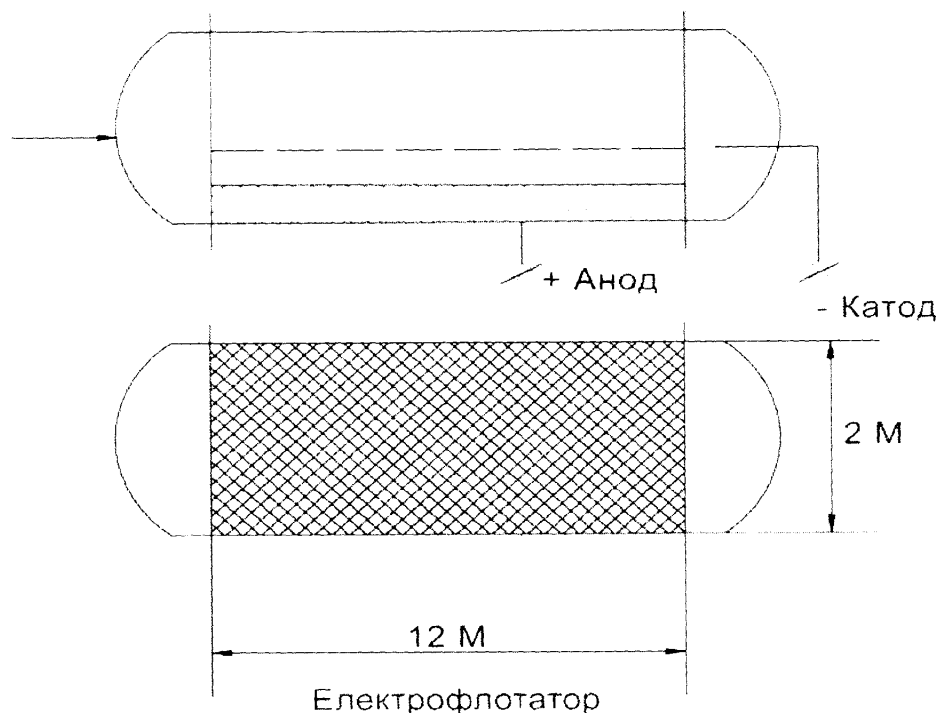


Рис. 4.6. Електрофлотатор

$$S_f = 2 \cdot 12 = 24 \text{ м}^2$$

Швидкість обробки води:  $V = 3 \text{ м/год}$

Продуктивність:  $Q_f = S_f \cdot V = 24 \cdot 3 = 72 \text{ м}^3/\text{год}$

Продуктивність очистки установкою:  $Q = \frac{6000 \cdot \text{м}^3}{24 \cdot \text{год}} = 250 \cdot \text{м}^3/\text{год}$

Кількість електрофлотаторів:  $N = Q/Q_f = \frac{250}{72} = 3.4 \approx 3 \text{ шт}$

Щільність струму:  $j = 50 \text{ А/м}^3$

Загальна площа катодів:  $S_{кат} = S_f \cdot N = 24 \text{ м}^2 \cdot 3 \text{ шт} = 72 \text{ м}^2$

Струм  $I = j \cdot S_{кат} = 50 \text{ А/м}^3 \cdot 72 \text{ м}^2 = 3600 \text{ А}$

Потужність  $= UI = 10 \text{ В} \cdot 3600 \text{ А} = 36000 \text{ Вт} = 36 \text{ кВт}$ .

Розрахунок собівартості підготовки стічних вод проводиться за формулою

[32]:

$$P_p (\text{1 рік}) = E (\text{1 рік}) + 0,18 \cdot K; \quad C = \frac{P_p}{Q} \quad 4.1$$

де  $C$  – собівартість  $1\text{ м}^3$  води;

$E$  – експлуатаційні витрати по Долинському нафтовому родовищі;

$K$  – капітальні витрати;

$Q$  – продуктивність установки.

Термін окупності на підприємстві НГВУ “Долинанафтогаз” визначається:

$$1/0,18 = 5,5 \text{ років.}$$

$$K = 3\,184\,020,00 \text{ грн.}$$

$$E = 1\,150\,200,00 \text{ грн.}$$

$$H_6 = E + 0,18 \cdot K,$$

де  $H_6$  – наведені витрати.

$$H_6 = 1\,150\,200,00 + 0,18 \cdot 3\,184\,020,00 = 1\,722\,783,6 \text{ грн.}$$

$$C = \frac{H_6}{Q} = \frac{1722783,6}{6000 \cdot 365} = 0,79 \text{ грн.}$$

Знайдемо додатковий об’єм нафти за один цикл роботи установки:

$$\Delta Q = q \cdot t, \tag{4.2}$$

де  $q$  – кількість нафти вилученої з пластової води за один цикл роботи установки;

$$t = 365 \text{ днів.}$$

$$q = 6\,000 \cdot 0,03/100 = 1,8 \text{ т/д}$$

$$\Delta Q = 1,8 \cdot 365 = 657 \text{ т/рік}$$

Прибуток від додатково отриманої нафти визначасмо за формулою:

$$P = C \cdot \Delta Q, \tag{4.3}$$

де  $C$  – ціна 1 тони нафти (без рентної плати і ПДВ), грн. ( $C = 5\,770,00$  грн./т);

$\Delta Q$  – кількість вилученої у процесі очистки води нафти за календарний рік, т;

$$P = 5\,770 \cdot 657 = 3\,790\,890,00 \text{ грн./рік.}$$

Техніко-економічні розрахунки запропонованої установки з очищення зворотних пластових вод продуктивністю 6 тис.  $\text{м}^3$ /добу показали, що собівартість очищення води становить 0,79 коп./ $\text{м}^3$ , а річний економічний ефект від отриманого додаткового об’єму нафти – 3 790 890,00 грн., що свідчить про високу ефективність запропонованих методів і технологій.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

1. За результатами експериментальних даних розроблено технологічну схему установки продуктивністю 6 тис. м<sup>3</sup>/добу, що забезпечує багатоступеневий метод очистки зворотних пластових вод за схемою: накопичувач, гідрофобний фільтр з інертним фільтруючим матеріалом (скло), електрофлотатор із введенням і без введення реагенту, зернистий фільтр із силіційованим кальцитом і дає можливість очистити зворотні пластові води до параметрів, які дозволяють застосовувати їх у системі підтримки пластового тиску.

2. Виконані лабораторні дослідження на модельній установці, які показали, що загальний ефект очистки зворотної пластової води від нафти становить 95,8 %, зважених частинок – 99,7 %, солей – 96,9 %, що відповідає вимогам до води, яка нагнітається у пласт.

3. Проведено розрахунок собівартості очищення води на технологічній установці, яка становить 0,79 коп./м<sup>3</sup>, а також річний економічний ефект від отриманого додаткового об'єму нафти – 3 790 890,00 грн., що свідчить про високу ефективність запропонованих методів і технологій.

4. Результати дисертаційної роботи, а також технологічна схема установки для очищення зворотних пластових вод прийняті до впровадження на об'єктах ПАТ “Укрнафта”.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПІДСУМКОВІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі висвітлена актуальна наукова проблема екологічної безпеки гідросфери у районах, які піддаються високій ступені техногенного забруднення. Теоретичні та методичні дослідження виконані дисертантом з метою обґрунтування екологічної безпеки нафтопромислового району видобуток нафти у якому ведеться із застосуванням системи для підтримки пластового тиску, а також розроблені наукові і методичні основи інженерного моделювання та екологічного ризику дають змогу зробити наступні висновки:

1. Проаналізовано та узагальнено фактичний матеріал стосовно вирішення проблеми впливу техногенного забруднення на гідросферу у районах інтенсифікації видобутку нафти. Встановлено, що в межах розробки Долинського нафтового родовища у селі Діброва відбулося сольове забруднення мінералізованими водами ґрунтових вод, які використовуються для водопостачання жителів згаданого населеного пункту. Загальна мінералізація досліджуваних проб води перевищує значення ГДК у 16 разів ( $16500,62 \text{ мг/дм}^3$ ), що і призвело до необхідності розробки природоохоронних методів та засобів.

2. Проведено фізико-хімічне моделювання у системі “зворотна пластова вода – порода” при поступленні забруднюючих компонентів “зверху”. У першому варіанті експерименту розріз повністю складався з пісковиків; другий випадок – у пісковиках у якості домішок присутні карбонати; третій – у якості домішок присутні глини. Встановлено, що після контактування зворотних пластових вод (ЗПВ) з пісковиковою породою, кількість хлоридів зменшилась від  $25253,1 \text{ мг/дм}^3$  до  $24799,7 \text{ мг/дм}^3$ , що можна пояснити незначною сорбційною здатністю пісковика; результати досліджень за умовами другого варіанту експерименту показали, що склад ЗПВ істотно не змінився – сульфати і хлориди зменшились від  $250,2 \text{ мг/дм}^3$  до  $249,4 \text{ мг/дм}^3$  та  $25253,1 \text{ мг/дм}^3$  до  $25189,9 \text{ мг/дм}^3$  відповідно; прокачування ЗПВ через третій тип модельного керну характеризується помітною зміною складу досліджуваної води. Вміст сульфатів у ЗПВ зменшився з  $537,2 \text{ мг/дм}^3$  до  $432,2 \text{ мг/дм}^3$ . Мінералізація води дещо знизилась і наприкінці



експерименту становила  $39123,4 \text{ мг/дм}^3$ , водневий показник (рН) не зазнав зміни і становив 6,7 одиниць.

3. Виконано моделювання концентрації сольового потоку у ґрунтових водах шляхом оцінки впливу фільтраційних процесів з амбару-накопичувача на ґрунтовий потік. Встановлено, що в умовах розташування джерел забруднення підземних вод в районі Долинського нафтового родовища сольове забруднення ґрунтових вод з кожним роком зростатиме на 0,046 і через 5 років становитиме 0,232.

4. Проведено математичне моделювання фільтраційно-міграційних процесів, що дає можливість вирішувати широке коло завдань пов'язаних із визначенням динаміки поширення ареалу сольового забруднення у ґрунтах і ґрунтових водах, проаналізувати взаємозв'язок фільтраційних властивостей різного типу ґрунтів з інтенсивністю їх забруднення та визначити закономірність зміни забрудненої зони. Розроблено комп'ютерну програму *Gidrofiltrazion*, яка реалізує математичну модель фільтраційного процесу і дозволяє візуалізувати формальну модель та реалізувати її на етапі дослідження області техногенного забруднення ґрунтів та ґрунтових вод.

5. Запропоновано багатоступеневий метод очистки зворотних пластових вод, продуктивністю 6 тис.  $\text{м}^3/\text{добу}$ , за схемою: накопичувач, гідрофобний фільтр з інертним фільтруючим матеріалом, електрофлотатор із введенням і без введення реагенту, зернистий фільтр із силіційованим кальцитом, який дає можливість очистити зворотні пластові води до параметрів, які дозволяють застосовувати їх у системі підтримки пластового тиску. Виконано техніко-економічні розрахунки запропонованої методики по очистці зворотних пластових вод. Собівартість очищення води становить  $0,79 \text{ коп./м}^3$ , що свідчить про високу ефективність запропонованих методів і технологій.

Результати дисертаційної роботи, а також технологічна схема установки для очищення зворотних пластових вод прийняті до впровадження на об'єктах ПАТ "Укрнафта".

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абдула Лутфи Я. Очистка сточных вод от нефти и нефтепродуктов / Я. Абдула Лутфи, Ю. Абдрахимов, В. Назаров // Башкирский химический журнал. – 2007. - №5. – с. 166-171.
2. Алексеев Д. Анализ технико-экономических показателей работы флотационных аппаратов / Д. Алексеев, Н. Николаев // Химическая промышленность. – 2001. - №1. – с. 40-43.
3. А.с. 1393796 СССР, МКИ С 02F 1/24. Установка для обработки нефтепромысловых вод / Р.Г. Нурутдинов, И.Л. Мархасин, В.О. Назаров и др. (СССР). – №3456767 / 24-08; заявл. 24.10.86; опубл. 21.03.88, Бюл. № 17
4. Аверьянов С.Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. – М.: Колос, 1982.
5. Адаменко Олег Максимович. Регіональна екологія і природні ресурси (на прикладі Івано-Франківської області): підруч. для студ. вищ. навч. закл. / О.М. Адаменко, М.М. Приходько. – Івано-Франківськ, 2000. – 278 с.
6. Акули И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах / Игорь Акулич. – М.: Высшая школа, 1993. – 192 с.
7. Александр Самарский. Введение в численные методы: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1987. – 288 с.
8. Арене В.Ж. Нефтяные загрязнения: как решить проблему / Владимир Арене, Александр Гридин, Александр Яншин // Экология и промышленность России. №9, 1999. – с. 33-36.
9. Атлас родовищ нафти і газу України: в 6 т. [гол. ред. М. Іванюта]. – Львів: “Центр Європи”, 1998. ISBN 966-7022-04-8
10. Атрощенко Ф.Г. Изучение миграции высокоминеральных рассолов на физических моделях / Федор Атрощенко. – Ленинград: ЛГИ, 1982. – С.82-88.
11. Аюкаев Р.И. Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды / Р.И. Аюкаев, В.З. Мельцер. – Л.: Стройиздат, 1985. – 120с.

12. Бабинещь А.Е. Геохимия минерализованных вод Предкарпатья. / А.Е. Бабинещь, Р.В. Мальская. – К.: Наукова думка, 1975. – 190с.
13. Баренблатт Григорий Исаакович. Движение жидкостей и газов в природных пластах/ Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. // – М.: Недра, 1984. – 207 с.
14. Басниев Каплан Сафербиевич. Нефтегазовая гидромеханика / Каплан Сафербиевич Басниев, Миколай Михайлович Дмитриев, Генрих Давидович Розенберг – М.: Институт компьютерных исследований, 2005. – 544 с. – ISBN-5-93972-405-1.
15. Бачерникова С.Г. Сорбирующие, нетканые материалы для сбора и утилизацию нефти и нефтепродуктов / С.Г. Бачерникова, Н.П. Есенкова, А.И. Михалькова // Проблемы, способы и средства защиты окружающей среды от нефти и нефтепродуктов: 3-ей научн.-техн. конф., 6-9 апр. 1999 г.: тезисы докл. – Москва, 1999. – С. 127.
16. Беренблатт Г.И. Движение жидкостей и газов в природных пластах / Г.И. Беренблатт, В.М. Ентов, В.М. Рижик. – М.: Недра, 1984. – 207 с.
17. Бойко В.С. Довідник з нафтогазової справи / В.С. Бойко, Р.М. Кіндрат, Р.С. Яремійчук. – Львів, 1996. – 619 с. – ISBN 5-335-01293-5.
18. Бочаров О. Сравнение модели фильтрации несмешивающихся жидкостей с фазовыми подвижностями с моделью Маскета-Левретта / Олег Бочаров, Александр Телегин // Теплофизика и аэромеханика. – 2004. – № 4. – С. 597-605.
19. Бочеввер Ф.М., Колбасов А.М., Хохлатов Э.М. К методике определения коэффициента диффузии в глинистых грунтах. Труды института ВОДГЕО, Гидрогеология, 1977, вып.52. С 55-58.
20. Бочеввер Ф.М., Лапшин Н.М., Орадовская А.Е. Защита подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1979. – 254 с.
21. Буренков Э.К., Головин А.А., Филатов Е.И. Методические аспекты геохимического и эколого-геохимического // Отечественная геология – М., 1993. – №7. – С.90-94.

22. Бучковская М.І. Регулирование системы разработки в зависимости от геологических особенностей месторождений с целью повышения коэффициента извлечения нефти (на примере Долинского нефтепромыслового района): дис. канд. геол. минерал. наук: 1982 / Бучковская Мария Ивановна. – Ивано-Франковск, 1982. – 194 с.

23. Варфоломеев Б.Г. Очистка буровых сточных вод от органических примесей и взвешенных веществ / Б.Г. Варфоломеев, В.Л. Пибалк, В.И. Литвиненко // Химия и технология воды. – 1991. – №2. – С.179-183.

24. Васильев А.Н. Организация гидрохимического мониторинга в условиях нефтегазоносного северо-востока Украины / А.Н. Васильев, Н.Е. Журавель, П.В. Ключко. – Х.: Экограф, 2001. – 112 с. – ISBN 966-7655-08-3.

25. Васильев А.Н. Критическая экосистема кратера аварийной скважины Качановского нефтяного месторождения / А.Н. Васильев, Н.Е. Журавель, П.В. Ключко, Н.Н. Лилак – Харьков: Прапор, 1997 – ст. 67.

26. Васильев А.Н., Журавель Н.Е., Ключко П.В. Закономерности распределения техногенных загрязнителей в экосистеме кратера аварийной скважины Качановского нефтяного месторождения //Доп. НАН України. – 1997, №4 – С.184-188.

27. Васильев А.Н., Журавель Н.Е., Ключко П.В. Прогноз техногенного засоления почв на нефтепромыслах северо-востока Украины в рамках ОВОС. – Харьков: Экограф, 1999 – 86 с.

28. Васильевский В. Исследование нефтяных пластов и скважин / Васильевский Владимир, Петров Андрей. – М.: Недра, 1973. – 344 с.

29. Васильев А.М., Журавель М.С., Ключко П.В. Експлуатація родовища вуглеводнів в умовах загальнодержавного заказника (на прикладі Андріяшівського газоконденсатного родовища) // Державний міжвідомчий науково-технічний збірник “Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ”; Івано-Франківськ, 2000. Вип. 37, т.1 – С. 33-39.

30. Веригин Н. Н. Методы определения фильтрационных свойств горных пород. М., Госстройиздат, 1962. – 180 с.

31. Веригин Н.Н. Диффузия и массообмен при фильтрации жидкостей в пористых средах / Н.Н. Веригин, Б.С. Шержуков // Развитие исследований по теории фильтратий. – М.: Наука, 1969. – С. 237-277.

32. Витвицький Я.С. Економіка нафтогазорозвідувальних підприємств. Конспект лекцій з курсу “Економіка нафтогазорозвідувальних підприємств” для студентів спеціальностей 08.02 і 08.05. / Я.С. Вітвицький. – Івано-Франківськ, 1993. – 139 с.

33. Вода для заводнения нефтяных пластов. Требования к качеству: ОСТ 39-225-88. – [действующий от 1988 – 04-01]. – М.: 1988. – 11 с.

34. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством: ГОСТ 2874-82. – [Чинний від 1985-01-01]. – М.: Государственный стандарт союза ССР, 1985. – Министерство здравоохранения СССР.

35. Водний кодекс України: за станом на 3 червня 2008 р. / Верховна Рада України. – Офіц. Вид. – К.: Парлам. Вид-во, 2008. – 75 с. – (Бібліотека офіційних видань). – ISBN 978-966-611-647-8.

36. Водопроникність та фільтраційна здатність ґрунту: Международная молодежная научная конференция “Планета – наш дом”, 16 апреля 2010 р. – Алчевск. Сборник статей / відп. ред. Л.П. Полехина. – Алчевск: вид-во ДонІТУ, 2010. – 212 с.

37. Гавриленко Е.С. Подземные воды Долинского нефтяного месторождения: материалы промежуточного отчета за 1960 г. По теме “Природа и условия формирования подземных вод нефтяных месторождений Восточных Карпат” / Е.С. Гавриленко. – Л.: Институт геологии полезных ископаемых, 1960. – 86 с.

38. Гаев А.Я. О возможности захоронения стоков Березниковского промысла в карстовых коллекторах // Вопросы загрязнения подземных вод и борьба с ними: статьи / А.Я. Гаев, Г.Г. Жидкова. – Пермь: ИГУ, 1971. – С. 12-25.

39. Гаев А.Я. Подземное захоронения сточных вод на предприятиях газовой промышленности / Алексей Гаев. – Л.: Недра, 1981. – 166 с.

40. Гаев А.Я. Промышленные стоки – в подземные горизонты / Алексей Гаев. – Челябинск, 1978. – 102 с.

41. Гидрогеологические исследования для захоронения промышленных сточных вод в глубокие водоносные горизонты. Материалы по захоронению промышленных сточных вод / [редкол. : Чаповский Е.Г. (главный редактор) та ин.]. – М. – 1973. – 425 с.

42. Гитис В.Г. Основы пространственно-временного прогнозирования в геоинформатике / В.Г. Гитис, Б.В. Ермаков. – М.:ИЗМАЛИТ, 2004. – 256 с.

43. Глазний А.В., Скопецкий В.В. Метод числового моделювання екологічних процесів – К.: Політехніка, 2005. – 152 с.

44. Гольдберг В.М. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения: [монография] / В.М. Гольдберг, С.В. Газда – М.: Недра, 1984. – 283 с.

45. Гольдберг В.М. Прогнозная оценка возможностей захоронения промстоков на конкретных объектах // Гидрогеологические вопросы подземных захоронений промстоков: статьи / В.М. Гольдберг, Е.С. Соколов, В.Я. Леви. – М.:ВСЕГИНГЕО, 1969. – С. 54-58.

46. Гольдберг В.М., Тарасова Н.В. Аналіз состояния проблемы и опыта гидрогеологических исследований подземного захоронения промстоков // Проблемы теоретической и региональной гидрогеохимии: статьи / В.М. Гольдберг, Н.В. Тарасова. – М.: МГУ, 1973. – С. 167-173.

47. Горев Л.М. Основы моделювання в гідроекології. Л.М. Горев // Моделювання природно-техногенних процесів. – К.: КПІ, 1996. – С. 5-141.

48. Григорчак Л.В. Палеоценовые и эоценовые образования Предкарпатского прогиба и Береговой скибы Украинских Карпат в связи с их нефтегазоносностью (на примере Долинского нефтепромыслового района): дис. канд. геол. минерал. наук: 1970 / Григорчак Леонід. – Ивано-Франковск, 1970. – 237 с.

49. Грищенко Александр Иванович. Экология. Нефть и газ / Грищенко А.И., Аكوпова Г. С., Максимов В. М. – М.: ВНИИЭГазпром, 1997. – 350 с.

50. Грудз В.Я., Депутат Б.Ю. Математичне моделювання процесу нестационарної фільтрації рідин у водоносному горизонті // Всеукраїнський, щоквартальний науково-технічний журнал “Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ”. Випуск №4 (17) – Івано-Франківськ – 2005. – С. 57-59.

51. Гурвич Л.М. Многофункциональные композиции ПАВ в технологических операциях нефтедобычи / Л.М. Гурвич, Н.М. Шерстнев. - М.: ВНИИОЭНГ, 1994. – 263 с.

52. Гуськов О.И. Математические методы в геологии / Гуськов О.И., Кушнарев П.Н., Таранов С.М., 1991. – 135 с.

53. Гуцуляк Б.М., Мельник О.Д. Хімічна термодинаміка. Івано-Франківськ. – Факел, 1995. – 75 с.

54. Дедю И.И. Экологический энциклопедический словарь / И.И. Дедю. – Кишенев, 1990. – 406с.

55. Депутат Б.Ю. Оцінка природно-ресурсного потенціалу та екологічного стану довкілля Передгірської зони для сталого розвитку Адміністративного району // Вісник технологічного університету Поділля, №6, 1999. С 180-182.

56. Депутат Б.Ю. Підвищення екологічної безпеки нафтових родовищ на кінцевій стадії розробки: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук: спец. 21.06.01 “Екологічна безпека” / Депутат Богдан Юліанович; Івано-Франківський нац.тех. ун-т нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2007. – 19 с.

57. Дерягин Б. Влияние размера частиц на гетерокоагуляцию в элементарном акте флотации / Б. Дерягин, Н. Рублев, С. Духин // “Колоидный журнал”. №4, 1977. – с. 680-691.

58. Дерягин Б. Кинетическая теория флотации малых частиц / Б. Дерягин, Н. Рублев, С. Духин // “Успехи химии”. №1, 1982. – с. 92-118.

59. Довідник з нафтогазової справи / За заг. ред. Докторів технічних наук В.С. Бойка, Р.М. Кіндрата, Р.С. Яремійчука. – Львів, 1996. – 620 с.

60. Доленко Г.Н. Геология нефти и газа Карпат / Г.Н. Доленко. М.: Изд. УССР, 1963. – 157 с.

61. Доленко Г.Н. Типы месторождений Предкарпатского прогиба и формы нефтяных залежей / Г. Доленко // Новости нефтяной и газовой техники, сер. "Геология". – 1961. - №5. – С.55.

62. Дослідження впливу спорудження об'єктів нафтогазовидобутку на фізичні та водні властивості ґрунтів Прикарпаття: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів "Безпека об'єктів нафтогазового комплексу" присвячена 40-річчю кафедри безпеки життєдіяльності, 5-7 жовтня 2011 р., Івано-Франківськ / відп. ред. Я.М. Семчук. – Івано-Франківськ: вид-во ІФНТУНГ, 2011. – 174 с.

63. ДСанПіН 2.2.7. 029-99 "Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення".

64. Экологически чистый способ регенерации промывных вод нефти: Международная молодежная научная конференция "Планета – наш дом", 16 апреля 2010 р. – Алчевск. Сборник статей / відп. ред. Л.П. Полехина. – Алчевск: вид-во ДонГТУ, 2010. – 212 с.

65. Ентов В. М. Теория фильтрации / Владимир Ентов // Соросовский образовательный журнал. № 2, 1998. – с. 121-128.

66. Ентов В.М. Програмное моделирование процесса капиллярного вытеснения в пористой среде / В.М. Ентов, А.Я. Фельдман, Э. Чен Син // Программирование. – 1975. – №3. – С. 68-73.

67. Журавель М. Розробка методичних положень системи гідрохімічного моніторингу та виконання комплексних гідрохімічних досліджень для території НГВУ "Долинанафтогаз" / Журавель М. – Івано-Франківськ, 1999. – 245 с.

68. Журавель М.Ю., Лилак М.М., Васильєв О.Н., Белоненко Г.М. Техногенне засолення чорноземів на Бугревамівському нафтовому родовищі // Нафтова і газова пром-сть. – 1997. - №7. – С. 49-52.

69. Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища": за станом на 6 квітня 2000 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К.: Парлам. Вид-во, 2000. – 83 с. – (Бібліотека офіційних видань). – ISBN 978-966-611-647-8.



70. Захоронення промислових стічних вод як один із методів захисту гідросфери у районах інтенсифікації видобутку нафти / В.З. Сабан // Междунар. молодеж. науч. конф. "Планета – наш дом": Тезы доп. Междунар. молодеж. науч. конф., Алчевск, 16 апреля 2010 р. – Алчевск, 2010. – С. 211-214.

71. Звіт по екологічному обстеженню Долинського району Івано-Франківської області / Державний інститут екологічного моніторингу, Чернівецький відділ моніторингу геологічного середовища екзогеодинаміки та геокібернетики. – Чернівці, 1994. – 149 с.

72. Ибрагимов Р.Л. Выявление и ликвидация источников засоления пресных подземных вод на территориях нефтедобывающих предприятий Татарстана / Р. Ибрагимов // Бурение и нефть. – 2006. – № 5. – С. 43-45.

73. Ибрагимов Р.Л. Опыт оценки, прогнозирования гидрогеологических условий и экологической обстановки территорий при разработке нефтяных месторождений / Р.Л. Ибрагимов, Г.И. Петрова // Освоение ресурсов трудноизвлекаемых нефтей: междунар.науч.-практ.конф., 3-5 окт. 2003 г.: тезисы докл. – Анапа, 2003. – С. 45-47.

74. Іванюта М.М. Атлас родовищ нафти і газу України. – Львів: "Центр Європи", 1994.

75. Калинин М.К. Методика исследования коллекторских свойств кернов / М.К. Калинин. – М.: Гостоптехиздат, 1963. – 224 с.

76. Коллинз Роял. Течения жидкостей через пористые материалы: пер. с англ. / Роял Коллинз; [под. ред. Баренблатта Г.]. – М.: Мир, 1964. – 350 с.

77. Колодій В.В. Нафтогазова гідрогеологія / В.В. Колодій, І.В. Колодій, Б.Й. Маєвський. – Підручник для ВНЗ. – Івано-Франківськ: Факел, 2009. – 184 с. – ISBN 978-966-694-104-9.

78. Кондаков В.М. Математическое программирование. Элементы линейной алгебры и линейного программирования / Владимир Кондаков. – Пермь: Из-во ЛГУ, 1992. – 160 с.

79. Коновалов Анатолий Николаевич. Задачи фильтрации многофазной несжимаемой жидкости / Анатолий Коновалов // – Новосибирск: Наука, 1988. – 166 с. – ISBN 502-028-569-2.

80. Сабан В.З. Контроль за станом і охороною поверхневих та підземних вод при будівництві та експлуатації свердловин / В.З. Сабан // Міжнародний рік планети Земля: Матеріали Всеукр. студ. наук. конф. Геологія 21-го століття, Дніпропетровськ-Кривий Ріг, 21-24 квітня 2009 р. – Дніпропетровськ-Кривий Ріг, 2009. – С. 70-72.

81. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды / под ред. Л. Исаева. - СПб.: Эколого-аналитический информационный центр "Союз", 1998. – 896 с.

82. Коробейникова Я.С., Мельник О.Д., Пукіш А.В., Ковальчук Л.Є., Телюк П.М. Застосування комплексу геохімічних та біологічних методів для виявлення забруднення ґрунтів важкими металами // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – Івано-Франківськ: Факел, 2005. – Вип. №1(10). – С. 151-155.

83. Королев Владимир Александрович. Мониторинг геологической среды / В.А. Королев. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 272 с.

84. Коцкулич Я.С., Тищенко О.В. Закінчування свердловин. Підручник. К.: "Інтерпрес ЛТД" - 2004. – 365 с.

85. Кульский Л.А. Технология очистки природных вод /Л.А. Кульский, П.П. Строкач.- К.: Вища школа, 1986. – 352с.

86. Лаврик В.И. Математическое моделирование в гидроэкологических исследованиях / В.И. Лаврик, Н.А. Никифорович. – К.:Фитоцентр, 1998. – 418 с.

87. Лаврик В.І. Методи математичного моделювання в екології: [навч. посіб.] / Володимир Лаврик. – Київ: КМ Академія, 2002. – 203 с.

88. Ладыженский Н.Р. Геологическое строение и газонефтеносность Советского Предкарпатья / Н.Р. Ладыженский, В.И. Антипов. – М.: Гостоптехиздат, 1961. – 58 с.

89. Лозоновская И.Н., Орлов Д.С., Садовникова Л.К. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: Учеб. Пособие для хим., химико-технол. биол. спец. вузов. – М.: Высш. Школа. – 1998. – 287 с.

90. Лукманов Ю.Х. Резервуар-отстойник с двухлучевым распределителем потока жидкости / Ю.Х. Лукманов, Л.Я. Нафиков, В.П. Куприянов и др. // Нефтепромысловое дело. – 1990. - №9. – С. 41-43

91. Лункер Л.В. Моделирование миграции подземных вод / Л.В. Лункер, В.М. Шестаков. – М.: Недра, 1982. – 184 с.

92. Мархасин И. Подготовка нефтепромысловых сточных вод методом электрофлотации / И. Мархасин, В. Назаров, Т. Фоминых и др. // "Нефтепромысловое дело". №6, 1999. – с. 39-40.

93. Сабан В.З. Математичне моделювання нейтралізації сольового забруднення у водоносних пластах / В.З. Сабан, Я.М. Семчук, Б.Ю. Депутат // Техніка і прогресивні технології у нафтогазовій інженерії: Тези допов. Міжнар. наук.-практ. конф. молод. учених та студ., Івано-Франківськ, 5-7 листопада 2012 р. – Івано-Франківськ. – 2012. – С. 283-288.

94. Мельник О.Д., Калин Т.І. Фізична та колоїдна хімія. – Івано-Франківськ: Факел, 2002. – 167 с.

95. Методы охраны подземных вод / [под ред. И. Гавич]. – М.: Недра, 1985. – 320 с.

96. Мироненко В.А. Изучение загрязнения подземных вод в горнодобывающих районах / В.А. Мироненко, Е.В. Мольский, В.Г. Румынин. – М.: Недра, 1988. – 265 с.

97. Мироненко В.А. Проблемы гидрогеоэкологии. Изучение и моделирование геомиграционных процессов / В.А. Мироненко, В.Г. Румынин. – М.: Изд-во МГГУ, 1998. – 452 с.

98. Мироненко В.А. Проблемы чисельного моделирования переноса загрязнений в подземных водах. // Известия вузов. Геология и разведка. – 1990, №5. – С. 99-111.

99. Мироненко В.А., Мольский Е.В., Румынин В.Г. Изучение загрязнения подземных вод в горнодобывающих районах. – Л.: Недра, 1988. – 279 с.
100. Мончак Л.С. Характеристика пластовых вод Долинского нефтяного месторождения / Л. Мончак, С. Зелизна // Нефтегазовая геология и геофизика. – 1965. – №3. – С.47-50.
101. Назаров В. Подготовка нефтепромысловых вод для использования в системе поддержания пластового давления / Владимир Назаров, Лутки Абдулла, Максим Назаров // “Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе”. №1, 2008. - с. 9-15.
102. Назаров В. Подготовка нефтепромысловых вод для использования в системе поддержания пластового давления / Владимир Назаров, Лутки Абдулла, Максим Назаров // “Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе”. №1, 2008. – с. 9-15.
103. Нафтогазопромислова геологія: підруч. для студ. вищ. навч. закл. / О.О. Орлов, М.І. Євдошук, В.Г. Омельченко, М.І. Чорний; за ред. О.О. Орлова; Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу, – К. : Наукова думка, 2005. – 427 с. – ISBN 966-00-0625-X.
104. Нормативные данные по предельно допустимым уровням загрязнения вредными веществами: Справочный материал: СП.: Амекос, 1994. – 233 с.
105. Панов Г.Ю., Петряшин Л.Ф., Лисяный Г.М. Охрана окружающей среды на предприятиях нефтяной и газовой промышленности. – М.: Недра, 1986. – 210 с.
106. Пат. №70229 Україна, МПК E21B №43/27. – Спосіб видалення кольматуючих утворень із вуглеводнеоутримуючих пластів / Сабан В.З., Семчук Я.М., Маєвський Б.Й.; заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № а 2010 03758; заявл. 01.04.10; опубл. 11.06.12, Бюл. №11.
107. Пат. №96203 Україна, МПК C02F №3/12. – Установа для очищення стічних вод / Сабан В.З., Семчук Я.М., Гедзик С.І.; заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № а 2010 00992; заявл. 01.02.10; опубл. 10.10.11, Бюл. №19.

108. Перельман Александр Ильич. Геохимия: учеб. для геол. спец. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / А.И. Перельман. – М.: Высшая школа, 1989. – 528 с.
109. Петряшин Л.Ф., Лисяный Г.М., Тарасов В.Г. Охрана природы в нефтяной и газовой промышленности. – Львов: Вища школа, 1994. – 170 с.
110. Пиковский Юрий. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде / Юрий Пиковский // – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 206 с.
111. Повернення супутньо-пластових вод нафтогазових родовищ у надра / М.Г. Плішка, М.Я. Малихін, А.С. Тердовідова // Нафтова і газова промисловість. №4, 2000. – с. 59-63.
112. Положення про державний моніторинг навколишнього природного середовища. Затверджено Постановою КМ України №815 від 20.07.96 р.
113. Пукіш А.В., Семчук Я.М. Дослідження хімічного складу та фізико-хімічних властивостей бурових стічних вод // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ: Факел, 2007. – Вип. №1 (22). – С.141-144.
114. Пути интенсификации работы отстойников системы подготовки сточных вод к заводнению / Красновекин В.Н., Карелин Я.А., Мутин Ф.И. [и др.]. – М.: ВНИИОЭНГ, 1977. – 55 с.
115. Р.Л. Ибрагимов. Вопросы гидрогеологии и использования подземных вод при разведке и разработке нефтяных месторождений. – Под ред. Академика АГН Р.С. Хисамова // М., ВНИИОЭНГ. 2004. – 140 С.
116. Разломная тектоника Предкарпатского и Закарпатского прогибов и ее влияние на распределение залежей нефти и газа. / Доленко Г. Н., Бойчевская Л. Т., Килын И. В., Улизло Б. М., Щерба А. С., Щерба В. М., Ярош Б. И. – К.: Наукова думка, 1976. – 125с.
117. Решение задач охраны подземных вод на численных моделях / [Г.Н. Гензель, Н.Ф. Караченцев, П.К. Коносовский и др.]. – М.: Недра, 1992. – 240 с.
118. Роев Г. Фильтрование и некоторые виды фильтров / Г. Роев // “Нефтяное хозяйство”. №3, 1996. – с. 10-19.

119. Рудько Г. Екологічна безпека навколишнього середовища України. Контури проблем / Григорій Рудько, Богдан Депутат // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2003. – №4. – с.22-28.

120. Рудько Г.І., Депутат Б.Ю. Інженерно-геоморфологічні дослідження зсувонебезпечних ділянок на трасах магістральних трубопроводів в межах Українських Карпат // Фізична географія геоморфологія, Збірник, Випуск 44 – К.: Обрії, 2003. – С 203-209.

121. Рудько Г.І., Шкіца Л.Є. Екологічна безпека та раціональне природокористування в межах гірничопромислових і нафтогазових комплексів: Монографія. – К; “Нічлава”, 2001. – 508 с.

122. Сабан В.З. До питання екологічних проблем Долинського нафтогазовидобувного району / В.З. Сабан, Я.М. Семчук // Прикарпатський вісник НТШ. Пульс. – 2009. №4(8). – С.174-180.

123. Сабан В.З. Досвід захисту гідросфери від забруднень у районах інтенсифікації видобутку нафти / Віталій Сабан, Ярослав Семчук // “Нафтова і газова промисловість”. № 3, 2010. – с. 56-59.

124. Сабан В.З. Дослідження впливу пластових вод Долинського нафтового родовища на гідросферу / В.З. Сабан, Я.М. Семчук // Журнал “Нафтова і газова промисловість”. – 2011. №1. – С. 62-64.

125. Сабан В.З. Заходи із забезпечення екологічної безпеки підземних вод при експлуатації нафтових родовищ на кінцевій стадії розробки / В.З. Сабан, Я.М. Семчук // Журнал “Екологічна безпека”. – 2012. №2. – С. 25-28.

126. Сабан В.З. Контроль за станом і охороною поверхневих та підземних вод у процесі спорудження та експлуатації свердловин / В.З. Сабан, Я.М. Семчук // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2009. №1. – С.16-19.

127. Сабан В.З. Охорона гідросфери шляхом інтенсифікації очищення стічних вод флокулянтами / В.З. Сабан, Я.М. Семчук // Журнал “Нафтова і газова промисловість”. – 2010. №1. – С. 60-62.

128. Сабан В.З. Оцінювання впливу вторинних методів інтенсифікації видобутку нафти на довкілля / В.З. Сабан, Я.М. Семчук // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2009. №4. – С.142-147.

129. Сабан В.З. Потенційні екологічні небезпеки у процесі експлуатації нафтових родовищ на кінцевій стадії розробки (на прикладі Північнодолинського та Долинського родовищ) / Віталій Сабан, Ярослав Семчук // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2009. – №2. – С. 127-130.

130. Семчук Я. Вплив пластових вод Північнодолинського нафтоконденсатного родовища на довкілля / Ярослав Семчук, Богдан Депутат, Інесса Камаєва // Всеукраїнський, щоквартальний науково-технічний журнал “Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ”. – 2005. – №4(17). – с.99-106.

131. Семчук Я. Захист ґрунтових вод від сольового забруднення / Ярослав Семчук, Богдан Депутат // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2006. – №3. – с.48-52.

132. Семчук Я.М. Говдяк Р.М. Дослідження особливості формування нафтового забруднення зони аерації на фізичній моделі. Державний міжвідомчий науково-технічний збірник “Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ” Серія: Буріння нафтових і газових свердловин. Випуск 38. (том 2) – Івано-Франківськ, 2001– С.176-184.

133. Семчук Я.М. Говдяк Р.М. Дослідження проникності ґрунтів зони аерації при аварійних викидах нафтопродуктів// Державний міжвідомчий науково-технічний збірник „Розвідка і розробка нафтових і газових свердловин”:Розробка та експлуатація нафтових і газових родовищ. – Випуск 34. – Івано-Франківськ, 1997. – С. 219-223.

134. Семчук Я.М., Депутат Б.Ю. Вплив Північно-Долинського нафтоконденсатного родовища на докілля // Державний міжвідомчий науково-технічний збірник ”Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ”. Випуск №4 том 17 – Івано-Франківськ – 2005. – С. 40-44.

135. Синяков В.П. Инженерно-геологическое обеспечение урбанизированных территорий : учеб. Пособие / Синяков В.П., Брашников О.Г., Кузнецова С.В. – Волгоград: ВолгГАСА, 2000. – 67 с.

136. Система оцінки та прогнозу санітарно-гігієнічного стану питних підземних і поверхневих вод в районах розташування підприємств ВАТ “Укрнафта” / М.Ю. Журавель, П.В. Клочко, В.М. Бульбас [та ін.] // Нафтова і газова промисловість. – 1998. – №3. – С.56-60.

137. Совершенствование методики определения коэффициента фильтрации грунтов в лабораторных условиях: матеріали Всеукраїнської студентської наукової конференції “Геологія 21-го століття”, 16-19 квіт. 2008 р. – Одеса / відп. ред. В.О. Іваниця. – Одеса: вид-во “Атлант” ВОИ СОИУ, 2008. – 82 с.

138. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1998. – 376 с.

139. Соловьев В.Е., Фролов К.И., Чипкина В.П., Харитонов В.П., Ильин А.Н., Михайлов С.Н. Опыт применения новых коагулянтов на основе солей алюминия на станциях водоподготовке г. Перми. // Вода и экология. – 2000. - №3. – С.23-25.

140. Тарасов Б.Г. Комплексное освоение калийных месторождений Предкарпатья / Тарасов Б.Г., Гаркушин П.К., Глоба В.М. – Львов: Вышшая школа, 1987. – 128 с.

141. Тарнавский А.П. Отчет о научно-исследовательской работе. Анализ процессов подземного захоронения протокв ОВПЗ / А.П. Тарнавский, О.М. Севастьянов. – Оренбург: Волго-Урал НИПИгаза, 1982. – 191 с.

142. Українська екологічна енциклопедія (за редакцією Романа Дяківа), друге видання. – К.: ТЗОВ “Книгодрук”, 2005. – 807 с.

143. Улизло Б.М. Новые данные о строении средне- и верхнемелитовых отложений центральной части Внутренней зоны Предкарпатского прогиба // В сб.: Геология и нефтегазоносность Предкарпатского прогиба / Б.М. Улизло. – Киев, 1966. – С. 36-42.



144. Сабан В.З. Установка для очищення супутніх пластових вод, як ефективний метод попередження сольового забруднення / В.З. Сабан, Я.М. Семчук, Б.Ю. Депутат // Безпека об'єктів нафтогазового комплексу: Матер. Всеукр. наук.-практ. конф. молод. учених і студ., Івано-Франківськ, 5-7 жовтня 2011 р. – Івано-Франківськ. – 2011. – С. 174-176.

145. Фактори шкідливих впливів на навколишнє природне середовище при розробці нафтових та газових родовищ: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів “Безпека об'єктів нафтогазового комплексу” присвячена 40-річчю кафедри безпеки життєдіяльності, 5-7 жовтня 2011 р., Івано-Франківськ / відп. ред. Я.М. Семчук. – Івано-Франківськ: вид-во ІФНТУНГ, 2011. – 174 с.

146. Фаст О. / Звіт. Дослідження процесу перетворення твердої частини нафтових шламів при зберіганні і впливу продуктів перетворення на навколишнє середовище. – Львів, 2000. – 178 с.

147. Фелленберг Г. Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию: Пер. с нем. – М.: Мир, 1997. – 232 с.

148. Филов В.А. Вредные, химические вещества. Неорганические соединения элементов I-IV групп: справ: изд. / Под ред. В.А. Филова и др. – Л.: Химия, 1988. 512с.

149. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. Учебник для вузов. – М.: Химия, 1988. – 464 с.

150. Х. Азис. Математическое моделирование пластовых систем / Халид Азис, Ентонин Сеттари; пер. с англ. А.В. Королева. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. – 416 с.

151. Чарный Исаак. Подземная гидрогазодинамика / Исаак Чарный // – М.: Гостоптехиздат, 1963. – 396 с.

152. Чечули В. К информатизации процесса флотации / В. Чечули, Е. Волчугова, А. Зайнуллина // “Химическая промышленность”. №7, 2006. – с. 351-353.

153. Швидлер М. Одномерная фильтрация несмешивающихся жидкостей / М. Швидлер, Б. Леви // – М.: Недра, 1970. – 156 с.
154. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем / Рональд Шеннон. – М.: Наука, 1978. – 418 с.
155. Элияшевский Игорь Васильевич. Технология добычи нефти и газа. Учебник / И.В. Элияшевский. – М.: Недра, 1976. – 256 с.
156. Ягафарова Г.Г. Очистка сточных / Г.Г. Ягафарова, В.Б. Барахнина, И.Р. Ягафаров // Нефтегазовое дело. – 2004. - №2. – С. 199-202.
157. Gayev A.Ya., Fetisov V.V. Stability of groundwater to pollution under various hydrogeological conditions (as exemplified by the Ural). New Approaches Characterizing Groundwater Flow. Proceedings of the XXXI IAH Congress / Munich (Germany) 10-14 September 2001. V.I.A.A. Balkema publishers, 2001. P. 499-501.
158. Ives K.I.J. Inst. Water Eng. – 1991. – 25.- nl. – P. 13-20.
159. Umeki H., Ishiguro K., Takase H., Yui M., Sasuki N., Masuda S. Site-generic approach for performance assessment of NCW disposal system in Japan // High. Level Radioact/ Waste Manag. Proc. 2 Fnuu. Int. Conf. Las Vegas. Nev. Apr. 28-May 3 1991, V.2. La Brande Park, N.Y., 1991. – С. 1715-1735.
160. Zilliox L., Muntser P. Etude sur models physiques du mecanisme de pollution des eauch souterraines per liquides miseibles (saumures) et non miscibles (hidrioearbures). – Houille blanche, 1991. vol. 26,8. P 723-730.
161. Saban V. Mathematic modeling of salt pollution filter-migration processes in water carrying horizons / Vitalij Saban // Scientific bulletin of North university of Baia Mare. – 2013. – Volume XXVII Nr. 1. – P. 113-118.
162. Saban V. Modelling of the technogenic tran sformation of highly mineralized waters under condition of aquifer contamination / Vitalij Saban, Yaroslav Semchuk, Borys Mayevskyy, Oleksandr Melnyk // Scientific bulletin of North university of Baia Mare. - 2013. – Volume XXVII Nr. 2. – P. 87-95.

## **Додатки**

## ДОДАТОК А

«Затверджую»  
 Начальник «Прикарпатського УБР»  
 ПАТ «Укрнафта»  
 \_\_\_\_\_ А.Ю. Гуць  
 « 16 » \_\_\_\_\_ 2012 р.

## АКТ

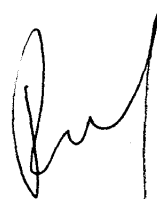
## про впровадження технологічної схеми очистки стічних вод

Ми, що нижче підписалися, головний інженер «Прикарпатського УБР» ПАТ «Укрнафта» Кушнір Т.М., заступник начальника з охорони навколишнього середовища та пожежної безпеки Стасів Р.В. та аспірант кафедри безпеки життєдіяльності Івано-Франківського Національного технічного університету нафти і газу Сабан В.З., склали цей акт про те, що «Прикарпатським УБР» прийнято до впровадження технологічну схему установки для очищення стічних вод.

Принцип роботи технологічної схеми установки для очищення стічних вод базується на поєднанні біохімічної та механічної очистки переважно висококонцентрованих стоків, які містять нафтопродукти.

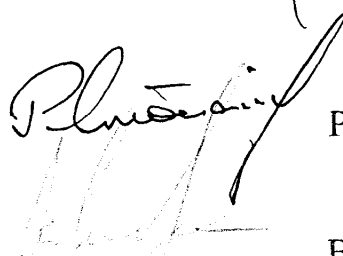
Прийнята до впровадження технологічна схема установки для очищення стічних вод розроблена аспірантом кафедри безпеки життєдіяльності Івано-Франківського Національного технічного університету нафти і газу Сабаном В.З.

Головний інженер «Прикарпатського УБР»  
 ПАТ «Укрнафта»



Т.М. Кушнір

Заст. начальника з охорони  
 навколишнього середовища та  
 пожежної безпеки «Прикарпатського УБР»  
 ПАТ «Укрнафта»



Р.В. Стасів

Аспірант кафедри БЖД  
 ІФНТУНГ

В.З. Сабан

## ДОДАТОК Б

«Затверджую»  
 Начальник «Прикарпатського УБР»  
 ПАТ «Укрнафта»  
 \_\_\_\_\_ А.Ю. Гуць  
 « 12 » \_\_\_\_\_ 2011 р.

Ми, що нижче підписані, представники «Прикарпатського УБР» ПАТ «Укрнафта», головний інженер Кушнір Т.М., заступник начальника з охорони навколишнього середовища та пожежної безпеки Стасів Р.В. та аспірант кафедри безпеки життєдіяльності Івано-Франківського Національного технічного університету нафти і газу Сабан В.З., склали даний акт, який підтверджує, що «Прикарпатське УБР» ПАТ «Укрнафта» використовує наукову розробку Сабана В.З., а саме:

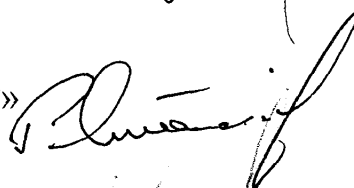
- спосіб видалення кольматуючих утворень із вуглеводневоутримуючих пластів.

Головний інженер «Прикарпатського УБР»  
 ПАТ «Укрнафта»



Т.М. Кушнір

Заст. начальника з охорони  
 навколишнього середовища та  
 пожежної безпеки «Прикарпатського УБР»  
 ПАТ «Укрнафта»



Р.В. Стасів

Аспірант кафедри БЖД  
 ІФНТУНГ



В.З. Сабан

**Дані замірів пластових тисків в менілітових і вигодсько-бистрицьких відкладах Долинського родовища  
станом на 01.06.2012 р. (за матеріалами НГВУ “Долина нафтогаз”)**

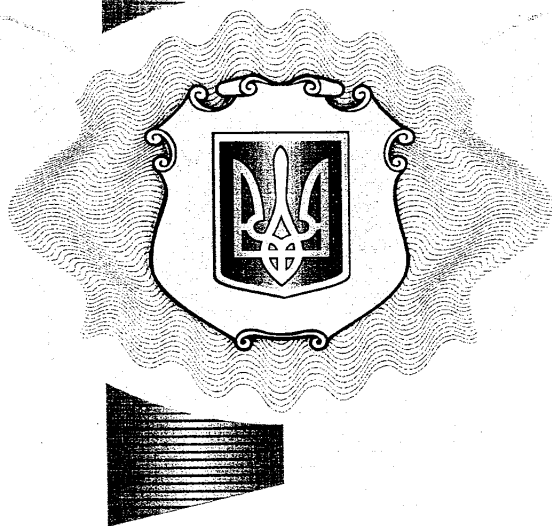
№ п/п	№ свердловини	Дата заміру	Дані замірів, $R_{пл}$		Приведений $R_{пл}$ до середини інтервалу перфорації		Глибина по вертикалі, м	Гідростатичний тиск, МПа	Коефіцієнт аномальності пластового тиску
			Значення, МПа	Глибина, м	Значення, МПа	Глибина, м			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Менілітові відклади</b>									
1	5	10.2006	22,0	1925	20,00	1706	1700	16,6770	1,198
2	7	03.2007	19,9	2100	20,1	2119	2100,5	20,6059	0,974
3	40	05.2009	17,5	2250	15,5	2025	2020	19,8162	0,780
4	56	04.2008	16,5	2300	18,0	2470	2463	24,1620	0,743
5	104	01.2010	14,9	1980	15,6	2061	2051	20,1203	0,776
6	107	05.2008	13,2	2000	12,5	1921	1916	18,7960	0,667
7	116	10.2004	20,3	2100	20,9	2164	2158,5	21,1749	0,988
8	118	05.2009	24,1	2500	23,4	2428	2264	22,2098	1,054
9	204	07.2006	20,0	2200	21,7	2376	2359	23,1418	0,938
10	213	02.2009	16,2	2000	17,9	2181	2170	21,2877	0,843
11	223	01.2010	18,5	2450	19,0	2502	2482	24,3484	0,779
12	227	07.2006	18,3	2300	19,4	2409	2400	23,5440	0,823
13	242	03.2009	24,4	2150	24,1	2115	2104	20,6402	1,166
14	249	07.2009	20	1900	22,4	2145	2142	21,0130	1,067
15	250	11.2009	16,9	1990	17,8	2091	2091	20,5127	0,868
16	251	06.2009	17,8	2150	17,2	2087	2087	20,4735	0,839

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
17	252	09.1995	15,2	1810	16,5	1938	1938	19,0118	0,867
18	259	04.2001	21,3	1900	21,4	1906	1906	18,6979	1,142
19	308	09.2008	16,9	2100	16,6	2072	2066	20,2675	0,820
20	309	03.2009	21,1	2100	21,1	2097	2097	20,5716	1,024
21	327	09.2006	23,7	2400	22,8	2313	2209	21,6703	1,054
22	331	12.2009	19,6	2590	17,3	2312	2297	22,5336	0,768
23	514	09.2006	18,1	1800	21,9	2183	2168	21,2681	1,029
24	519	05.2008	19,6	2000	21,8	2218	2192	21,5035	1,013
25	538	07.2006	15,2	1450	20,2	1951	1949	19,1197	1,057
26	540	04.2001	15,1	1900	20,2	2412	2392	23,4655	0,859
27	549	02.2009	20,3	2400	22,0	2596	2574	25,2509	0,871
28	552	04.2007	18,0	2300	19,0	2406	2385	23,3969	0,814
29	533	01.2007	16,8	2390	17,0	2412	2367	23,2203	0,733
30	625	11.2007	16,9	1700	19,00	1914	1911	18,7469	1,015
31	630	11.2008	10,9	1930	12,4	2115	2105	20,6501	0,602
32	632	11.2009	16,2	1950	16,8	2020	2007	19,6887	0,853
33	633	11.2009	14,7	1850	15,4	1933	1929,5	18,9284	0,814
34	634	07.2009	16,5	1850	16,7	1869	1865	18,2957	0,912
35	640	03.2008	20,4	2150	21,4	2248	2226	21,8371	0,978
36	641	01.1990	22,6	2450	22,3	2415	2358	23,1320	0,962
37	644	11.2009	17,2	2550	15,6	2372	2352	23,0731	0,678
38	651	11.2007	22,4	2400	22,0	2359	2332	22,8769	0,961
39	653	05.2009	23,7	2300	23,1	2236	2224	21,8174	1,057
40	660	11.2008	17,6	1720	17,6	1721	1720	16,8732	1,044
41	679	12.2009	14,9	2100	15,1	2119	2105	20,6501	0,730
42	703	05.2004	21,8	1930	23,1	2061	2000	19,6200	1,178

Вигодсько-бистрицькі відклади										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	39	06.2009	19,6	1950	24,2	2411	2399	23,5342	1,028	
2	59	06.2009	20,4	2000	23,9	2348	2340	22,9554	1,040	
3	106	05.2009	21,5	2100	25,1	2459	2455	24,0836	1,041	
4	13	07.2008	19,2	2000	20,9	2177,5	2161	21,1994	0,988	
5	118	12.2009	24,4	2500	25,9	2661	2636	25,8592	1,003	
6	201	03.2009	24,4	2500	24,7	2529	2520	24,7212	0,999	
7	202	07.2009	20,9	2260	25,4	2711,5	2674,5	26,2368	0,968	
8	206	06.2009	25,1	2600	26,2	2711,5	2690	26,3839	0,993	
9	207	05.2009	23,2	2600	24,4	2721	2683,7	26,3271	0,927	
10	209	09.2009	22,4	2400	23,7	2535	2527	24,7899	0,958	
11	222	01.2010	24,2	2600	25,5	2735	2707	26,5557	0,961	
12	225	02.2009	23	2300	26,5	2652,5	2633,5	25,8346	1,026	
13	228	04.2009	25	2150	30,2	2699	2673	26,2221	1,151	
14	230	10.2008	26,3	2600	26,6	2632,5	2621,5	25,7169	1,035	
15	234	07.2008	24,7	2450	24,8	2458	2444,5	23,9805	1,033	
16	235	07.2009	20,5	2400	21,0	2445,5	2440,5	23,9413	0,875	
17	237	05.2008	22,7	2400	23,8	2507	2450	24,0345	0,989	
18	238	01.2010	24,1	2500	24,3	2520,5	2514	24,6623	0,985	
19	240	01.2010	27,8	2750	27,9	2758	2732	26,8009	1,040	
20	241	12.2008	25,9	2580	25,9	2580	2564	25,1528	1,030	
21	243	07.2009	26,6	2500	25,6	2397,5	2377,5	23,3233	1,097	
22	244	05.2009	21,5	2300	22,1	2357,5	2344	22,9946	0,960	
23	246	02.2008	21,5	2350	21,9	2392,5	2376	23,3086	0,941	
24	247	04.2007	23,4	2300	25,3	2493,5	2481	24,3386	1,041	



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
26	248	03.2009	25,5	2500	26,4	2588,5	2585	25,3589	1,040
27	253	02.2003	21,8	2200	22,7	2294	2282	22,3864	1,016
28	264	12.2007	26,2	2750	26,8	2814	2790	27,3699	0,980
29	276	07.2009	18,5	2500	20,4	2716	2693	26,4183	0,772
30	281	07.2009	24,3	2400	25,9	2562	2542	24,9370	1,037
31	282	09.2009	23,1	2600	22,6	2550	2523	24,7506	0,913
32	285	05.2008	23,0	2400	23,5	2453,5	2445,5	23,9904	0,980
33	286	01.2010	19,9	2400	20,4	2454	2450	24,0345	0,850
34	288	09.2009	20,1	1860	24,7	2327	2320	22,7592	1,087
35	299	07.2009	25,1	2550	25,0	2540	2526	24,7801	1,009
36	300	12.2009	22,2	2200	25,3	2509	2494	24,4661	1,033
37	307	04.1992	13,2	2100	15,8	2387	2382	23,3674	0,676
38	311	01.2010	24,5	2550	24,3	2531	2520	24,7212	0,984
39	315	02.2009	24,5	2400	25,9	2539	2519,5	24,7163	1,047
40	317	02.2009	25,9	2580	26,4	2629	2615,5	25,6581	1,028
41	318	06.2009	22,1	2450	23,8	2620	2605	25,5551	0,930
42	325	09.2006	24,6	2600	25,6	2704	2685	26,3399	0,975
43	326	06.2009	23,6	2600	22,8	2515	2509	24,6133	0,924
44	328	05.1993	28,1	2560	27,8	2532	2521	24,7310	1,125
45	329	03.2009	20,3	2500	20,8	2555	2543	24,9468	0,836
46	331	12.2009	19,6	2590	20,6	2695	2663	26,1240	0,787
47	344	06.2009	24,9	2500	25,3	2537	2524,5	24,7653	1,020
48	345	10.2008	13,4	1800	21,9	2658	2650	25,9965	0,841
49	346	07.2006	24,5	2273	24,5	2273,5	2263,5	22,2049	1,104
50	347	07.2009	24,5	2450	24,5	2452	2432	23,8579	1,028
51	348	09.2009	22,5	2100	26,8	2552	2450	24,0345	1,116



ПАТЕНТ

НА ВИНАХІД

№ 96203

УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винаходи 10.10.2011.

Голова Державної служби  
інтелектуальної власності України

М.В. Паладій



**ПАТЕНТ****НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ****№ 70229****СПОСІБ ВИДАЛЕННЯ КОЛЬМАТУЮЧИХ УТВОРЕНЬ ІЗ  
ВУГЛЕВОДНЕВОУТРИМУЮЧИХ ПЛАСТІВ**

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **11.06.2012.**

Голова Державної служби  
інтелектуальної власності України

М.В. Паладій



# ДИПЛОМ

## III

## СТУПЕНЯ

*В конкурсі кращих творчих робіт  
молодих спеціалістів*

**ПРИСУДЖЕНО**

**САБАНУ**

**Віталію Зіновійовичу**

*Техніку II категорії цеху видобутку нафти й газу №1  
НТВУ „Долинанафтогаз”*

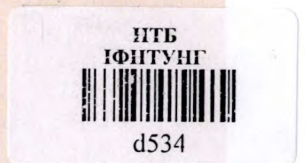
**За роботу:**

*Підвищення екологічної безпеки ґрунтових вод  
Долинського нафтопромислового району  
на кінцевій стадії розробки нафтових родовищ*

*Заступник Голови Правління  
директор з виробництва  
ПЦАП „Укрнафта”*



*М.П. Гнип*



**Івано-Франківськ „19” червня 2014 р.**