

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

На правах рукопису

МАЛИШЕВСЬКА ОЛЬГА СТЕПАНІВНА

502.174:557.175+514.5/.61622(043)

УДК 504.064.2.001.18:(504.064.3:528.8)

М 19

*НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ МЕТОДИ І ЗАСОБИ ЗМЕНШЕННЯ
ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ДОВКІЛЛЯ В РАЙОНІ
ЗАТОПЛЕНИХ КАЛІЙНИХ ШАХТ (на прикладі рудника «Калуш»)*

21.06.01 - Екологічна безпека

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник

Семчук Я.М.

доктор технічних наук,

професор

Івано-Франківськ

2006 рік

d 282

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВПЛИВУ РОЗРОБКИ КАЛІЙНИХ РОДОВИЩ ПРИКАРПАТТЯ НА ГЕОЛОГІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ	10
1.1. Характеристика геологічного середовища калійних родовищ Прикарпаття.	10
1.1.1. Геологічне середовище Калуш-Голинського родовища калійних солей.	12
1.1.2. Геологічне середовище Стебницького родовища калійних солей.	19
1.2. Аналіз наслідків техногенного впливу шахтної розробки калійних родовищ на довкілля.	25
1.2.1. Аналіз впливу шахтної розробки рудників Калуш-Голинського калійного родовища.	25
1.2.2. Аналіз впливу шахтної розробки рудників Стебницького калійного родовища.	36
1.3. Висновки.	39
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЛІКВІДАЦІЇ ТА ПІСЛЯ-ЛІКВІДАЦІЙНОГО ПЕРІОДУ КАЛІЙНИХ ШАХТ НА ДОВКІЛЛЯ	40
2.1. Світовий досвід методів ліквідації соляних шахт та їх вплив на навколишнє природне середовище.	42
2.2. Методика проведення регульованого затоплення рудника «Калуш».	48
2.3. Оцінка наслідків впливу регульованого затоплення рудника „Калуш” на навколишнє середовище.	52
2.4. Висновки.	56
РОЗДІЛ 3. ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ ЗАТОПЛЕНОЇ ШАХТИ «КАЛУШ» НА ГЕОЛОГІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ	57
3.1. Аналіз математичних моделей процесів міграції і розсіювання солей у водоносному горизонті.	57
3.1.1. Загальні детерміновані математичні моделі.	61
3.1.2. Загальні статистичні математичні моделі.	67
3.2. Методика та система автоматизованого просторово-часового прогнозування (САПР «Еколог») забруднення підземних вод шахтними розсолами через канали гідродинамічного зв'язку.	70
3.2.1. Математична модель кількісної оцінки привнесу солей у водоносний горизонт у випадку повного заповнення каналу зв'язку шахтними розсолами	71
3.2.2. Приклад роботи САПР «Еколог».	73
3.3. Математична модель та система автоматизованого просторово-часового прогнозування (САПР «Ореол») процесу площинного розповсюдження ареалу забруднюючих речовин у підземному водоносному горизонті.	74

	стор.
3.3.1. Основні припущення для створення тривимірної математичної моделі прогнозування процесу розповсюдження забруднення у підземному водоносному горизонті.	76
3.3.2. Розв'язання математичної моделі.	80
3.3.3. Приклад роботи системи автоматизованого просторово-часового прогнозування (САІР «Ореол»).	80
3.4. Висновки	82
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ВОДООХОРОННИХ ЗАХОДІВ У РАЙОНІ ЗАТОПЛЕНИХ КАЛІЙНИХ ШАХТ ПРИКАРПАТТЯ	87
4.1. Загальна характеристика способів захисту підземних та поверхневих вод від забруднення.	87
4.1.1. Профілактичні водоохоронні заходи.	87
4.1.2. Локальні водоохоронні заходи.	90
4.1.3. Відновлювальні водоохоронні заходи.	93
4.2. Спеціальні технічні водоохоронні заходи.	94
4.2.1. Методика розрахунку допустимих об'ємів відведення розсолів у мало-водні ріки, як вимушений і тимчасовий захід їх знешкодження.	97
4.2.2. Захоронення промислових стоків у підземні водоносні горизонти.	99
4.3. Висновки	110
РОЗДІЛ 5. ТЕРМІЧНА ПЕРЕРОБКА НАДЛИШКОВИХ РОЗСОЛІВ	112
5.1. Хіміко-технологічні методи переробки високомінералізованих розчинів морського тину.	112
5.1.1. Переробка розчину із зміною його агрегатного стану. Термічна переробка.	113
5.1.2. Види та принцип дії вакуумних випаровувачів киплячого типу.	117
5.2. Термічні установка і спосіб для переробки відходів одержаних при переробці полімінеральних калійних руд.	120
5.2.1. Характеристика вихідних матеріалів, їх підготовка і встановлення оптимального складу сировини для переробки.	121
5.2.2. Вплив температури на процес випарювання донасиченого розсолу.	125
5.2.3. Дослідження випарювання розсолів у багатокорпусних прямогачісвих вакуумно-випарювальних установках.	132
5.3. Висновки	143
ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ПІДСУМКОВІ ВИСНОВКИ	145
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	147
ДОДАТКИ	160

ВСТУП

На даному етапі, коли запаси калійних руд на діючих рудниках Прикарпаття ще повністю невичерпані, внаслідок загрози природного затоплення шахтних виробок неконтрольованим припливом агресивних вод, ліквідовано чи проходить ліквідація рудників Калуш-Голинського (Калуш, Ново-Голинь) і Стебницького (рудник №2) родовищ калійних солей методом регульованого затоплення високомінералізованими розсолами.

На основі бази даних гідрохімічних та геодинамічних спостережень складеної по руднику «Калуш» (з 1947 року проводиться щорічне спостереження за деформацією земної поверхні над шахтними виробками рудника та щомісячне спостереження за зміною хімізму і рівнів вод гравійно-галькового водоносного горизонту, та рівнів розсолів у гірничих виробках по спеціально обладнаних свердловинах і криницях. Із 2001 року такі спостереження проводяться щоквартально), який було ліквідовано шляхом регульованого затоплення, необхідно провести аналіз наявних і спрогнозувати можливі позитивні, і негативні наслідки спричинені ліквідацією рудника, а також розробити відповідні природоохоронні заходи спрямовані на оптимізацію довкілля в після ліквідаційний період.

Небезпечна еколого-геологічна обстановка в межах Калуш-Голинського і Стебницького родовищ калійних солей, що на даному етапі стала однією з основних екологічних проблем західного регіону, може виникнути і на інших соляних родовищах. Із метою недопущення і попередження виникнення таких ситуацій на інших об'єктах, слід ґрунтовно та всебічно вивчити їх причини і наслідки.

Актуальність теми. На Прикарпатті, де розробка калійних родовищ розпочалась більше як століття тому, проникнення прісних вод у гірничі виробки спричинило виникнення екологічної небезпеки для довкілля. Прісні води інтенсивно розчиняють соляні відклади, що складають водозахисну стелину, руйнують надсолеві теригенні породи, внаслідок чого проходить просідання земної поверхні, провалотворення та значні депресійні зниження у водоносних горизонтах. Процес безперервний і некерований та продовжується аж до затоплення гірничих виробок, і руйнування рудника в цілому. Так, наприклад, на калійному руднику «Калуш» Калуш-Голинського родовища виник раптовий провал земної поверхні над шахтним полем, який вивів із екс-

ситуації 40 житлових будинків. На місці провалу утворилась мульда осідання, а в її центрі - водоймище площею 30 га та глибиною 3.7 м.

Із метою зменшення впливу природного затоплення вперше серед країн СНД на руднику «Калуш» у 1989-91 рр. здійснили регульоване затоплення гірничих виробок високомінералізованими розсолами, що значно зменшило руйнівний вплив рудника на довкілля: призупинилося карстоутворення, сповільнилося осідання земної поверхні над виробками. Однак, карстові провали, стовбури шахт, пошукові свердловини, що пробурені крізь соляний поклад, стали каналами гідродинамічного зв'язку між шахтними розсолами і водоносними горизонтами, що приводить до локального засолення вод, які використовуються для питного водоностачання.

Тому, для оптимізації екологічної ситуації на ліквідованих рудниках і тих, що ліквідуються методом регульованого затоплення, постала необхідність у розробці методів і засобів зменшення та охорони довкілля від негативного впливу затоплених калійних шахт, що є однією з основних причин представлення даної дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Дисертаційна робота підготовлена у відповідності з договором із Західно-Українською геофізичною розвідувальною експедицією Державного геофізичного підприємства „Укргеофізика” згідно проектного плану Державного комітету природних ресурсів за темою „Прогнозування деформації земної поверхні над відпрацьованими шахтними полями рудника „Ново-Голинь” за результатами геофізичних досліджень 1995-2004 рр.” (0104U009628).

Мета і задачі дослідження. *Метою даної роботи* є розробка науково-технічних методів та засобів зменшення техногенного впливу затоплених калійних шахт на навколишнє середовище.

Задачі, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети:

- провести аналіз стану досліджень впливу затоплених калійних шахт на довкілля та встановити масштаби гідрохімічного та гідродинамічного впливу витіснених шахтних розсолів із затоплених виробок, на підземну та поверхневу гідросфери;
- розробити нові методи і засоби зменшення наслідків впливу керованого затоплення калійних шахт Прикарпаття на навколишнє середовище;
- створити та впровадити автоматизовані системи довгострокового прогнозу зміни забруднення підземних вод та передбачити технічні заходи для його запобігання;
- розробити комплекс заходів та засобів з метою утилізації розсолів;

- удосконалити установку та розробити нову технологію переробки відходів калійного виробництва, з метою зменшення техногенного впливу на довкілля та одержання товарної продукції.

Об'єктом досліджень є геосистеми Калуш-Голишського та Стебницького калійних родовищ і їх трансформація під антропогенним впливом.

Предмет досліджень – оцінка геоекологічної ситуації та шляхи її оптимізації, розробка природоохоронних та відновлювальних заходів у соленосних районах.

Методи досліджень - представляють комплекс, що містить: аналіз сучасного стану екологічної ситуації в соленосних калійних районах (аналіз наявної інформації про масштаби і наслідки впливу розробки, експлуатації та ліквідації калійних рудників на екологічну ситуацію в регіонах); геофізичні (електророзвідка території - виявлення та встановлення місцезнаходження підземних порожнин, стану навантаження ціликів у затоплених виробках і т.п.), гідрохімічні (відбір та аналіз проб підземних, поверхневих і шахтних вод, з метою оцінки фактичних масштабів і наслідків впливу виносу солей із затоплених шахтних виробок на підземну і поверхневу гідросферу), геодинамічні (маркшейдерські спостереження по прокладених профільним лініям, з метою встановлення змін у динаміці просідання земної поверхні над ліквідованими рудниками) методи досліджень; фізичне та математичне моделювання з використанням ГІС-технологій та розроблених автором систем автоматизованого просторово-часового прогнозування (з метою прогнозування і оцінювання просторово-часових та кількісних змін масштабів і наслідків впливу виносу солей із затоплених шахтних виробок калійних рудників на підземну і поверхневу гідросферу); лабораторні (хімічні - встановлення оптимального складу, технології підготовки відходів калійного виробництва для переробки; фізичні - розробка лабораторної установки для випарювання донасичених розсолів) та натурні (розробка та впровадження пілотної установки для переробки калійних відходів) експерименти.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. Вперше розроблені та впроваджені: математичні, що лягли в основу методик і систем автоматизованого просторово-часового прогнозування, для встановлення масштабів забруднення розсолами підземних водоносних горизонтів.

2. Вперше, на основі порівняльного аналізу технічних рішень щодо утилізації розсолів, обгрунтовано перевагу їх переробки у порівнянні з захороненням у підземні водоносні горизонти та скидом у поверхневі водотоки.

3. Вперше, на основі удосконалення технології утилізації високомінералізованих розсолів шляхом їх випаровування, встановлено оптимальний склад вихідної сировини.

вини та визначена технологія підготовки відходів калійного виробництва для переробки на розробленій винарній установці, а також визначений оптимальний режим роботи промислових установок, що дає можливість реалізувати замкнуту екологічно-безпечну схему переробки відходів з одержанням товарної продукції.

4. Дієталя розвиток концесія регульованого затоплення соляних виробок розсолами, шляхом її впровадження для ліквідації калійних шахт „Стебник” і „Ново-Голинь”, доведено її переваги над іншими методами ліквідації, після проведенню аналізу даних багаторічних спостережень за просіданням земної поверхні, зсувах і провалах.

Практичне значення одержаних результатів.

Сьогодні на Прикарпатті проводиться регульоване затоплення рудника «Ново-Голинь» Калуш-Голинського та рудника №2 Стебницького калійних родовищ. Для дослідження масштабів і наслідків екологічної небезпеки ліквідації шахтних виробок високомінералізованими розсолами, розроблено та реалізовано в програмному вигляді: моделювання процесу площинного забруднення підземних вод розсолами під впливом витіснення останніх із затоплених шахтних виробок через канали гідродинамічного зв'язку (САПР „Ореол”), що покладено в основу „Методики тривимірного прогнозування розповсюдження забруднюючих речовин у підземному водоносному горизонті”, яку впроваджено на Стебницькому державному гірничо-хімічному підприємстві «Полімінерал»; моделювання процесу дифузійного виносу солей із затоплених шахтних виробок через канали гідродинамічного зв'язку (САПР „Еколог”), на основі якого розроблено „Методику розрахунку прогнозування розповсюдження забруднюючих речовин по каналах гідродинамічного зв'язку”, яку впроваджено на ДП «Калійний завод» ВАТ «Оріана» та отримано Деклараційний патент України № 67391 А. Для зменшення екологічної небезпеки, що створюють розміщені у шахтних виробках і акумулюючи ємностях розсоли та відходи калійного виробництва, розроблено спосіб та установку з їх переробки на товарну продукцію. На спосіб та установку переробки отримано патенти України № 75177 та № 76241.

Особистий внесок здобувача. Полягав у безпосередній його участі на всіх етапах виконання - від формування завдань і експериментальних досліджень до розробки проектів і їх впровадження.

При активній участі дисертанта розроблені: у лабораторних умовах спосіб та установку для переробки відходів одержаних при переробці полімінеральних калійних руд [1, 2]; математична модель прогнозування розповсюдження забруднених

речовин по каналах гідродинамічного зв'язку [4]; технічне рішення, щодо утилізації розсолів шляхом їх підземного захоронення [5].

Автором особисто розроблено: замкнуту екологічно-безпечну схему руху розчинів у способі та установці для переробки соляних відходів [1, 2, 3]; САПР „Ореол” та „Еколог” забруднення підземних водоносних горизонтів розсолами [6, 7]; імовірнісну математичну модель прогнозу забруднення підземних водоносних горизонтів [8]; метод розрахунку допустимих об'ємів відведення розсолів у маловодні ріки та на його основі створено основні положення регламенту відведення розсолів [9]; проведено розрахунок промислового закачування розсолів у підземний поглинаючий горизонт [5]; запропоновано технічні заходи щодо запобігання розповсюдженню забруднення у підземних водах [10].

На окремих етапах згаданих робіт, результати яких були використані у дисертації, брали участь співавтори Бараненко О.Б., Кнігініцька Л.П., Семчук Я.М., Осипчук М.М. разом з якими були опубліковані наукові праці та одержані 3 патенти.

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на Міжнародних конференціях і семінарах:

- науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу ІФНТУНГ (м. Івано-Франківськ 2002 р.);
- Міжнародній науково-практичній конференції „Україна наукова „2003” (м. Дніпропетровськ, 16-20 червня 2003 р.);
- Міжнародній науково-практичній конференції „Проблеми комплексного освоєння горнодобиваючих регіонів” (м. Дніпропетровськ-Кривий ріг, 15-20 вересня 2003 р.);
- II Міжнародній науково-практичній конференції „Динаміка наукових досліджень „2003” (м. Дніпропетровськ-Черкаси-Одеса, 20-27 жовтня 2003 р.);
- II Міжнародній науково-практичній конференції „Нагальні питання вирішення проблеми підтоплення ґрунтовими водами територій міст та селищ міського типу” (м. Харків, 28-31 жовтня 2003 р.);
- VII Міжнародній науково-практичній конференції „Наука і освіта „2004” (м. Дніпропетровськ, 10-25.06.2004 р.);
- III Всеукраїнській науково-методичній конференції „Безпека життя і діяльності людини – Освіта, Наука, Практика” (м. Рівне, 18-19 березня 2004 р.);

- III Міжнародній науковій конференції аспірантів та студентів „Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів” (м. Донецьк, 13-15 квітня 2004 р);
- Міжнародній науково-практичній конференції „Сучасний етап навколишнього середовища промислових та гірничопромислових регіонів. Проблеми та шляхи вирішення” (м. Київ, квітень 2004 р);
- VII Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених „Екологія. Людина. Суспільство.” (м. Київ, 13-15 травня 2004 р);
- III Міжнародній науково-практичній конференції „Динаміка наукових досліджень „2004”” (м. Дніпропетровськ, 21-30 червня 2004 р);
- VIII Міжнародній науково-практичній конференції „Наука і освіта „2005””. (м. Дніпропетровськ, лютого 2005 р);
- на семінарах кафедри безпеки життєдіяльності Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (2001, 2002, 2003, 2004, 2005).
- **Публікації.** За темою дисертаційної роботи опубліковано 22 наукову праці, серед яких 8 у фахових науково-технічних виданнях та збірниках наукових праць, що передбачені переліком ВАК України, 11-ти збірниках матеріалів і тез Міжнародних та Всеукраїнських науково-технічних конференцій, отримано три патенти України та один проходить кваліфікаційну експертизу.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, додатків. Повний обсяг дисертації - 232 стор., із них 17 додатків на 73 стор. Дисертація містить 23 рисунка, 17 таблиць і посилання на 153 літературні періодичерела на 13 стор.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВПЛИВУ РОЗРОБКИ КАЛІЙНИХ РОДОВИЩ НА ГЕОЛОГІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

1.1 Характеристика геологічного середовища калійних родовищ Прикарпаття

Геологічне середовище – це та частина літосферного простору, яка знаходиться під прямим або опосередкованим впливом людини [10].

Сфера негативного впливу техногенних факторів поширюється від поверхні землі до максимальної глибини відробки родовища. У загальному, ця глибина визначає потужність геологічного середовища калієносних регіонів, яке слід розділити на дві взаємопов'язані зони – зовнішню, при поверхневу та внутрішню, підземну. У свою чергу, зовнішня зона геологічного середовища охоплює такі компоненти, як поверхневі та підземні води, ґрунти, ландшафти, рослинний шар із біоценозами, а внутрішня – надра.

За нижню границю зовнішньої зони геологічного середовища, деякі дослідники [11] приймають покрівлю порід гіпсо-глинистої «шанки» або глинистої мергельної товщі, вважаючи їх водотривкими. Насправді ці товщі є водоносними. Наприклад, на Стебницькому калійному родовищі породи гіпсо-глинистої «шанки» містять три водоносні горизонти [12]. А тому, за проф. Я.М.Семчуком, за границю між верхньою та нижньою зонами геологічного середовища, слід приймати «соляне дзеркало» - покрівлю водозахисної стеліни, складену із непрониких соляних порід, яку залишають на всіх калійних родовищах, при їх підробці.

Глибина геологічного середовища в цілому, або нижня границя його внутрішньої зони, обмежується максимальною глибиною розробки калійного родовища, яка в різних регіонах змінюється в межах від 250 м до 1100 м [13].

Дослідженням охорони геологічного середовища в гірничо-видобувних соленосних районах присвячено роботи науковців: Адаменка О.М. [10], Бочевера Ф.М., Орадівської А.Е. [14], Гаркушина П.К. [15, 16], Козлова С.С., Липницького В.К. [12, 17], Кореня С.С., Джинорідзе Н.М. [18, 19], Кузьменка Е.Д. [20, 21], Мироненка В.А., Мольського Е.В., Руминіна В.Г [22], Рудька Г.І. [23-28], Семчука Я.М [29-31], Теслі Н.І. [32], Шокіна Ю.П [33], Яніна Е.П [34] та інших.

З геологічної точки зору, Передкарпатський прогин включає Внутрішню і Зовнішню зони, що розмежовуються Стебницьким регіональним насувом. Калійні родовища розташовані у Внутрішній зоні, яка поділена на Бориславсько-Покутський та Самбірський покриви. У першому калійні солі приурочені до Воротищенської соленосної формації, у другому – до тиранської.

Основними мінералами соляних покладів є каїніт ($KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$), лангбейніт ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$) і полігаліт ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$), які складають від 65 до 70% загального об'єму порід, а також сільвін (KCl), карналіт ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$), кізерит ($MgSO_4 \cdot H_2O$). Перераховані мінерали, зазвичай, знаходяться в парагенетичному зв'язку як між собою, так із галітом, утворюючи полімінеральні калійні солі.

За походженням калійні родовища відносяться до девонського, пермського і неогенового періодів, за генезисом – до осадового типу, що включає процеси накопичення і осадження солей у результаті висихання морських басейнів. Не дивлячись на різний вік, мінеральний склад калійних порід ідентичний.

Пласти калійних солей під дією тектонічних процесів утворюють різноманітні за формою структури. Вони багаторазово зустрічаються в розрізі соленосної товщі, хоч до процесів насуву являли собою єдиний пласт.

Основними з калійних родовищ Передкарпаття є Калуш-Голинське і Стебницьке, розробка яких проводиться більше 100 років, а також Тростянецьке, Марковецьке, Бориславське, Розсільнянське та ін. Родовища приурочені до внутрішньої зони Передкарпатського передового прогину, що зумовлює їх складну тектонічну будову. Передкарпатський передовий прогин являє собою потужну товщу осадів верхнього палеогену (олігоцен) і нижнього неогену (міоцену) [35, 36].

Промислові поклади калійних солей у Передкарпатті приурочені до Воротищенських, Стебницьких та Балицьких відкладів. На Стебницькому родовищі калійні солі залягають серед Воротищенських відкладів у вигляді чотирьох пластів потужністю 60, 80, 100 і 110 м. Вони представлені, в основному, каїнітовим складом. Рідше зустрічаються лангбейнітові і змішані солі.

Аналогічними за умовами залягання та мінералогічним складом є Бориславське та Синівське родовища, а також ряд більш дрібних родовищ і проявів.

Серед Стебницьких відкладів калійні солі залягають у Тростяниці, Моршині, Турі Великій. Солі представлені - кайнітом, сільвінітом і дангбейнітом. Пласти, часто стрічкоподібні від 40 до 70^м, потужністю від 30 до 50 м у деяких випадках до 2-10 м.

Калійні солі на Калуш-Голинському родовищі залягають серед стебницьких та балицьких відкладів. На Калуш-Голинському родовищі нараховують від чотирьох до семи пластів солей потужністю від 2 до 50 м і більше.

Серед перспективних родовищ калійних солей виділені у Передкарпатському прогині с Рунгурське (або Повомарківське), Десятинське і Блажевське (за Чудочниковим В.С). Прогнозні запаси калійних солей по всьому Передкарпатському прогину оцінюються в 35 млрд. тонн (К.Б.Донченко) [37].

1.1.1. Геологічне середовище Калуш-Голинського родовища калійних солей.

Складністю відрізняються гірничо-геологічні умови родовища. Рудні тіла, що мають форму пластоподібних ліз, залягають неспокійно, згинаючись по падінню та простяганню і мають багаточисельні тектонічні порушення (рис 1.1.). Розміри окремих покладів за основними напрямками досягають 1 - 2 км, потужність пластів коливається від 2 до 50 і більше метрів, кут падіння змінюється від 0⁰ до 50⁰. У межах родовища виділяють такі калієносні поля: Північне сільвінітове, Північне кайнітове, Центральне, Хотинське, Західно- та Східно - Голинське, Сівка-Калузьке, Домбровське і Пійло (рис. 1.2, та дозв'язок В).

У тектонічному відношенні Калуш-Голинський район відноситься до платформової частини внутрішньої зони Передкарпатського передового прогину, яка складається з моласових міоценових відкладів. Потужність неогену в межах Калуш-Голинського родовища складає 1000 м. Моласові відклади розташовані безпосередньо на породах крейди Подільської плити, поверхня якої поступово занурюється у південно-західному напрямку і виходять на денну поверхню, східніше Калуша, в районі р. Дністер.

Калієносність Калуш-Голинського району пов'язана з насунутим (алохтонним) комплексом порід, що починається відкладами Стебницької серії і включає відклади Нижньобалицької і Верхньобалицької свит, які нас і цікавлять [35].

Міоценові відклади внутрішньої зони прогину (алохтонний комплекс).

а) Стебницька серія (N^{stb}) – строкато-колірні розсланцьовні, загінсовані гліни і пісковики гельветського віку. Потужність їх 200-300 м. На окремих ділянках ці відкла-

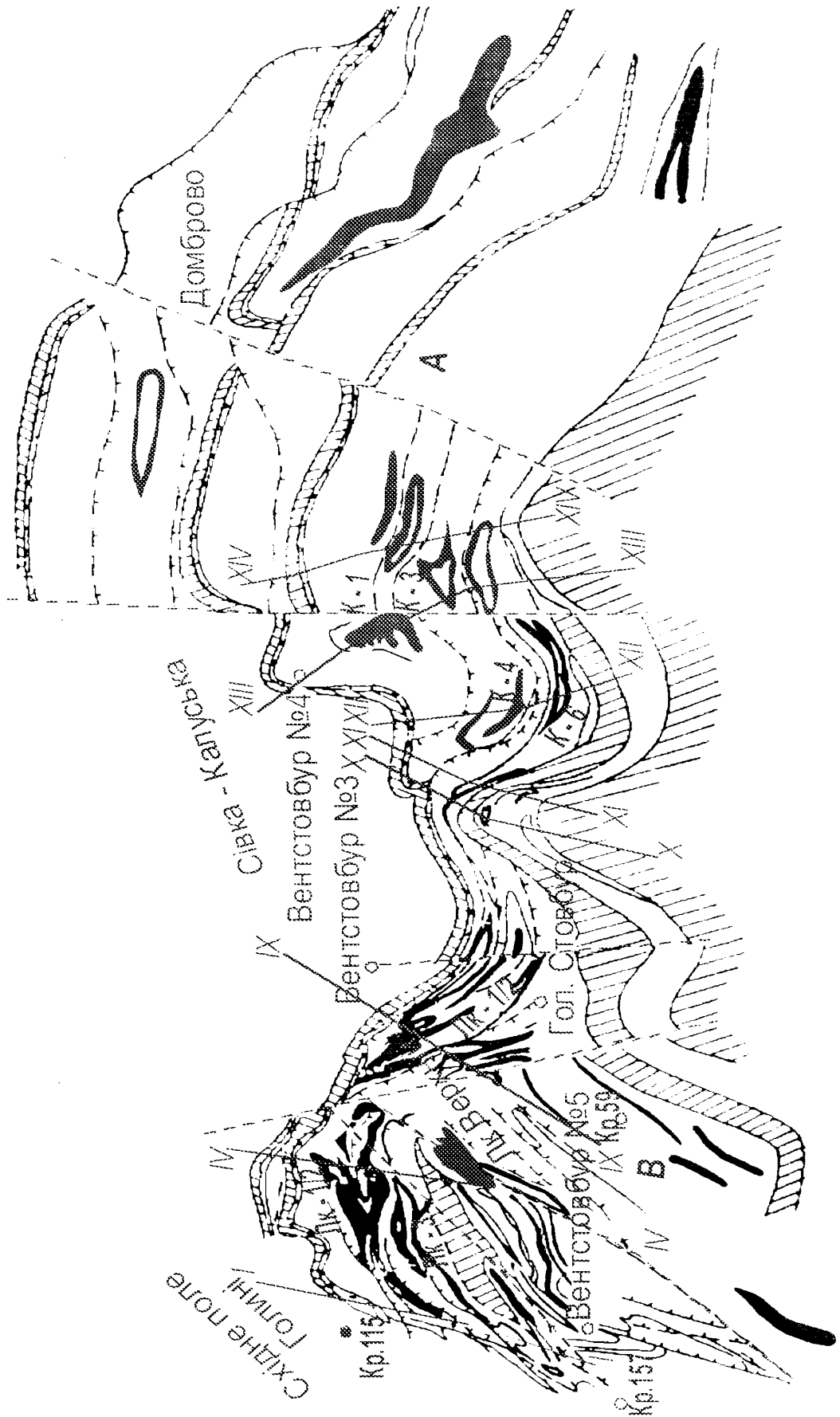
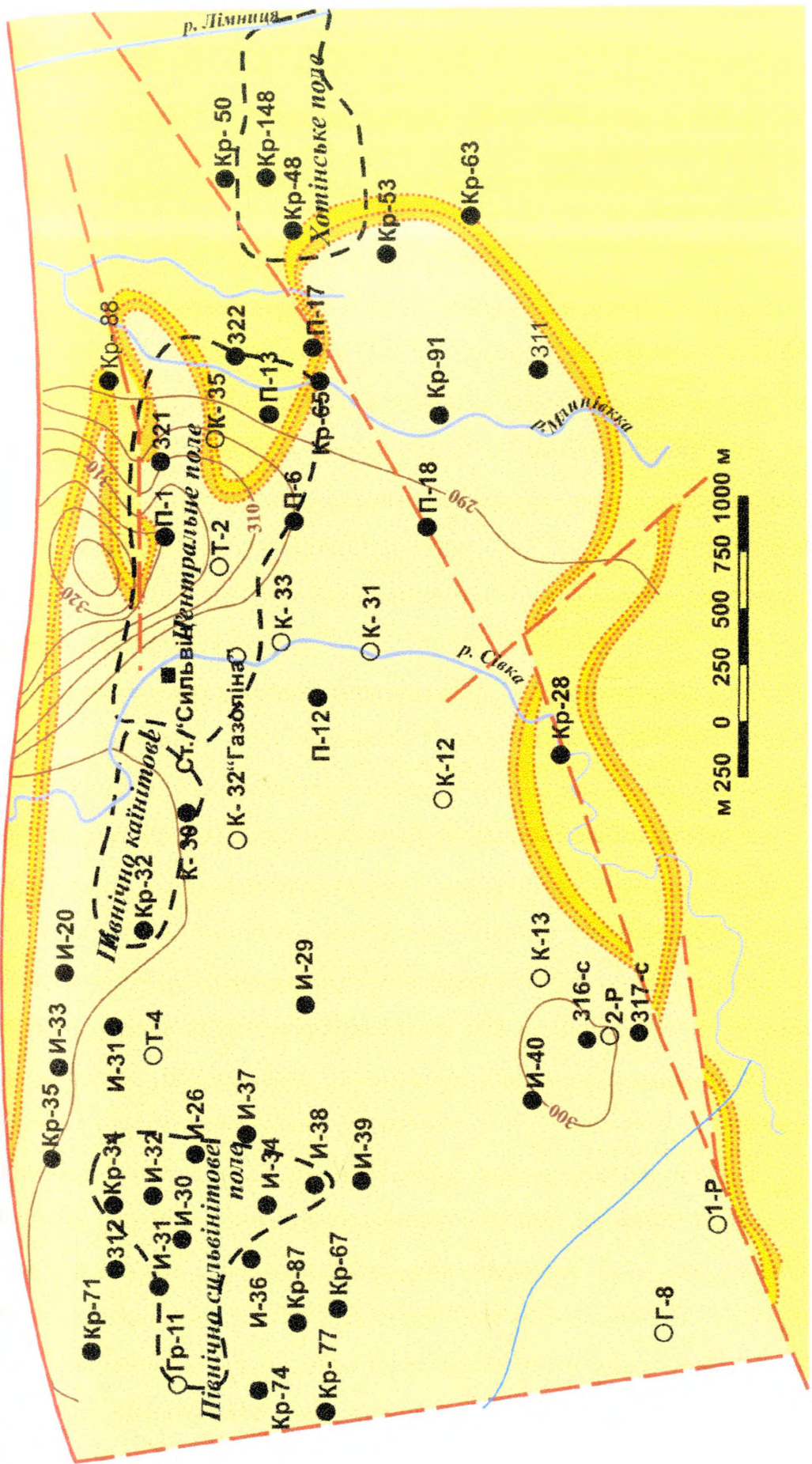


Рисунок. 1.1. Геологічна кара Калуш-Голінського родовища (основу склали С.С.Корінь, Н.М.Джинорідзе) [36].



- 1 - Галицька серія; 2 - гіпсо-ангідритовий горизонт; 3 - Богородчанська свита; 4 - Верхньобалицька свита;
- 5 - передбачувані розломи; 6 - границя Зовнішньої та Внутрішньої зон Передкарпатського прогину; 7 - геологічні границі; 8 - границі
- полів рудника "Калуш"; 9 - геологорозвідувальні свердловини; 10 - стовбур шахти.

Рисунок 1. 2. Геологічна карта калуської групи калійних родовищ (склав Н.М.Джинорідзе)

ди повністю зрізані насувом.

б) Нижньобальницька свита (N_1^{bl1}) – сірі брекчій соленосних глин, піщано-глинисті соленосні брекчії, лінзи кам'яної і калійних солей. Зустрічаються лінзи слабкозасо-дених, розслаблених глин, а також пісковики і гравеліти, в цементі яких присут-ній галіт. Потужність соленосних відкладів змінюється від 600 м (Пійло і Сівка – Ка-дубька) до кількох десятків метрів (Північне і Центральне поле). У місцях виходів соленосних порід під четвертинні відклади або на денну поверхню, утворюється гіп-со-глиниста „панка” потужністю від десятків сантиметрів до п'яти і більше метрів.

в) Верхньобальницька свита (N_1^{bl2}) – строкаті розслаблені вапнякові глини, алев-роліти, пісковики і гравеліти. Потужність змінюється від кількох метрів (на сході ра-йону) до 400 - 450 м на родовищі Пійло. На заході зустрічаються пачки засоленених і соляних порід, це утруднює визначення нижньої стратиграфічної межі відкладів.

г) Шари з *Amussium denudatum*, Roes (N_1^{am-den}) – сірі вапнякові глини, мергелі, піс-ковики і туфіти з мікрофауною нижньотортонського віку. Потужністю від кількох ме-трів до десятків метрів.

д) Гіпсово-ангідритовий горизонт (N_1^{g-am}) – блакитно-сірі ангідриди з прошарками сірих загіпсованих глин і пісковиків. Потужність коливається в межах кількох метрів.

Міоценові породи некріті суцільним чохлам четвертинних відкладів. У геологі-чній будові надсольового комплексу порід приймають участь зверху-вниз: четвертин-ні відклади, які підстилаються або Галицькими глинами (Північно-сильвінітова, Пів-нічно-каїнітова і частково Центральна ділянки), або різнобарвною глинистою товщею Верхньобальницької свити (південно-східна частина Центральної і Хотинської ділянок).

Четвертинні відклади поширені по всій площі родовища. У верхній частині вони представлені „покривними” суглинками, а в нижній – гравійно-гальковими відкладами.

Суглинки буровато-жовті, коричнево-сірі, ущільнені, у вигляді гнізд і дрібних лізвочок; зустрічаються домішки піску, іноді прошарки піщаної глини. За грануломе-тричним складом переважають середні пилуваті суглинки. Потужність - від 3 до 12 м.

Гравійно-галькові відклади складені глинистим (0,2 - 7 %), піщаним (40 - 59 %), грав-ійно-гальковим (48,2 - 72 %) та валунними елементами (10 - 12 %). Уламки порід скла-дені тонкозернистим кварцовим пісковиком. Їх потужність - від 1,0 до 10 м.

Четвертинний галечник є основним водоносним горизонтом району, вода з яко-го використовується для водозабезпечення населення [38].

1.1.1.1. Гідрогеологічна характеристика рудника „Калуш”

У результаті проведених гідрогеологічних робіт протягом 1954-1990 років, одержані гідрогеологічні параметри, які будуть використані для прогнозування змін мінералізації підземних вод над затопленими гірничими виробками (табл. 1.1).

Таблиця 1.1.

Гідрогеологічні параметри рудника "Калуш" (за даними НДІ «Галургія» (1954-90 рр.)).

Назва поля (району поля)	Глибина до дзеркала вод, м, min/max	Середня потужність водоносного горизонту, м	Коефіцієнт фільтрації, м/добу, min/max	Дебіт м ³ /добу, min/max	Цитомий дебіт, м ³ /добу, min/max	Мінералізація, г/дм ³ , min/max	Тип вод (за Курнаковим-Валішкіо)
Центральне поле:	0,2	3,8	0,1 – 0,5	28 – 173	1,7 – 173	0,2	сульфатний
Південна частина	8,8		100 – 130	8340	1000-1100	2,1	
Північна частина (стовбур №6)	1,5	1,4	0,02 – 0,03	0,2 – 0,7	0,2 – 0,4	32 – 36	сульфатний
	6,3		1,5 – 2,3	2,2 – 3,6	1 – 3	136 – 175	
Півн. каїнігове поле	2,2	5	3,08	7,576	30	0,35 – 1,2	хлоридний
	10,2		5,3			2,1 – 4,8	
Півн. сільвінігове поле	0	2	0,3	0,7 – 1,4	0,7 – 1,4	0,6 – 1,1	хлоридний
	2,1		2,7	2,1 – 38	2,1 – 38	2,1 – 16	
Хотіньське поле	0	3,8	67	1500-2000	1500-2000	0,42	хлоридний
	4,3		159 – 250	2000			

Підземні води полів рудника „Калуш” представлені водоносним горизонтом алювіальних терас четвертинних гравійно-галькових відкладів („карпатський галечник”) та можлива наявність локальної верховодки у суглинках (додатки Г, Д).

Четвертинні відклади на руднику „Калуш” представленні (зверху-вниз):

1. Рослинним шаром або сучасним річковим алювієм і яровим пролювієм – потужність 0,4-0,45 м;
2. Покривними суглинками і жовтуватими-сірими пластичними глинами з прошарками піску, потужність – 3,5-4,1 м;
3. Гравійно-гальковим горизонтом – добре обкатана галька пісковику розміром від 1 до 6 см, заповнювач – слабо замулений, глинистий пісок, середня потужність – 5 м. У цих відкладах виділяють два основних водоносних горизонти: а) ґрунтові води; б) підземні води „карпатських” галечників.
4. Третинними водонепроникними піщано-глинистими відкладами.

Грунтові води збираються в яровому пролювії і покривних суглинках. Грунтові води – локальний горизонт. Рівень їх залягання завжди вищий рівня галечникового горизонту. Води прісні. Потужність горизонту не перевищує 3-ох метрів.

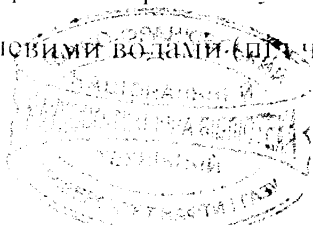
Основний водоносний горизонт поширений по всій площі родовища і залягає на глибинах від 0 до 10.2 м у залежності від віку терас. Потужність його коливається у межах 1 – 7.1 м (додатки Г, Д). Води у природному заляганні напірні (1 – 2.5 м) над усіма полями, окрім Хотинського, де дренуються рікою Лімницею. Водонасиченість має також чітку сезонну залежність. У полі впливу карстових провалів відзначаються локальні депресії у дзеркалі ґрунтових вод, ймовірно внаслідок гідродинамічної взаємодії з розсолюним горизонтом. Окрім цього відмічена чітка взаємодія з поверхневими водотоками, які можуть підпружнювати, або ж розвантажувати згадані води.

Покривні суглинки характеризуються низькою проникністю. Коефіцієнти фільтрації їх змінюються від 0,001 до 0,1 м/добу. Верховодка у суглинках належить до лівз піщаних глин, сунісків або до дрібнозернистих пісків.

Мінералізація вод від 0,2 до 2,4 г/дм³. За переважаючими компонентами води хлоридно-гідрокарбонатні натрієво-кальцієві, і відносяться до гідрокарбонатного типу.

Проникність гравійно-галькових відкладів незначна. Дебіти свердловин в межах 2.2-3.6 м³/добу, а питомі дебіти свердловин, відповідно, 1,0-3,0 м³/добу. Коефіцієнти фільтрації гравійно-галькових відкладів лише по окремих свердловинах досягає 1.2-2.3 м/добу; в цілому по площі ділянки коефіцієнт фільтрації склалає 0.5-0.7 м/добу, виключення складають свердловини, розмішені ближче до р.Сівки, де коефіцієнт фільтрації досягає 159-250 м/добу, а дебіт свердловин 1500-2000 м³/добу. Відносно низькі фільтраційні параметри гравійно-галькових відкладів пояснюються присутністю в них суглинистого заповнювача (50-70 %).

Рівень підземних вод у галечниковому горизонті встановлюється на глибині 1-3.5 м від земної поверхні. Води галечникового горизонту переважно слабомінералізовані до 1.5 г/дм³, інколи мінералізація їх досягає 33.5 г/дм³ (св. 4 нф - 27.11. 2002 р.) у результаті засолення. За переважаючими компонентами води хлоридно-гідрокарбонатні, рідше – сульфатні, натрієво-кальцієві або кальцієво-натрієві. Тип їх хлоридний, рідше сульфатний. Живиться горизонт атмосферними опадами і поверхневими водами (спіч час повеней та наводків).



Нижче залягає товща піщано-глинистих порід з прошарками пісковиків і алевролітів потужністю від 40 до 150-180 метрів. Товща пісковиків у верхній частині слабо обводнена, а в нижній – практично безводна. Дебіти свердловин малі від 0,07 до 0,002 м³ добу; питомі дебіти не перевищують 0,001 м³ добу. Коефіцієнти фільтрації – від 1 до 9·(10⁻⁴–10⁻⁵) м добу.

Більшість проведених НДІ «Галургія» досліджень показало, що води у надсолевих неогенових прошарках пісковиків мають локальне розповсюдження. Вся товща надсолевих порід – це зона утрудненого водообміну. Цифри, які характеризують обводненість і проникність надсолевих порід, вказують на те, що вся товща відіграє роль володіваючого екрану.

У природному заляганні підземні води прісні гідрокарбонатно-кальцієві. На промисловій рудника Калуш відмічалась мінералізація від 1 до 6–9 г/дм³ внаслідок поверхневого забруднення та до 140–170 г/дм³ поблизу стовбурів шахт. У такому випадку має місце зміна мінералізації вод від хлоридно-гідрокарбонатних до хлоридних.

Поверхневі води шахтних полів рудника “Калуш” представлені над Північним сільвільговим полем техногенним озером просадкового походження площею 30 га зі співрозмірним крайовим заболоченням; рікою Сівкою, озером воронки №4 площею до 0,3 га та заболоченням, що розвивається у просадкових мульдах. Просадкові озера з поверхні – прісні внаслідок збору опадів та явища сегрегації, а також впливу річок і групових вод. По поверхневих водах Хотінського поля опробування не проводились [39] та з використанням даних наданих гол. геологом ДП «Калійний завод» Б.Т.Бараненко.

1.1.1.2. Гідрогеологічна характеристика рудника „Ново-Голинь”.

У геоморфологічному плані рудник “Ново-Голинь” знаходиться у межах алювіальної тераси із відповідною геологічною будовою, типовою для Калузької улоговини в цілому. З поверхні залягають жовті, жовто-коричневі, жовто-сірі суглинки потужністю 0,7 – 11,5 м, підстелені гравійно-гальковими відкладами потужністю 2,9 – 15,0 м. Підземні води представлені, по аналогії з рудником “Калуш”, спорадичною верховодкою та основним водоносним горизонтом напірного характеру у галечниках. Напір складає до 2,5 м. Існує гідродинамічний зв'язок з річковою сіткою ускладнений

дією депресії Домбровського кар'єру. Окрім цього, у наявності розсоли на "соляному дзеркалі" характерні для місць виходу соленосних товщ під наносні відклади. Води основного горизонту прісні з сумою солей $0.22 - 4.85 \text{ г/дм}^3$. При активному відборі можливий підсос мінералізованих вод внаслідок взаємодії з розсольним горизонтом.

Річкова сітка представлена потічками Фронилів та Кропивник і р. Сівкою. Напрямок стоку північно-східний. Природна мінералізація вод від 0.21 г/дм^3 (р. Кропивник) до 1.42 г/дм^3 (р. Сівка), за повені води несли 0.09 г/дм^3 солей (складено з використанням даних наданих гол. геологом ДП «Калійний завод» Б.Т. Бараненко).

1.1.2. Геологічне середовище Стебницького родовища калійних солей.

Стебницьке родовище калійних солей розташоване у Внутрішній зоні Передкарпатського передового прогину займає площу близько 18 км^2 .

На родовищі третинні піщано-мергелисті відклади утворюють Модрич-Уличнянську антиклінальну складку, на північно-східному крилі якої знаходяться пласти каїнітово-лангбейнітових солей (рис. 1.3). Промислові поклади полімінеральних солей представлені лангбейніт-каїнітовою, сільвініт-каїнітовою, каїнітовою і лангбейнітовою породами. Більша частина родовища розташована на північно-східному крилі антикліналі. Крім складчастих дислокацій широко розвинуті розривні структури типу скид-зеув і повздовжніх насувів [37]. Довжина рудних тіл змінюється від десятків метрів до кілометра, а потужність – від 2 до 200 м, кут падіння від 20 до 90^0 ; глибина залягання від 70 до 800 м. Пласти калійних солей сильно зім'яті і утворюють складки. Над рудними тілами практично всюди знаходиться гіпсовий пласт, який перекритий рихлими четвертинними відкладами представленими піщано-глинистим матеріалом і галечником потужністю до 15 м. Контакт соленосних порід із четвертинними відкладами обводнений, що стало причиною проникнення поверхневих вод у підземні виробки.

Геологічний розріз Стебницького родовища представлений в основі відкладами Полянницької серії, яка включає глини, кварцові піски, алевроліти, іноконгломерати. Потужність серії від 600 до 700 м. Стратиграфічно вище розташовані породи Воротищенської серії неогену, які поділяються на три свити: Нижньоворотищенську, Загорську і Верхньоворотищенську. Калієносними є Нижня і Верхня свити.

Відклади, що утворюють родовище, відносяться до нижнього відділу неогену. Міоцен представлений двома комплексами - нижній і верхній. Нає цікавить лише нижній (нижні моласи), а саме деякі із його свит: Воротищенська свита (N_{1vt}), яка складає нижню частину нижніх молас і Стебницька свита (N_{1st}), яка складає верхню частину нижніх молас.

У геологічній будові Стебницького родовища приймають участь породи всіх трьох підсвіт Воротищенської свити, а також перекриваючі їх відклади низів Стебницької свити.

а). Нижньоворотищенська підсвита (N_{1vt_1}). Представлена в основному теригенними породами: пісковиками та глинисто-пісковою брекчією. Солі представлені галітом і розвинені по тріщинах, які оконтурюють уламки брекчій, і в меншому ступені - як малопотужні прошарки галітової породи. У теригенних породах зустрічаються також прошарки і лінзи конгломератів, потужністю до 50-60 м.

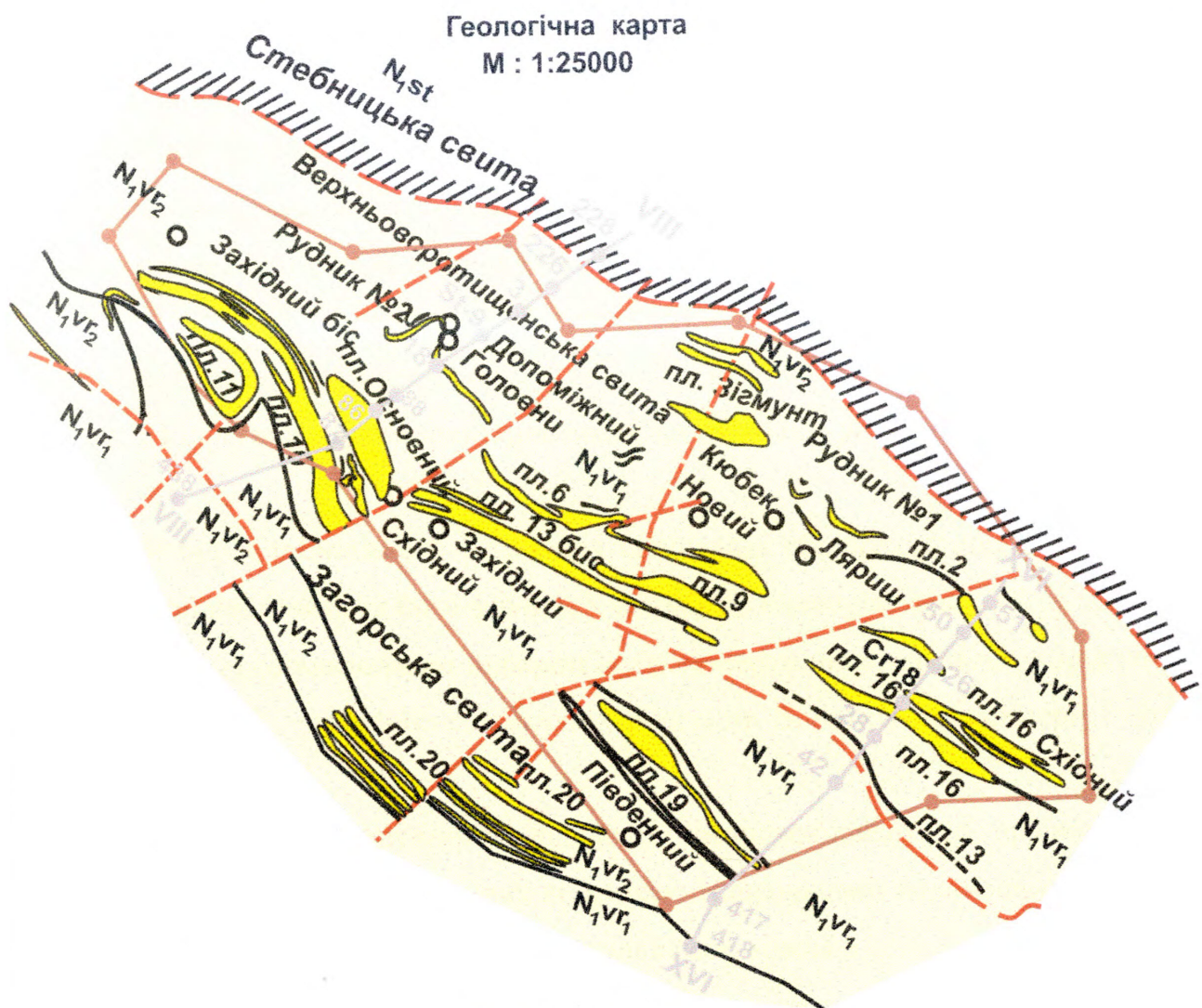
Відклади цієї підсвити широко розвинені в районі між Стебником і Трускавцем, оголюючись в ядрах Модрич-Улічнянської і Трускавецької антикліналей.

Для підсвити характерна перевага різного типу пісковиків, гравелітів.

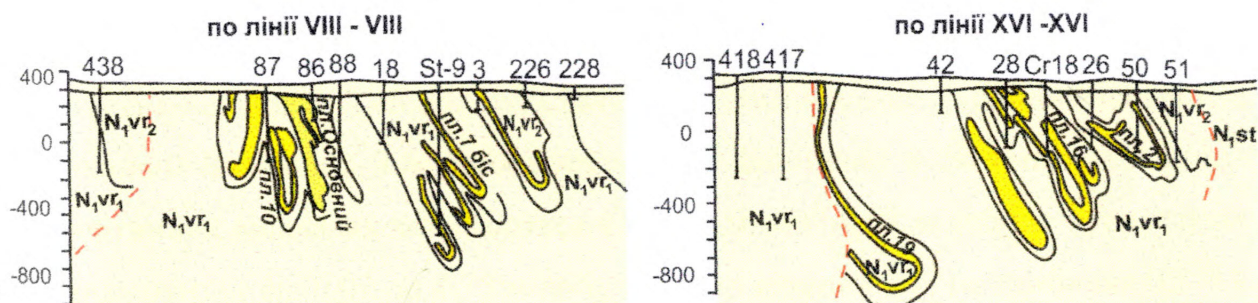
У районі шахтних полів Стебницького родовища Загорські відклади представлені флішеподібним чергуванням пісковиків, алевролітів, аргілітів і глин. Потужність окремих шарів від 2-20 см до 0,7-1 м. Із віддаленням на південь кількість пісковиків зменшується і з'являються прошарки гравелітів. Потужність підсвити - від 100 до 400 м.

б). Верхньоворотищенська підсвита (N_{1vt_2}). Її відклади широко розвинені в центральній частині родовища. Представлені інтенсивно засоленими глинистими, швидко-глинистими, піщаними брекчіями, глинами, лінзами і пластами калійної і кам'яної солі. У відкладах Верхньоворотищенської підсвити розташовані всі промислові поклади калійних солей. Потужність Воротищенських відкладів досягає більше 1500-2000 м.

в). Стебницька свита (N_{1st}). Має широке поширення у Внутрішній зоні: від пологої виходів Воротищенських відкладів до лінії насуву на Зовнішню зону прогину. Над засоленими третинними відкладами сформувалась залишкова гіпсо-глиниста кора вивітрювання („шапка“), її потужність змінюється від 0 до 200 м.



Геологічні розрізи
масштаб горизонтальний 1:25000
масштаб вертикальний 1:25000



Умовні позначення








 $N_{1.vr_2}$ Верхньоворотиська соленосна підсвіта	 Калійні солі
 $N_{1.vr_1}$ Нижньоворотиська теригенна підсвіта	 Тектонічні порушення
 $N_{1.st}$ Стебницька свита	 Геологічні свердловини
 Стратиграфічні межі	

Рисунок 1.3. Геологічна карта та розріз Стебницького родовища (основу склав Ю.Е.Кудрявцев) [36].

Четвертинні відклади представлені знизу вверху галькою, піщано-глинистими і піщанистими відкладами, в'язкими суглинками. Зустрічаються торф'яники. Гальковий горизонт обводнений. Потужність товщі - від 2 до 30 м, по генезису це моренні і флювіогляціальні відклади, лесовидні суглинки, делювій, а також древній і сучасний алювій та продукти переробки флішових і моласових порід. Четвертинні відклади відіграють роль ґрунтоутворюючого субстрату [35].

1.1.2.1. Гідрогеологічна характеристика Стебницького родовища.

На території Стебницького родовища спеціальні гідрогеологічні дослідження усєї території родовища та його флангів у цілому не виконувалась.

На родовищі розповсюджені підземні води четвертинних відкладів, порід гіпсоглинистої „шляпи“, теригенно-соленосних відкладів Воротищенської серії і порід Стебницької серії.

Підземні води четвертинних відкладів розповсюджені в пролювіально-делювіальних, сучасних алювіальних відкладах. Надсольовий водоносний горизонт приурочений до четвертинних гравійно-галькових відкладів, із піщано-глинистим зановшовачем, має вільну поверхню. Води більшою частиною прісні із загальною мінералізацією до 1 г/дм³ (інколи солонуваті із мінералізацією 3,4 г/дм³), тобто володіють високими солерозчинними властивостями. Прісні води розвинуті на високх водороздільних площах. За переважаючими компонентами вони гідрокарбонатно-сульфатно-кальцієві. Тип вод сульфатний, підтип частіше хлоридно-магнієвий (за Курніковим-Валяшко). Значення коефіцієнтів фільтрації в суглинках і глинистих четвертинних відкладах коливаються в межах 0,0007-0,07 м/добу, а в гравелітах та піщаних ґрунтах від 0,02 до 4,75 м/добу. Рівні підземних вод на глибинах 0,2-9,8 м. Інфільтрація через четвертинні відклади в породи кори вивітрювання на ділянках піщаних та супіщаних порід проходить вільно.

Солонуваті води із мінералізацією 1,0-3,4 г/дм³ розвинені на водороздільних схилах і гінеометрично понижених площах. За переважаючими компонентами вони хлоридно-сульфатно-натрієво-магнієві. Тип вод сульфатний.

Локально розповсюджені мінералізовані води (10-50 г/дм³ і навіть 300-310 г/дм³), які пов'язані з місцями розташування на денну поверхню підземних вод порід гіпсо-глинистої „шляпи“, що залягають над калійними покладами. Коефіцієнт фільтрації порід від 0,00009 до 2,86 м/добу. За переважними компонентами ці води сульфатно-хлоридно-натрієво-кальцієві. Тип їх сульфатний.

Значну роль у процесах карстоутворення відіграють підземні води в породах кори вивітрювання. Породи кори вивітрювання, що сформувались на відкладах соленосної товщі, прийнято називати „гіпсо-глинистою шляпою“ (ГГШ). Гідрогеологічними роботами встановлено неоднаковий ступінь обводнення порід „шляпи“ по площі і по розрізу та пряму залежність обводнення від літологічного складу водовміщуючих порід. Підземні води, що розвинені в породах кори вивітрювання, являють собою єдиний водоносний комплекс. Нижня границя розповсюдження порід кори вивітрювання розташована децю нижче врізу днищ основних річкових долин району. Верхня та середня частини розрізу водовміщуючих порід цієї товщі знаходяться під дренажним впливом врізів річкової та ярово-балкової сітки, а в нижній частині розрізу породи залягають в зоні утрудненого водообміну. В зв'язку з цим, умовно, за даними спостережень по рівню підземних вод, розкритих на різних глибинах від земної поверхні, в породах кори вивітрювання розрізняють підземні води, що розвинені у верхній, середній та нижній частинах розрізу.

Підземні води порід гіпсо-глинистої „шляпи“ відносяться до солонуватих, солених і розсолів. Величина мінералізації їх змінюється від 3 до 404 г/дм³ і визначається компонентним складом водовміщуючих порід, глибиною їх залягання і ступенем промитості. У верхніх шарах „шляпи“ циркулюють води з мінералізацією 3-67 г/дм³. У середніх частинах розрізу порід гіпсо-глинистої товщі циркулюють, переважно, розсоли з мінералізацією 34-212 г/дм³. Біля контакту з соленосними відкладами всюди розташовані розсоли, концентрація яких досягає 250-404 г/дм³. Хімічний склад підземних вод гіпсо-глинистої „шляпи“ закономірно змінюється із збільшенням мінералізації. Солонуваті води, що розповсюджені у верхній частині „шляпи“, відносяться до сульфатно-хлоридно-кальцієво-натрієвих або кальцієво-магнієвих. Солоні води і розсоли, що циркулюють у більш глибоких шарах гіпсо-глинистої „шляпи“, переважно хлоридно-сульфатно-натрієво-магнієві. Тип їх суль-

фатний, підтип хлоридно-кальцієвий. Поблизу контакту із соляними породами розповсюджені розсоли хлоридно-натрієвого складу сульфатного або хлоридного типу.

Дані режимних спостережень за рівнем вод розсольного горизонту, хімічний склад розсолів, відношення еквівалентів окремих іонів свідчать про те, що вони утворюються за рахунок вилугування водорозчинних солей порід гіпсо-глинистої „шляпки” і соленосних відкладів інфільтраційними водами. Соленосні відклади, розвинуті у межах родовища, являють собою в основному, практично водонепроникну товщу. У процесі буріння та опробування свердловин в нормально-седиментаційних відкладах скупчень розсолів не виявлено. У гірських виробках рудників іноді зустрічаються розсолопрояви у вигляді окремих вологих плям, течії по стінах, та рідких крапель з покрівлі гірських виробок.

Режими дебітів розсолонпритоків, постійна величина їх мінералізації і хімічного складу, а також випадки викиду газу і високий тиск розсолів та газів, свідчать про те, що в соленосних відкладах підземними виробками розкриваються захоронені постседиментаційні розсоли. В більшості випадків, після спрацьовування статичних запасів, виділення розсолів припиняється. Мінералізація розсолів у середньому складає 360 - 400 г/дм³ і більше. Хімічний склад розсолів залежить від складу порід, з яких вони виділяються. На родовищі зафіксовано поступлення надсольових вод з гіпсо-глинистої „шляпки” у виробки.

Живлять четвертинні відклади атмосферні опади та поверхневі води. Області живлення та розповсюдження співпадають по площі. Підземний стік направлений у сторону врізів ярово-балкової та річної сітки. Підземні води, пересуваючись з припіднятих ділянок, поступають в закаретовані породи сформовані над калійними покладами, далі вони підпираються водотривкими породами Верхньоворотинських покладів і прямують до долин рік. Внаслідок такого руху, розвивається заглиблення поверхні соляного дзеркала, особливо вздовж контактів Загорських порід з покладами калійної солі. У долині р. Вишниця та її притоків існують постійні потоки підземних вод.

Живлення підземних вод у породах кори вивітрювання також здійснюється атмосферними опадами та поверхневими водами. [40, 41].

1.2. Аналіз наслідків техногенного впливу шахтної розробки калійних родовищ на довкілля

На Калуш-Голинському та Стебницькому калійних родовищах, де застосовується камерна система розробки з відкритим очисним простором, з підтриманням покрівлі міжкамерними щілками (що деформуються з часом) проходять незворотні зміни:

А) геологічного середовища під дією навантаження винезалягаючих порід.

На поверхні і в масиві проходить: деформування і руйнування міжкамерних щілок; зсуви гірських порід покрівлі у бік відпрацьованого простору; утворення зон розшарування та тріщинуватості у водозахисній стеліні, і як наслідок - деформація земної поверхні. Процес зсуву продовжується десятки років (у залежності від ступеня навантаження щілок і порід покрівлі) і впливає на об'єкти (часткове або повне їх руйнування) та земельні угіддя (заболочування, підтоплення), що розташовані в зоні впливу мульди зсуву.

Б) гідрохімічної та гідродинамічної обстановки при розробці і ліквідації соляних шахт.

На поверхні і в масиві проходить: збільшення ступеню взаємозв'язку поверхневих, підземних та шахтних вод; інтенсивне пониження або підвищення напорів підземних вод на великих площах і зростання швидкості фільтрації; поява нових областей живлення і розвантаження водоносних горизонтів (у тому числі і техногенно створених); зміна інтенсивності інфільтраційного живлення; зневоднення верхніх зон гідрогеологічних структур, що веде до збільшення потужності зони аерації, або навпаки їх обводнення веде до затоплення та підтоплення значних площ земної поверхні.

1.2.1. Аналіз впливу шахтної розробки рудників Калуш-Голинського калійного родовища.

Розділ написано на основі даних звіту НДІ „Галургія” [42] і від гол. геолога ДП «Калійний завод» Б.Т.Бараненко.

Калуш-Голинське калійне родовище знаходиться в Івано-Франківській області в 30 км на північний-схід від м. Івано-Франківська на заході України. Воно розташоване в південній та південно-східній частинах Калуської улоговини, яка являє собою відносно плоску акумулятивну рівнину з абсолютними відмітками від -280 до -310 м.

що полого понижується на схід - північний-схід. Більша частина родовища розташована в межах третьої тераси ріки Лімниця, яка знаходиться на 10-12 м вище рівня ріки. В околицях с. Кадоба плоский рівнинний рельєф місцевості змінюється слабо хвилястим. Абсолютні відмітки тут змінюються від -320 до -380 м різко зростають до -390 м в західному напрямку. Біля східних околиць міста Калуш починається невисоке платоподібне підвищення - Войнилівські висоти. Воно витягнуте з південного-заходу на північний-схід, має стрімкий північно-західний схил направлений до р. Сівки, і пологий південно-східний схил направлений до долини р. Лімниця. Абсолютні відмітки платоподібної височини в межах району вивчення не перевищують +360 м.

Основною водною артерією району є р. Лімниця - правобережна притока р. Дністер. У межах родовища вона тече зі заходу на схід, має звивисте русло з чисельними притоками. Найбільш значним водотоком після р. Лімниця є р. Сівка з потічком Кропивник, що тече по центральній частині родовища. Це типові гірські ріки.

Клімат родовища перехідний від морського до континентального. Середньорічна температура повітря складає $+7,4^{\circ}\text{C}$ при абсолютному мінімумі в січні-лютому ($-36,5^{\circ}\text{C}$), і абсолютному максимумі в серпні ($+37,7^{\circ}\text{C}$). Середньорічна кількість опадів - 730 мм при коливанні від 420 до 1350 мм. Більша частина опадів припадає на літо 580 мм.

1.2.1.1. Рудник „Калуш”.

До 1867 року на території родовища добували кухонну сіль методом видуговування. Розробка на Калуш-Голинському родовищі калійних солей почалась з 1867 року. Експлуатація рудника припинилась у 1978 році.

Видобуток калійних і сільвінітових руд проводився камерною системою розробки на відокремлених один від одного виїмкових ділянках: Північному сільвінітовому, Північному і Центральному калійних, та Хотінському полях.

На даному етапі поверхня рудних полів ліквідованої шахти „Калуш” знаходиться у стані перетворення внаслідок процесу зрушення земної поверхні ускладненого карстово-провальними проявами.

Північне сільвінітове поле.

Північне сільвінітове поле відпрацьоване в період з 1943 по 1962 роки, на глибини 160 - 440 м. Параметри розробки поля наведено в табл. 1.3. Вище VI горизонту

Таблиця 1.3.

Параметри відробки полів рудника „Калуш” (за даними П/Д «Галургія» [42])

Назва показників	Ізвінське сільськогосподарське поле						Холмське поле			Ізвінське камішкове поле						Центральне поле							Старі відроблені ділянки Петрівського поля															
	горняк VI-20 м	Пісчак гор. VII	Пісчак гор. VII	горняк VII-6 м	Бок №8 гор. VII	горняк VIII-72 м	горняк IX-14 м	Пісчак IX гор.	всього	горняк VI	горняк VII	всього	горняк VI-65 м	горняк VII-25 м	всього	горняк-52 м	горняк-65 м	горняк-83 м	горняк-16 м	горняк-57 м	горняк-65 м	всього	всього	всього	Калит Середній	Сильвін, Дівчачий	Гаршина Північний	Хотнська Дівчачий	Потос-1	Потос-6	Котина ПТС1	Сильвін Середній	Ліювня					
Час відробки	1945	1962	1962	1963	1941	1940	1961	1943	1961	1969	1961	1956	1973	1975	1956	1965	1966	1967	1973	1976	1977	1968	1943	1920	1924	1924	1924	1924	1921	1940	1927	1926	1926					
Робот	1950	1964	1964	1964	1960	1961	1961	1962	1970	1976	1975	1970	1975	1975	1975	1978	1974	1976	1976	1977	1978	1978	1978	1924	1936	1936	1936	1930	1930	1941	1944	1940	1938	1940				
Час застосування	1953	1950	1950	1963	1965	1963	1963	1963	1961	1976	1975	1965	1970	1975	1975	1973	1974	1976	1976	1977	1978	1978	1973	1951	1924	1936	1940	1936	1943	1944	1944	1940	1940	1940				
Робот	1958	1951	1951	1961	1965	1963	1963	1963	1961	1976	1975	1965	1970	1975	1975	1973	1974	1976	1976	1977	1978	1978	1973	1951	1931	1936	1940	1936	1943	1944	1944	1940	1940	1938				
І. відробки	1890																		948						1395							1107						
Площа відробки, км ²	1800																		948						1395							1107						
І. застосування	1800																		-						-							-						
Вимір, що впливає на	30																		-						-							-						
Звернувшись до	30																		-						-							-						
сильні пелюстки	30																		-						-							-						
Глибина	160	170	284	224	280	330	360	160	140	230	265	100	213	100	210	200	185	280	160	193	160	100	85	170	205	165	240	276	230	230	72	72	72					
Відробка, м	223	243	295	333	365	435	400	435	265	265	265	285	270	270	285	240	225	290	235	260	260	285	85	15	20	205	165	240	276	230	230	72	72					
Кут глибини	10	10	10	6	25	24	17	6	0	5	0	14	0	0	10	0	0	0	0	10	10	0	27	15	20	20	21	25	27	10	25	25	25					
Час	35	30	40	30	40	25	25	6	20	20	20	30	30	30	25	25	20	20	25	10	11	8	8	20	20	22	11	11	11	10	10	10	10	10				
Ширина	11	11	11	11	11	11	11	11-12	10	15	15	10	11	10-12	12	12	11	12	10	11	11	8-12	8	11	10	10	11	11	11	11	10	10	10	10	10			
Кількість, м	4	8	3	5	7	5	7	5-8	5	6	5	8	10	11	12	8	15	8	12	10	10	5-15	5	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5			
Висота, м	3	3	5	3	8	5	7	3-18	3	3	3	3	3	3	11	4	4	6	4	6	4	4-30	6	6	6	6	27	35	60	60	60	60	60	60	60			
м	5	7	13	13	18	7	11	5-18	16	5	5	25	14	14	30	7	7	20	15	12	12	3-30	55	55	66	35	27	35	60	60	60	60	60	60				
Площа, м ²	34	34	30	54	53	80	74	30	78	124	78	30	26	26	90	14	14	8	8	64	64	14	14	14	30	30	76	76	110	110	110	110	110	110	110			
Висота, м	56	84	80	84	88	80	80	80	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104		
Коефіцієнт	639																		630						529							450						
всхожість, %	639																		630						529							450						
Коефіцієнт	1,0																		1,0						1,0							0,8						
всхожість	1,0																		1,0						1,0							0,8						

Продовження таблиці 1.3.

Назва показників	Північне сільвогнево поле						Холмське поле		Південне сільвогнево поле						Центральне поле						Старі відроблені ділянки Центрального поля					
	горизонт VI+20 м	підстигк гор. VII	горизонт VII+6 м	Бокс №3 гор. VII	горизонт VIII-72 м	горизонт IX-14 м	підстигк IX гор.	горизонт VI	горизонт VII	горизонт VI+65 м	горизонт VII-25 м	горизонт VII+16 м	горизонт VIII+57 м	горизонт IX+65 м	горизонт X+83 м	горизонт XI+16 м	горизонт XII+57 м	горизонт XIII+65 м	Каніт Центр.п.	Сітьвян Довняни	Гаршнін Півт.Зв.	Холмськ. Дівняни	Потс-1	Потс-6	Котина ПЕСП	Сітьвян Срединн
Розміри ділянок	800						350		220 190 176 130						240 286 680 300 160 290						90 168 320 260 246 140 100					
Коефіцієнт вивантаження шликів до / після зливання, %	1000						700		230 100 130 240						240 286 680 300 160 290						240 286 680 300 160 290					
Максимально очікувані осідання, мм	0,77/0,48						0,47/0,33		0,89/0,23						0,31/0,23						0,44 0,34 0,45 0,46 0,31 0,48 0,25					
Характер осідання	Стадія затухання						Кінцев-атив. стадії		Початкова стадія						Початкова стадія						Стадія затухання					
Максимальна швидкість осідання, V, мм/рік до зливання під час на 2004 р.	10 10 3-5 (15)						50 20 18-20		20 10-700 16						3-5 (28) 2-3 (46-76) 3-20						3-5 1-3 1-3					
Накопичене осідання з початку спостережень, мм на 2004 р.	3736						2734		925						851						573					
Геодинамічні зміни ділянок	Осідання сформовано озеро S = 30 га (проноз - 36), зколюєно - 27,8 га						Осідання сформовано озеро S = 2 га (проноз - 87,2), зколюєно - 27,8 га		Осідання зколюєно ділянка D-1,5-30 м H - 1-2,5 м						Осідання зколюєно ділянка D-1,5-30 м H - 2-8 м						Локальне осідання та зболюєно					
Геофізичні та геохімічні зміни ділянок	Вода в озері солена, проходить зосолєння підземних ґрунтових вод та ґрунту.						Зосолєння ґрунту і підземних вод		Зосолєння ґрунту і підземних вод						Ареали зосолєння навколо воронок						Не досліджені					
Економічні наслідки техногенного впливу підземної розробки родовища солей	У зоні впливу потрапив 491 житловий будинок (318 буде зруйновано), школа, промислові будівлі, водогін, дендропарк, каналізація, заглибини та ін. нагріт вкислені 67 будинків.																									

відшраньовані камери закладені „сухою” закладкою, нижче – відходами збагачувальної фабрики. Гідрозакладка, в об’ємі 780 тис.м³, проводилась у 1954-58 роках та в 1962-66 роках. На час ліквідації рудника було утворено 1890 тис.м³ пустот, з яких не закладено – близько 30 тис.м³. З 1957 року на ділянці Північного сільвінітового поля почалося інтенсивне осідання земної поверхні. В 1960 році, коли накопичене осідання досягло 800 мм, з’явилась невелике озеро в центрі мушди зеуву, на даний час (26.11.2004 р.) площа його складає 30 га. Максимальна швидкість осідання до затоплення досягла в 1961 році 450 мм. На 26.11.2004 року одержано максимальне накопичене осідання 4736 мм (додаток Е). Міжкамерні цілики зруйновані і проходить їх ущільнення. Максимальна швидкість по незатопленими реперам – 3-5 мм/рік, в центрі мушди зеуву біля 15 мм/рік. Процес зеуву над полем знаходиться на стадії затухання. Житлових будинків і промислових споруд на ділянці немає.

Північне каїнітове поле

Північне каїнітове поле розроблялось в 1940-43 роках і 1956-75 роках на глибині 100-260 м (Додаток С). Параметри відробки поля наведено в табл. 1.3. Вище VI горизонту була організована дільниця гідрозакладки, але в зв’язку з проривом розсолів на нижні горизонти, закладку припинили. З лютого 1989 року по червень 1990 року проводилось кероване заповнення виробок поля недонасиченими розсолами хвостосховища Домбровеського кар’єру. Процес зеуву над полем знаходиться на початковій стадії і зумовлений двома причинами: деформацією міжкамernih ціликів під дією ваги налягаючої товщі, що проявляється в плавному осіданні земної поверхні над виробками і в прилеглий зоні впливу гірничих робіт; карстово-суфозійними процесами, які почали проявлятися з 1984 року у вигляді утворення провалів на земній поверхні. Коли з’явився провал №4 над луговнею № X, що став каналом гідродинамічного зв’язку між вищезалігаючим водоносним горизонтом і гірничими виробками, пройшов прорив розсолів у рудник, що викликало формування карстових пустот у відкладах соленосної товщі та утворення провалів на земній поверхні. Поява провалу №5 не викликала збільшення швидкості осідання в цьому районі, але стала другим джерелом поступлення прієних вод у відшраньований простір, які, з часом, викликали раптове просідання земної поверхні площею 200×180 м і глиби-

ною 8,5 м у 1987 році, у зв'язку із розмивом і розчиненням порід міжкамерних ціликів. У межах мульди і вздовж її границь спостерігались чисельні тріщини довжиною до 10 м, шириною від кількох міліметрів до 1-2 метрів (рис. 1.4.). Центральна частина мульди була затоплена водою. Одночасно з раптовим осіданням виник провал №7, який ускладнив ситуацію на Північному каїнітовому полі (рис. 1.5.). Таким чином, до початку регульованого затоплення в пустотах Північного каїнітового поля накопичилось близько 180-200 тис.м³ розсолів, з притоком - 100 м³/добу.

Над полем, в результаті карстово-суфозійних процесів, на протязі 1984-2001 рр. утворилося 12 провалів діаметром до 30 м і глибиною до 25 м (табл. 1.4). Безпосередньо у провалах формуються озера, що згодом засипають. З 1993 року при утворенні провалів розсоли шахтних виробок з концентрацією до 400 г/дм³ розвантажуються у ґрунтові та поверхневі води. Над Північним каїнітовим полем, де осідання знаходиться у початковій стадії, наразі відомо 3 посадові мульди (рис. 1.4). У зоні впливу гірничих робіт знаходяться житлові будинки, різні споруди (водопровід, теплотраса, каналізація та ін). Загалом над полем на протязі 500 років очікується формування кількох озер з глибинами до 8 м. Подібні перебудови рельєфу приведуть до руйнування будинків та споруд, що знаходиться у межах граничного куту зсуву. Наразі відселені 40 будинків.

Центральне поле

Центральне поле почали відробляти більше 100 років тому, на глибині 60-250 м. Воно включало в себе 10 камер вилюговування і 11 лінз, 9 з яких відпрацьовано в 1920 - 43 рр. У зв'язку з відставанням закладочних робіт і незначного запасу міцності міжкамерних ціликів на старих дільницях осідання земної поверхні сьогодні знаходиться на стадії затухання. Параметри розробки поля наведено в таблиці 1.3.

Над Центральним полем крім деформації міжкамерних ціликів спостерігались карстово-суфозійні явища, в результаті чого на земній поверхні з'явилися провали. Перший утворився у 1975 році, а останній у 1997 році, на 2006 рік їх кількість - 6 (таблиця 1.4).

Основний канал поступлення галечникових вод у виробки був розташований, за даними НДІГ, у районі провалів 1 і 2 де фіксували інтенсивне обвалювання порід



Рисунок 1.4. Наслідки раптового просідання земної поверхні над відпрацьованими виробками шахти «Калуш» по вул. Вітовського (колишня Пархоменка) 07.06.1987 року (зі звіту НДІ «Галургія»).



Рисунок 1.5. Провал №7, що виник серед новобудов м. Калуша (07.06.1987) (зі звіту НДІ «Галургія»).

Таблиця 1.4.

Характеристика провалів у районі Центрального та Північного каїнітового полів рудника „Калуш” (за даними гол. Геолога ДП „Калійний завод” Б.Т.Бараненка)

Номер провалу	Дата утворення	Розміри провалу (довж., шир., глиб.), м	Об'єм, м ³	Місце знаходження	Примітка
№1	10.03.1975	3×4×2,1	25,0	Центральне поле промшадка на північ від ст. №6	
№2	10.12.1975	5×4×3	60,0	Центральне поле промшадка на північ від ст. №6	
№3	01.03.1980	6,5×4,5×4	117	Центральне поле, русло р. Сівка в районі нахилу „Д”	
№4	14.03.1984	5,2×6×2,5	78	Північне каїнітове поле, лівий берег р.Сівка	
№4а	04.09.1985	1,5×2,5×2,5	9,375	Північне каїнітове поле, лівий берег р.Сівка	
№4б	04.09.1985	4,5×4,5×1,5	30,375	Північне каїнітове поле, русло р.Сівка	
№4в	11.12.1985	2,9×1,5×1	4,35	Північне каїнітове поле, лівий берег р.Сівка	
№4г	23.02.1987	Затоплений, h=6×1,2×1,2	8,64	Північне каїнітове поле, русло р.Сівка	Засипана породами гіпсоглинистої „шляпи”
№5	27.06.1985	15×15×6,5	1462,5	Північне каїнітове поле, вул. Вітовського	
№6	26.01.1986	13,5×13×8,4	1474,2	Центральне поле, біля ст. №6	
№7	07.06.1987	18,8×17,5×8	2632	Північне каїнітове поле, вул. Вітовського	
№8	29.09.1990	16×16×7	1792	Північне каїнітове поле, вул. Касигіна	
№9	03.01.1992	5×4,3×6	129	Центральне поле, біля ст. №4	
№10	19.07.1993	24×30×17	12240	Північне каїнітове поле, каналізаційний колектор	
№10а	24.07.1996	14×16×6	1344		
№10б	02.02.1997	18×21×4,8	1814,4		
№10в	12.02.1997	34×30×22	22440		
№11	09.01.1997	10,5×8,5×5,5	490,475	Центральне поле, біля ст. №7	
№12	15.12.2001	15×15×15	3375	Північне каїнітове поле, праворуч від св. 4г.	
Раптове просідання поверхні	07.06.1987	200×180×8,5	306000	Північне каїнітове поле, вул. Вітовського	Різний засипний матеріал

покрівлі і циркуляцію вод-розсолів у вигляді потоку. Стовбур №6 теж був провідником вод-розсолів. Інший канал руху вод, був приурочений до лежачого боку Центральної каїнітової лінзи, що дуже небезпечно, так як його джерело тяжіло до тальвегу р. Сівка. За даними НДІГ, порожнини всього рудника „Калуш”, могли б затопитись водами галькового горизонту на протязі 50-100 років. Якщо б пройшов безпосередній прорив вод ріки Сівка в рудник Калуш, то - за 1-1,5 місяці [43].

Небезпека прориву вод ріки Сівка стала реальною в 1980 році коли на березі ріки в прирусловій частині утворився провал № 3 розміром 6,5·4,5 м і глибиною близько 4 м, а в 1985 році після утворення наскрізних провалів 4а і 4б у річковому руслі, склалася ситуація, яка могла б привести до катастрофічного некерованого природного затоплення рудника „Калуш”. За період з 1975-80 роки приплив прісних вод у виробки збільшився з 50 до 200 м³/добу і залишався стабільним до затоплення.

З березня 1988 року по липень 1990 року проведено кероване заповнення виробленого простору донасиченими розсолами Домбровського кар'єру.

Ситуація над центральним каїнітовим полем є менш напруженою, бо довоєнні виробки були закладені і осідання над ними знаходяться на стадії затухання. Небезпеку становлять: провальні-карстові процеси на промплощадці рудника поблизу ліквідованого стовбура №6, де спостерігалось провалутворення з 1970 року; осідання ліквідованих стовбурів №4 і №7; формування мульди над відробленими лінзами Верхня сильвініт-каїнітова та Нижня каїнітова; осідання земної поверхні пов'язане з подальшим ущільненням ціликів і закладки у видобувних камерах довоєнної розробки (додаток Ж).

Слід очікувати певну активізацію зсувних процесів на південному і південно-східному схилі Войнилівських висот. У майбутньому тут очікується максимальне осідання земної поверхні до 7 метрів. Крім того, територія центральних полів є досить насичена лінійними (штреки, похилі) та старовинними виробками. Часто місцезнаходження останніх невідоме і наявні локальні дрібномасштабні мульди просідання ймовірно маркують їх. Інколи цим можна пояснити орієнтовані тріщини відриву у стінах прилеглих будинків.

Хотінське сильвінітове поле

Хотінське сильвінітове поле відпрацьоване в 1961-1975 роках, глибина розробки 140-270 м, потужність у центрі досягає 22 м і виклинюється до 2,5 м по краях лінзи.

Об'єм відпрацьованих пустот 947 тис.м³. із них частково (25% від усього відпрацьованого простору) закладено породами від проходки гірничих виробок. Середній запас міцності міжкамерних ціликів менший довготривалого (табл. 1.3), тому процес зсуву над цим полем проходить досить інтенсивно. З 1963 року відмічено осідання з швидкістю 15 мм/рік, швидкість постійно зростала по всім реперам, і максимального значення досягла в 1972 році – 211 мм/рік, потім почалося поступове зменшення швидкості осідання до теперішнього часу. Максимальне значення швидкості осідання в 2004 році складало 17-18 мм/рік, максимальне накопичене осідання на 17.11.2004 року склало 2753 мм (центр мульди зсуву), максимально очікуване – 7400 мм. Між р.Лімницею та стовбуром “Хотінь” сформувалось озеро у просадовій мульді субмеридіонального простягання площею 2 га (очікувана площа – 47,2 га) (додаток 3.).

Над відробками і в зоні їх впливу знаходиться селище Хотінь, яке забудоване одно- і двоповерховими житловими будинками та іншими спорудами. Оскільки в центрі мульди проходить заболочування та підтоплення земної поверхні, ВАТ „Оріана” проведено відселення мешканців 26 будинків, всього в зону впливу потрапляє 109 будинків. Процес зсуву над полем знаходиться в стадії затухання. Однак, існує небезпека прориву вод р.Лімниця у відпрацьований простір ліквідацію якого не було проведено, а це приведе до катастрофічних наслідків по аналогії з Північним каїнітовим полем.

1.2.1.2. Рудник “Ново-Голинь”.

Рудник “Ново-Голинь” розташований на сході від міста Калуша і складений двома рудними полями відробленими у 1966 – 1995 рр.: “Східна-Голинь” знаходиться на північно-західній околиці села Кропивник і має об'єм пустот 6863,1 тис. м³; “Сівка-Калуська” лежить на північно-східній околиці однойменного села і має об'єм пустот 5294,5 тис. м³ (додаток В). Система розробки – камерна із залишенням стрічкових ціликів. У залежності від кута падіння і потужності пласта довжина камер складала від 10 до 100 м, ширина від 10 до 13 м, висота від 2 до 40 м, ширина міжкамерних ціликів від 10 до 12 м.

У сумі на руднику “Ново-Голинь” налічувалось 12158,5 тис. м³ пустот, які наразі ліквідовуються згідно проекту розробленого інститутом “Гірхімпром”. Ним передбачено гідрозакладку галітовими відходами фабрики дільниць, де очікуються максима-

дльні осідання земної поверхні з можливим порушенням суцільності покривних порід та заливка решти порожнин пульпою з мулових та сольових відходів хімфабрики або розсолами [43]. Термін ліквідаційних робіт біля 20 років. На будівництво закладеного комплексу передбачалось не менше 3 років. З метою пришвидшення робіт визнано доцільним заповнення пустот камер IV горизонту розсолами і гірничо-сольовим шламом. Вже з березня 1996 р. розпочато заливку виробок розсолами Домбровського кар'єру з акумулюючих ємностей, розсолами хвостосховища №2 та мулово-сольовим шламом від переробки калійної руди із процесу. Співвідношення твердої та рідкої фази вибрано 1:1. На 01.08.2005 р. закачано 8254,2 тис. м³ розсолів, але роботи ведуться з відхиленням від проекту в зв'язку із зупинкою роботи хімфабрики і відсутністю шламу.

Ділянка "Західна Голинь" – законсервована аналогічно ділянці Хотінь.

Зрушення земної поверхні фіксується з 1979 р. Просадкові процеси над відробленими полями ведуть до формування мульд, у яких розвивається заболочення та утворюються озера. Над Східним полем Голині наразі утворюються локальні мульди зі швидкістю до 10 – 11 мм/рік і максимальним просіданням до 1 метра, що привело до підтоплення поверхні. Загалом очікується заболочення 105 га і формування озера площею 23 га. Максимальне просідання складе до 28 м. Контури майбутнього озера перетинають русло ріки Кропивника, а максимальна просадка відбудеться за 50 м від нього. При розвитку провальньо-карстового процесу аналогічного руднику "Калуш", гарантовано засолення поверхневих та підземних вод. Загалом у мульду зсуву на кінець зрушення входитимуть 257 жилих будинків, залізна дорога та промислові споруди рудника "Ново-Голинь", з них буде підтоплено 168 будинків.

На дільниці "Сівка-Калуська" просідання фіксуються з 1989 р. із швидкістю до 11 мм/рік з формуванням двох локальних мульд. Тут очікується формування на кінець зрушення складної за формуою мульди з підтопленням 115 га поверхні. У середній її частині сформується складне за контуром озеро площею 57 га. Максимальне просідання, ймовірно, досягне 19,5 м. Як і у попередньому випадку поверхневий водостік – русло р. Сівки, потрапляє у контур водойми і прийме активну участь у її формуванні. У випадку прояву карстово-провальних процесів очікується взаємодія розсолів шахтних виробок із поверхневими та підземними водотоками. Це поле стане відправним пунктом техногенного засолення ріки Сівки, яка буде до центру м. Калуша весь

час збагачуватиметься солями. У просадову мульду поля Сівка-Калуська потрапляють 268 жилих будинків із школою, з них 104 будинки будуть підтоплені.

Фактично гідрозакладка пустот невиконана. Враховуючи: видобувні камери висотою до 80 м на здвосних пластах: зони, де виходять теригенні породи ($N_1b_1b_2$) під четвертинні відклади представлені розсланцьованими глинами (мидлярками) схильними до самовивалювання; відхилення фактичного складу розсолу від проектного, - слід очікувати активізації просадових процесів, що може привести до розриву суцільності водозахисної стелини із наступним витісненням великої маси розсолів із підземних порожнин у водоносні горизонти, як наслідок, до втрати великої кількості житлового фонду в селищах Кропивник і Сівка-Калуська і забруднення підземних вод на значних відстанях [44, 45].

1.2.2. Аналіз впливу шахтної розробки рудників Стебницького калійного родовища.

Стебницьке родовище калійної солі розташовано поблизу міст Стебник і Трускавець Дрогобицького району Львівської області (додаток К). З обласним і районним центром м. Стебник і Трускавець зв'язані залізницею та автомобільними дорогами. Ділянка залізниці Львів - Трускавець знаходиться в межах гірничого відводу Стебницького рудника, а ділянка автомагістралі Львів - Трускавець прилягає з заходу до флангів гірничого відводу.

Місцевість, у межах якої розташоване родовище, характеризується пагорбистим рельєфом з абсолютними відмітками від +300 до +350 метрів. Власне територія гірничого відводу - це поле з врізами невеликих річкових долин та ярово-балкової сітки глибиною до 10-15 м, крутими схилами (до 20^0). До цього поля з північного сходу примикає м. Стебник, а з південного заходу - трускавецький ліс. Невелика річка Виш-ниця та тимчасові потічки є притоками р. Тисмениця, яка впадає в р. Дністер.

Техногенні зміни рельєфу представлені широко розвинутим підтопленням, заболоченням, просадово-суфозійно-карстовими процесами. Лише у межах полів рудників 1 і 2 виявлено 15 карстово-суфозійних провалів діаметром від 5-10 до 100-120 м і глибиною до 5-10 м у межах депресійної воронки, більшою частиною заболочених. В окремих із них течуть струмки - безстічні, що вказує на інфільтрацію

поверхневих вод у ґрунті і, можливо, більш глибокі водоносні горизонти. Депресія, що утворилась за рахунок відкачки підземних вод з гірничих виробок, площею біля 1 км повністю охоплює територію гірничого відводу та його фланги.

Еколого-геологічна ситуація в межах родовища складна. Частина забудови м. Стебник розташовано в межах гірничого відводу. Через площу гірничих робіт проходять автомобільні та залізничні дороги (Трускавець-Львів). Уже на даний час мають місце провали і просідання земної поверхні, прориви воднадсольових водоносних горизонтів у гірничі виробки. Гірничі роботи проводились камерним способом (камери $60 \times 60 \times 120$ м, площею 7200 м^2). Камери розташовані в товщі солей на двох поверхнях, тобто потужність підробки перевищує 120 м [40].

Припинення видобутку солі зменшило об'єми робіт по збереженню стійкості геологічного середовища, що привело до збільшенню ризику виникнення екологічно небезпечних явищ. Про це свідчить провал (1997 р.) у 300 м від центральної автомагістралі між містами Стебник-Трускавець під дорогою, що відходить від центральної в м. Стебник [12].

Рудник № 1.

Гідрогеологічна ситуація на руднику № 1 ускладнилася в 1997-98 рр у зв'язку з аварійним витоком у квершлаг 99/вент. Причина витоку - проходка виробки на дуже малій відстані від підшви гіпсо-глинистої шляпи (біля 5 м). Встановлення ущільнювачів дозволило ліквідувати притік. У травні 1997 р. та в березні 1998 р. стався прорив через нові тріщини в підшві виробки біля забою. Ліквідаційні заходи сприяли тимчасовій стабілізації ситуації, проте повністю залікувати масив не вдалося.

У 1998 р. у вибій квершлягу прорвались розсоли з дебітом до $860 \text{ м}^3/\text{добу}$, наявні комунікації не забезпечили водовідлив у таких масштабах, тому було затоплено ряд виробок разом із виробками стовбуру "Новий". Всього з початку витоку у вибій квершлягу витекло 39728 м^3 розсолів. Розрахунково утворилось 6786 м^3 . Ситуація залишається критичною, деформації земної поверхні тут вкрай небажані, тому що на ділянці знаходиться ряд важливих господарських об'єктів (високовольтні лінії електропередач, водогін Стрий-Дрогобич, залізниця Львів-Трускавець).

На руднику № 1 функціонує з 1966 р. водопритік на схилі 19/1-в з постійним дебітом $-30-50 \text{ дм}^3/\text{добу}$ з мінералізацією $360-380 \text{ г/дм}^3$.

За останні 23 роки витoki на рудниках становлять 3,5 млн. м³ розсолів. Станом на 2001 рік на Стебницькому ДГХП "Полімінерал" карстом охоплено біля 610 тис.м³ пустот. З них 410 тис.м³ закладено іншими породами. Середній водопритік - 900-950 м³/добу. У 2001 р. розсоли прорвались на четвертій горизонт, що стало поштовхом для прийняття рішення по ліквідації рудника [40].

Рудник № 2.

Найбільш небезпечним є діючий з 1978 р. притік надсольових вод пласта „10-ПдСх”. Режимні спостереження в 1998 р. показали, що загальний середньодобовий дебіт розсолопритоків коливався в межах 689-1046 м³/добу. При цьому різкі „стрибки” дебіту притоку відзначались в квітні-липні і пов'язані з таненням снігу та зливами, що говорить про його взаємозв'язок з надсольовими водами. Середньорічний добовий водопритік залишився на рівні 1997 року складаючи 780 м³/добу.

Всього за період існування витoku з 1978 р: витекло розсолів - 3445169 м³; утворилось карсту - 508444 м³; закачано тампонажного матеріалу - 156645 м³; утворилось карстових порожнин (карст 1) - 18332 м³; утворилось карстових провалів на поверхні - 20612 м³; залишковий об'єм карсту (розрахунковий) - 338771 м³.

Внаслідок існування течії на рівні підземних вод горизонту ГГШ над ділянкою витoku сформувалась депресія площею 600 x 1300 м, що простягається від Трускавецького лісу на південному сході в північно-західному напрямку вздовж калійних покладів до водорозділу р. Вишниця (район автодороги Львів-Трускавець) (додаток К). Рівні підземних вод горизонту ГГШ у центральній частині депресії знаходяться на глибинах до 30-57 м (до прориву вод у рудник - від 10 до 15 м).

Розвиток карстових процесів призвів до деформації земної поверхні. У центральній частині витoku просідання поверхні сягає 800 мм. Тут же відмічено 6 карстових провалів, до кількох метрів в діаметрі, глибиною до 0,5-1 м. які зразу ж були засипані та в 1994 році в північно-західній сторони витoku утворився провал площею 15x17 м і глибиною 10,5 м, у нього заклали 20612 м³ порід.

Крім вказаної ділянки, значний водоприплив спостерігався у стовбур "Східний" (в 1968-98 рр. у нього поступило 272 тис. м³ розсолів, утворилось, розрахунково, до 40 тис. м³ карсту). Закарстування гірничого масиву біля ствола "Східний" привело до руйнації земної поверхні на усій ділянці та виведення його з експлуатації [40].

1.3. Висновки

1. Геологічне середовище калійних родовищ Прикарпаття належить до першого та третього типів, згідно [13], тобто має складні умови. Контакт соляних відкладів із надсольовими породами переважно обводнений, причому надсольові розсоли і води верхніх горизонтів гідравлічно зв'язані між собою.

2. Принципи розсолів і вод у калійні шахти залежить від складу і фізичних властивостей порід гіпсо-глинистої „шапки”. Обґрунтовано, що потенційними каналами припливу розсолів у підземні гірничі виробки є зони контакту калійних пластів із соленосними породами, прошарки глини у пластах, техногенні тріщини, шахтні стовбури, геологічні свердловини.

3. Доведено, що наслідками техногенного впливу шахтної розробки калійних родовищ на довкілля є незворотні зміни геологічного середовища, гідрохімічної та гідродинамічної обстановки над підробленою територією.

На основі проведеного аналізу сучасного стану наслідків техногенного впливу шахтної розробки калійних родовищ на довкілля сформульовано мету дисертаційної роботи та задачі досліджень.

Отже, метою роботи є розробка науково-технічних методів та засобів зменшення техногенного впливу затоплених калійних шахт на навколишнє середовище.

Задачі, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети:

- провести аналіз стану досліджень впливу затоплених калійних шахт на довкілля та встановити масштаби гідрохімічного та гідродинамічного впливу витіснених шахтних розсолів із затоплених виробок, на підземну та поверхневу гідросфери;
- створити автоматизовану систему довгострокового прогнозу зміни забруднення підземних вод та передбачити технічні заходи для його запобігання;
- розробити технологічну схему переробки відходів калійного виробництва, з метою зменшення техногенного впливу на довкілля та одержання товарної продукції;
- розробити комплекс заходів та засобів з метою утилізації розсолів.

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЛІКВІДАЦІЇ ТА ПІСЛЯЛІКВІДАЦІЙНОГО ПЕРІОДУ КАЛІЙНИХ ШАХТ НА ДОВКІЛЛЯ

Збільшення вилучення руд на соляних родовищах тісно пов'язане з проблемою охорони від деформації та руйнування об'єктів, які розташовані в зоні впливу розробки, та з двома специфічними проблемами: охороною соляних рудників від природного затоплення і ліквідацією їх після закінчення експлуатації.

Деформації соляних порід навколо гірничих виробок при звичайних глибинах залягання неможливо запобігти, але шляхом відповідного вибору параметрів і розмірів ціликів та способів ліквідації відпрацьованого простору, ці деформації можна тримати у межах, які допускають можливість керувати ними. Існує два принципово різні способи керування деформацією товщі, яка розташована над відпрацьованим простором:

1. Спосіб жорсткої підтримки покрівля, що не допускає розповсюдження в товщі деформацій за межами гірничого відводу. Він є реальним лише при умові залишення міжкамерних ціликів із запасом міцності не менше 3, із затухаючою повзучістю, і таких, по ширині камер, стійкість до деформації яких є необмеженою в часі. При жорсткому підтримуванні на період експлуатації рудників гарантується відсутність деформації товщі і земної поверхні та забезпечується суцільність водозахисних відкладів. Однак, після припинення експлуатації таким способом, у зв'язку із наявністю непогашених пустот (які складають навіть при закладці всіх камер із-за неповноти їх заповнення та усадки закладочного матеріалу, не менше як 25 % від об'єму камер) з'являється небезпека проникнення в них вод по стовбурах, тектонічних порушеннях, карсту, провалах та інших каналах зв'язку, абсолютної ізоляція яких на необмежений термін, як показує вітчизняний (рудники „Калуш”, „Стебник”) та зарубіжний досвід (рудник БКРУ-3 Верхнекамськ (Росія), рудник Фріденсгаль (Німеччина), застосований спосіб не дає.

Для ліквідації небезпеки проникнення агресивних вод у відпрацьований простір рудників, в Німеччині широко застосовується їх кероване затоплення, цим же мето-

дом ліквідовано рудник „Калуш”, ліквідується рудники „Ново-Голинь” та „Стебник” на Україні, його принцип буде наведено нижче.

2. Спосіб розробки із плавним опусканням товщі у бік відпрацьованого простору (який з часом ліквідується) при деформуванні, яке розповсюджується до земної поверхні. Цей спосіб забезпечує або камерна система розробки із піддатливими (які деформуються часом) ціликами, або система розробки з обвалюванням покрівлі. І в одному, і в іншому випадках параметри системи мають бути такими, щоб деформації, які виникають у водозахисних відкладах, не привели до порушення їх суцільності. Він є застосовується в тих випадках, коли на земній поверхні над виробками відсутні об'єкти та споруди, перенесення та руйнування яких є недопустимим і економічно недоцільним [46].

На калійних родовищах Прикарпаття, у зв'язку із застосуванням систем розробки з відкритим очисним простором, покрівля якого підтримується жорсткими міжкамерними ціликами (що з часом деформуються), на поверхні і в масиві проходять зсуви гірських порід у бік відпрацьованого простору, при цьому утворюється мульдоподібна деформацій земної поверхні. Процес зсуву продовжується десятки років, при активізації зсуву порід масиву проходить інтенсифікація карстово-суфозійних, гравітаційних і фільтраційних процесів у межах виробок і прилеглих територій, які створюють сприятливі умови для надходження вод надсольових горизонтів у відпрацьовані виробки. Величина осідання збільшується у випадку затоплення рудника, коли агресивна до соляних порід вода розчиняє і руйнує цілики. У цьому випадку може проходити провалоутворення на земній поверхні, тобто проходить обвалювання масиву покривних порід над порожнинами, які утворились у результаті виїмки камер і розчинення ціликів. Всі ці процеси мають негативний вплив на об'єкти, споруди та земельні угіддя, що розташовані в зоні, який проявляється в зміні: фізико-хімічних та механічних властивостей порід у зоні аерації і насичення; швидкостей та модулів стоку; напрямку руху вод у верхніх частинах зон активного водообміну; умов живлення та розвантаження підземних вод [48, 49].

2.1. Світовий досвід методів ліквідації соляних шахт та їх вплив на навколишнє природне середовище

На даний час при ліквідації соляних рудників у світі застосовують наступні способи:

1. Консервація;
2. Закладка відпрацьованого простору твердими і рідкими відходами;
3. Регульоване і нерегульоване (природне) затоплення.

Вивченням способів ліквідації відпрацьованого простору та складу матеріалу закладки присвячені роботи провідних фахівців: Сивоконя Е.П. [50], Агошкова М.И., Требукова А.Л. [51], Атрашкевича А.А., Зими́на В.Н. [52], Гаркушина П.К. [53, 22], Духовлинова Д.П. [54], Каніна В.А., Пашенко А.В. [55], Ротькіна С.І., Ризнича І.І. [56], Пермякова Р.С. [57], Семчука [29-31], Хабера Н.В. [58], Eckart D [59], та інших.

Світовий досвід ліквідації соляних рудників показав, що консервація рудників є тимчасовим вирішенням питання ліквідації, так як з часом проходить їх природне затоплення. З точки зору наслідків на земну поверхню, природне затоплення є найбільш критичною фазою в долі гірничорудних підприємств, так-як при „самозатопленні” під дією агресивних по відношенню до солей надсолевих вод, виникають нові, неконтрольовані, значні за об’ємом та розмірами порожнини, а наявні раніше порожнини збільшуються за рахунок руйнування залишених охоронних ціликів або соляних масивів, що неминуче приводить до значних зсувів і обвалів поверхні, які концентруються в області прориву вод. Прориви надсолевих вод супроводжуються утворенням провалів земної поверхні, карстових порожнин, обваленням порід на значних площах з подальшим виникненням гірських ударів або техногенних землетрусів, що призводить до затоплення рудників. Провали земної поверхні з утворенням солоних озер спостерігались ще у XII-XIII ст. у Солотвині, а дещо пізніше, у XIX-XX ст., - на солешахтах Артемівського, Соль-Ілецького та Солотвинського родовищ. З середини XIX ст. у Німеччині було затоплено половину із 80 калійних рудників. Одночасно з видобутком руди проводилась боротьба з водопритоками на багатьох калійних рудниках.

Накопичений науковий і практичний досвід не вдалось повністю використати, так-як за останні 15 років були затоплені рудники Пейшнс Лейк у Канаді, Берез-

няківський калійний рудник №3 (БКРУ-3) на Верхньокамському родовищі, рудник Сент-Поль у Конго (приклади наслідків природного затоплення деяких рудників наведено нижче).

Чисельними витокami вод і розсолів супроводжувався видобуток калійних солей Передкарпаття на Стебницьких рудниках № 1 і № 2. Калуських - Калущ. Голинь. Ново-Голинь. Деякі з розсоловитоків припинили своє існування самі, кілька існують сьогодні. Так, на руднику № 1, у кавершлагу № 99, розсоловиток з'явився знову через 39 років - у 1998 р. На цьому ж руднику розсоловиток було ліквідовано за допомогою багатоступеневої перемички. Прорив поверхневих вод ріки Сівки в уклон Д було ліквідовано за допомогою перемички і засипки провалу з поверхні породами ГГШ. Впродовж експлуатації рудника Ново-Голинь було зафіксовано 30 розсолопроявів [22, 60].

Рудник БКРУ-3 „Уралкалій”, Верхньокамське калійне родовище.

До світових катастроф відносять трагедію 1986 року на Верхньокамському родовищі (Пермська область, Росія). На завжди було втрачено значну частину сировинної бази: на думку спеціалістів, підземні роботи в цьому районі робіт навряд будуть можливими. До матеріальних втрат слід віднести і затоплене сучасне обладнання, загальною вартістю 100 мільйонів доларів.

Перші ознаки майбутньої катастрофи з'явилися у січні 1986 року – в останніх відроблених камерах де було зафіксовано приплив розсолів із дебітом $10 \text{ м}^3/\text{год}$.

Калійники не лише організували постійне спостереження за витоком розсолів, область припливу якого розширилась на 200 м, але й встановили потужну насосну установку. Та ні вона, ні спроби локалізувати і подавити зростаючий підземний притік розсолів за допомогою тимчасових гідроізоляційних перемичок, не дали бажаних результатів. Мінералізація розсолів зменшувалась паралельно із зміною хімічного складу на більш агресивний, що свідчило про зв'язок останніх із надсольовими водами. До середини березня потужність потоку перевищила $1000 \text{ м}^3/\text{год}$. Почалось затоплення виробок. У ніч на 25 червня пройшов провал земної поверхні, що супроводжувався вибухом газів і потужними світловими спалахами. У серпні провал заповнився водою.

Було розроблено план по відновленню рудника, який до сьогодні не втілено. Як стверджують фахівці соляної промисловості, в світі немає випадків відновлення за-

топлених калійних шахт. Правда, після Другої світової війни – в Німеччині – один затоплений рудник був осушений та через кілька років його знову затопило [61].

На Міжнародній конференції, що відбулась у 2002 році в Солікамську провідні фахівці „Уралкалію” назвали причину катастрофи: заздалегідь не були відомі і вивчені геологічні особливості району аварії. Гірничі роботи потрапили в ослаблену природну зону, яку не помітила бурова розвідка із поверхні землі. Сьогодні вже відомо, що під Уралом є тектонічний розлом. За однією версією, причиною появи провалу могла стати нафта під калійними пластами. Не дуже вдала спроба розробки нафти або сама по собі присутність нафти (все-таки рідина) під калієм, що веде до ослаблення [62].

Сьогодні за провалом на БКРУ-3 ведуть спостереження двічі на рік - весною і осінню, проводяться заміри глибини провалу. У 1988 році глибина складала 105 метрів, у 1992 – 74 метри, у лютому 2003 року зменшилась до 52 метрів (рис. 1.6). У районі провалу проводяться щорічні спостереження за осіданням земної поверхні. Якщо в 1986 році швидкість осідання була 700 мм/рік, то в 2004 р. вона знизилась до 11-12 мм у рік, це свідчить, що процес просідання знаходиться у стадії затухання.



Рисунок 1.6. Провал на Верхньокамському БКРУ-3 2004 рік [62].

Також ведуться візуальні спостереження за зміною провалу. У їх результаті виявилось, що рівень води в провалі залишається на попередньому рівні, але розміри контури збільшились (на 2000 рік – $127,2 \times 85,4$ м) за рахунок примикаючих ярів зі струмка-ми. Із-за руйнування порід і прилеглих ярів провал буде поступово збільшуватися при зменшенні його глибини [63].

Обстановка з безпечною експлуатацією Верхньокамського родовища калійних солей - складна. Не дивлячись на нарощування темпів закладки в 2004 році, а також на надані адміністрацією Пермі податкові пільги для використання вільних активів на ліквідацію відставання закладочних робіт і погашення відпрацьованого простору, об'єм порожнин у цілому по родовищу продовжує зростати. Застосовувані заходи поки що не створюють достатніх умов для збереження родовища, запобігання нових техногенних катастроф (за останні 18 років на родовищі сталися 2 крупні аварії), забезпечення безпечного проживання населення міст Березняки та Солікамськ [62].

Закладка відпрацьованого простору на соляних рудниках застосовується з метою зменшення осідання земної поверхні, збереження суцільності водозахисної стелі і зниження негативного впливу солевідходів на навколишнє середовище.

До закладочних робіт висуваються наступні вимоги:

- створення міцного, суцільного закладочного масиву;
- забезпечення тісного взаємозв'язку у просторі і часі очисних та закладочних робіт;
- виключення негативного впливу заклад очних робіт на очисні роботи при мінімальній вартості закладки.

За способом закладання відпрацьованого простору закладка поділяється на ручну, самотічну, пневматичну, гідравлічну, гідропневматичну та суху механічну. Найбільш розповсюджені на соляних рудниках гідравлічний та механічний способи закладки.

Гідравлічний спосіб закладки є найбільш ефективним як по продуктивності, так і по якості. Цей спосіб закладки дозволяє найбільш повно закласти відпрацьований простір. До закладочного матеріалу, в даному випадку, висуваються наступні вимоги: здатність матеріалу утворювати з водою вільнопротікаючу по трубам пульпу; здатність пульпи швидко зневоднюватися; здатність утворювати після закладання у відпрацьованому просторі щільний і стійкий масив, який сприймає тиск вищезалігаючих гірських порід без значної усадки; мінімальні абразивні властивості.

Методика проведення ліквідаційних робіт різниться у кожному конкретному випадку. Якщо відбулося порушення цілісності водозахисної стелени, яке призвело до неконтрольованого затоплення шахтних виробок і супутніх йому карстових та провальних процесів, використовують гідравлічний спосіб закладки шляхом регульованого затоплення шахтних виробок висококонцентрованими розсолами, що є найбільш ефективним як за потужністю, так і за якістю заповнення виробленого простору. В якості матеріалу закладки використовують воду, розсоли з різною концентрацією солей, тверді відходи виробництва чи їх суміш. Враховуючи легкість розчинення соляних порід, необхідною умовою є не агресивність матеріалу закладки відносно порід, які складають гірничі виробки. Гідравлічна закладка широко застосовувалась на Солікамському руднику, а також на Калуському руднику (Північна і Центральна каїнітова ділянка шахтного поля). Закладочним матеріалом служать відходи збагачувальних фабрик, які по хімічному складі представлені NaCl (95-96 %), KCl (2.0-2.7 %), MgCl₂ (0.1 %), та нерозчинним залишком (1-2 %).

На калійних рудниках Німеччини також часто застосовують гідравлічну закладку, де за даними Д. Фульда [53, 55] 44% калійних солей видобувається системами з гідравлічною закладкою. В якості закладочного матеріалу використовуються відходи флотації і змішані відходи.

При механічному способі закладки використовуються машини які безпосередньо укладають або закидають (метальні машини) закладочний матеріал. Різновидом механічного способу є скреперна закладка, при якій закладочний матеріал у межах відпрацьованого простору транспортуються і вкладається скрепером.

Матеріалом при механічному способі закладки служать породи від проходки гірських виробок, породи спеціально видобуті в кар'єрах або шахтах („гірничі млини”), зневоднені відходи збагачувальних фабрик та ін.

Механічний спосіб закладки з використанням металевих машин застосовується на Верхньокамських (Росія) і Солігорських (Білорусія) калійних рудниках, на рудниках Прикарпаття – скреперний.

Для вибору оптимального варіанту ліквідації рудника слід застосовувати комплексний метод дослідження, що включає в себе:

- вивчення стану розглядуваного питання;
- шахтні візуальні та інструментальні спостереження;

- польові маркшейдерські роботи;
- лабораторні дослідження;
- шахтні експерименти;
- математичну обробку і аналіз результатів досліджень [51, 53].

У Німеччині вже здійснено регульоване затоплення кількох рудників: Племніц, Ашерслебен, Шенебек, Вильгельмсхаль, Штасфурт та ін.

На цих рудниках видобували різні полімінеральні соляні руди, видобуток проводився різними способами, рудники мали різні гірничо-геологічні умови, об'єми порожнин і ситуації на земній поверхні. При цьому їх затоплення проводилось, як прісними водами так і розсолами. Тому досвід, одержаний на цих рудниках представляє значний інтерес.

Рудник Plömnitz (Племніц) [59]

Рудник розроблявся з 1905 по 1969 роки. Видобувались кам'яна сіль, карналіт і харцзальц (сильвінітова руда). Видобуток вели вилюговуванням. Камери вилюговування мали ширину близько 20 м і висоту 9 м, знаходились на трьох горизонтах, які були відокремлені один від одного 9-ти метровими стелинами. Середня глибина проведення робіт $H=400$ м. Загальний об'єм порожнин до початку проведення регульованого затоплення $V=12$ млн.м³.

Причина ліквідації - значне осідання земної поверхні, до 1969 рік - 2,5 м і великі швидкості осідання (150 мм/рік), у зв'язку з чим виникла небезпека руйнування водозахисної товщі і прориву у рудник вод, що викликало б природне затоплення рудника, а з ним некеровані процеси у руднику і не передбачувані деформації поверхні поблизу м. Фріденсхаль. Ліквідація рудника методом регульованого затоплення була проведена з 1969 - 73 рік ненасиченими розсолами кам'яної солі, що подавались по трубопроводу через стовбур на ділянки з відсутністю забудови. Розсоли подавались в об'ємі 400 м³/год.

Під час затоплення осідання не збільшилось, а одразу ж після завершення зменшилось до 1-2 мм/рік.

Рудник Aschersleben (Ашерслебен) [59]

Рудник розроблявся з 1910 по 1957 роки. Видобували карналіт і харцзальц. Відробка проводилась камерною системою. При потужності рудного тіла 15 м ширина

камер і ціликів складала $a=b=12$ м. Глибина розробки від 350 до 500 м. Загальний об'єм порожнин на початок проведення регульованого затоплення $V = 7$ млн.м³.

Шахтне поле рудника складалось із кількох ділянок відокремлених одна від одної значними за розмірами масивами і з'єднувалась підземними виробками.

Регульоване затоплення було проведено з метою зменшення осідання земної поверхні над охоронними об'єктами і недопущення самозатоплення рудника через стовбури шахт (на момент прийняття цього рішення вже з'явився значний приплив вод).

Затоплення рудника проводилось прісною водою по двох спеціально пробурених і обладнаних свердловинах, вода подавалась в об'ємі 500 м³/год з річки. Місця для свердловин були вибрані таким чином, щоб прісна вода розчиняла цілики у камерах над якими немає охоронних об'єктів і поступала на участки, над якими є забудови, з двох сторін (для попередження циркуляції) вже у вигляді концентрованих розсолів.

Затоплення проводилось в з 1971 по 1973 роки. Під час затоплення, на ділянці де було розташовано свердловину для подачі води, почали реєструватись динамічні явища пов'язані з руйнуванням підмитих та розчинених ціликів, у результаті чого пройшло інтенсивне просідання земної поверхні (близько 1 м за три місяці).

Вказані динамічні явища продовжувались на протязі всього періоду затоплення.

Осідання на ділянці першої свердловини досягло 3,5 м (при прогнозному 10 м), але через деякий час після завершення затоплення практично припинилось. На другій ділянці подачі води, загальне осідання поверхні до закінчення ліквідації склало 25-39 см замість прогнозних 2 м і припинилось. Жодних динамічних явищ у цьому районі шахтного поля не спостерігалось. На центральній ділянці, яка перебувала під охороною, загальне осідання склало 8-10 см.

2.2. Методика проведення регульованого затоплення рудника «Калуш»

Виходячи з пріоритетів охорони земної поверхні в межах Центрального поля, над яким розташоване місто Калуш, а також враховуючи значні зміни геологічного середовища на ділянці Північного каїнітового поля: раптовий зсув земної поверхні розміром (200×180×8,5); інтенсивний розвиток карстово-суфозійних процесів (на момент затоплення над рудником утворилось 11 провалів); наявність неконтрольо-

ваного, постійно зростаючого припливу в рудник надсолевих вод, що привело до аварійної ситуації – можливого природного затоплення рудника. професором Семчуком Я.М. були розроблені основні положення методики регульованого затоплення і на їх основі складено схему ліквідації рудника „Калуш” (рис. 2.1) [13].

Схема регульованого затоплення шахти має бути простою, економічною, екологічно безпечною та впровадженою в мінімальні строки, що було враховано при її розробці та реалізації.

Просторова відокремленість видобувних дільниць рудника „Калуш”, різні параметри відробки, різноманітність мінерального складу вимагали автономного заповнення дільниць. З цією метою шахтне поле було розділено на три окремі ділянки двома гідроізоляційними перемичками. У першу, ввійшли виробки Центрального, в другу – Північного каїнітового, а в третю – виробки Хотінського поля [13].

Згідно із запропонованою схемою регульованого затоплення:

1. Центральне поле затопили розсолами, неагресивними як до каїнітових, так і сильвінітових порід, склад яких встановили дослідним шляхом провівши чисельні лабораторні експерименти на зразках соляних порід та натурні у відпрацьованих виробках [49]. Заповнення виробок розсолами такого складу має виключити розчинення і вилуговування міжкамерних ціликів, а разом із тим і зсув земної поверхні.

Затоплення Центрального поля проводили протягом 27 місяців у 1988-1990 роках, приготованими на хімічній фабриці розсолами складу (мас. %): K^+ - 4,04; Cl^- - 15,27; Mg^{2+} - 2,43; SO_4^{2-} - 4,80; Na^+ - 4,1; вода – решта.

Наведений склад розсолів є неагресивний до соляних порід, за [13, 64]. Приготований на хімічній фабриці розсіл подавався в гірничі виробки по трубопроводу, який було вмонтовано у ствол „Сильвін”. Контроль за складом розсолів проводився кожної зміни на сульфатній фабриці і біля ствола. При невідповідності встановленому іонному вмісту, розсіл направлявся в технологічний процес на донасичення. Середній місячний об’єм розсолів, який подавався в шахту, становив 36,8 тис. м³, контроль за величиною заповнення поля здійснювався безпосередньо із гірничих виробок і через спеціально пробурені свердловини. Загальний об’єм насичених розсолів, який розмістили в гірничі виробки Центрального поля, становить 1 млн 210,25 тис. м³ (об’єм порожнин до початку затоплення 1 млн. 100,7 тис. м³).

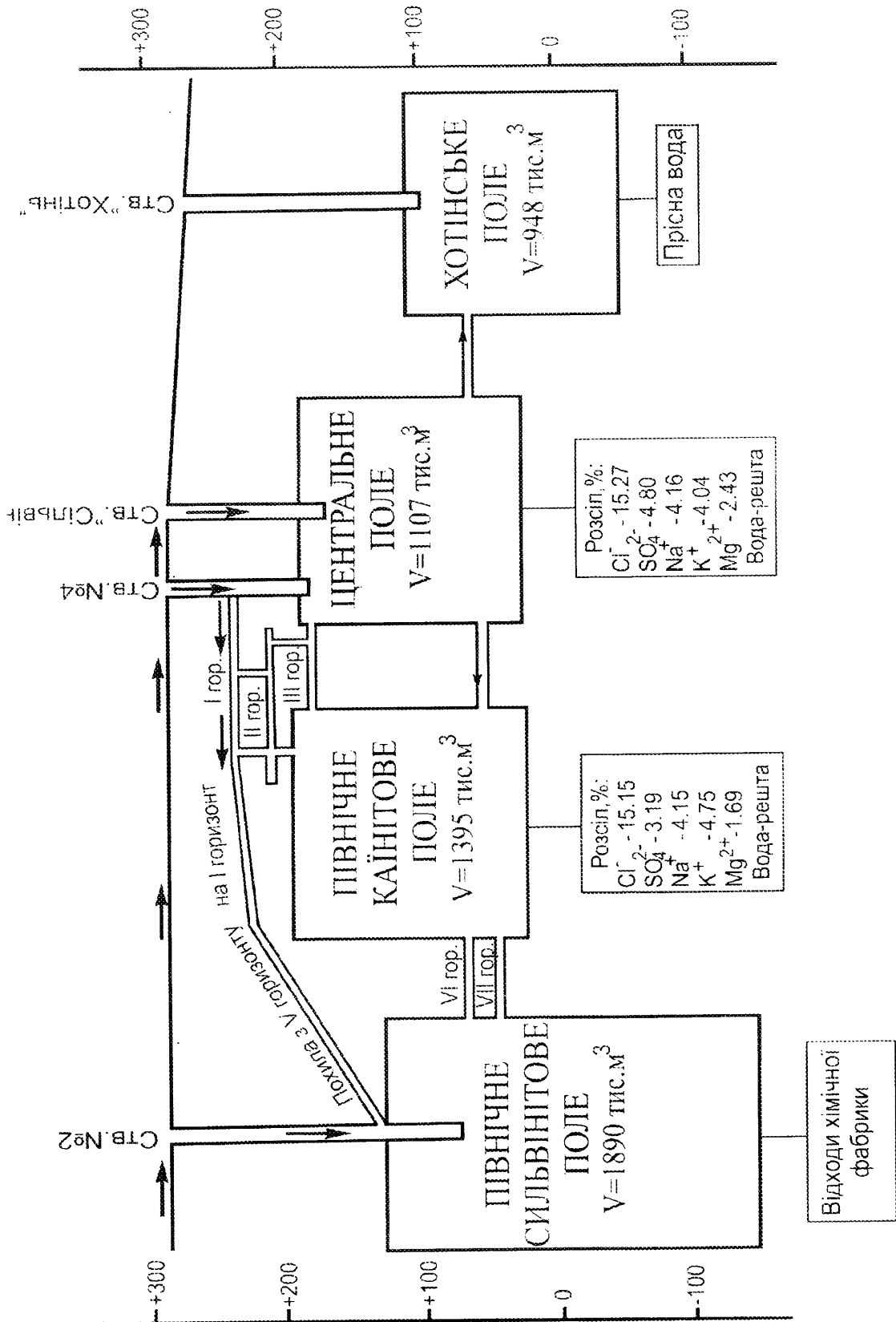


Рисунок 2.1. Схема регульованого затоплення рудника „Калуш” Калуш-Голинського родовища [13].

2. Північне каїнітове поле заповнили ненасиченими розсолами, що не виключає до розчинення міжкамерних ціликів у межах глибини розповсюдження техногенних тріщин (0,5 м) спричинених буро-вибуховими роботами, що не враховується при розрахунку запасу міцності ціликів, і що не повинно привести до збільшення осідання земної поверхні згідно проведених розрахунків [49, 65]. Застосування ненасичених розсолів для затоплення дозволило:

- а) зекономити кошти і час на їх приготування;
- б) скоротити строк реалізації схеми при аварійній ситуації, що склалася в межах поля;
- в) на багато років зняти проблему утилізації розсолів Домбровського кар'єру та його хвостосховищ.

Заповнення порожнин Північного каїнітового поля проводили з 1989 р. протягом 16 місяців із середнім дебітом 63,3 тис.м³ у місяць і вмістом компонентів, (мас %): К⁺ - 2,75; СІ - 15,15; Mg²⁺ - 1,69; SO₄²⁻ - 3,19; Na⁺ - 4,15; вода – решта

Дане співвідношення компонентів відповідає ненасиченим розсолам, які рекомендуються для затоплення калійних шахт [37]. Подача розсолів у шахту проводилась через ствол №4. Всього у виробки Північного каїнітового поля було подано 1 млн. 240 тис.м³ розсолів (об'єм порожнин на початок ліквідації V=1317 тис. м³).

3. Затоплення відроблених порожнин Хотинського поля насиченими і ненасиченими розсолами є найбільш ефективним, так як розчинення соляних порід буде мінімальним. Але великі затрати на приготування розсолів роблять їх економічно нецільними, враховуючи той факт, що зсув земної поверхні не буде зупинено, внаслідок зруйнованих міжкамерних ціликів запас міцності яких набагато менший 2 і глибина мульди осідання досягне розрахункових значень – 7,4 м (табл. 1.3).

Виходячи з вищенаведеної ситуації, Я.М.Семчуком [13] була розроблена схема заповнення шахтного поля водою, за якою, враховуючи загальний об'єм відробленого простору шахтного поля, який складає 823462 м³ та пропускну здатність трубопроводу, що був прокладений по стволу „Хотінь” діаметром 100 мм, заповнення виробок мало проходити протягом 20 місяців зі швидкістю 60 м³/год. На сьогодні будь-який із варіантів ліквідації Хотинського поля не реалізований, що пов'язано з відсутністю фінансування спорудження нового житлового фонду для переселення

жителів, які потрапляють у зону впливу. Це може привести до прориву вод р. Лімниця у виробки у разі руйнування водозахисної стелини в результаті мульдopodobної її деформації.

2.3. Оцінка наслідків впливу регульованого затоплення рудника „Калуш” на навколишнє середовище.

Оцінку наслідків затоплення шахти „Калуш” на навколишнє природне середовище та її графічну інтерпретацію проведено на основі даних одержаних з маркшейдерських щорічних спостережень, які ведуться з 1947 року ДП «Калійний завод» по 18 профілям.

Ліквідація Північного та Центрального каїнітових полів рудника „Калуш” шляхом регульованого затоплення дозволила уповільнити, а частково і зупинити просідання земної поверхні та вберегти від руйнування житловий фонд, соціально-побутові і промислові об’єкти з наявною інфраструктурою.

До заливки над лінзами Центрального поля проходила початкова стадія процесу зсуву з максимальними швидкостями 10-15 мм/рік. Під час заливки швидкості поступово зменшувались і в 1990 році склали 2-3 мм/рік. Осідання реперів, на даному етапі, прослідковується по всіх 10 профілях поля і складає на 27.11.2005 року від 19 мм до 857 мм. Максимальна швидкість осідання 3 мм/рік.

Однак, після заливки на промплощадці в районі ствола №6 протікає локальний процес зсуву зі швидкостями осідання 4-8 мм/рік та 16-21 мм/рік (додаток Ж).

До заповнення пустот максимальні швидкості осідання над Північним каїнітовим полем досягали 20-25 мм/рік. Під час заливки спостерігалось збільшення швидкості осідання в 5-10 разів та після закінчення заливки, швидкості зменшились у 2-3 рази від початкових осідань (рис. 2.2.).

Плавне осідання прослідковується по шести профілям поля і складає на 29.11.2005 року від 34 мм до 938 мм. Максимальна швидкість осідання 2-5 мм/рік (додаток Є).

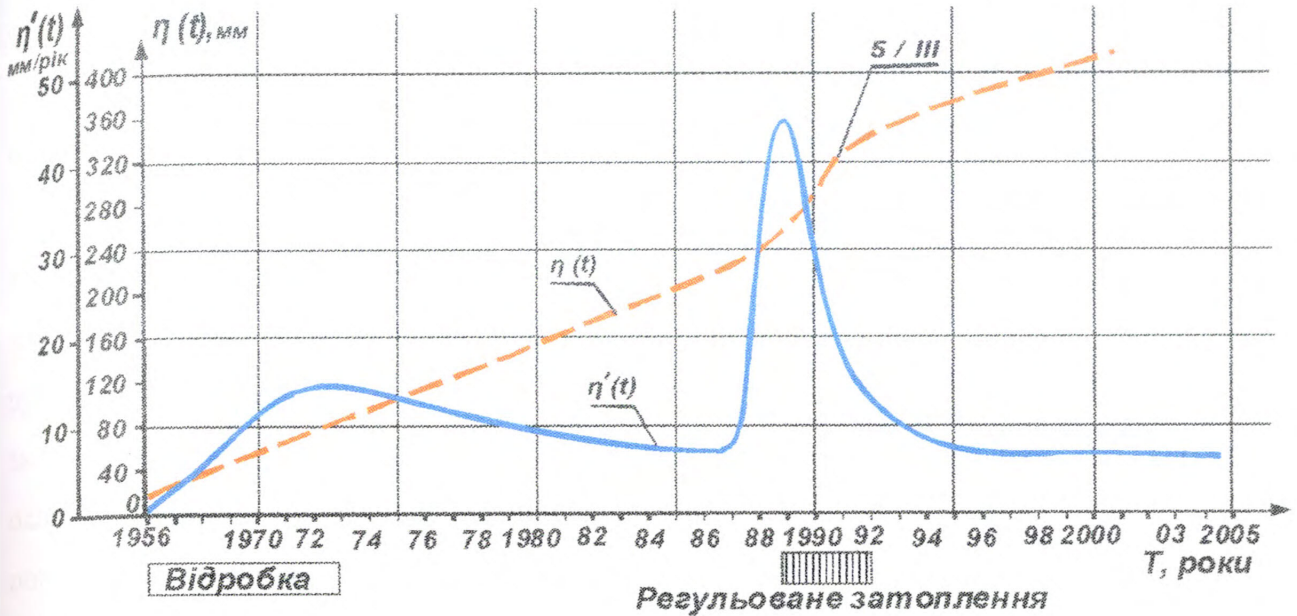


Рисунок 2.2. Графік зміни осідання (η) і швидкості осідання (η') на репері № 5/III (спостережного профілю III-III) Північного каїнітового поля.

Згідно розробленого проекту НДІ «Галургія» [66, 67] для виключення засолення підземних і поверхневих вод, рудник „Калуш” мали затопити розсолами, нижче 40 м від підшови водоносного горизонту. З часом, залишений вільний простір мав дозатопитись прісними водами вище, до підшови водоносного горизонту, і внаслідок явища сегрегації (розшарування вод за густиною, тобто більш мінералізовані води залягатимуть нижче) мінімізувати винесення солей із затоплених виробок. Однак провали, зсув земної поверхні та гідродинамічний зв'язок затоплених виробок з р. Сівкою сприяли дозатопленню рудника вище вказаного безпечного рівня і на даному етапі спостерігається розповсюдження ареалу засолення ґрунтів та підземних вод [68].

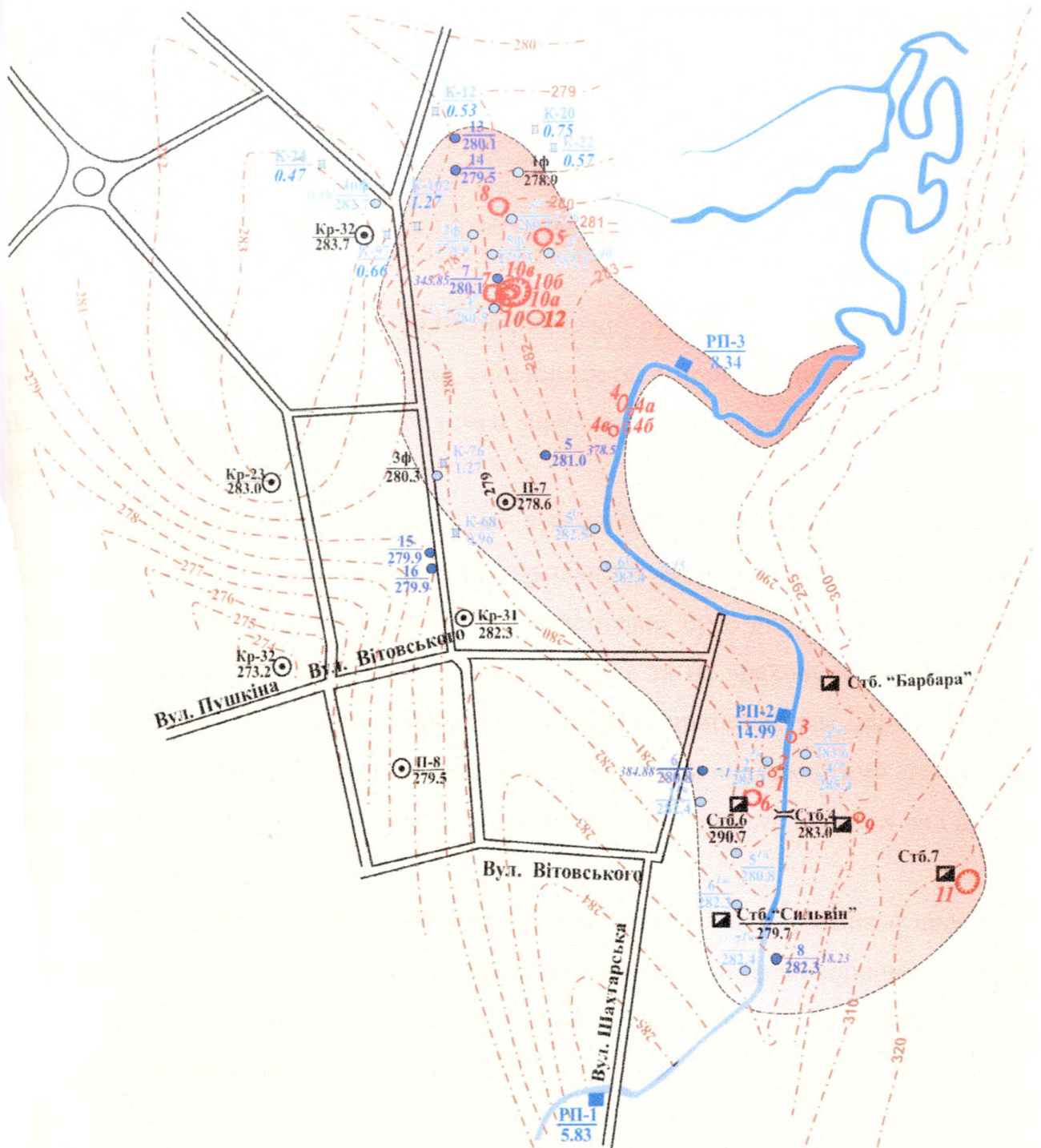
Для спостереження та кількісної оцінки масштабів впливу на підземну та поверхневу гідросфери затоплених шахтних виробок, у 1990 році, ДП «Калійний завод» спільно з НДІ «Галургія», створено моніторингову сітку спостережень складену з:

- колодязів і свердловин, для спостереження за зміною мінералізації вод ґрунтово-галечникового водоносного горизонту;
- глибоких свердловин, для дослідження динаміки та зміни мінералізації техногенно-створеного розсольного горизонту;

- пунктів спостереження за зміною мінералізації поверхневих вод.

Окремо слід виділити вплив карстово-провальних процесів, що проявляються на каїнітових полях із 1970 року. Кожна свердловина, що пробурена крізь соляний поклад, стає каналом надходження агресивних вод із розкритих водоносних горизонтів у виробки рудника, так як обов'язковий тампонаж стовбура свердловини не дає повної гарантії монолітного зчеплення цементу з навколишніми соляними породами і руйнується з часом. Тому, після ліквідації рудника, всі свердловини стають каналами зв'язку між шахтними розсолами і надсолевими водами. Крім цього в геологічно ослаблених зонах проходить активізація геодинамічних процесів у результаті яких на поверхні з'являються провали, що теж є каналами зв'язку. Наразі зареєстровано 14 провалів при формуванні та засипці яких у водоносний горизонт впорскуються розсоли мінералізацією понад 380 г/дм^3 . На основі аналізу даних одержаних ДП «Калійний завод» і досліджень проведених автором (додаток Л) виділено ареал засолених підземних вод площею $47,5 \text{ га}$ (рис. 2.3.). При активізації провальо-карстових процесів мінералізація вод у колодязях досягала $9,75 \text{ г/дм}^3$ (К-76), що мало місце після утворення провалу №12 у грудні 2001 року. Це стається внаслідок тісного гідродинамічного зв'язку із розсолами шахтних виробок через канали руслових провалів.

Для гідросфери рудника «Калуш» у продовж поточного року характерне повне заспокоєння. Розсоли, що знаходяться у шахтних виробках, є насиченими ($\sim 400 \text{ г/дм}^3$) і витримують свою концентрацію у моніторингових свердловинах біля 380 г/дм^3 у наслідок сегрегації. Їх рівень утримується на рівні р. Сівки. Грунтові води після проходження піку мінералізації до $9,75 \text{ г/дм}^3$ (колодязь №76) чи $31,7 \text{ г/дм}^3$ (Св. 6г) у 2001 р. різко вирівняли солевміст в межах 1 г/дм^3 . Тільки у свердловині 6г він утримується на $3,97 \text{ г/дм}^3$, колодязь № 76 - $1,38 \text{ г/дм}^3$. Слід додати, що подібна стабільність спостерігається з грудня 2002 року. Ріка Сівка отримувала сильне тривале забруднення з боку рудника «Калуш» упродовж грудня 1999 р. – лютого 2001 р. збагачуючи солевміст на $2,3 - 13,47 \text{ г/дм}^3$ між спостережними пунктами РП-2 та РП-3 (рис. 2.4.). Надалі притік розсолів ослаб майже до нуля, але з лютого 2003 року засолення ріки відновилось (27.11.2005 р. мінералізація вод р.Сівки в середньому складала $10,4 \text{ г/дм}^3$). Слід вказати, що наявне забруднення вод р. Сівки у межах міста зумовлене незадовільною екологічною ситуацією і вище за течією.



- | | | | |
|--|---|--|---|
| | Гідрогеологічна св. її номер у чисельнику і абс. відм. (м) підшви галечників у знаменнику | | Провальна воронка та її номер |
| | Стовбур шахти з назвою або номером у чисельнику та абс. відм. (м) підшви галечників у знаменнику | | Ареал засолення підземних вод у 2005 році |
| | Спостережний колодязь та його номер у чисельнику і мінералізація (г/л) підземних вод в знаменнику | | |
| | Спостережна св. пройдена у шахтні виробки затоплених полів та її номер у чисельнику і абс. відм. (м) підшви галечників у знаменнику, 384.88 - мінералізація (г/л) шахтних | | |
| | Режимний пункт на річці з його номером у чисельнику і в знаменнику - мінералізацією води (г/л) | | |

Рисунок 2.3. Ареал засолення водоносного горизонту над рудником „Калуш” із моніторинговою сіткою спостережних свердловин і колодязів на 31.03.2005 року [68].

2.4. Висновки

1 Слід вважати доведеним, спираючись на дані 15 річних спостережень за процесами, які проходять над ліквідовною шахтою „Калуш”, що регульоване затоплення є найбільш доцільним шляхом ліквідації рудників пов’язаних з видобутком полімінеральних солей, у яких спостерігається приплив надсольових вод у гірничі виробки, як з економічної точки зору так і з точки зору впливу на навколишнє природне середовище.

2 Слід вважати обґрунтованим, що деформація земної поверхні інтенсивно проходить лише під час проведення регульованого затоплення і викликана розчиненням порід міжкамерних ціликів які деформовані буро-вибуховими роботами, що суттєво не впливає на стійкість самого цілика та не враховується при проведенні розрахунків з осідання. Деформація поверхні припиняється одразу ж після закінчення затоплення і проходить з мінімальними швидкостями 1-3 мм/рік протягом тривалого часу, що практично не вплине на стійкість наявних над рудником споруд та комунікацій.

3 Для прогнозування розповсюдження наявних ареалів засолення в просторі і часі та для вибору, і розробки максимально ефективних природоохоронних заходів, щодо їх локалізації і ліквідації, стала необхідною розробка систем автоматизованого просторово-часового прогнозування (САПР).

РОЗДІЛ 3. ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ ЗАТОПЛЕНОЇ ШАХТИ «КАЛУШ» НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Для кількісної оцінки і прогнозу стану екологічних систем, їх реакцій на антропогенний вплив, особливо на рівні невеликих, але розповсюджених на значних територіях впливів, виключно ефективним є метод математичного моделювання. Метод математичного моделювання відіграє значну роль особливо тоді, коли кінцевою метою є не тільки опис і оцінка стану природного середовища, але і його регулювання з урахуванням фактичного і прогнозованого стану, із урахуванням екологічного резерву, що в результаті має служити оптимізації взаємовідносин людського суспільства з довкіллям [69].

Р.Шеннон у своїй роботі [70, с. 17] зазначає: "Всі мови, в основі яких лежить слово, в тій чи іншій мірі виявляються неточними, коли справа доходить до складних понять і описів. Правильно побудовані моделі можуть допомогти нам усунути ці неточності, надаючи в наше розпорядження більш дієві, більш досконалі способи спілкування. Перевага моделі перед словесними описами – у стислості і точності представлення заданої ситуації. Модель робить більш зрозумілою загальну структуру досліджуваного об'єкта і розкриває важливі причинно-наслідкові зв'язки".

3.1. Аналіз математичних моделей процесів міграції і розсіювання солей у водоносному горизонті

Проблема забруднення гідросфери є однією з центральних завдань охорони довкілля. Характер і масштаби зміни гідрогеологічних умов визначаються перш за все діючими факторами, а також природними умовами. З практичної точки зору на найбільшу увагу заслуговують наступні види змін гідрогеологічних умов: зниження рівня підземних вод і формування регіональних депресійних воронок; підвищення

рівня підземних вод і підтоплення територій; забруднення підземних вод.

Підземна розробка калійних родовищ при відсутності закладки відробленого простору, з часом, внаслідок розвитку процесів деформації покрівлі, призводить до утворення провальних воронок з проникненням підземних прісних вод у виробки. Заповнення відпрацьованого простору розсолами, завдяки гідростатичному тиску на покрівлю камер, частково розвантажує міжкамерні цілики, що забезпечує стійкість покрівлі. Цей метод регульованого затоплення гірничих виробок концентрованими розсолами ефективний за умови, якщо в межах контакту соленосних порід з четвертинними відкладами утворилась ГГШ значної потужності (20 м і більше), що служить водотривким прошарком, і перекриває доступ поверхневих вод у відпрацьовані соляні виробки. Однак, головна особливість калійних солей – їх легка розчинність і здатність до вилуговування під дією недонасичених агресивних розсолів. Тому, при малій потужності ГГШ, карстових порожнинах, провалах, тектонічних порушеннях та недосконалих свердловинах, виникають канали гідродинамічного зв'язку, по яким надходять високомінералізовані розсоли у надсолеві водоносні горизонти.

Розробка калійних родовищ, зважаючи на легку розчинність калійних руд, ведеться способами, що зводять до мінімуму проникнення прісної або слабомінералізованої води в підземні виробки. Але, кожна свердловина, пробурена скрізь калійний поклад, стає каналом для надходження агресивних вод із розкритих водоносних горизонтів у виробки рудника і, відповідно стає каналом зв'язку між шахтними розсолами і надсолевіми водами. Обов'язковий тампонаж стовбура свердловини не дає повної гарантії монолітного зчеплення цементу з навколишніми соляними породами. Для попередження та зменшення впливу наслідків регульованого затоплення гірничих виробок високомінералізованими розсолами виконують ряд заходів, які поділяють на профілактичні, локальні та відновлювальні.

Оскільки відновлення водоносних горизонтів після забруднення є складною проблемою, яка вимагає великих матеріальних та фінансових видатків, то головну увагу слід приділяти профілактичним заходам, які дозволяють на основі прогнозних даних розробити локальні заходи, спрямовані на попередження та оцінку подальшого розповсюдження негативного впливу забрудника [9, 58].

Для ефективного вибору заходів та засобів захисту підземної гідросфери від джерел забруднення, що знаходяться в надрах (ліквідовані відпрацьовані рудники, підземні сховища речовин) і можуть мігрувати по каналах гідродинамічних зв'язків, виникла необхідність створення математичних моделей та систем автоматизованого просторово-часового прогнозування забруднення підземних водоносних горизонтів розсолами на основі аналітичних залежностей зміни в просторі і часі концентрацій забруднюючих речовин, які дозволяють спрогнозувати ореоли розповсюдження мігрантів при обмеженій кількості вихідної інформації.

Вивчення ореольних частин об'ємів розсіювання забруднюючих речовин у підземному водоносному потоці проводиться в даний час методами математичного і фізичного моделювання в лабораторних умовах і на натурних експериментах.

Дослідження основних оригінальних і оглядових робіт Альшинського В.С. [72], Антошкіна Л.І., Беляєва М.М. [73], Арье А.Г. [74], Атрошенко Ф.Г. [75], Бочевера Ф.М., Гормонова І.В. [76], Веригина Н.Н. [77], Горева Л.М. [78], Грабовникова В.А. [79], Зверьева В.П. [80], Козловського Е.А. [81], Коллинза Р. [82], Лаврика В.І. [83], Лукнера Л., Шестакова В.М. [84], Минкина Е.Л. [85], Мироненко В.А., Руминина В.Г. [86, 87], Мольського Е.В. [88], Музильова С.В., Привальский В.Е. [89], Полубаринова-Кочиної П.Я. [90], Советова Б.Я., Яковлева С.А. [91], Семчук Я.М. [13], Смирнова С.І. [92], Фрида Ж. [93], Храмченкова М.Г. [94], Хубларяна М.Г. [95], Чандрасекара С. [96], Шестакова В.М. [97], Шлендова В.Д. [98], Aris R. [99], Aronofsky J.S., Heller J.P. [100], Bear J. [101], Bruch J.C., Street R.L. [102], Houpes J. A., Harleman D. R. [103], Ogata A., Banks R. B. [104], Huyakom P.S., Unlge M.J. [105], Moench A.F. [106], Sepulveda N., Zack A.L. [107], Udoyara T. S. [108], та інших, у яких створюються або аналізуються математичні моделі розсіювання, прослідковується загальна закономірність – всі вони стосуються лише ореольних частин об'єму розсіювання, в межах яких проходить закономірна зміна концентрацій забруднюючих речовин. Враховуючи, що просторове розповсюдження забруднення в ареалі є незаконічним і невпорядкованим по відношенню до підземного водоносного потоку, це стає, на даному етапі, перешкодою для застосування математичного апарату, тому випадки математичного опису ареальних частин об'єму розсіювання в літературі не знайдено.

За даними натурних експериментів було встановлено, що вирішальний вплив на форму об'ємів розсіювання мають початкові умови поступлення забруднюючої речовини, за якими виділяють дві схеми міграції:

А – речовина поступає в потік по всьому його початковому перерізу;

Б – речовина поступає в потік по частині початкового перерізу.

Ф.М.Бочевєр, М.М.Лапшин, В.М.Шестаков та ін. [14, 97] пропонують всі випадки міграції звести до двох груп джерел: 1) активні джерела – впливають на рівень і швидкість природного потоку; 2) неактивні джерела – практично не впливають на рівень, швидкість і розхід природного потоку підземних вод.

Перша група джерел зумовлює виникнення схеми **А**, за якою речовина поступає по всьому перерізу, друга група – схему **Б**, тобто речовина поступає по частині перерізу.

У схемі **А** розсіювання проходить в основному за рахунок нерівності швидкості елементарних струминок. Об'єм розсіювання в цьому випадку представлено передовою каймою змінної ширини і інтенсивності, яка обмежує область постійних концентрацій забруднюючої речовини, що виходить з джерела. У схемі **Б** розсіювання проходить переважно внаслідок розгалуження елементарних струминок. Об'єм розсіювання за цією схемою і дія такого механізму представляють собою ореол із постійним у просторі та часі розподілом концентрацій забруднюючої речовини. Таким чином, спостерігається єдність схеми міграції, механізму розсіювання і форми об'єму розсіювання. Розсіювання за схемою **А** характерне для антропогенних джерел забруднення, що помітно впливають або заново формують структуру потоку-носія. Розсіювання за схемою **Б** характерне для природних джерел речовини, але може мати місце і від антропогенних джерел, як у нашому випадку, з витратами потоку-індикатора суттєво меншими за витрату потоку-носія.

До початкових умов поступлення речовини в підземні води також відноситься і характер поступлення у часі, що може визначати форму об'єму розсіювання. Наприклад, разовий короткочасний залповий скид забруднюючої речовини визначає форму об'єму розсіювання з центром, що рухається у напрямку потоку і з його середньою швидкістю та змінною в часі просторової закономірності зміни концентрації.

За способом математичного опису всі математичні моделі ореолів поділяються на детерміновані та статистичні.

3.1.1. Загальні детерміновані математичні моделі.

Спільна дія охарактеризованих вище фізичних процесів, які проходять при формуванні об'ємів розсіювання приводить до наступного математичного вираження їх впливу на концентрацію забруднюючої речовини в природному підземному потоці при її міграції і розсіюванні [79]:

$$n \frac{dC}{dt} = D_x \frac{d^2C}{dx^2} + D_y \frac{d^2C}{dy^2} + D_z \frac{d^2C}{dz^2} - v_x \frac{dC}{dx} - v_y \frac{dC}{dy} - v_z \frac{dC}{dz}, \quad (3.1)$$

де C – концентрація речовини; t - час; x, y, z - просторові координати; v_x, v_y, v_z - складові швидкості фільтрації рідини; D_x, D_y, D_z - параметри розсіювання, що враховують сумарний вплив всіх процесів, які зумовлюють ефект розсіювання в відповідному напрямку; n - активна пористість середовища.

Розв'язки рівняння (3.1) для конкретних початкових і граничних умов є детермінованими математичними моделями процесу міграції і розсіювання забруднюючих речовин у підземних водах. При використанні, наведених нижче, детермінованих моделей слід мати на увазі, що в них фігурують дійсні значення швидкості і параметрів розсіювання $\left(\frac{v}{n} \text{ і } \frac{D}{n}\right)$, і там, де величина пористості не вказана, вона фактично врахована в значеннях цих сталих.

При аналізі детермінованих математичних моделей їх зручно розділити за кількістю напрямків, у яких проходить розсіювання речовини:

А) одновимірне; Б) радіальне; В) двовимірне; Г) тривимірне.

А. Одновимірне розсіювання.

Схема і матмодель процесу. В напівнескінченній трубці, заповненій пористим матеріалом, підтримується постійна фільтраційна витрата рідини, яка не містить досліджувану речовину. В момент часу $t = 0$ у початковий переріз замість цієї рідини подається із попередньою витратою розчин речовини з концентрацією C_0 , який за фізичними властивостями (в'язкість та густина) не відрізняється від попередньої рідини. По мірі просування у трубці початкова різка границя між рідиною, яка містить і не містить розчинену речовину, «розмивається» аналогічно галуженню елементарних

струминок. Вихідні та граничні умови: $v_x = \text{const} = v$; $v_y = v_z = 0$; $D_x = \text{const} = D$; $D_y = D_z = 0$. Рішення рівняння (3.1) для таких умов наведено в роботах [14, 78, 80, 81, 90], дає наступну залежність концентрації речовини від віддалі та часу:

$$C = 0,5C_0 \left[1 \pm \operatorname{erf} \left(\frac{x - \frac{vt}{n}}{2\sqrt{\frac{Dt}{n}}} \right) + \exp \left(\frac{v}{D} \cdot x \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{x + \frac{vt}{n}}{2\sqrt{\frac{Dt}{n}}} \right) \right] \quad (3.2)$$

де $\frac{v}{n}$ - дійсна швидкість руху рідини.

З помилкою менше 5% останнім членом в квадратних дужках для $x > \frac{130D}{v}$ можна знехтувати, як було показано А. Огата і Р. Бенкенсом [104], це суттєво спрощує рівняння (2.2) і розширює можливості його практичного застосування.

Знак перед членом у квадратних дужках беруть у залежності від знаку виразу у чисельнику: $x - \frac{vt}{n} > 0$ перед функцією $\operatorname{erf} z$ ставлять знак мінус, а при $x - \frac{vt}{n} < 0$ - плюс.

Таким чином для практичного застосування можна використовувати рівняння (3.2), яке із врахуванням наведених вище обмежень і спрощень має вигляд [104]:

$$C = 0,5C_0 \left[1 \pm \operatorname{erf} \left(\frac{x - \frac{vt}{n}}{2\sqrt{\frac{Dt}{n}}} \right) \right] \quad (3.3)$$

Рівняння (3.3) показує, що із середньою дійсною швидкістю течії рідини $\left(\frac{v}{n}\right)$ рухається концентрація речовини $C = 0,5C_0$. Менші концентрації випереджають цей фронт, а більші – відстають від нього, причому із плинністю часу величини випередження і відставання зростають.

Б. Радіальне розсіювання.

Схема і математична модель процесу. В даній схемі зазвичай приймається поступлення речовини в розчині у водоносний горизонт через лінійне джерело – досконалу поглинаючу свердловину (пройдену через всю водонасичену товщу порід, доведену до водотривких порід, довжина водоприймальної частини якої співпадає з потужністю водоносного пласта). На свердловині задається або умова постійності кон-

центрації речовини ($C_0 = const$), або постійність витрати речовини ($qC_0 = const$, де q – витрата розчину і в загальному випадку $q \neq const$ и $C_0 \neq const$).

Основною відмінністю цієї схеми від схеми одновимірного розсіювання є зменшення швидкості по мірі віддалення від джерела. Дійсна швидкість течії рідини $\left(\frac{v}{n}\right)$ зв'язана із витратою джерела q і віддалю від джерела співвідношенням:

$$\left(\frac{v}{n}\right) = \frac{q}{2\pi r m t}, \quad (3.4)$$

де m – потужність водоносного горизонту.

При цьому величина параметра D має відповідно зменшуватись при віддаленні від джерела. Однак, для одержання коректних для практики рішень приймається один із видів осереднення величини D у досліджуваному об'ємі розсіювання. В такій постановці вихідні параметри приймають вигляд $D_x = D_y = D$; $D_z = 0$. Задачі радіального розсіювання розглянуті в роботах М.М.Верігіна [77], В.М.Шестакова [97], Ф.М.Бочевера і А.Е.Орадовської [14], Д.Хоупса і Д.Харлемана [103].

За Ф.М.Бочевеком і А.Е.Орадовською [14] рішення для даної схеми має вигляд:

$$\text{для } C_0 = const, C = C_0 [1 - F_1(v, \lambda)]; \quad (3.5)$$

$$\text{для } qC_0 = const, C = C_0 [1 - F_1(v, \lambda) - F_2(v, \lambda, B)], \quad (3.6)$$

$$\text{де } v = \frac{q}{4\pi r D^* n}; \quad \lambda = \frac{r^2}{4 D^* t}; \quad B = \frac{q}{4\pi m D^* n} \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 \cdot (v - 1),$$

D^* – параметр розсіювання, який при наявності сорбції має структуру

$$D^* \approx \frac{D}{n [1 + f'(C)]} \quad (D - \text{параметр без впливу сорбції; } f'(C) - \text{осереднене значення}$$

першої похідної ізотерми сорбції в діапазоні взаємодіючих з породами концентрацій речовини). При відсутності сорбції аргументи функцій F_1 і F_2 мають вигляд:

$$v = \frac{q}{4\pi m D}; \quad \lambda = \frac{r^2 n}{4 D t};$$

r_0 – радіус свердловини; F_1 і F_2 – функції, що визначають по таблицям, графікам або наближеними формулами наведеними в роботі Ф.М.Бочевера і А.Е.Орадовської [14].

При цьому необхідно враховувати, що рішенні (2.5) $C_0 = f(t) \neq const$.

У роботі [96] В.М.Шестаков наводить рівняння радіального розсіювання для одновимірного шляху осереднення значення швидкості і параметра розсіювання. При такому спрощенні у вище наведених позначеннях розв'язок прийме вигляд:

$$C = 0,5C_0 \left[1 \pm \operatorname{erf} \left(\frac{\left| r^2 - \frac{qt}{\pi mn} \right|}{2\sqrt{\frac{Dt}{n}}} \right) \right], \quad (3.7)$$

Д.Хоупс і Д.Харлеман [103] для таких же умов, приймаючи $D_M=0$, одержали розв'язок, який у вище наведених позначеннях можна представити:

$$C = 0,5C_0 \left[1 \pm \operatorname{erf} \left(\frac{\left| 1 - \frac{qt}{\pi mnr^2} \right|}{4\sqrt{\frac{2\pi Dm}{3q}}} \right) \right], \quad (3.8)$$

Необхідно відмітити, що, як і в одновимірних умовах, тут теоретично неможливо досягти стаціонарний стан концентрації. У будь-якій точці простору, яка знаходиться на кінцевій віддалі від джерела поступлення речовини, концентрація її у визначений інтервал часу буде зростати від нульової до вихідної (яка поступає із джерела). Це відображено у всіх математичних моделях процесу, в яких концентрація розглядається як функція віддалі і часу.

Крім цього, для одновимірних моделей об'ємів розсіювання немає підґрунтя для сумнівів щодо справедливості одержаних результатів у природних умовах, та для радіальних – таке підґрунтя існує. Одержані теоретичні і задовільні лабораторні моделі радіального розсіювання можуть не справдитись у натурних умовах при великих (десятки і сотні метрів) значеннях віддалі r , на яких величина швидкості, у відповідності до залежності (3.4) зменшиться у порівнянні з при свердловинною зоною на декілька порядків. Це має обумовити значне зменшення параметра D , до помітних змін концентрації фактичної та розрахункової.

В. Двовимірне розсіювання.

Схема процесу. У вище розглянутих схемах міграція і розсіювання речовини могли проходити лише у напрямку, який співпадав із вектором швидкості фільтрації. Це визначалось умовами поступлення речовини у фільтраційний потік, які виключали мож-

дивність міграції і розсіювання у інших напрямках. При інших умовах, речовина мігрує і розсіюється не лише у напрямку фільтрації, а і по нормалі до нього. При цьому вступає в дію ефект розгалуження та злиття елементарних струминок потоку, який на визначених ділянках може забезпечити створення стаціонарного поля концентрацій. Загальним для всіх моделей є одновимірний характер фільтрації ($v_x = v; v_y = v_z = 0$) і двовимірний характер міграції дисперсії речовини ($D_x \neq D_y; D_z = 0$). У літературі параметри розсіювання по різних напрямках зазвичай визначають як коефіцієнт повздовжньої (D_L – у напрямку фільтрації) і поперечної (D_T) дисперсії.

Математичні моделі. Перші спроби опису двовимірної дисперсії в одновимірному потоці висвітлені в роботах В.А. Баума, Д. Харлемана, Р. Румера, А.Н. Патрашева і Н.Х. Арутюняна, Ф.М. Бочевера і А.Е. Орадовської. Аналіз формул, одержаних цими авторами, наведено в роботі [79]. Тут ми обмежимося розглядом більш пізніх робіт із рішеннями для більш загального випадку. Це роботи Антошкіна Л.І., Беляєва М.М., Коренюка Є.Д., Хруща В.К. [73], Лаврика В.І., Никифоровича Н.А. [70, 83].

У роботі [73] на основі узагальнення математичних моделей А.Огата запропоновано простішу їх концепцію. Основне диференційне рівняння, що описує двовимірне розсіювання речовини в одновимірному фільтраційному потоці, розв'язано у циліндричних координатах z і r для умови, коли речовина поступає по площі, що має круговий контур, радіусом a в потік, який направлено паралельно осі z . У місці поступлення речовини $z = 0$. Розчин, який містить індикатор у концентрації C_0 , поступає в напівобмежене середовище на площі де $r < a$, а потік, який поступає на площі, де $r > a$ не містить індикатора. Швидкості потоку-носія та потоку – індикатора рівні і постійні. Розв'язок подано для умов, коли коефіцієнти повздовжньої D_z та поперечної D_r дисперсії не рівні, тобто розв'язуючи основне диференціальне рівняння в нестационарній постановці для прийнятих граничних умов Огата одержав складне рівняння просторового розподілу індикатора в об'ємі розсіювання, елементами якого є функції Бесселя нульового і першого порядку та функція Гольдштейна. Для осьового напрямку в ореолі ($r = 0$) в нестационарній постановці рівняння спростили до наступного вигляду [73]:

$$2 \frac{C}{C_0} \Big|_{r=0} = \operatorname{erfc} \left(\frac{\alpha}{\beta} - \beta \right) - e^{+\alpha} \operatorname{erfc} \left(\frac{\alpha}{\beta} - \beta \right) - \exp \left[2\alpha - 2\sqrt{\alpha^2 + \theta^2} \right] \times$$

$$\operatorname{erfc}\left[\left(\frac{\sqrt{\alpha^2 + \theta^2}}{\beta} - \beta\right)\right] - \exp\left[2\alpha + 2\sqrt{\alpha^2 + \theta^2}\right] \cdot \operatorname{erfc}\left[\left(\frac{\sqrt{\alpha^2 + \theta^2}}{\beta} + \beta\right)\right], \quad (3.9)$$

$$\text{де } \theta^2 = \frac{a^2 u^2}{4D_z D_r}; \quad \alpha = \frac{uz}{4D_z}; \quad \beta^2 = \frac{u^2 t}{4D_z};$$

u - дійсна швидкість потоку; a - радіус кругового контуру, по якому речовина поступає в потік; D_z і D_r коефіцієнти повздовжньої та поперечної дисперсій.

Це рівняння описує нестационарний розподіл речовини по осі ореолу. Далі, прийнявши $t \rightarrow \infty$, можна перейти до стаціонарного розподілу речовини по осі ореолу, яке описується рівнянням вигляду:

$$2 \frac{C}{C_0} \Big|_{r=0} = 1 - \exp\left[2\alpha - 2\sqrt{\alpha^2 + \theta^2}\right] \quad (3.10)$$

Г. Тривимірне розсіювання.

Розсіювання речовини у всіх трьох напрямках має місце в одновимірному фільтраційному потоці, коли поперечні розміри джерела речовини менші розмірів поперечного січення потоку.

Як і для двовимірного розсіювання, безпосередньо нижче джерела формується стаціонарне поле концентрації, і лише нижче того перерізу, в якому досягнуто повне осереднення концентрацій процес розсіювання переходить в одновимірний.

Для стаціонарної ділянки перемішування від точкового джерела рішення запропоновано Н.Н.Верігіним [77]:

$$C = \frac{q \cdot C_0}{4 \cdot \pi \cdot D_l} \cdot \frac{\rho^3}{r} e^{-0,5 \frac{v}{D_l} (r-x)}, \quad (3.11)$$

де qC_0 - витрата забруднюючої речовини джерелом;

$$\rho = \frac{D_l}{D_r}; \quad r = \sqrt{(z^2 + y^2)\rho + x^2}; \quad D_l = D_x; D_r = D_y; D_z; \quad v = v_x; v_y = v_z = 0.$$

Однією з останніх цікавих публікацій на тему тривимірного розсіювання є модель для прогнозування міграції забруднення пов'язаного з процесами вилуговування Р.С.Нуняком, М.І.Унлге, Л.А.Мулкей, Е.А.Судікы [105].

Початкові та граничні умови:

$$C(x, y, z, 0) = 0; \quad C(0, y, z, t) = C_0 \cdot e^{-y^2 - 2\sigma^2}; \quad 0 \leq z \leq H;$$

$$C(x \pm \infty, z, t) = 0; \quad C(\infty, y, z, t) = 0;$$
(3.12)

$$\frac{\partial C}{\partial z}(x, y, 0, t) = 0; \quad \frac{\partial C}{\partial z}(x, y, B, t) = 0,$$

де B – потужність водоносного горизонту.

З використанням інтегральних трансформацій розв'язок рівняння (3.1) і (3.12) можна виразити наступним співвідношенням:

$$C_p(x, y, z, t) = \frac{H}{B} C_f(x, y, t) - \Delta C_p(x, y, z, t),$$
(3.13)

де C_f і ΔC_p - функції, представлені як

$$C_f(x, y, t) = \xi \int_0^t F(x, y, \tau) \exp(-\eta \tau) d\tau;$$
(3.14)

$$\Delta C_p(x, y, z, t) = \frac{2\xi}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \cos\left(\frac{h\pi z}{B}\right) \sin\left(\frac{h\pi H}{B}\right) \times$$

$$\times \int_0^t F(x, y, \tau) \exp(-\beta_n \tau) d\tau;$$
(3.15)

$$F(x, y, \tau) = \frac{1}{\tau^{3/2} (2\sigma^2 + 4D^* y \tau)^{1/2}} \times$$

$$\times \exp\left(-\frac{x^2}{4D^* x \tau} - \frac{y^2}{4D^* y \tau + 2\sigma^2}\right);$$
(3.16)

$$\xi = \frac{C_1 \rho x}{(2\pi D^* x)^{1/2}} \exp\left(\frac{V_s x}{2D^* x}\right); \quad \eta = \left(\frac{V_s}{4D^* x}\right) + \lambda; \quad \beta_n = \eta + \frac{n^2 + \pi D^*}{B^2};$$

де H/B – коефіцієнт проникності джерела забруднення у водоносному горизонті.

3.1.2. Загальні статистичні математичні моделі.

Одночасно із створенням детермінованих розроблювались статистичні математичні моделі. Побудова цілого ряду статистичних моделей вирішувалась на основі теорії випадкових блукань [96]. Для найбільш простого випадку в цій теорії розглядається рух частинок у вигляді серії кроків в одному генеральному напрямку при

випадкових порушеннях його траєкторії. Застосування випадкових блукань для описання розсіювання речовини при конвективному переносі потребує імовірно-го вираження кількості речовини. З цією метою розглядається рух через фільтруюче середовище не однієї частинки, а групи мічених частинок. Наприклад, імовірність 0,05, яка відноситься до однієї із сукупності пор, означає, що при 100 запусках цієї частинки через пористе середовище, вона може пройти через дану пору лише 5 раз. але якщо замість 100 запусків однієї частинки провести запуск 100 частинок водночас, таж імовірність буде виражати відношення числа частинок, які можуть пройти через дану пору, до їх вихідної кількості. Тому, у випадку із групою частинок імовірність виражає відносну кількість речовини. Це впливає із визначення імовірності як відносної частоти при досить великій кількості дослідів. Із закону великих чисел впливає, що із збільшенням кількості дослідів відносна частота прямує до константи, яку називають імовірністю випадкової події. Якщо кількість речовини виражається концентрацією, то імовірність у цьому випадку є відношення концентрації і в даній точці $C_{n,m}$ до початкової концентрації речовини C_0 , тобто:

$$P_{n,m} = \frac{C_{n,m}}{C_0}. \quad (3.17)$$

На відміну від детермінованих, побудова статистичних моделей проводиться стосовно конкретного механізму розсіювання. Спроба пояснити формування ореолів розсіювання статистичним ефектом, явищем розгалуження елементарних струминок, була вперше здійснена П.Данелем [109]. Йому ж належить і перша спроба застосування моделі випадкових блукань для пояснення розсіювання речовини при конвективному переносі.

Розв'язання цієї задачі в загальній і більш строгій постановці представлено в роботі [110]. На відміну від класичної теорії блукань, де кожний перехід відбувається у точно визначений момент часу, автори розглядають умову, коли проміжок часу між двома останніми переходами є випадковою величиною. Вказана робота містить розв'язок нестационарної та стационарної задач. Перша формулюється, як визначення імовірності виявлення частинки домішки в момент t в області з просторовими координатами n, m .

У стаціонарному режимі, коди в початкову область ($n = 0, m = 0$) постійно подається домішка, імовірність виявлення домішки в області n, m зводиться до вигляду кривої нормального розподілу.

Розробці статистичних моделей присвячено роботи Sheidegger A.E., Сафмена П [83], J. Bear [101]. Розглядаються як дво-, так і тривимірна дисперсія, але більшість робіт присвячено схемам разового запуску (залпового викиду, скиду) речовини (пливучий ореол) і витіснення. Таким чином одержані розв'язки описують нестационарне поле концентрацій, що знаходиться відображення або в структурі формул, або в залежності від часу параметрів дисперсії.

Аналізуючи статистичні моделі двовимірного розсіювання в одновимірному потоці, можна зробити такий висновок, що кінцева закономірність просторового розподілу речовини в ореолі не залежить від часу [110]. Будучи моделлю механізму розгалуження елементарних струминок, статистична модель пояснює походження ділянки не розбавлених концентрацій на початку ореолу, поблизу джерела забруднення [109, 111].

Таким чином, статистичні моделі мають деякі додаткові можливості для аналізу механізму розсіювання речовини у підземних водах. Однак використання їх, як і розглянутих вище детермінованих моделей, для практичних прогнозних розрахунків є надзвичайно трудомістким і потребує значної фахової математичної підготовки. Крім того наявні математичні моделі дозволяють дослідити загальні закономірності розсіювання та із різним рівнем адекватності відповідають природі явища розсіювання, що є непридатним для прогнозних розрахунків реальних ореолів розсіювання. Тому, виникла необхідність розробки нових моделей, які ґрунтуються на конкретному експериментальному гідродинамічному та гідрохімічному фактажі із подальшою можливістю їх практичної реалізації, по можливості, максимально простих у розрахунку та з розробними на їх основі програмними продуктами. Це зумовлено тим, що модель дозволяє не лише відтворити і дослідити особливості розповсюдження забруднення у підземному потоці, але й поставити вимоги до вхідної експериментальної інформації та безпосередньо вплинути на методику наступних гідрогеологічних досліджень, що в кінцевому результаті дасть змогу запропонувати конкретні ефективні природоохоронні заходи.

3.2. Математична модель та система автоматизованого просторово-часового прогнозування (САПР «Еколог») забруднення підземних вод шахтними розсолами через канали гідродинамічного зв'язку.

Розроблена математична модель розрахунку прогнозування розповсюдження забруднюючих речовин по каналах гідродинамічного зв'язку, яку впроваджено на ДП «Калійний завод» ВАТ «Оріана», основана на створеній автором САПР „Еколог”, яка в свою чергу ґрунтується на відомій математичній моделі дифузійної міграції Семчука Я.М. [13], в якій визначається положення критичної глибини залягання шахтних розсолів у каналах зв'язку по відношенню до підшови водоносного горизонту, при якій останні ще не будуть засолювати водоносний горизонт. Автор, враховуючи гідрогеологічні та геохімічні спостереження проведені ДП «Калійний завод», НДІ «Галурґія» і результати власних спостережень (додаток Л) на досліджуваній площі та вищезгадану модель, прогнозує кількісний вплив дифузійного винесення солей, у вищезалягаючий водоносний горизонт у випадку повного заповнення каналу зв'язку шахтними розсолами, з відтворенням результатів у часі.

САПР „Еколог” реалізується відомим способом оконтурення площ розповсюдження забруднень [88], який включає гідродинамічні дослідження, аналіз проб хімічних елементів і сполук, характерних для відповідного виду забруднення, оцінку характеру і ступеню забруднення. За допомогою САПР „Еколог”, прогнозу модель міграції забруднень в пористо-тріщинуватому середовищі у висхідному напрямку, для чого встановлюють: початкову концентрацію природних вод (які забруднюються) до забруднення; концентрацію речовини-забруднювача; швидкість молекулярної дифузії для вміщуючих порід; глибину залягання джерела забруднення в гірському масиві; дійсну швидкість водного припливу із каналу зв'язку. На підставі цих даних, після розв'язання одновимірною диференційного рівняння дифузійної міграції з урахуванням граничних умов чисельним методом, який є значно простішим для обчислення за методом відокремлених змінних (метод Фур'є) запропонованим для розв'язку даного рі-

вняння у роботі [13] Семчуком Я.М., САПР „Еколог” будує графік зміни концентрації забруднюючої речовини у природному підземному потоці, в залежності від часу.

Створена модель адекватна природному явищу – дифузійній міграції солей в пористо-тріщинуватому середовищі у висхідному напрямку і узгоджена з можливістю її практичної реалізації, при умові додержання параметрів розробленого Семчуком Я.М. проекту ліквідації шахтних виробок методом регульованого затоплення. Тоді, при повній відсутності конвекції, по цих каналах буде проявлятися лише ефект дифузійного виносу солей із шахтних розсолів у напрямку водоносного горизонту.

На основі даної моделі автором одержано патент України у співавторстві з Семчуком Я.М. (встановлено граничну умову - на перерізі каналу зв'язку), Бараненко О.Б. (оформлення) та отримано патент України № 67391 А. [4, Додаток М].

3.2.1. Математична модель кількісної оцінки привносу солей у водоносний горизонт у випадку повного заповнення каналу зв'язку шахтними розсолами

Модель розроблена для шахти “Калуш”, де каналами зв'язку між розсолами і водоносним горизонтом є провали (рис. 3.1).

З математичної точки зору задача полягає в розв'язанні одновимірного диференціального рівняння дифузійної міграції (теплопровідності) – закон Фіка [90]:

$$\frac{dC}{dt} = D \cdot \frac{d^2C}{dx^2}, \quad t > 0, \quad 0 < x < h \quad (3.18)$$

$$\text{з початковою умовою: } C(0, x) = C^0 \quad (C^0 = 0,58 \text{ кг/м}^3); \quad (3.19)$$

та граничними умовами:

а) на відмітці критичного рівня розсолів (підшві водоносного горизонту):

$$C(t, 0) = C_0 \quad (C_0 = 350 \text{ кг/м}^3); \quad (3.20)$$

б) на перерізі каналу зв'язку [13]:

$$\frac{dx(t, h)}{dt} = - \left(\frac{D_k}{h} \cdot \frac{dC}{dx} - \frac{V_g}{h} \cdot C \right) \Big|_{x=h}, \quad (3.21)$$

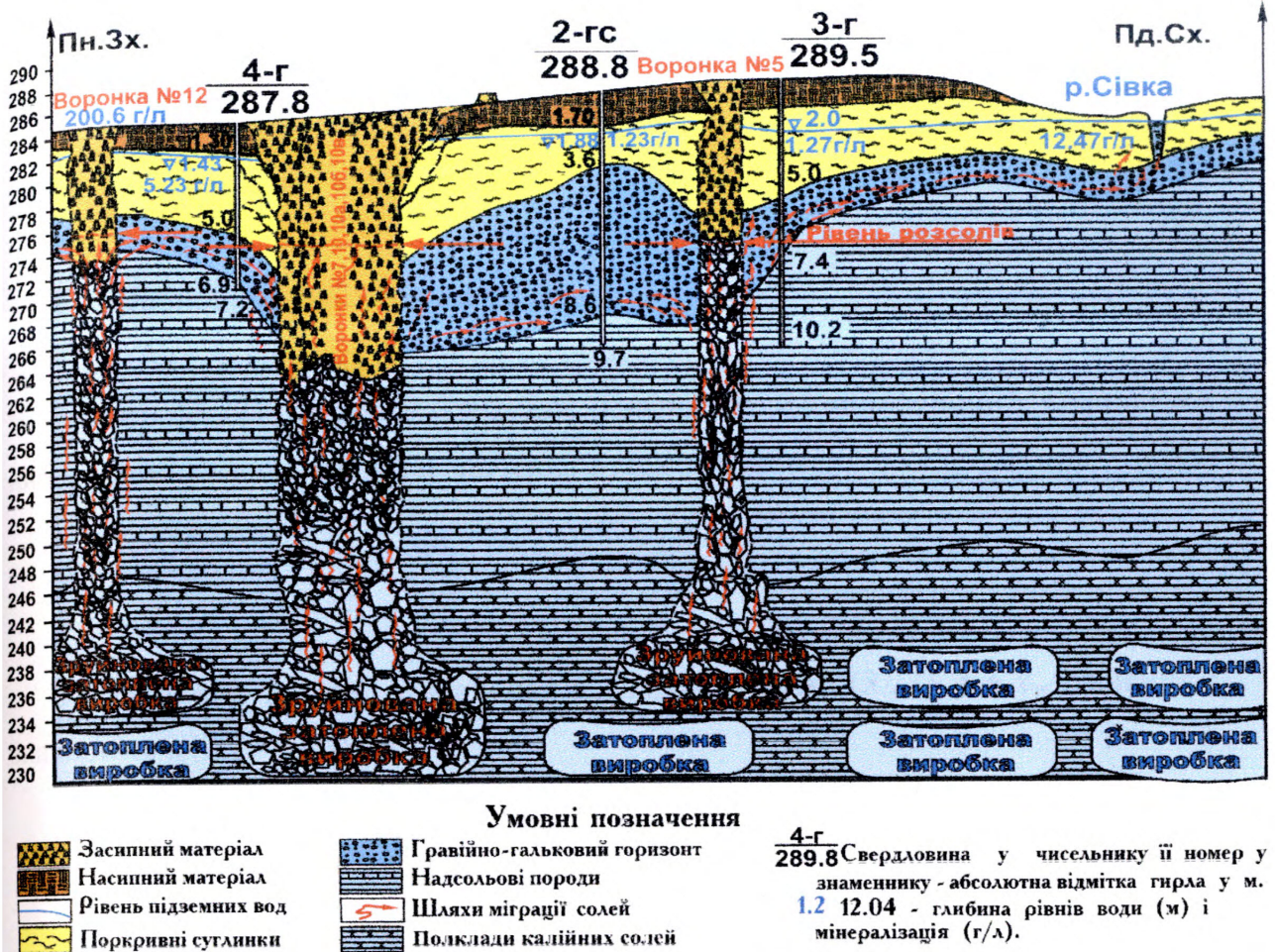


Рисунок 3.2. Розріз через провали № 5, 10, 10 а – 10 в, 12 Північного каїнітового поля рудника «Калуш» (вихідні дані для дифузійної та імовірносної моделей).

У формулах (3.18 - 3.21): C^0 - мінералізація вод гравійно-галькового водоносного горизонту, кг/м^3 ; C - концентрація солей, кг/м^3 ; t - час, роки; x - ордината, що відраховується від рівня розсолів у напрямку знизу-вверх; C_0 - мінералізація шахтних розсолів, кг/м^3 ; D_k - коефіцієнт молекулярної дифузії в каналі зв'язку, $\text{м}^2/\text{с}$; V_g - дійсна швидкість припливу розсолів з каналу зв'язку, м/с ; h - глибина на якій розташовано затоплену шахтну виробку, (м).

Задачі (3.18) – (3.21) розв'язані чисельним методом. Змінні t та x дискретизовано із сталими кроками Δt та Δx . Тобто, знайдено значення функції $C(t, x)$ у всіх вузлах дискретної сітки: $x_i = i \cdot \Delta x$, $i = \bar{0}, \bar{M}$; $t_j = j \cdot \Delta t$, $j = \bar{0}, \bar{N}$.

Позначивши $C_{i,j} = C(t_j, x_i)$, одержимо різницеві аналоги рівнянь (3.18) і (3.21):

$$\left(\frac{C_{i,j+1} - C_{i,j}}{\Delta t} \right) = D_k \left(\frac{C_{i+1,j} - 2C_{i,j} + C_{i-1,j}}{\Delta x^2} \right), \quad (3.22)$$

$$\left(\frac{C_{Mj-1} - C_{Mj}}{\Delta t} \right) = - \left(\frac{D_k}{h} \cdot \frac{C_{Mj} - C_{Mj-1}}{\Delta x} - \frac{V_g}{h} \cdot C_{Mj} \right), \quad (3.23)$$

Початкова умова (3.19) веде до:

$$C_{i0} = C^0 \quad (3.24)$$

З граничної умови (3.20) одержуємо:

$$C_{j0} = C_0, \quad (3.25)$$

Рівність (3.22) дає змогу одержати значення невідомої функції в кожний наступний момент часу t_{j-1} маючи її значення в момент часу t_j у всіх внутрішніх точках x_i :

$$C_{ij-1} = C_{ij} + \Delta t \cdot D_k \cdot \left(\frac{C_{i-1j} - 2C_{ij} + C_{i+1j}}{\Delta x^2} \right), \quad (3.26)$$

У граничних точках: x_0 значення C_{j0} задає рівність (3.23), а в x_M значення C_{Mj-1} знаходимо з (3.25) [4, 6]:

$$C_{Mj-1} = C_{Mj} - \Delta t \cdot \left(\frac{D_k}{h} \cdot \frac{C_{Mj} - C_{Mj-1}}{\Delta x} - \frac{V_g}{h} \cdot C_{Mj} \right). \quad (3.27)$$

Підібравши значення Δt та Δx для збіжності описаного різницевого методу, ввівши експериментально встановлені дані гідрогеологічних та геохімічних спостережень, які проводились на руднику "Калуш" вперіод з 1954-2005 рр., в САПР «Еколог», наведену в додатку Н, одержали результат (див. приклад).

2.3.2. Приклад роботи САПР «Еколог».

Вихідні дані для САПР «Еколог»: 1) $t=300$ років – час, який пройшов із моменту затоплення виробки розсолами до встановленого проектом рівня; 2) $h = 60$ метрів – глибина, на якій розміщено затоплену розсолами виробку; 3) $C_0 = 350$ кг/м³ – мінералізація шахтних розсолів; 4) $C^0 = 0,58$ кг/м³ - мінералізація вод гравійно-галькового водоносного горизонту; 5) $v = 1 \cdot 10^{-6}$ м/добу – дійсна швидкість припливу забруднюючої речовини; 6) $x = h = 60$ метрів - ордината, яка відраховується від рівня високомінералізованих розсолів у напрямку знизу-вверх; 7) $D_k = 5 \cdot 10^{-8}$ м²/с – коефіцієнт молекулярної дифузії в каналі зв'язку; 8) $V_g = 1 \cdot 10^{-6}$ м/с – дійсна швидкість припливу розсолів з каналу зв'язку.

Результат моделювання виводиться у вигляді графіку (рис. 3.2). Він підтверджує, що при дотриманні розробленого проекту НДІ «Галургія» [66], за яким, міграція солей із затоплених виробок у висхідному напрямку через канали зв'язку може проходити лише шляхом дифузійного виносу, буде спостерігатись незначне винесення солей. Вплив, на води гравійно-галькового горизонту, носитиме локальний характер (біля джерела засолення) і його можна буде виявити лише через 130 років після заповнення каналу зв'язку прісними водами.

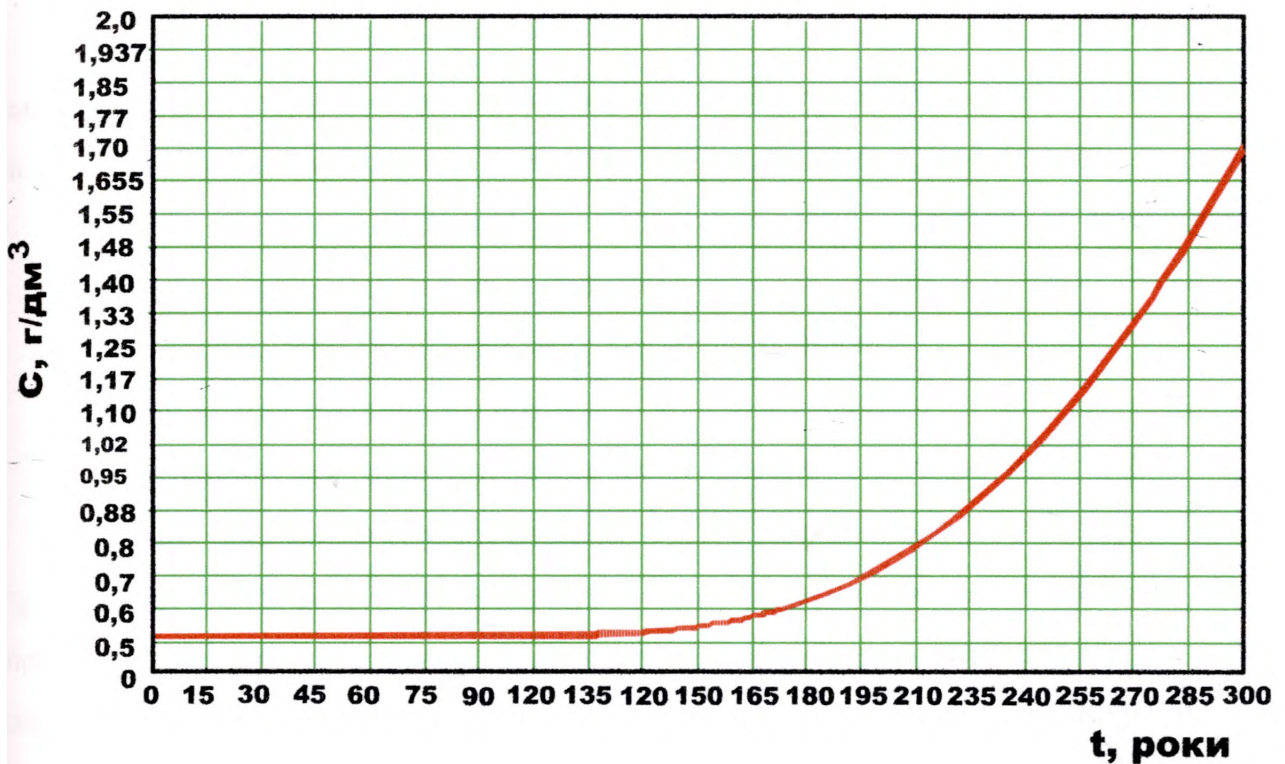


Рисунок 3.2. Графік зміни концентрації вод водоносного горизонту з часом під впливом привнесення солей із провалів шляхом дифузійного виносу [4, 6].

3.3. Математична модель та система автоматизованого просторово-часового прогнозування (САПР «Ореол») процесу площинного розповсюдження ареалу забруднюючих речовин у підземному водоносному горизонті

Практичною реалізацією математичної моделі тривимірної прогнозування площинного розповсюдження забруднюючих речовин у підземному водоносному горизонті, створеної автором у співавторстві з Осипчуком М.М. (розв'язок математичної

тичної моделі) та впроваджену на Стебницькому державному гірничо-хімічному підприємстві «Полімінерал», є розроблена автором САПР „Ореол”. Модель ґрунтується на розв’язанні задачі кількісної оцінки привнесення забруднюючих речовин у водоносний горизонт від підземних та поверхневих джерел. Вона, за допомогою розробленої САПР „Ореол” із врахуванням натурних гідрогеологічних та геохімічних спостережень на досліджуваній площі, дозволяє спрогнозувати швидкість, час та масштаби зміни забруднення підземного водоносного горизонту в напрямку руху фільтраційного потоку та по нормалі до нього з графічним і табличним відтворенням результатів у просторі, та часі (Додаток О, П).

Згідно із запропонованим, будують прогнозну модель площинного розповсюдження ареалу забруднюючих речовин у підземному водоносному горизонті, для чого за допомогою натурних та лабораторних досліджень встановлюють:

- а) початкову концентрацію природних вод (які забруднюються) до забруднення;
- б) концентрацію речовини-забруднювача;
- в) дійсну швидкість припливу забруднюючих речовин;
- г) дійсну швидкість водного потоку;
- д) фільтраційні властивості водоносного горизонту (водопроникність).

Одержані дані вводять у розроблену САПР „Ореол”, що, шляхом розв’язання тривимірного імовірнісного диференціального рівняння випадкового дифузійного процесу з вектором переносу та матрицею дифузії при площинному розповсюдженні забруднення у підземному водоносному горизонті, з урахуванням встановлених дослідженнями граничних умов, будує графіки та таблиці зміни концентрації забруднюючої речовини у природному підземному потоці, в залежності від концентрації забруднюючої речовини, часу та віддалі від джерела забруднення у всіх трьох напрямках досліджуваного водоносного горизонту [7].

Створена модель адекватна природному явищу, а саме – конвективно-дисперсійному тепловому руху речовин, у напрямку руху фільтраційного потоку водоносного горизонту та по нормалі до нього і узгоджена з можливістю її практичної реалізації.

3.3.1. Основні припущення для створення тривимірної імовірнісної математичної моделі прогнозування процесу розповсюдження забруднення у підземному водоносному горизонті.

Схема процесу. Реальну схему процесу можна уявити наступним чином. Якщо розглядати рух підземних вод у горизонтальному пласті, що залягає між двома водонепроникними пластами (або прошарками), то в даному випадку швидкість руху підземних вод буде мати горизонтальний напрям, і за величиною і за напрямком буде однаковою у всіх точках вертикальної прямої. Тому для вивчення такої планової фільтрації, достатньо вивчити рух рідини, яка фільтрується, лише в одній із горизонтальних площин, яка належить до області руху підземних вод (області фільтрації). Зазвичай, в якості такої горизонтальної площини, яка називається планом течії, вибирають підшову водопроникного пласту, яка є водотривкою. У нашому випадку, покрівля водопроникного пласту є межею з водотривким пластом, тому фільтрація є напірною.

У даній схемі приймемо, що забруднююча речовина поступає з точкового джерела круглої форми у підшві водоносного горизонту в горизонтальний водопроникний пласт, який не містить забруднюючої речовини. Розсіювання та міграція забруднюючої речовини проходить у всіх трьох напрямках в одновимірному фільтраційному потоці (як у напрямку фільтрації, так і по нормалі до нього), тому що розміри джерела забруднюючої речовини значно менші розмірів поперечного січення потоку. При цьому в сумарну дію процесів, які зумовлюють розсіювання, вступає ефект розгалуження та злиття окремих елементарних струминок потоку, який на деякій віддалі від джерела забезпечує формування стаціонарного поля концентрацій.

Для цього випадку, як і для двовимірного розсіювання, безпосередньо нижче джерела формується стаціонарне поле концентрації (ділянка перемішування), і лише нижче того січення, в якому досягнуто повне осереднення концентрацій процес розсіювання переходить в одновимірний (далі проходить лише нестаціонарне розсіювання фронту осередненої концентрації).

Для побудови моделі домовимось про такі припущення:

- сумістимо координатну площину xOy з планом течії, а вісь Oz - спрямуємо вер-

тикально вверх;

- водоносний горизонт є необмеженим по потужності та з боків;
- характер фільтрації одновимірний ($v_x = v$; $v_y = v_z = 0$) і тривимірний характер міграції і дисперсії забруднюючої речовини ($D_x \neq D_y \neq 0$; $D_x \neq D_z \neq 0$; $D_y = D_z$); де x, y, z координати простору; v_x, v_y, v_z - складники швидкості фільтрації рідини; D_x, D_y, D_z - параметри розсіювання, які враховують сумарну дію всіх процесів, що зумовлюють ефект розсіювання та міграції у відповідному напрямку;
- відома і є сталою швидкість $\vec{a} = (a_x; a_y; a_z) = (1.5; 0; 0)$ (м/добу) течії води у водоносному горизонті;
- відома і є сталою матриця дифузії у водоносному горизонті;

$$B = \begin{bmatrix} b_{xx} & b_{yx} & b_{zx} \\ b_{xy} & b_{yy} & b_{zy} \\ b_{xz} & b_{yz} & b_{zz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.837 & 0 & 0 \\ 0 & 0.707 & 0 \\ 0 & 0 & 0.837 \end{bmatrix}, \text{ м/добу}^{1/2}$$

- джерело забруднення солями знаходиться на підшві водоносного горизонту і має площу S (змінну);
- швидкість надходження $v = 0.036$ (м/добу) забруднювача стала і є відомою;
- концентрація забруднювача відома і дорівнює ($C_0 = 350$ (кг/м³)).

Основа математичної моделі.

Траєкторія руху частинки в деякому середовищі під дією теплового руху молекул середовища та макроскопічного його руху може бути описана, як реалізація $\vec{x}(t)$ випадкового дифузійного процесу з вектором переносу \vec{a} та матрицею дифузії B (рис. 3.3.). Такі реалізації можна одержати розв'язавши стохастичне диференціальне рівняння [112]:

$$d\vec{x}(t) = \vec{a} \cdot dt + B \cdot d\vec{w}(t) \quad (3.28)$$

де $\vec{w}(t)$ - тривимірний стандартний броунівський процес, з деякою початковою умовою $\vec{x}(0) = \vec{x}_0$.

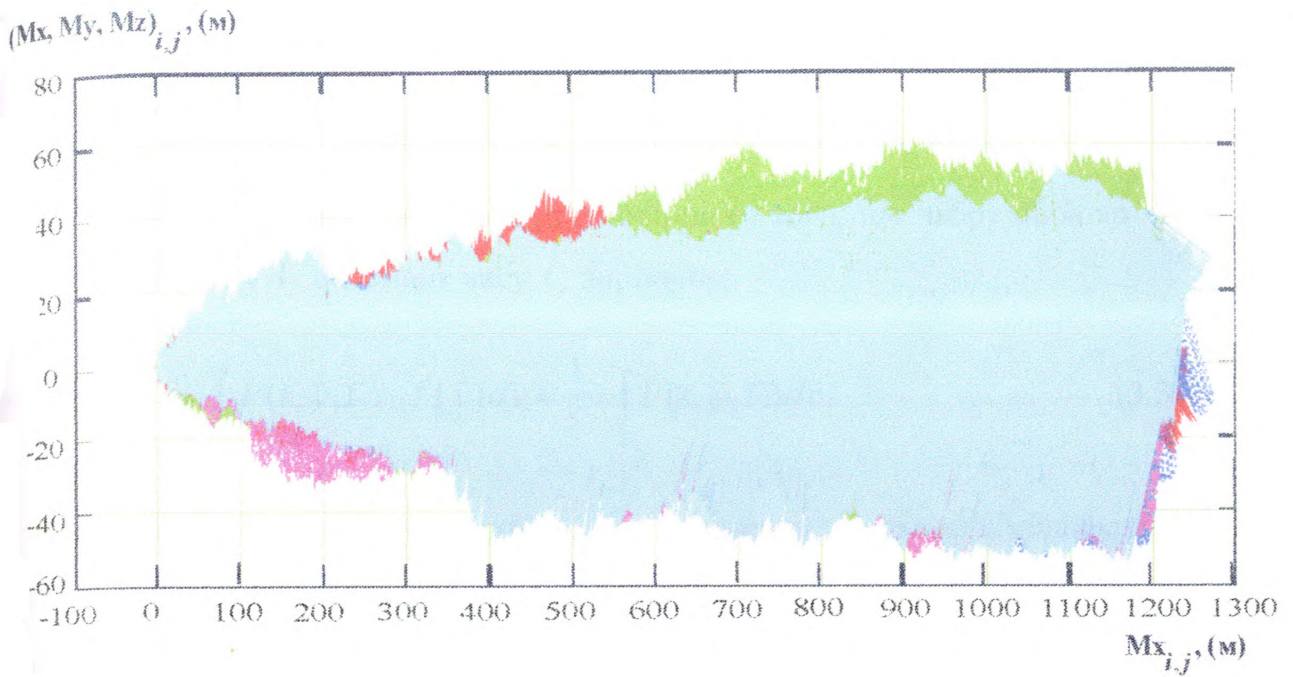


Рисунок 3.3. Моделювання траєкторії руху елементарних частинок забрудника у підземному водоносному горизонті під дією теплового руху молекул середовища та макроскопічного руху створеного течією водоносного горизонту.

Знайшовши ймовірність $P(t, \bar{x}_0, T)$ попадання дифузійного процесу, який стартував у точці \bar{x}_0 , за час t в область Γ , можемо знайти концентрацію забруднювача в кожній точці \bar{x}_0 водоносного горизонту в будь-який момент часу t за виведеною на основі [113] формулою:

$$C(t, \bar{x}) = C_0 \cdot v \cdot \lim \frac{1}{V(\Gamma_{\bar{x}})} \int_0^t d\tau \int_E P(\tau, \bar{y}, \Gamma_{\bar{x}}) d\bar{y}, \quad (3.29)$$

де $\Gamma_{\bar{x}}$ - окіл точки \bar{x} ; $V(\Gamma_{\bar{x}})$ - об'єм $\Gamma_{\bar{x}}$; E - область поступлення у водоносний горизонт забруднювача.

Очевидно, що $C_0 \cdot v \cdot S$ дорівнює кількості забруднюючої речовини, яка надходить за одиницю часу у водоносний горизонт. Природно вважати, що розподіл точок, з яких стартують частинки забруднюючої речовини, є рівномірним на множині E площею S . Щільність розподілу таких точок має вигляд:

$$f(\bar{x}) = \begin{cases} \frac{1}{S}, & \text{при } \bar{x} \in E \\ 0, & \text{при } \bar{x} \notin E \end{cases} \quad (3.30)$$

За формулою повної ймовірності, ймовірність того, що забруднююча частинка попаде в множину Γ в момент часу t , дорівнює:

$$P(\bar{x}(t) \in \Gamma) = \int_{R^3} P(t, \bar{y}, \Gamma) \cdot f(\bar{y}) d\bar{y} = \frac{1}{S} \cdot \int_E P(t, \bar{y}, \Gamma) d\bar{y}. \quad (3.31)$$

Оскільки за час τ у водоносний горизонт попадає частинок в кількості пропорційній $C_0 \cdot v \cdot S \cdot \tau$, то в момент часу t у множині Γ опиняться забруднюючих частинок в кількості пропорційній величині:

$$C_0 \cdot v \cdot S \cdot \tau \cdot P(\bar{x}(t - \tau) \in \Gamma) = C_0 \cdot v \cdot \tau \cdot \int_E P(t - \tau, \bar{y}, \Gamma) d\bar{y}. \quad (3.32)$$

Розбивши часовий інтервал від 0 до t на n частини тривалістю $\Delta\tau$, одержимо, що в множині Γ в момент часу t опиниться пропорційна

$$C_0 \cdot v \cdot \sum_{k=1}^n \int_E P(t - k \cdot \Delta\tau, \bar{y}, \Gamma) d\bar{y} \cdot \Delta\tau \quad (3.33)$$

кількість забруднюючих частинок. При $n \rightarrow \infty$ ця величина має границю рівну:

$$C_0 \cdot v \cdot \int_0^t d\tau \int_E P(\tau, \bar{y}, \Gamma) d\bar{y}. \quad (3.34)$$

Розглянемо деякий окіл $\Gamma_{\bar{x}}$ точки \bar{x} , діаметр якого δ і об'єм $V(\Gamma_{\bar{x}})$. Тоді концентрація забруднювача в точці \bar{x} в момент часу t дорівнює:

$$C_0 \cdot v \cdot \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{1}{V(\Gamma_{\bar{x}})} \int_0^t d\tau \int_E P(\tau, \bar{y}, \Gamma_{\bar{x}}) d\bar{y}, \quad (3.35)$$

що і стверджувалось в (3.29).

3.3.2. Розв'язання тривимірної математичної моделі.

Основним при застосуванні формули (3.29) є обчислення ймовірності $P(t, \bar{x}_0, \Gamma)$.

На практиці можна обмежитись оцінкою такої ймовірності, яку маємо можливість знайти, змодельовавши велику кількість траєкторій розв'язків рівняння (3.28). Для цього розглянемо дискретні моменти часу $t_k = k \cdot \Delta t$, $k = 0 \dots N$ і відповідне (3.28) різницеве рівняння:

$$\bar{x}_{k+1} - \bar{x}_k = \bar{a} \cdot \Delta t + B \cdot \sqrt{\Delta t} \cdot (\bar{w}_{k+1} - \bar{w}_k) \quad (3.36)$$

$$\text{з початковою умовою:} \quad \bar{x}_0 = \bar{\xi} \quad (3.37)$$

Тут $\bar{x}_k = \bar{x}(t_k)$, $\bar{w}_k = \bar{w}(t_k)$, $\bar{\xi}$ - рівномірно розподілена на E випадкова точка. Для випадку стандартного вінерівського процесу $\bar{w}(t_k)$ прирости $(\bar{w}_{k+1} - \bar{w}_k)$ є незалежними випадковими векторами, що мають нормальний розподіл з нульовим вектором математичних сподівань та одиничною коваріаційною матрицею. Моделювання значень таких випадкових векторів є достатньо простою процедурою.

Оцінкою ймовірності $P(t_k, \bar{\xi}, \Gamma)$ попадання в момент часу t_k траєкторії дифузійного процесу, що стартував з точки $\bar{\xi}$, в область $\Gamma \in \bar{P}_k$ відношення кількості траєкторій, для яких $\bar{x}_k \in \Gamma$, до загальної кількості змодельованих траєкторій. Замінивши інтеграли в (3.29) відповідними сумами та взявши достатньо малі околиці точок, в яких нас цікавить значення концентрації забруднювача, одержимо розрахункову формулу для обчислення $C(t_k, \bar{x}_k)$ (V - об'єм околу Γ):

$$C(t_k, \bar{x}) \approx \frac{C_0 \cdot v \cdot S}{V} \cdot \sum_{i=1}^k \bar{P}_i \cdot \Delta t \quad (3.38)$$

Враховувавши експериментально встановлені початкові та граничні умови і використовуючи матеріали гідрогеологічних та геохімічних спостережень, які проводились на руднику "Калуш" з 1990-2005 рр., та ввівши їх у створену автором програму (САПР «Ореол»), яка наведена у додатку О, одержали наступні результати (див. приклад).

3.3.3. Приклад роботи системи автоматизованого просторово-часового прогнозування (САПР «Ореол»).

Вихідні дані для програми: 1) $T:=90$ діб – час, який пройшов із моменту забруднення; 2) $N:=10000$ - кількість мічених частинок забрудника; 3) $Rad:=5$ метрів – радіус джерела забруднення; 4) $\sqrt{0.7} = 0,837$ м/добу – водопровідність водоносного горизонту у напрямку руху фільтраційного потоку; 5) $\sqrt{0.5} = 0,707$ м/добу - водопровідність водоносного горизонту по нормалі до напрямку руху фільтраційного потоку; 6) $C_0 = 350$ кг/м³ – концентрація забруднюючої речовини; 7) $v = 1 \cdot 10^{-6}$ м/добу – дійсна швидкість припливу забруднюючої речовини;

$$8) D = \begin{bmatrix} 0,837 & 0 & 0 \\ 0 & 0,707 & 0 \\ 0 & 0 & 0,707 \end{bmatrix}, \text{ м/добу}^{1/2} - \text{матриця дифузії складена на основі вихідних даних;}$$

$$9) a = \begin{bmatrix} 1,5 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \text{ м/добу} - \text{швидкість руху фільтраційного потоку у водоносному горизонті.}$$

Результат.

Результат представлено у вигляді матриці: перший стовпчик відповідає за розповсюдження забруднення по осі OY , другий – OX , третій - OZ ; перший рядок дає нам значення концентрації забруднювача на віддалі 1 м від джерела по осі ореолу забруднення, другий – на $\frac{1}{4}$ віддалі до кінця ореолу забруднення, третій – на $\frac{1}{2}$ віддалі до кінця ореолу забруднення, четвертий – на $\frac{3}{4}$ віддалі до кінця ореолу забруднення, п'ятий – на кінці ореолу забруднення; та графіків (рис. 3.4, 3.5).

$$\text{Con}(NT - 1, 0.) \cdot C_0 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot v \cdot \text{rad}^2 \cdot 10^{-3} = \begin{pmatrix} 99.23 & 197.00 & 100.11 \\ 42.52 & 48.51 & 43.41 \\ 30.49 & 31.69 & 28.35 \\ 22.93 & 23.81 & 22.24 \\ 0.00 & 0.13 & 0.00 \end{pmatrix}$$

Для оцінки достовірності розробленої методики та прийнятності застосування на практиці її результатів, на побудовану автором карту рудника «Калуш» із моніторинговою сіткою спостережних свердловин і колодязів та фактичними ареалами засолення підземних і поверхневих вод, нанесено графічну інтерпретацію результатів розробленої методики одержаних за допомогою САПР «Ореол» (рис. 3.6).

Як видно, із побудованої нами карти (рис. 3.6), прогнозні ареали забруднення накладаються на ареали побудовані на основі фактичних даних концентрації підземних та поверхневих вод одержаних від спостережних свердловин та режимних пунктів. При аналізі побудованих фактичних та прогнозованих ареалів їх співпадання знаходиться в межах від 93 до 100 %, що говорить про адекватність розробленої методики для прогнозування масштабів впливу можливого джерела забруднення на водоносний горизонт і на основі її результатів можна розробити максимально прийнятні заходи щодо попередження, локалізації і перехоплення ареалу забруднення.

Розроблена методика не враховує змін рельєфу, а є моделлю ідеального пласта-смуги, що буде враховано автором у наступних наукових розробках.

3.4. Висновки

1 За результатами розробленої моделі розрахунку прогнозування розповсюдження забруднюючих речовин по каналах гідродинамічного зв'язку і САПР „Еколог”, встановлено, що вплив виносу солей із виробок у водоносний горизонт носитиме локальний характер і проявиться лише через 130 років після заповнення каналу зв'язку прісними водами (враховуючи, що приплив розсолів із нього ($V_g = 1 \cdot 10^{-6}$ м/с), а швидкість руху підземних вод 1,5 м/добу). Одержані нами результати підтверджують доцільність застосування регульованого затоплення для ліквідації калійних рудників, з точки зору екологічної безпеки впливу на геологічне середовище.

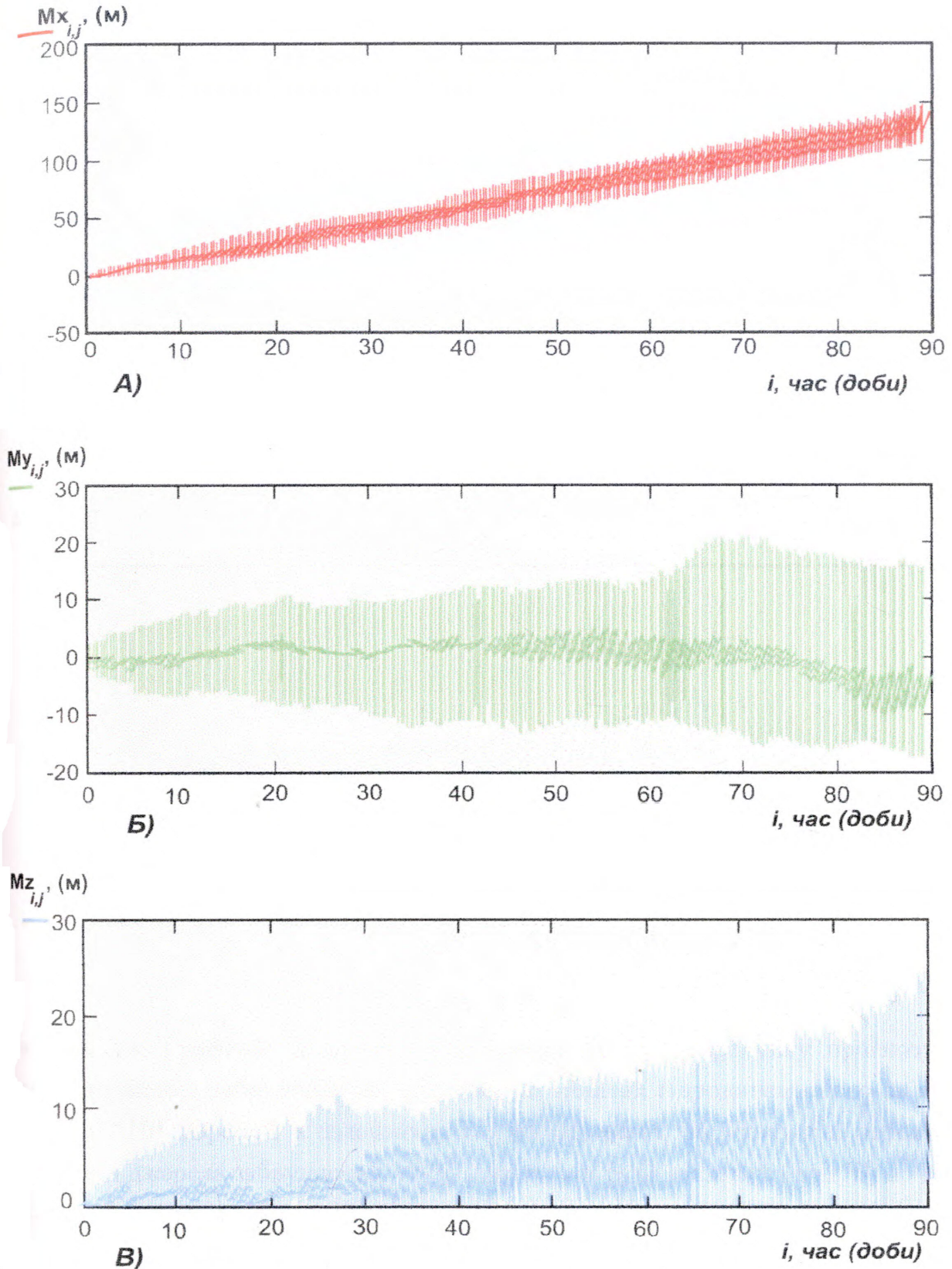


Рисунок 3.5. Графічна ілюстрація результатів мрделі розрахунку прогнозування розповсюдження забруднюючих речовин по каналах гідродинамічного зв'язку та роботи САПР „Ореол”, в залежності від концентрації забруднюючої речовини та часу, що пройшов з початку забруднення. А) за напрямком руху підземних вод; Б) по ширині водоносного горизонту; В) по потужності водоносного горизонту.

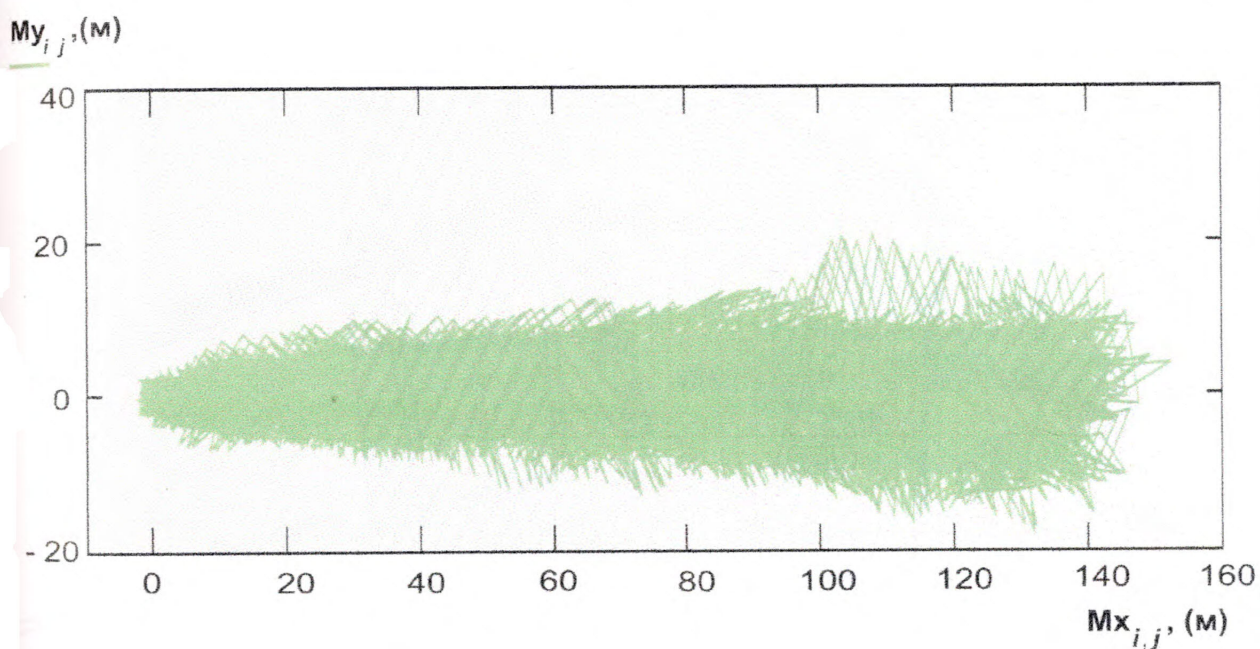
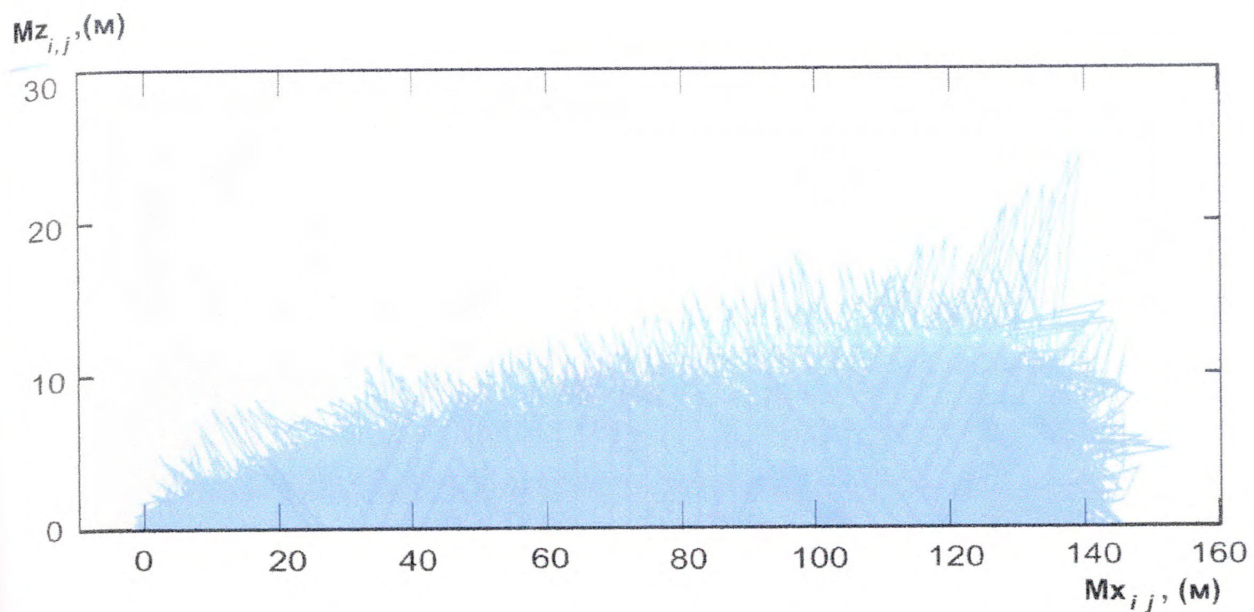
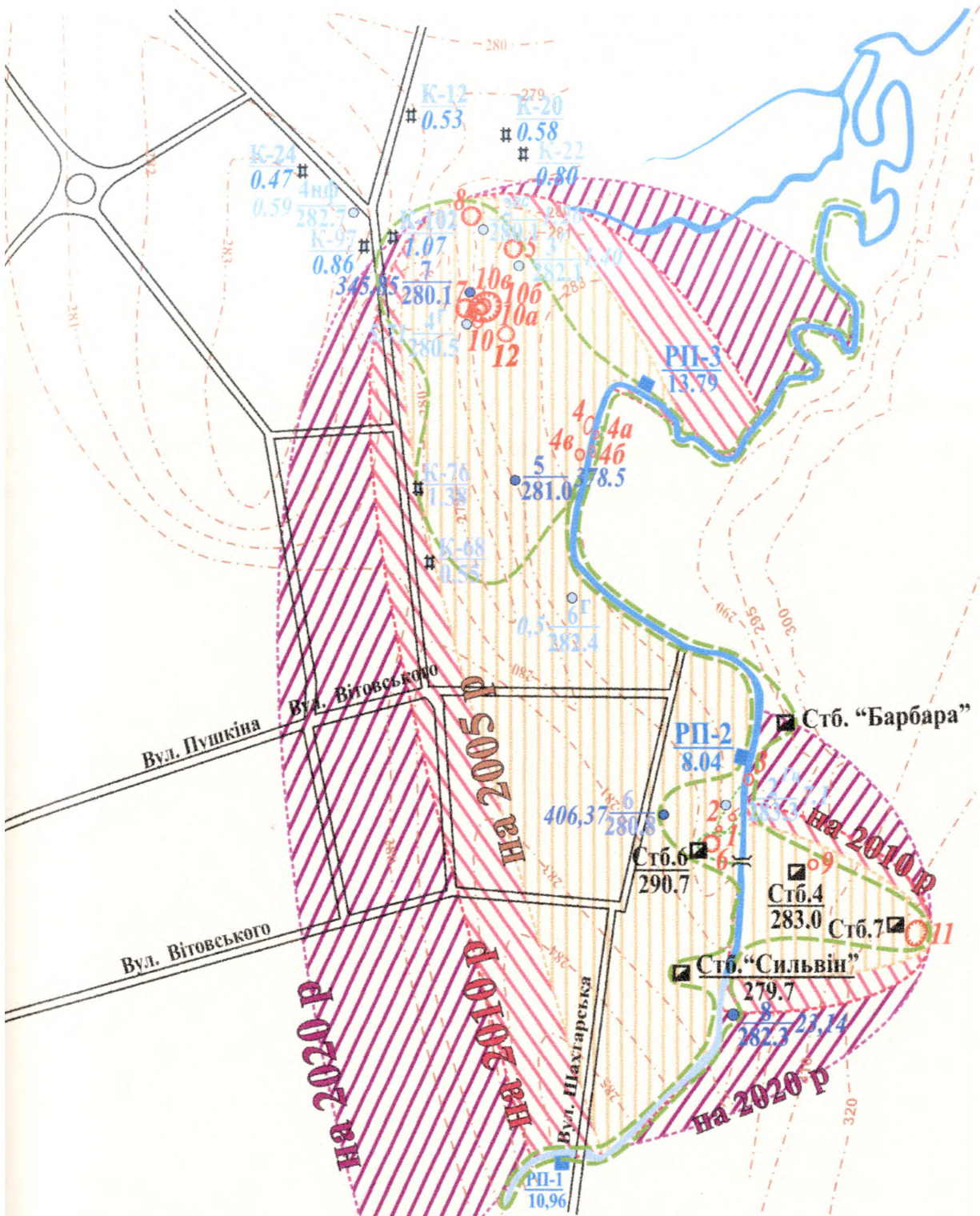


Рисунок 3.4. Графічна ілюстрація результатів моделі розрахунку прогнозування розповсюдження забруднюючих речовин по каналах гідродинамічного зв'язку та роботи САПР „Ореол”, в залежності від концентрації забруднюючої речовини та віддалі від джерела забруднення. А) за напрямком руху підземних вод; Б) по потужності водоносного горизонту.



- | | | | |
|--|---|--|---|
| | Гідрогеологічна св. її номер у чисельнику і абс. відм. (м) підшви галечників у знаменнику | | Провал та його номер |
| | Стовбур шахти з назвою або номером у чисельнику та абс. відм. (м) підшви галечників у знаменнику | | Фактичні ареали засолення підземних вод у 2005 році |
| | Спостережний колодязь та його номер у чисельнику і мінералізація (г/л) підземних вод в знаменнику | | Прогнозні ареали засолення підземних вод на 2005; рік |
| | Спостережна св. пройдена у шахтні виробки затоплених полів та її номер у чисельнику і абс. відм. (м) підшви галечників у знаменнику, 384.88 - мінералізація (г/л) шахтних вод | | на 2010 рік; |
| | Регимний пункт на річці з його номером у чисельнику і в знаменнику - мінералізацією води (г/л) | | на 2020 рік. |

Рисунок 3.6. Фактичні та прогнозні ареали засолення над рудником „Калуш”

2. Розроблені модель тривимірного прогнозування розповсюдження забруднюючих речовин у підземному водоносному горизонті і САПР „Ореол” дозволяють визначити концентрацію забруднюючої речовини у будь-який час і будь-якому місці ареалу забруднення та спрогнозувати форму, і розміри ареалу та їх просторово-часову зміну.

3. Розроблені нами моделі, що реалізуються за допомогою САПР дозволяють відтворити і дослідити особливості розповсюдження забруднення у підземному потоці при мінімальній кількості вихідних даних одержаних натурними спостереженнями. Створені на їх основі прогнози дають можливість підібрати і застосувати конкретні, ефективні природоохоронні заходи і значно зменшити обсяг фінансування натурних спостережень за розвитком процесів забруднення.

РОЗДІЛ 4. ВОДООХОРОННІ ЗАХОДИ В РАЙОНІ ЗАТОПЛЕНИХ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК КАЛІЙНИХ ШАХТ ПРИКАРПАТТЯ

4.1. Загальна характеристика способів захисту підземних та поверхневих вод від забруднення

Для попередження та зменшення впливу наслідків затоплення гірничих виробок високомінералізованими розсолами виконують ряд заходів, які поділяють на профілактичні, локальні та відновлювальні (табл. 4.1 за Фоменко В.І. [114]). Відновлення водоносних горизонтів після забруднення є складною проблемою, яка вимагає великих матеріальних та фінансових видатків, і яку часто важко реалізувати.

При значному накопиченні в водоносному горизонті забруднюючих речовин і малій їх десорбції, а також при низьких фільтраційних властивостях порід час, який необхідний для повного вилучення забруднювачів із порід і підземних вод, може вимірюватись десятками і навіть сотнями років.

У випадках ж, коли джерело забруднення має значну площу, а потужність водоносного горизонту велика, забруднення підземних вод ліквідувати взагалі не вдається, і ця ділянка водоносного пласта, інколи зі значними запасами підземних вод, практично безповоротно втрачається [115].

4.1.1. Профілактичні водоохоронні заходи.

Профілактичні заходи проти забруднення гідросфери мають бути комплексними і охоплювати, як сферу проектування, будівництва та виробництва, так і власне гідрогеологічні аспекти (контроль і спостереження за якістю підземних та поверхневих вод). Заходи щодо охорони водного середовища від виснаження та забруднення (дренажі, екрани з місцевих матеріалів, а також баражні протифільтраційні завіси, перехоплення забруднених вод) здійснюються в першій зоні впливу об'єкту. Перша зона - це область безпосереднього впливу гірничо-видобувного підприємства на геологічне середовище практично співпадає з площею розташування гірничих виробок і споруд.

Таблиця 4.1.

Класифікація способів охорони підземних та поверхневих вод від забруднення та виснаження (за Фоменко В.І.)

Клас	Підклас	Група	Підгрупа
Способи та пристрої для охорони підземних вод від забруднення і території від підтоплення	Запобігання витіканню забруднених вод за допомогою протифільтраційних екранів	Екрани з місцевих матеріалів і відходів виробництва	Використання механічних і фізичних способів одержання екранів: - трамбуванням; - укладанням; - вібрації; - замочування; - кольматації; - вибуху; - термічним впливом; - гідравлічним відмиванням тонких фракцій пульпи
			Використання хімічних та фізико-хімічних способів одержання екранів: - газової силікатизації; - одно- та двофазної силікатизації; - кольматажу; - дифузійного кольматажу
			Використання електрохімічних і електрофізичних способів одержання екранів: - електросилікатизації; - електроосмосу; - електроімпульсної обробки
		Плівкові екрани	Поліетиленові
			Полівінілхлориді
			Бутилкаучукові
			Комбіновані
		Екрани з композиційних матеріалів	Асфальтові; Асфальтово-бетонні; Асфальтовополімербетонні
			Бетонні; Залізобетонні; Азбестоцементні
			Бітумні; Грунтовополімерні
		Комбіновані екрани	Одношарові на дренажній основі
			Двошарові з проміжним дренажним шаром
Плівкові із захисним шаром штучного ґрунту, який піддають літифікації			

Продовження таблиці 4.1.

Клас	Підклас	Група	Підгрупа
Способи та пристрої для охорони підземних вод від забруднення і територій від підтоплення	Дренування забруднених вод	Горизонтальний	Траншейний
			Трубчатий
			Галерейний
		Вертикальний	Дренажні свердловини
			Поглинаючі свердловини
			Свердловини з підвищеною здатністю до водозахоплення
		Пластовий	Стрічковий
			Площинний
		Комбінований	Горизонтальний і вертикальний
			Горизонтальний і промінний
	Вертикальний і промінний		
	Перехоплення потоків забруднених вод і створення умов, які обмежують область впливу забруднення	Баражні завіси	Траншейно-щілинні
			Свердловинно-щілинні
			Блочно-щілинні
			Шпунтові
			Завіси заміщення (шнекові)
		Ін'єкційні завіси	Цементні
			Глинисті
			Силікатні
			Бітумні
			Полімерні
		Гідрозавіси і пневмогідрозавіси	Траншеї
			Вертикальні свердловини
Променеві свердловини			
Комбіновані способи		Завіси і горизонтальні дренажі	
		Завіси і екрани	
		Завіси і вертикальні дренажі	

За площею це зона пов'язана безпосередньо з видобутком і збагаченням корисних копалин. Це зона активного техногенного впливу, яка характеризується чітким та спрямованим техногенним впливом на геологічне середовище.

Друга зона охоплює вплив гірничо-видобувного підприємства на режим, баланс і якість підземних та поверхневих вод навколишніх територій. В загальному

випадку характер і масштаби змін в цій зоні залежать від ступеню впливу на природну обстановку в першій зоні (зниження чи підвищення рівня, величини водовідбору, інтенсивності забруднення і т.п.), від геолого-гідрогеологічних умов, характеру взаємозв'язку підземних і поверхневих вод, клімату та ін. За зовнішню границю другої зони приймається границя, за межами якої зміни геологічного середовища не мають практичного значення [84, 9].

4.1.2. Локальні водоохоронні заходи.

Локальні заходи спрямовані на запобігання подальшого розширення області негативного впливу об'єкту на навколишнє середовище. До локальних заходів, при захисті гідросфери від забруднення, доводиться звертатися у тих випадках, коли за тими чи іншими причинами ділянка водоносного горизонту виявилась вже забрудненою. Сформований у горизонті ареал забруднення навіть після ліквідації джерела забруднення може розповсюджуватися в природному потоці підземних вод у напрямку рік, озер та водозаборів і викликати при цьому їх забруднення.

Локальні заходи, які обмежують просування забруднень у водоносному горизонті від джерела забруднення, можна проводити в залежності від гідрогеологічних умов за допомогою пристроїв для загородження або перехоплення.

Загороджуючі пристрої мають такі ж конструкції, як і протифільтраційні завіси і баражні стінки, що застосовують для профілактики забруднення. Як правило, завіси і стінки мають бути доведені до водотривких порід і лише в особливих випадках можуть пересікати окремі частини водоносного горизонту, наприклад найбільш водопроникні верхні або нижні частини горизонту, по яким розповсюджуються легкі або тяжкі стічні води і т.п., у таких же випадках можуть застосовуватися гідрозавіси із нагнітаючих свердловин, заповнені водою глибокі траншеї і т.п.

Перехоплюючі пристрої мають вигляд контурних, кільцевих, лінійних і інших систем свердловин або горизонтальних дерен, із яких ведеться відкачка підземних вод для створення депресійної воронки на шляху між джерелом забруднення і водозабором, а також рікою і іншими об'єктами, що підлягають захисту.

При створенні перехоплюючих пристроїв зазвичай виникає проблема використання

і скиду відкачуваних забруднених вод. Останні інколи можуть бути використані в технічних цілях, однак подальший скид їх у ємності, з яких можлива їх фільтрація або ріки без відповідної очистки не допустимий. Разом з тим продуктивність необхідних для очистки дренажних вод спеціальних очисних споруд має в багато разів перевищувати продуктивність споруд для очистки власне стічних вод об'єкту, який викликав забруднення підземних вод. Саме цим, частіше за все, пояснюється висока вартість пристроїв для перехоплення в проектах локальних заходів.

Ефективним способом захисту водного середовища від забруднення і виснаження, який спрямований для локалізації або профілактики, є спорудження по периметру впливу джерел забруднення вод баражних протифільтраційних завіс.

Елементами баражної завіси є вузька щілина в ґрунті, яку проходять до підшови водоносного горизонту, з деяким заглибленням останньої у водотривкий горизонт, і заповнюють місцевим слабопроникним ґрунтом. Завіси мають незаперечні переваги перед пластовими екранами, так як для їх спорудження потрібен значно менший об'єм земляних робіт і суттєво знижується розхід гідроізолюючого слабопроникного матеріалу. Крім того, баражні завіси можна споруджувати після спорудження гідротехнічного об'єкту.

Технологія спорудження баражної завіси основана на проходженні траншеї, яка заглиблюється на 2-3 м у водотривкі породи, для геологічних умов Калуш-Голинського калійного родовища такими є породи Галицької серії (рис. 4.1).

По мірі проходження в основу траншеї вкладають підстилаючий шар ґрунту з частинками малих розмірів і обкатаної форми, поліетиленову водонепроникну плівку, елемент, який запобігає руйнуванню плівки в період спорудження екрану, після чого траншея заповнюється суглинками, одержаними при проходженні траншеї і привізними матеріалами, наприклад, для даних умов, породами ГГШ із Домбровського кар'єру, які за водно-фізичними властивостями повинні відповідати наступним вимогам (табл. 4.2).

Нами запропоновано спорудження контурної баражної завіси навколо вже існуючих провалів і виділеного в результаті досліджень ареалу засолення. Для її оцінки скористаємось формулами [116]:

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot K_r \cdot M \cdot \frac{H_v - H_n - I_{пб}}{\ln \frac{R}{r_v} + \beta \frac{L_b}{r_b}}, \quad (4.1)$$

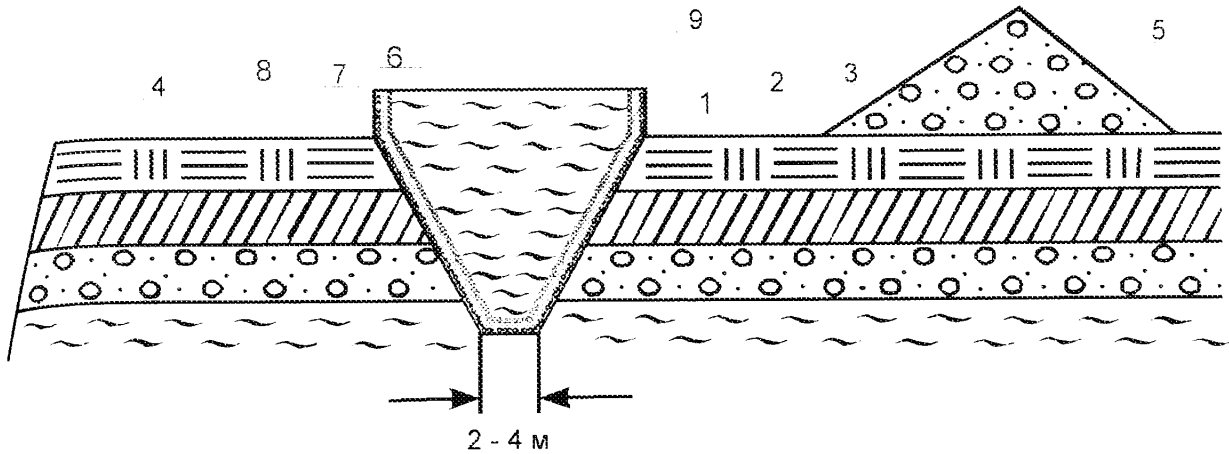


Рисунок 4.1. Схема побудови водонепроникного баражу [13].

1 – насипний ґрунт; 2 – суглинок; 3 – гравійно-галечниковий водоносний горизонт; 4 – горизонт водотривких глин галицької серії; 5 – відвал, одержаний в результаті спорудження баражу; 6 – тіло баражу; 7 – поліетиленова водонепроникна плівка; 8 – підстилаючий шар ґрунту; 9 – елемент, який запобігає руйнуванню плівки в період спорудження екрану.

Таблиця 4.2.

Основні водно-фізичні вимоги до ґрунтів, які використовуються для спорудження тіла баражної завіси (за даними Семчука Я.М.)

Показники	У природному заляганні	Після укладки в траншею
Природна вологість, %	21,5	22,3
Вологість на межі текучості, %	32,80	34,0
Вологість на межі розкачування, %	19,4	17,64
Густина, кг/м ³	1,97·10 ³	1,94·10 ³
Об'ємна вага скелету, кг/м ³	1,6·10 ³	1,59·10 ³
Коефіцієнт пористості	0,68	0,71

$$\beta = \frac{K_r}{K_{\sigma}} \quad (4.2)$$

У формулах (4.1-4.2): Q – фільтраційний розхід, м/добу; H_v , H_n – п'езометричні напори, відповідно у верхньому та нижньому б'єфі, м; M – потужність водоносного горизонту, м; K_r – коефіцієнт фільтрації гравійно-галькових відкладів; K_{σ} – коефіцієнт фільтрації матеріалів баражної завіси; β – відношення коефіцієнту фільтрації гравійно-

галькових відкладів до матеріалу баражної завіси; r_0 , r_0 , R – радіус провалів, баражної завіси, депресії відповідно, м; L_0 – товщина екрануючого шару баражної завіси, м; I_n – початковий градієнт матеріалу баражної завіси ($\approx 0,0$).

Як видно з формули (4.1), фільтраційний розхід буде визначатися значеннями величин, які характеризують потужність водоносного горизонту і властивість глинистого матеріалу баражної завіси, а також товщиною екрануючого шару баражної завіси, яка за умов проходки баражної траншеї рівна 2 метрам.

Величину припливу на одиницю довжини баражної завіси знаходимо [116]:

$$q_{1-м} = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot r_0} \quad (4.3)$$

Глибина траншеї, виходячи з гідрогеологічних умов рудника „Калуш” Калуш-Голинського родовища, в районі розповсюдження ареалу забруднення, буде складати від 10 до 12 м, ширина її залежить від типу механізмів, за допомогою яких буде проводитись проходження траншеї. Радіус баражу вибирають з таким розрахунком, щоб оконтурити ареал засолення водоносного горизонту в даному районі, перекрити підрусловий потік р. Сівки. Для збереження тіла баражу від розмиву водами р. Сівки необхідно її русло відвести і забрати в труби. Моніторинг за змінами гідрогеологічних процесів та забрудненням в оконтуреній зоні слід проводити геофізичними методами розвідки, зокрема електророзвідкою, а також щоквартальним відбором проб із розміщених в зоні впливу спостережних гідрогеологічних свердловин [9].

4.1.3. Відновлювальні водоохоронні заходи.

Відновлювальні заходи проводять для ліквідації джерел забруднення і відновлення природної якості вод та їх запасів. Відомі такі способи ліквідації джерел забруднення: відкачування всього об'єму забруднених вод через дренажні свердловини, інтенсивне промивання водоносного пласта за допомогою поєднання нагнітання і відкачування води або спеціальних розчинів (фізико-хімічний вплив на пласт) через обладнані свердловини.

Цю задачу реально вирішити лише при невеликих розмірах джерела і ареалу забруднення та особливо сприятливих гідрогеологічних умовах. Чимале значення при цьому мають хімічний склад і форма знаходження забруднюючих речовин у водоно-

сному горизонті. В більшості випадків такі відновлювальні заходи є дорогими, особливо якщо врахувати необхідність наступної очистки вилучених забруднених вод. Крім того, час, необхідний для повного очищення водоносного горизонту, дуже великий. Можна рахувати, що відновлювальні заходи доцільно проводити лише в рамках необхідних заходів для локалізації джерела та ареалу забруднення, коли основною метою відкачування є створення депресії [117, 28].

Тому головну увагу слід приділяти профілактичним заходам, які дозволяють на основі прогнозних даних розробити локальні заходи спрямовані на попередження та оцінку подальшого розповсюдження негативного впливу забруднюючих речовин.

Аналіз патентних [118] та літературних [119-126] джерел показав, що розробка принципово нових і удосконалення відомих технічних способів здійснюється на основі використання природних факторів та явищ, гідродинамічних ефектів при фільтрації рідини в породах, врахування властивостей нових синтетичних матеріалів, їх дисперсії, полімерних плівок, застосування пневмокольматації, фізико-хімічних, електрохімічних і електрофізичних процесів, відходів виробництва, прогресу в області створення нових механізмів і машин. Їх класифікація наведена в таблиці 4.1.

4.2. Спеціальні технічні водоохоронні заходи

Проблема скиду та утилізації високомінералізованих розсолів є актуальною не лише в Україні, але й в усьому світі в зв'язку з: великими об'ємами дренажних високомінералізованих вод, що відкачуються при розробці родовищ твердих корисних копалин; надходженням супутніх високомінералізованих вод при видобутку нафти та конденсату; переробкою та видобутком солей; ліквідацією відпрацьованих виробок і шахт насиченими розсолами або самозатопленням останніх підземними водами, ці води, з часом, у зв'язку з конвергенцією гірничих виробок, починають витискатися у вищезалягаючі водоносні горизонти і тим самим забруднюють їх і т.п.

За прогнозними даними, у західному регіоні України, внаслідок розчинення солей у солевідвалах, акумуляції атмосферних опадів у шламонакопичувачах і інших ємно-

стях накопичилось більше 25 млн. м³ надлишкових розсолів, які не використовуються в технологічному циклі збагачення руди [33]. У результаті інфільтраційних втрат цих розсолів і потрапляння їх у місцеву гідросітку, в районах діяльності гірничо-видобувних підприємств проходять незворотні процеси засолення ґрунтів, поверхневих та підземних вод, що приводить, у результаті, до порушення екологічної рівноваги і зміни природного ландшафту.

Складування таких об'ємів забруднених вод у поверхневих накопичувачах практично немлжливе, а скид неочищених вод у поверхневу гідросітку приводить до значного забруднення поверхневих та часткового підземних вод, оскільки об'єми скиду стають співрозмірними з витратами крупних рік. Профілактичні заходи (дренажі, екрани з місцевих матеріалів, протифільтраційні завіси, баражі, перехоплення забруднених вод) лише пом'якшують гостроту проблеми, але не запобігають їй. Тому до активних водоохоронних заходів все частіше доводиться включати підземне захоронення некондиційних вод, інколи поєднуючи його із додатковими заходами профілактичного і активного характеру.

Дана проблема є особливо актуальною для калійної промисловості України, так як однією з особливостей розробки калійних руд є відносно низький вміст компонента К₂О і, як наслідок, великий об'єм відходів при переробці — 0,6-0,7 т на 1 т руди. Що веде до накопичення солевміщуючих порід та розсолів у спеціально створених на земній поверхні спорудах.

Впродовж багатьох десятиків років вирішується проблема утилізації розсолів як виробництва, так і атмосферного походження на концерні ВАТ „Оріана”, де загальна площа поверхні хвостосховищ, відвалів і акумулюючих басейнів дорівнює 500 га, при середньорічному нормативі атмосферних опадів 740 мм надлишкових розсолів утворюється до 3,5 млн. м³. Із них приблизно 0,5 млн. м³ випаровуються в атмосферу, 1,5 млн. м³ солених вод скидаються із дренажної траншеї в ріку Сівку, більше 1 млн. м³ розсолів закачують у вироблений простір рудника „Ново-Голинь”.

Виробки рудника „Ново-Голинь” через 3 - 4 роки буде затоплено, на два роки може вистачити об'єму виробок рудника „Голинь”, а потім із ще більшою гостротою постане проблема утилізації закачуваних розсолів.

Подібний стан маємо на Стебницькому родовищі. Переробка полімінеральних руд тут також супроводжувалась великою кількістю промислових стічних вод високої концентрації. Частина їх після освітлення використовувалась у технологічному процесі, а решта – накопичується у хвостосховищі. Останнє введене в експлуатацію в 1966 році, займає площу 65 га при ємності близько 7 млн. м³.

Великомасштабне сольове забруднення поверхневих і підземних вод пов'язане з аварією на хвостосховищі у вересні 1983 року, коли, внаслідок прориву дамби, в докільля потрапило 5 млн. м³ стічних вод з мінералізацією 250 г/дм³. Останні, завдяки місцевій гідросітці, досягли р. Дністер у районі м. Миколаєва і забруднили Ново-Дністровське водосховище. Під час аварії загинуло 920 т товарної риби і 1300 т мальків. Безпосередньо затопило стоками криниці сіл і понижені форми рельєфу, утворились розсолні калюжі і водоймища, що служили джерелами засолення ґрунтових та підземних вод протягом 1,5-2,5 років після аварії [127].

Утилізацію розсолів можна провести технічними і технологічними методами. Технічні методи: скид розсолів у глибокі поглинаючі горизонти; скид у поверхневі водоноски; закачування у відпрацьовані гірничі виробки; закачування у продуктивні пласти через нагнітальні свердловини для підвищення нафто- і газовіддачі пластів. Та застосування вищезазначених методів лише тимчасово вирішує проблему утилізації і їх слід розглядати, як допоміжні або тимчасові до розробки та впровадження технологічних.

Перевага технологічних методів у тому, що в результаті їх застосування вирішуються не лише екологічні питання, але й відходам виробництва надається інший статус – техногенна сировина.

Утилізація без очищення можлива для слабомінералізованих або практично прісних дренажних вод. Такі води можна використовувати для технічного водозабезпечення в системах охолодження і т.д., якщо це не суперечить вимогам до якості води для тієї чи іншої мети. Відомі випадки використання в технологічному циклі і високомінералізованих вод. Так, частина техногенних розсолів із шламосховищ калійних підприємств традиційно подається для зворотного розсолостачання збагачувального виробництва, при цьому значно економиться свіжа вода для приготування розсолів [128].

4.2.1. Метод розрахунку допустимих об'ємів відведення розсолів у маловодні річки, як вимушений і тимчасовий захід їх знешкодження.

Сьогодні широкого застосування набув спосіб скиду надлишкових розсолів у водойми і ріки. Наприклад, у Німеччині розсоли скидають у ріки Верра, Фульда, Заала; у Франції - у ріку Рейн; у Росії - у ріки Зиряновка, Чорна, Ленва, Кама, ручаї Васькін Лог і Східний Лог. Такий спосіб утилізації застосовують також калійні підприємства США і Канади, не винятком є і Україна.

Основна нормативна вимога при скиданні розсолів у водні об'єкти - вміст солей не повинен перевищувати 1 г/дм^3 , що досягається при розбавленні водою у співвідношенні $170\text{-}350 \text{ м}^3$ води на 1 м^3 розсолів [29, 129].

Розроблений автором „Метод розрахунку допустимих об'ємів відведення розсолів у маловодні ріки” ілюструється на прикладі скиду розсолів калійного виробництва Калуш-Голинського родовища у р. Сівку.

У межах Калуського геоекологічного району протікають маловодні річки і потічки. Найбільша з водних артерій - ріка Сівка, що є правобережною притокою р. Дністер. Її довжина 76 км, середній нахил русла – $34,8 \text{ м/км}$, площа водозбору – 595 км^2 , - має в середньому дебіт $3600 \text{ м}^3/\text{год}$. У період повені дебіт збільшується у кілька разів.

Річка Сівка має статус рибогосподарської категорії водокористування. У цьому випадку правилами охорони вод передбачено, сума відношень концентрацій кожної із речовин до відповідних ГДК не повинна перевищувати одиницю [130]:

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{ГДК_i} \right) \leq 1 \quad (4.5)$$

У нашому випадку:

$$\left(\frac{C_{Ca} (60 \text{ мг/дм}^3)}{ГДК_{Ca} (180 \text{ мг/дм}^3)} \right) + \left(\frac{C_{Mg} (10 \text{ мг/дм}^3)}{ГДК_{Mg} (40 \text{ мг/дм}^3)} \right) + \left(\frac{C_K (10 \text{ мг/дм}^3)}{ГДК_K (50 \text{ мг/дм}^3)} \right) +$$

$$+ \left(\frac{C_{Na} (60 \text{ мг/дм}^3)}{ГДК_{Na} (120 \text{ мг/дм}^3)} \right) + \left(\frac{C_{Cl} (62 \text{ мг/дм}^3)}{ГДК_{Cl} (300 \text{ мг/дм}^3)} \right) + \left(\frac{C_{SO_4} (31 \text{ мг/дм}^3)}{ГДК_{SO_4} (100 \text{ мг/дм}^3)} \right) = 1,8 > 1$$

тобто вже в фоновому створі, в природному стані ріки, норматив (4.5) не дотримується. Вільна асимілююча здатність по цьому показнику відсутня.

Лімітуючими показниками хімічного складу води в р. Сівці є: хлориди (300

мг/дм³); сульфати (100 мг/дм³); загальний солевміст (1000 мг/дм³). Фонова концентрація: хлоридів (62 мг/дм³); сульфатів (31 мг/дм³); загальний солевміст (167 мг/дм³).

Середній хімічний склад розсолів, що планується скидати у р. Сівку: хлориди (104000 мг/дм³); сульфати (35000 мг/дм³); загальний солевміст (250000 мг/дм³).

Оскільки хлориди є лімітуючим показником, по якому потрібна найбільша кратність розведення до ГДК, то регульований скид можна проводити лише з урахуванням вмісту хлоридів.

При існуючих витратах води асимілююча здатність р. Сівки вже повністю вичерпана наявними неконтрольованими скидами. Тому скид можливий лише в умовах проходження весняно-літніх повеней і паводків. Якщо витрата води у ріці становитиме від 20000 м³/год і більше, то неконтрольовані скиди будуть знівельовані річковою водою і не вплинуть на її хімічний склад, тобто їх концентрації наблизяться до фонових. І вже за таких умов можна буде проводити контрольований скид розсолів.

У зв'язку з коливанням асимілюючої здатності р. Сівки скидання розсолів повинно керуватись, шляхом цілеспрямованої зміни витрати скидуваних розсолів.

Частота розрахунку необхідної витрати розсолів – один раз на добу, з урахуванням даних ранкових спостережень за витратою води у ріці та хімічних аналізів проб води. При різкій зміні наводненості ріки і вмісту лімітуючих показників хімічного складу річкової води, частота регулювання подвоюється з використанням даних як ранкових, так і вечірніх спостережень витратомірних постів і хімічних аналізів проб води.

При розрахунку відведення стічних вод у водний потік користуються таким рівнянням (для консервативних речовин, що не деструктують) [130]:

$$g = \gamma \cdot \left(\frac{Q}{n} \right), \quad (4.6)$$

де g - витрата стічних (скидуваних) вод, м³/год; Q - витрата води в річці, м³/год; n – кратність розведення стічних вод річковою водою, разів; γ - коефіцієнт змішування.

Враховуючи інтенсивне перемішування водної маси в річці, яке зумовлене значними швидкостями водного потоку, невеликими глибинами і значною нерівністю русла та дна, прийемо допущення про майже повне перемішування річкових і стічних (скидуваних) вод у контрольному створі; тобто коефіцієнт γ буде рівним 0,75.

Кратність розведення одержуємо за формулою [130]:

$$n = \frac{(C_{ст} - C_{ГДК})}{(C_{ГДК} - C_{фон})}, \quad (3.7)$$

де $C_{ст}$ - концентрація забруднюючої речовини в стічних водах, мг/дм³; $C_{фон}$ - концентрація забруднюючої речовини в річковій воді (фонова), мг/дм³; $C_{ГДК}$ - граничнодопустима концентрація забруднюючої речовини, мг/дм³.

Отже, кратність розведення для розсолів з концентрацією 250 г/дм³ становитиме:

$$n = \frac{(104000 \text{ мг/дм}^3 - 300 \text{ мг/дм}^3)}{(300 \text{ мг/дм}^3 - 62 \text{ мг - дм}^3)} = 436 \text{ (разів для хлоридів)},$$

для розсолів з концентрацією 150 г/дм³:

$$n = \frac{(80000 \text{ мг/дм}^3 - 300 \text{ мг/дм}^3)}{(300 \text{ мг/дм}^3 - 62 \text{ мг - дм}^3)} = 335 \text{ (разів для хлоридів)}$$

Якщо необхідно визначити, яка максимальна концентрація речовини встановиться в ріці при даних g , Q , $C_{ст}$, то рівняння запишеться так (при $\gamma = 0,75$):

$$C_{ГДК} = \frac{(g \cdot C_{ст} + 0,75 \cdot Q \cdot C_{фон})}{g + 0,75 \cdot Q}, \quad (4.8)$$

Результати розрахунку за розробленим методом відведення розсолів для р. Сівки при концентрації забруднюючої речовини в стічних водах 150 г/дм³ і 250 г/дм³ та зміні витрат води в діапазоні від 1000 до 1000000 м³/год наведено в табл. 4.3 та додатку Р.

Отже, для зменшення антропогенного впливу на гідросітку під-час відведення розсолів у маловодні ріки, випуск розсолів повинен бути: розосередженим (краще суміші розсолів з водою); керованим, шляхом спостережень за витратою і хімічним складам води у ріці, на основі яких корегується зміна витрати розсолів, які скидають [8, 131].

4.2.2. Захоронення промислових стоків у підземні водоносні горизонти.

Для надлишкових розсолів, які містять у відносно невеликих об'ємах значну кількість солей (до 250-360 г/дм³), поки що не впроваджено достатньо ефективних і економічно прийнятних методів їх утилізації. Особливе місце займає проблема закачування промстоків у продуктивні горизонти для підтримання пластового тиску, що може значно підвищити ефективність експлуатації нафтових родовища. Тому за-

Таблиця 4.3.

Результати розрахунку можливих об'ємів відведення розсолів у р. Сівка (склала Малишевська О.С.)

Витрати води, м ³ /год	Об'єм розсолів (г), який можна скинути в річку при концентрації 250 г/дм ³ , м ³			Об'єм розсолів (г), який можна скинути в річку при концентрації 150 г/дм ³ , м ³		
	у годину	у добу	у рік	у годину	у добу	у рік
1000	1,19	41,3	15074,5	8,06	193,43	70603
5000	8,6	206,42	75344	11,2	268,7	98059,7
10000	17,2	412,84	150688	22,4	537,4	196119
20000	34	816	301376	44,78	1074,6	392238
50000	86	2064		111,94	2686,6	
100000	172	4128		223,88	5373	
300000	516	12384		671,64	16119	
500000	860	20643		1119,4	26866	
1000000	1720	41280		2238,8	53731,2	

хоронення промислових стоків у підземні водоносні горизонти що не є об'єктами для водозабезпечення, бальнеологічних та інших цілей, розглядається в якості тимчасового чи допоміжного природоохоронного заходу, який спрямований перш за все на охорону водних об'єктів до впровадження способів та пристроїв з переробки промстоків.

Строго обґрунтованих заходів, які повністю виключають забруднення навколишнього середовища при ліквідації промислових відходів, поки що на виробництвах України не впроваджено. Утилізація найбільш небезпечних та шкідливих стоків на даному етапі проводиться шляхом: випаровування (із наступним складуванням твердих відходів у спеціальні „могильники”, що розташовують у водонепроникних товщах – глинах або соляних пластах) або скид у підземні поглинаючі водоносні горизонти у рідкому вигляді. Обидва способи слід розглядати, як вимушене рішення, так як вони не гарантують абсолютної санітарної безпеки, хоча у порівнянні зі скидом у ріки та озера і є значно меншим „злом”.

У зв'язку із розвитком промисловості та посиленням контролю за охороною поверхневих вод, захоронення промислових стоків у підземні водоносні горизонти одержало визнання, як в Україні (Первомайськ, Домброво), так і в світі, особливо широко застосовується він у країнах (США, Німеччині, Росії). На Домбровському кар'єрі (Ка-

луш-Голінське родовище калійних солей) було споруджено дві свердловини 1-Р, 2-Р (запроектовано 3-Р) на глибину до 2000 м, побудовано насосну станцію. Максимальна потужність закачування суміші розсолів і води (3:1) була 1000 м³/добу. Згодом закачування було припинено, а насосну станцію демонтовано в зв'язку із високою собівартістю закачуваних розсолів. Та на даному етапі можна рекомендувати відновити закачування у зв'язку із загостренням проблеми утилізації розсолів, про що більш детально було сказано вище, крім цього, в Домбровському кар'єрі сконцентровано 6,5 млн. м³ розсолів із мінералізацією 370 г/дм³, ця величина кожний рік зростає на 1,5 млн. м³ і після заповнення порожнин відпрацьованих калійних рудників вони будуть стравлюватись у поверхневі та підземні води в ще більших об'ємах [132 - 134].

Із санітарно-гігієнічних позицій, захоронення промислових стоків у зону інтенсивного водообміну, де підземні води на значній площі або на тривалий час зазнають забруднення, досить небезпечне. Менш уразливі прісні підземні води і зв'язані з ними поверхневі водотоки у випадку захоронення стоків у глибокі горизонти, що надійно зольовані водотривкими породами.

Переваги підземного захоронення заключаються в: можливості надійного і безпечного (за санітарними вимогами) захоронення, коли захоронення проводиться в сприятливих геолого-гідрогеологічних умовах, яке виключає скид стоків у поверхневі водойми і водотоки; відсутності необхідності ретельного очищення та знешкодження стоків; економічній ефективності (відносно невисока вартість закачування стоків).

До недоліків відносяться: проблеми закачування великих об'ємів стоків (більше 5 тис. м³/добу); складність або інколи і неможливість закачування деяких видів стоків внаслідок специфіки їх фізико-хімічних властивостей (високого вмісту зважених частинок, жирових речовин, незворотних хімічних реакцій із породою і пластовою рідиною і т.д.); неможливість проведення в окремих випадках контролю за розповсюдженням у водоносному горизонті забруднюючих речовин і проблеми, які виникають із технічним питанням проведення захоронення стоків. Фізико-хімічні та механічні процеси взаємодії закачуваних стоків із породою і пластовою рідиною приводять, у багатьох випадках, до зміни фільтраційних властивостей порід пласта-колектора.

Тому питання підземного захоронення стічних вод мають вирішуватись у кожному випадку диференційовано із врахуванням геолого-гідрогеологічних, санітарних,

фізико-хімічних, технічних і економічних аспектів цієї проблеми.

Підземне захоронення стоків можливе за наявності пласта-колектора із високими поглинаючими властивостями (приймальність) та надійними умовами його ізоляції (відсутність взаємозв'язку із вищезалягаючими горизонтами), що запобігають забрудненню вищезалягаючих водоносних горизонтів і виходу стоків на денну поверхню.

Таким чином, можна відзначити наступні основні критерії для виділення перспективних пластів-колекторів: 1) горизонт не має містити прісних, придатних для господарсько-технічних потреб, а також бальнеологічних і промислових вод, (закачування стоків можливе тільки в мінералізовані води, що непридатні для практичного використання); 2) пласт-колектор у межах досліджуваної площі немає містити корисних копалин та експлуатуватися; 3) пласт-колектор має володіти досить високою водопровідністю, яка забезпечить економічно ефективний скид заданої кількості стоків; 4) має бути виключено кольматацію поглинаючого горизонту механічними домішками стоків та забезпечено мінімальне утворення нерозчинних осадів за рахунок взаємодії промстоків із пластовими водами або гірськими породами; 5) необхідна надійна ізоляція пласта слабопроникними породами (глинами, мергелями, гіпсами, аргілітами, солями) від вищезалягаючих водоносних горизонтів, перекриваючий водотривкий пласт має бути витриманий по площі; 6) пласт у радіусі 20-30 км (краще взагалі) немає виходити на денну поверхню або мати зв'язку із рікою; 7) вище пласта-колектора має бути буферний водоносний горизонт [3, 135-138].

У межах територій, сприятливих з точки зору геологічної будови для підземного захоронення стоків, мають бути розвинуті осадові або вулканогенно-осадові відклади, які мають спокійні умови залягання. Наявність тектонічних порушень, особливо диз'юнктивних, ускладнює процес захоронення, так як сприяє перетіканню пластових вод із одного водоносного горизонту в інший. Найбільш сприятливі для захоронення великі площі платформ і краєвих прогинів. Гірничо-складчасті області, що характеризуються складними умовами залягання і високим ступенем метаморфізації порід, що їх складають, несприятливі для таких цілей. Виключення можуть складати окремі міжгірські та передгірські впадини.

Для захоронення використовують водоносні горизонти, які приурочені до зони застійного режиму або, в окремих випадках, сповільненого водообміну. Характерною ознакою таких водоносних горизонтів є підвищена мінералізація пластових вод і

невеликі швидкості природного руху.

Можливість захоронення стоків за наявності глибокого водоносного горизонту-колектора лімітується його глибиною залягання та фільтраційними властивостями, які визначають приймальність свердловини. Глибина залягання водоносного горизонту є суттєвим фактором при визначенні можливості захоронення. Вона має, з одного боку, забезпечити санітарну безпеку захоронення, а з іншого – можливість технічно здійснити захоронення. Виходячи із аналізу зміни фільтраційних властивостей порід із глибиною, характеру вертикальної гідрохімічної зональності та світового досвіду підземного захоронення, оптимальним інтервалом глибин для підземного захоронення промислових стоків є глибини від 500 до 1700 м [139]:

Приймальність пласта-колектора і особливо стабільність приймальності у часі залежать від фільтраційних властивостей водоносного горизонту та стану привибійної зони, а також, від потужності пласта і тиску нагнітання. Основним показником нормальної роботи поглинаючої свердловини служить стабільність її прийому і тиск на усті.

Проникність порід глибоких горизонтів у більшості випадків знаходиться в межах від 10^{-1} до 2 мкм^2 і в середньому складає $(3-7) \cdot 10^{-1} \text{ мкм}^2$ (проникність в 1 мкм^2 приблизно відповідає коефіцієнту фільтрації $k = 0,001 \text{ м/добу}$). Для оцінки у першому наближенні можливої приймальності пласта-колектора, тобто розхід рідини яку може прийняти пласт через одну свердловину, скористаємось залежністю [138]:

$$Q = 0.5 \cdot k \cdot m \cdot \Delta H \quad (4.9)$$

де Q – розхід закачуваної рідини (приймальність), $\text{м}^3/\text{добу}$; k – коефіцієнт фільтрації, м/добу ; m – потужність горизонту, м ; ΔH – надлишковий напір (або тиск) у нагнітальній свердловині, м .

Формула одержана із відомого виразу для неусталеного руху в необмеженому пласті при $a = 10^5 \text{ м}^2/\text{добу}$ і $t = 10^4 \text{ добу}$ (a – коефіцієнт п'єзопровідності; t – час) [139].

Беручи до уваги проникність порід глибоких горизонтів $1-1,5 \text{ мкм}^2$, ефективної потужності пластів-колекторів $30-50 \text{ м}$ та тиску нагнітання не більше $2020 - 3030 \text{ кПа}$ (щоб уникнути порушення ізоляції перекриваючих порід), одержимо, що приймальність глибоких пластів-колекторів не перевищить $3-5 \text{ тис. м}^3/\text{добу}$, а в середньому – $500-1000 \text{ м}^3/\text{добу}$. Тому, для калійної промисловості західного регіону України, де щодоби утворюється високомінералізованих стоків $4 \text{ тис. м}^3/\text{добу}$, необхідно пробу-

рити 13-15 глибоких свердловин, не враховуючи резервних.

Для Калуш-Голинського калійного родовища, із врахуванням його геологічних та гідрогеологічних умов, автором розроблено технологічну схему захоронення високо-мінералізованих розсолів (рис. 4.2). На основі виділених, науковцями НДІ «Галургія», перспективних для скиду розсолів підземних поглинаючих горизонтів та виконаних розрахунків їх приймальності, автором проведено розрахунок масштабів і швидкості розповсюдження у поглинаючому горизонті ореолу закачаних стоків [140, 141].

4.2.2.1. Коротка геолого-гідрогеологічна та тектонічна характеристика досліджуваного району (складена на основі даних НДІ «Галургія»).

Розглядуваний район відноситься до Передкарпатського крайового прогину. За структурними особливостями (з огляду на тектоніку району) для підземного скиду розглянемо лише Зовнішню зону прогину, де розвинуті структури платформового типу зі спокійним заляганням порід і витриманістю горизонтів (як фаціально, так і по потужності) на широкій площі.

Внутрішня зона, що характеризується дуже складною тектонікою, значною кількістю тектонічних порушень та невитриманістю колекторних властивостей порід і обмеженістю пластових водотривких систем є мало перспективною для скиду промислових стічних вод.

На основі узагальнення фактажу по геології району та прилеглих територій виявлено два перспективних, для скиду стоків, водоносних горизонти: Верхньоюрський, складений тріщинуватими, кавернозними вапняками потужністю більше 100 м і Кампанським (верхня крейда), складений дрібнозернистими слабозцементованими пісковиками потужністю 80-250 м. Вказані горизонти вскриті чисельними глибокими розвідувальними та газовими свердловинами.

Кампанський горизонт витриманий по потужності та літологічному складу і має широке розповсюдження, прослідковується у вигляді смуги шириною 12-14 км із південно-сходу від Богородчан на північний-захід до Дашави. У районі Богородчан і Дашави пісковики Кампану розмиті. Загальна протяжність горизонту складає близько 70 км.

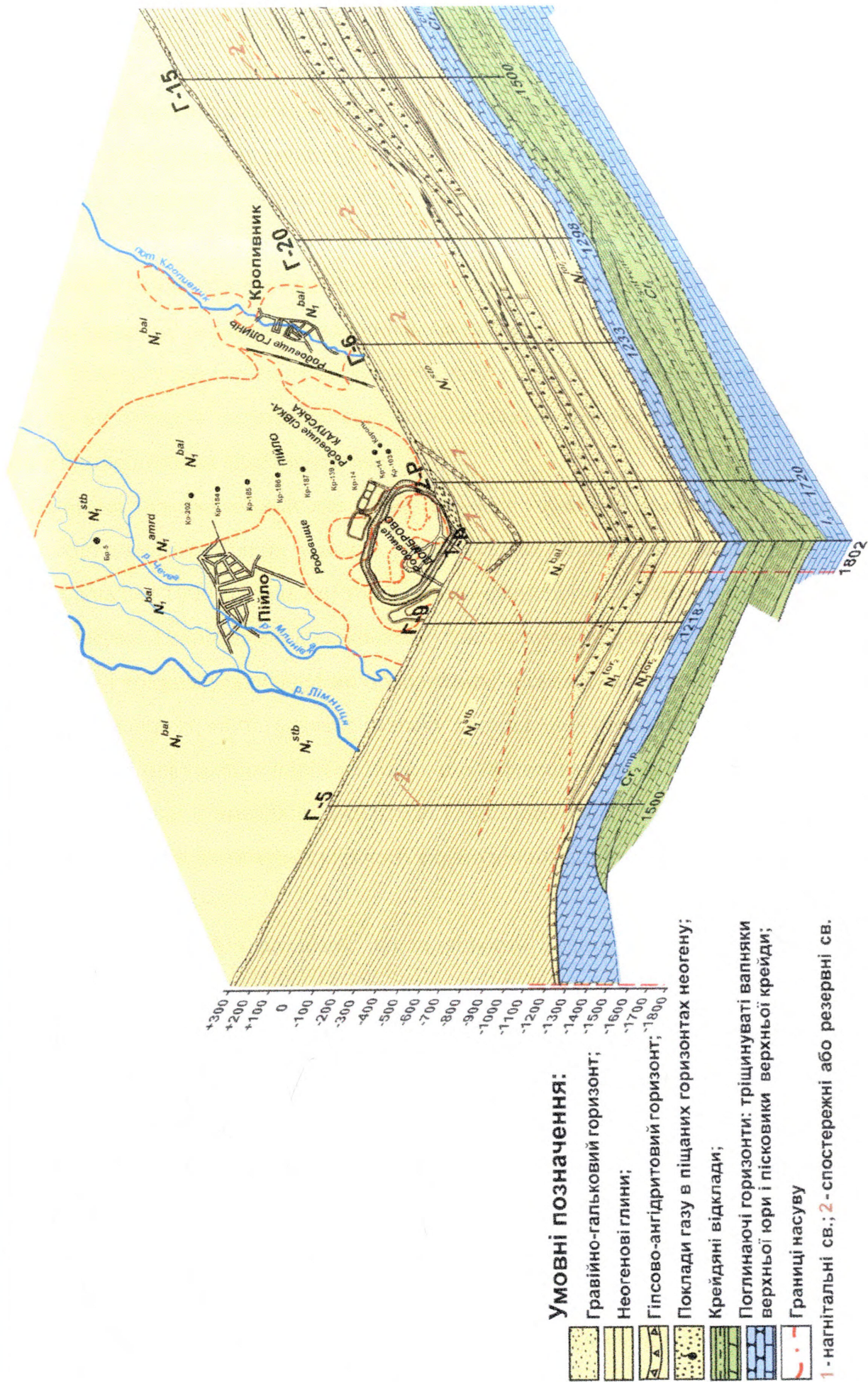


Рисунок 4. 2. Принципова схема захоронення розсолів у глибокі водоносні горизонти

Межі Верхньоюрського горизонту в основному співпадають із межами Кампанського горизонту. У районі Богородчан кавернозні вапняки Ставчанської свити виклинюються. Про розповсюдження горизонту на північний-захід від Дашави відомості відсутні. Для розрахунку умовно проводили північно-західну межу Верхньоюрського горизонту у районі Дашави (як і для Кампана). Глибина залягання Верхньоюрського горизонту більше 1500 м, Кампанського – 1000 м. Вищезалягаюча товща неогенових порід складена, переважно, глинистими породами і являє собою надійний екран, який гарантує безпечність захоронення промстоків у надрах.

Верхньоюрський горизонт не відрізняється постійністю фільтраційних властивостей, так як поряд із зонами, що володіють високою водопровідністю є зони із низькими фільтраційними властивостями.

Найбільш перспективний для скиду стоків є горизонт Кампанських пісковиків, колекторні властивості яких, у межах розглядуваної площі, є витримані.

Потужна (до 1000 м і більше) товща неогенових порід, що перекривають Кампанський горизонт і складених, в основному, глинистими не фільтруючими породами із рідкісними і тонкими прошарками обводнених, місцями газоносних пісковиків, є надійним водоупором, який гарантує безпеку захоронення розсолів у надрах.

Тектонічні порушення порід мезозою, що зафіксовані на ряді площ, внаслідок незначної (у більшості випадків) амплітуди і повздовжнього (північно-західного) простягання не здійснюватимуть суттєвого екрануючого впливу під-час закачки стоків у поглинаючий горизонт.

Глибинні тектонічні розломи, що відділяють Зовнішню зону від Внутрішньої (Стрийський) і Зовнішню зону від Російської платформи (Калуський), а також більш дрібні тектонічні порушення, не можуть служити провідниками стоків або відтискуваних при закачуванні стоків підземних високомінералізованих вод на поверхню за наступними причинами:

1). Стрийський розлом зафіксовано сейсмозвідкою лише у породах мезозою, вище залягає потужна (до 1200 м) водотривка товща насунутого комплексу порід. Калуський скид, не дивлячись на велику амплітуду, також не прослідковується до поверхні, і перекритий товщею глинистих порід неогену потужністю у кілька сотень метрів. Більш дрібні скидові порушення прослідковується тільки у породах мезозою і у са-

мих низах Верхньотортонських відкладів;

2). Крім того, у верхній своїй частині тектонічні порушення переходять, як правило, у флексури, тобто приймають форму колінчастого вигину пластів без їх розриву;

3). Про закритість надр у межах розглядуваної території також свідчить наявність газових покладів у піщаних горизонтах неогену (Дашави. Кадобно. Гриніва).

4.2.2.2. Розрахунок промислового закачування розсолів у Кампанський поглинаючий горизонт (написано за матеріалами наукових звітів НДІ «Галургія»).

Свердловину 1-Р було пробурена у вересні 1968 р при вибої 1802 м., а у березні 1970 р було завершено буріння другої поглинаючої свердловини – 2-Р.

Вихідні дані для розрахунків: Об'єм закачуваних розсолів - $Q = 685 \text{ м}^3/\text{добу}$; питома вага розсолів - $\rho_{\text{розс}} = 1,25 \text{ г/см}^3$; питома вага пластової води - $\rho_{\text{пл. вод}} = 1,06 \text{ г/см}^3$; в'язкість розсолів при 20°C - $\mu_{\text{розс.}} = 2,8$ сантипуаза; коефіцієнт проникності - $K_{\text{п}} = 0,09$ дарси; коефіцієнт п'єзпровідності - $\gamma = 8000 \text{ см}^2/\text{сек.} = 70000 \text{ м}^2/\text{добу}$; ефективна потужність приймаючого горизонту - $M_{\text{эф}} = 87 \text{ м}$; статичний рівень підземних вод - $h_0 = 115 \text{ м}$; висота статичного рівня над серединою водоносного горизонту - $H_0 = 1150 \text{ м}$; приведений радіус свердловини - $r_{\text{св}}^* = 0,005 \text{ м}$.

Кампанський та Юрський горизонти – це пласти-смуга, що обмежені з двох сторін тектонічними порушеннями. Ці дві межі і будуть впливати на перерозподіл тиску в пластах. Дві інші межі, що знаходяться на значних віддальях від свердловин 1-Р та 2-Р (30-35 км) не вплинуть на умови скиду розсолів.

За схему для розрахунку приймали пласт-смугу із двома непроникними контурами, що розташовані на віддалі від свердловин $L_1 = 2,5 \text{ км}$ та $L_2 = 10 \text{ км}$.

Для нашого випадку зовнішні опори, що діють на потік, при $t = 365$ діб (1 рік) $N_0 = 28,464$, через 10 р. $N_0 = 30,72$; через 50 р. $N_0 = 32,376$. Додаткові опори становитимуть: через 1 р. $N_g = 1,05$; через 10 р. $N_g = 5,05$; через 40 р. $N_g = 12,7$. Тоді сумарний гідравлічний опір становитиме: через 1 рік $N = 28,464 + 1,05 = 29,514$; через 10 р. $N = 30,72 + 5,05 = 35,77$; через 40 р. $N = 32,2 + 12,7 = 44,9$.

Розрахунки показали, що вплив на перерозподіл тисків у пласті при закачуванні буде мати лише ближня межа. Досить слабкий вплив другої межі стане відчутним лише після 10 років після початку закачування розсолів.

Надлишкові тиски на пласт необхідні для закачки $685 \text{ м}^3/\text{добу}$ розсолів будуть рівними через 1 рік, $\Delta P = 43,03 \text{ ат}$; через 10 р. $\Delta P = 52,14 \text{ ат}$; через 40 р. $\Delta P = 65,47 \text{ ат}$.

Статистичний рівень Кампанського горизонту залягає на глибині 115 м від гирла свердловини. При заміні стовпа пластової води із густиною 1,06 на розсоли із густиною 1,25 і заповненні свердловини до гирла створиться надлишковий тиск на пласт рівний 26,2 ат. Тоді тиск на гирлі свердловини необхідний для закачування розсолів становитиме [139]:

$$P = \Delta P - \Delta P_1 \quad (4.10)$$

через 1 рік $P = 43,03 - 26,2 = 16,83 \text{ ат}$; через 10 р. $P = 52,14 - 26,2 = 25,94$; через 40 р. $P = 65,47 - 26,2 = 39,27$.

Таким чином, в перші десять років свердловина буде приймати розсоли при тиску на гирлі свердловини до 26 ат, в подальшому тиск зросте до 40 ат.

З урахуванням втрат тиску на тертя при русі розсолів у насосно-компресорних трубах діаметром $2 \frac{1}{2}$ " , що становить 18,4 ат для трубопроводу довжиною 1320 м. Тиск необхідний для закачування розсолів буде змінюватись від 36 до 58 ат. Враховуючи те, що конструкція свердловини 2-Р – дозволяє спустити 4" насосно-компресорні труби, то у цьому випадку втрати напорів будуть складати всього 1 ат. Дані по втратах напорів для різного об'єму розсолів та різного діаметру труб наведено в таблиці 4.4.

Як видно з таблиці 4.4, суттєва втрата напорів проходить в $2 \frac{1}{2}$ " насосно-компресорних трубах, особливо при великій (до $1000 \text{ м}^3/\text{добу}$) кількості скиданих розсолів. Конструкція свердловини 1-Р не дозволяє спустити труби більшого діаметру. Свердловину 2-Р обладнано 8" експлуатаційною колоною, що дає можливість спустити насосно-компресорні труби 4" діаметру, в яких втрати на тертя незначні. У подальшому, при проектуванні нових поглинаючих свердловин слід орієнтуватись на конструкцію з 8" обсадною колоною.

Із вище наведених даних випливає, Кампанський горизонт при надлишковому тиску на гирлі свердловини 50-60 ат (оптимальний режим для насосів високого тиску) може приймати через одну свердловину до 700 (свердловина 1-Р) – 900 (свердловина 2-Р) $\text{м}^3/\text{добу}$ розсолів, що дасть змогу утилізувати практично всі надлишкові високо-мінералізовані розсоли Калуш-Голинського калійного родовища.

Провівши розрахунки для Юрського горизонту, одержали тиск необхідний для закачування $685 \text{ м}^3/\text{добу}$ розсолів, із урахуванням втрат на тертя в насосно-компресорних

трубах, що становитиме через 1 рік - 90 ат; через 10 р. – 135 ат; через 25 р. – 155 ат.

Таблиця 4.4

Розрахунок тисків, із врахуванням втрат напору на тертя при русі розсолів по насосно-компресорним трубам, необхідних для закачки різного об'єму розсолів.

Об'єм розсолів, м ³ /добу	Тиск, необхідний для закачки розсолів (через 40 р) без урахування втрат на тертя, ат	2 ½" труби		4" труби	
		Втрати напору на тертя, ат	Сумарний тиск, ат	Втрати напору на тертя, ат	Сумарний тиск, ат
500	21,6	10,7	32,3	1,2	22,8
600	31,2	15,8	46,0	1,6	32,8
700	40,8	21,1	61,9	2,1	42,9
800	50,3	26,9	77,9	2,8	53,1
900	60,0	-	-	3,5	63,5
1000	69,36	-	-	4,2	73,56

Як видно із наведених даних, тиски необхідні для закачки розсолів досить високі і їх навряд можна рекомендувати. Оскільки тиск прямо пропорційний кількості закачуваних розсолів, то реально можна розраховувати на скид у Юрський горизонт розсолів близько 200-250 м³/добу.

Тому: 1) Кампанський горизонт, що володіє значно більшою приймальністю у порівнянні із Юрським горизонтом розглядати, як основний експлуатаційний горизонт. Юрський горизонт - рахувати резервним; 2) подавати до свердловин розсоли слід 4" трубами із внутрішнім антикорозійним покриттям, враховуючи агресивність розсолів; 3) для запобігання забруднення поглинаючого горизонту розсоли мають містити мінімальну кількість завислих частинок, розчиненого заліза, яка досягається очисткою розсолів на швидкісних фільтрах.

4.2.2.3. Розрахунок ореолу розповсюдження розсолів від свердловини в Кампанському горизонті.

Приймаючи умовно рівномірний радіальний рух розсолів від свердловини по всій потужності пласта, радіус розповсюдження розраховується за формулою [70]:

$$R^2 = \frac{V}{\pi \cdot M_{ef} \cdot n} \quad (4.18)$$

де V – об'єм закачуваних розсолів, м^3 ; M_{ef} – ефективна потужність пласта в м. $M_{\text{ef}} = 87$ м; n – середня пористість пісковиків, $n = 0.18$.

При закачуванні розсолів $685 \text{ м}^3/\text{добу}$ їх об'єм через 10 років складатиме $2.5 \times 10^6 \text{ м}^3$; через 25 років – $6.25 \times 10^6 \text{ м}^3$; через 50 років – $12.5 \times 10^6 \text{ м}^3$.

Радіус ореолу розповсюдження через 10 років становитиме:

$$R^2 = \frac{V}{\pi \cdot M_{\text{ef}} \cdot n} = \frac{2.5 \cdot 10^6}{3.14 \cdot 87 \cdot 0.18} = 4.7 \cdot 10^4 \text{ м}; \text{ тоді } R = 216.8 \text{ м};$$

через 25 років - $R = 342.6$ м; через 50 років - $R = 504.2$ м.

Враховуючи вище викладене, значний інтерес представляє вивчення можливості підземного захоронення промислових стоків у нафтогазоносних районах. Ці райони, як правило, добре вивчені і по ним є багато фактичного матеріалу, який дозволить значно скоротити об'єми розвідувальних робіт. У нафтогазоносних районах підземний скид стоків може проходити по трьом напрямкам: 1) у відпрацьовані нафтові та газові родовища; 2) для заводнення експлуатованих нафтових та газових родовищ; 3) у непродуктивні водоносні горизонти та порожні структури. Використання стоків для заводнення нафтових родовищ та скид промислових стоків у відпрацьовані поклади мають відомі переваги, оскільки в цих випадках вже є пробурені свердловини, що здешевлює підземне захоронення.

4.3. Висновки

Враховуючи те, що переробка калійних руд, яка зосереджена на Калуш-Голинському і Стебницькому родовищах, перебуває у стадії завершення та ліквідації з різних причин, залишаються мільйони тонн легкорозчинних солевміщуючих порід і розсолів, розміщених як на денній поверхні, так і в підземних виробках, що є необхідним джерелом сольового забруднення нами пропонується:

1. Для оптимізації екологічної ситуації в регіоні, що ускладнена економічними факторами, впровадити розроблений „Метод розрахунку допустимих об'ємів відведення розсолів у маловодні ріки” з урахуванням їх асимілюючих властивостей для р.Сівки.

Враховуючи, що асимілююча здатність р. Сівки вже повністю використана забруднюючими об'єктами, що знаходяться вище за течією, скид розсолів у неї можливий лише в умовах паводків та повеней, коли розхід їх сягає 0.2 млн. м³ год та більше за умови регулювання і контролю кількості скидуваних розсолів:

2. Для захисту підземних і поверхневих вод від засолення, одним із способів є спорудження контурних баражних завіси навколо існуючих провалів і ареалів засолення:

3. Пропрацювати питання про можливість використання закачування розсолів для заводнення нафтових пластів, що є перспективним і економічно доцільним, але може бути рекомендованим після ґрунтового та всебічного вивчення цієї проблеми.

Незважаючи на широке застосування в світі способів скиду надлишкових розсолів у водойми і ріки та захоронення у підземні поглинаючі горизонти, їх слід розглядати як вимушені тимчасові заходи, зумовлені відсутністю коштів для впровадження мало- та безвідходних технологій з переробки та утилізації розсолів.

РОЗДІЛ 5. ТЕРМІЧНА ПЕРЕРОБКА НАДЛИШКОВИХ РОЗСОЛІВ

5.1. Хіміко-технологічні методи переробки високомінералізованих розчинів морського типу

Зниження концентрації розчинених у воді речовин досягається шляхом вилучення власне молекул води із розчину, або видаленням іонів солей.

На сьогодні відома велика кількість способів видалення солей із розчинів. Їх класифікація може ґрунтуватись або виходячи із характеру сил, які забезпечують відділення іонів солей від молекул води, або за способом впливу на розчин.

За першою ознакою, ґрунтовно розглянутому В.Ф.Коваленко, розрізняють об'ємні, поверхневі та індивідуальні методи впливу на іони [142].

У другому випадку при розробці класифікації, виходячи із фізико-хімічних особливостей протікання процесу, методи переробки можна розділити на дві групи: 1) методи переробки із зміною агрегатного стану розчину; 2) методи переробки без зміни агрегатного стану розчину. За цією класифікацією розрізняють наступні процеси і методи переробки.

А. Переробка розчину із зміною його агрегатного стану

А. Процеси термічної переробки:

1. Випаровування із застосуванням поверхонь, які нагріваються:
 - а) просте випаровування; б) парокомпресійна дистиляція; в) плівкове випаровування;
 - г) нагрівання розчину до надкритичних параметрів.
2. Вакуумне випаровування.
3. Гідрофобне випаровування із застосуванням рідин, що не змішуються із розчином.
4. Геліопереробка.

Б. Процеси із використанням холоду:

1. Природне виморожування.
2. Штучне виморожування:
 - а) виморожування із використанням хладагентів, які не змішуються з розчином;
 - б) випаровування попередньо охолодженого розчину у вакуумі;

- в) виморожування через теплопередаваючу поверхню;
- г) виморожування з використанням у якості хладагенту води.

II. Переробка розчину без зміни його агрегатного стану

A. Хімічні процеси:

- 1. Іонний обмін.
- 2. Осадження солей за допомогою реагентів.
- 3. Електроліз.

Б. Процеси із використанням мембран:

- 1. Електродіаліз.
- 2. Гіперфільтрація або зворотній осмос.
- 3. Осмос.

В. Екстракційні і адсорбційні процеси:

- 1. Екстракція органічними розчинниками.
- 2. Екстракція води у вигляді кристалізаційної води кристалогідратів – газгідратний метод.
- 3. Електрична адсорбція за допомогою пористих електродів.

Г. Біологічні процеси з використанням морських водоростей.

Враховуючи те, що на методі термічної переробки ґрунтується розроблені автором (замкнуту схему переробки), у співавторстві з Семчуком Я.М., (постановка задачі, формула винаходу), Кнігініцькою Л.П., (проведено дослід) спосіб та пристрій для переробки високомінералізованих розсолів морського типу, основна увага приділятиметься процесам та установкам термічної переробки зі зміною агрегатного стану розчину.

5.1.1. Переробка розчину із зміною його агрегатного стану. Термічна переробка.

При нагріванні високомінералізованого розчину до температури, яка перевищує температуру його насичення при даній концентрації, розчин починає кипіти. У цих умовах молекули води за рахунок теплового і коливального рухів набирають достатню енергію для подолання сил міжмолекулярного притягання і виносяться в паровий простір. Малорухливі іони солей, які не володіють таким запасом енергії, залишаються у розчині.

Виходячи із принципу дії, всі термопереробні установки можна поділити на на-

стунні типи: 1) киплячі; 2) адіабатні; 3) тонко-плівкові; 4) гігроскопічні; 5) гідрофобні; 6) термодифузійні.

Процесам та установкам термічної переробки присвячені роботи науковців: Авраменка Н.Л., Баранова Г.П., Бидусенко А.А., Веселова Ю.С., Дрогомирецької О.А., Желібо Є.П., Ковалишина І.І., Кане Д., Кульського Л.А., Лунькова В.П., Мельдера Х.А., Фридмана С.Г., Хабера Н.В., Хентова В.И., Шахєєва Л.В., Шахової А.Ф. та ін [143, 145-151].

1) Випаровувачі киплячого типу.

Процес переробки розчину в установках даного типу здійснюється або за рахунок передачі тепла зануреної поверхні нагрівання більшому об'єму рідини, або за рахунок передачі тепла розчину під дією примусової або природної циркуляції. Сучасні установки цього типу працюють у режимі глибокого вакууму, який має значні переваги в порівнянні з кипінням при надлишковому тиску. При вакуумному режимі можливе використання тепла низького потенціалу; менше накипоутворення, так як випаровування розчину проходить при температурах від 50 до 70 °С, при яких утворюється рихлий карбонатний накип, який легко видаляється за допомогою промивання установки водою; більш стійке випаровування з поверхні нагріву.

До випаровувачі киплячого типу, що працюють у режимі глибокого вакууму відноситься запропонований автором пристрій та спосіб переробки високомінералізованих розсолів, тому принцип дії апаратів цього класу та їх види будуть розглянуті більш детально нижче, для пояснення суті винаходів.

2) Адіабатні випаровувачі.

Більш сучасним способом термічної переробки розчинів є адіабатне, або так зване миттєве випаровування.

Процес нагрівання розчину в установках такого типу проходить у двох самостійних елементах. Нагрівача поверхня винесена в окремий підігрівач, який працює при температурі і тиску більш високому ніж у камері випаровування. Нагрівання розчину проходить до температури кипіння, після чого він поступає в камеру з більш глибоким вакуумом, де за рахунок скритої теплоти пароутворення проходить його випаровування як з поверхні розчину, який заповнює нижню частину камери, так і з поверхні крапель, що розбризкуються спеціальними пристроями. Процес ви-

паровування зазвичай проходить в кількох послідовно розташованих камерах винарування, у верхній частині яких встановлюються охолоджувачі вторинного пару, який утворюється в кожній камері. Це значно підвищує економічність установки.

3) Тонкоплівкові випаровувачі.

Тонкоплівкові випаровувачі розчинів за способом організації процесу руху плівки випаровуваної рідини поділяють на два типи: роторні і вертикально-трубні з падаючою, висхідною плівкою і плівкою, що горизонтально розтікається.

У роторних випаровувачах плівка утворюється за рахунок обертання корпусу випаровувача, або обертання самої випаровуваної рідини.

Іншим видом плівкових випаровувачів є апарати, які складаються із довгих вертикальних трубок з падаючою і висхідною плівками випаровуваного розчину. У випаровувачах із падаючою плівкою розчин вводиться в вертикальну трубу або зовні її через спеціальну насадку, а потім у вигляді плівки під дією початкової швидкості і сили тяжіння рухається вниз. У випаровувачах із плівкою яка піднімається розчин подається в нижню частину поверхні нагрівання через вмонтовану в нижній частині насадку і за рахунок швидкості розчину і захоплюючої плівку пари рухається вгору.

Таким чином, у випаровувачах описаного типу теплообмін проходить не з усім розчином, який заповнює січення труби, а лише з плівкою, яка рухається по поверхні труби.

4) Гігроскопічні випаровувачі.

Робочий процес випаровувачів гігроскопічного типу побудований за наступним принципом. При охолодженні повітря, яке насичене парами розчину за рахунок зміни парціального тиску пари розчину, надлишкова її кількість конденсується і випадає у вигляді крапель. Якщо насичене паром повітря нагріти, то її кількість у повітрі вже не буде максимальною і повітря стане ненасиченим: пара розчину у цьому випадку знаходиться у перегрітому стані. Зі збільшенням температури вологого повітря при постійній вологості воно стає все більш сухим. Якщо повітря значно нагріти і стикнути з розчином, що попередньо розпилений для збільшення поверхні випарування, то частина розчину швидко випарується, а повітря досягне насиченого стану. Охолодження цього повітря приведе до конденсації випаруваної вологи у вигляді дистилляту.

Всі вище розглянуті способи знесолення та переробки характеризуються загальними недоліками: утворенням накипу і корозією теплообмінних апаратів, в особливості тих що перероблюють високомінералізовані розчини.

5) Гідрофобні випарувачі.

Термічна переробка за допомогою гідрофобних теплоносіїв не потребує дорогих поверхонь нагрівання і дозволяє проводити режим переробки без утворення накипу. Суть цього способу полягає в наступному. Гідрофобний теплоносій, який являє собою інертне по відношенню до води і розчиненим у ній солям речовину, попередньо нагрівається теплом власного дистиляту установки, відокремлюється від нього і вприскується в розчин, який знесолюється. Теплоносій віддає одержане тепло на нагрівання і випаровування розчину. Одержаний пар конденсується в дистилят. Охолоджений гідрофобний теплоносій відділяється від розсолу і знову повертається в цикл знесолення.

Весь процес теплообміну в гідрофобних випарувачах проходить по без трубній системі, що виключає утворення накипу і корозію. В якості гідрофобних теплоносіїв використовуються суміші як насичених так і ненасичених вуглеводнів, парафін, фторовані масла, які задовольняють наступні вимоги: а) повна нерозчинність і легке розділення з розчином при відсутності емульсії; б) відсутність сорбційних властивостей по відношенню до солей, які розчинені в розчині; в) термічна стійкість у діапазоні температур 230-530 °С; г) висока теплоємність і невелика в'язкість.

Недоліком гідрофобних установок є складність у розділенні перероблюваного розчину і теплоносія, недостатня чистота одержуваного дистиляту в якому крім солей розчину в значній кількості присутні домішки теплоносія, а також висока вартість основних елементів установки: колон-теплообмінників, адіабатних випарувачів, насосів.

б) Термодифузійні випарувачі.

У термодифузійних випарувачах використано принцип переносу тепла високо теплопровідними матеріалами (мідь, латунь та ін.). У цілому їх дія аналогічна дії адіабатного випарувача, який працює при атмосферному тиску.

Недоліком установок цього типу є їх мала продуктивність при відносно високій вартості, яка зумовлена застосуванням високотеплопровідних матеріалів.

7) Геліопереробка.

Переробка розчинів за допомогою сонячної енергії може проходити в установках парникового типу і в установках із концентраторами.

Установка парникового типу являє собою тепло ізольований світло поглинаючий басейн, який вкрито прозорою оболонкою. Всередині ємності знаходиться лоток, в який подається вихідний розчин, який випаровується під дією сонячної енергії. Пар, що утворився, конденсується за рахунок конвекції оточуючого повітря на поверхні оболонки і стікає в збірник для знесоленої води.

Геліоперероблюючі установки із концентраторами використовують параболічні дзеркала, які збирають сонячне проміння, концентрують його і направляють на затемнені поверхні випаровувача. У випаровувач подається розчин, де він нагрівається і випаровується при атмосферному тиску. Пар відводиться в конденсатор, охолоджується і перетворюється в прісну воду.

Недоліком геліоперероблюючих установок є їх велика площа; високі втрати енергії при відбиванні від акумулюючих поверхонь та їх запиленості; періодичність роботи геліознесолюючих установок у залежності від стану погоди.

5.1.2. Види та принцип дії вакуумних випаровувачів киплячого типу.

За взаємним напрямком руху теплоносія та розчину у випарювальних установках, відомі пристрої, поділяють на: прямотечійні, протитечійні, паралельні та змішані (рис.5.1). А). Попередньо нагрітий до температури кипіння вихідний розчин (рис. 5.1. А) надходить у перший корпус, який нагрівається свіжою (первинною) паром. Утворену (вторинну) пару з цього корпусу крізь краплеуловлювач подають як нагріваючу пару в нагрівну камеру другого корпусу, де внаслідок зниження тиску розчин кипить за нижчої температури, ніж у першому. Випарований розчин перетікає з першого корпусу в другий, внаслідок зниження тиску в корпусах у напрямку руху розчину. Температура кипіння в кожному наступному корпусі знижується, і за рахунок теплоти, яка при цьому виділяється, утворюється додаткова кількість вторинної пари. Аналогічно випарований корпус самотечією переміщується з другого корпусу в третій, який обігрівається вторинною паром другого корпусу. Отже, тиск у корпусі

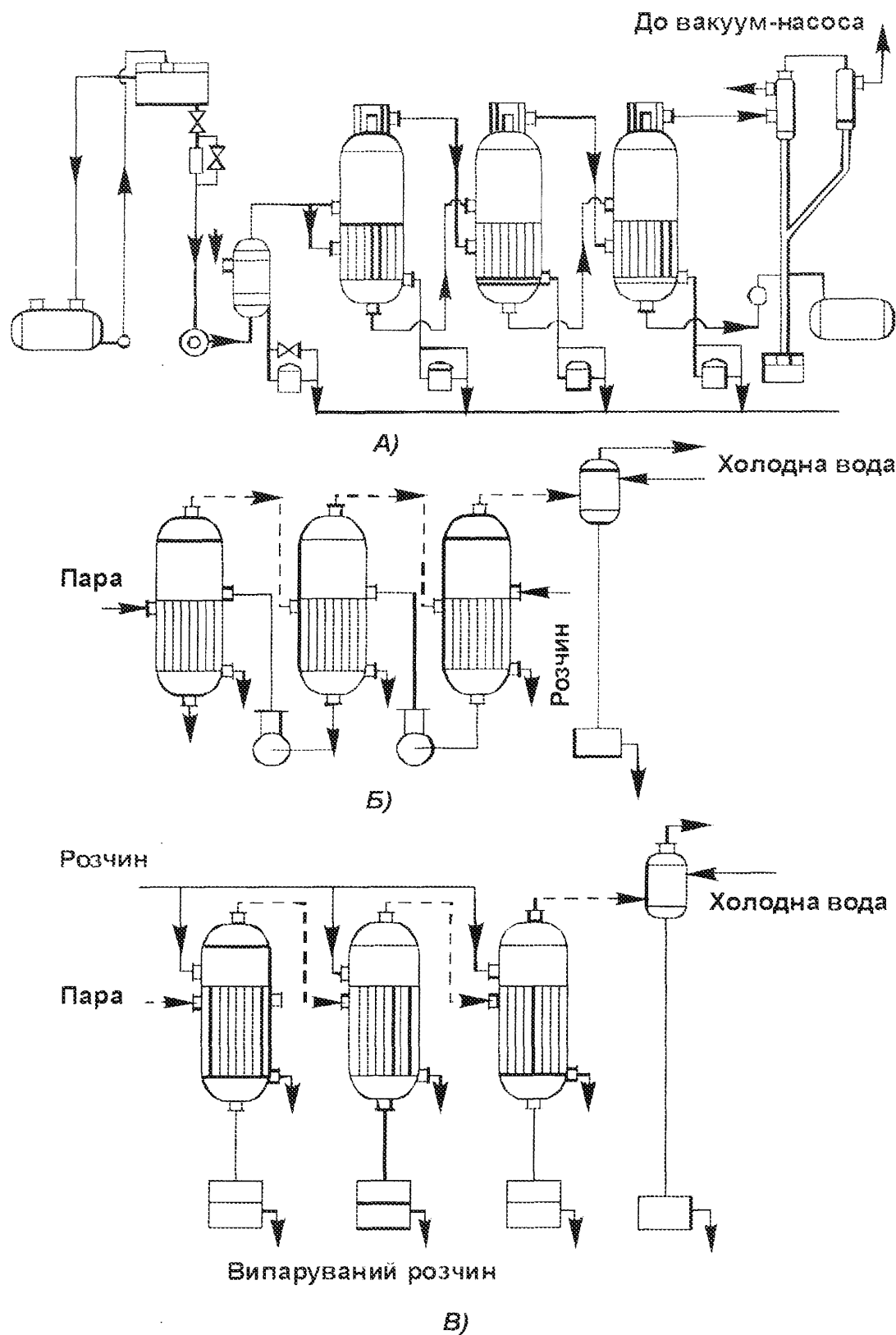


Рисунок 5.1. Принципові схемат руху теплоносіїв та розчинів у вакуум-випарювальних установках.

сах знижується з першого до останнього. Зазвичай у перших корпусах розчин перебуває під невисоким надлишковим тиском, а в останніх – під вакуумом. Вторинна

пара з останнього корпусу надходить у барометричний конденсатор і після підігріву знову повертається у процес [143, 146].

Б). У протитечійних апаратах (рис. 5.1.Б) пара з нижчими параметрами рухається протитечею до розчину, який випарюється, тобто в першому корпусі найбільш концентрований розчин випарюється за рахунок теплоти вторинної пари нижчих параметрів. Подають випарювані розчини з корпусу з нижчим тиском у корпус із вищим тиском за допомогою насосів, що ускладнює конструкцію випарних установок, їх обслуговування і значно збільшує експлуатаційні витрати. Такі установки застосовують для випарювання розчинів до високих кінцевих концентрацій, коли можливе випадання кристалічних речовин в останньому корпусі, що робить їх непридатними для випарювання розсолів одержаних при переробці полімінеральних калійних руд, так як чистий NaCl виділяється із розчину при концентрації магнію у випареному розчині 3,0-3,8 мас. % і температурі 75-80⁰С. При зростанні температури випарювання розчину концентрація магнію у розчині різко зростає і NaCl забруднюється калійно-магнієвими домішками та стає непридатним для вживання людьми. Крім того вихідні розсоли дуже бідні на іони магнію, навіть після їх донасичення, тому заданою схемою випарювання буде проходити дуже довго [143, 146].

В). У випарних установках з паралельним живленням (рис. 5.1.В) вихідний розчин надходить одночасно у всі корпуси. Випарені розчини мають однакові концентрації. Ці установки можна застосовувати у процесах випарювання, де непотрібне досягнення високих концентрацій. Такі установки також використовують переважно для випарювання насичених розчинів, які містять кристали солей, що ускладнює переміщення розчину з корпусу в корпус. Проведений патентний [118] та літературний пошук і одержані нами результати експериментів показали, що в одноступінчастому процесі неможливо отримати одночасно донасичений галітом розсіл і кондиційний ланібейнітово-полігалітовий концентрат, тому застосування установок даного типу є неперспективним [143].

Г). За змішаною схемою руху, розчин із першого (високотемпературного) корпусу поступає самопливно в третій (низькотемпературний), звідки насосом подається у другий. Вибір такої схеми продиктований необхідністю відділення від розчину NaCl при температурі 75-80⁰С, при якій досягається максимальне виділення чистого NaCl

з розчину. Тому NaCl у вигляді суспензії виводять із другого корпусу, в якому є потрібні температурні умови [146].

Робота установки зі змішаною схемою руху теплоносіїв є більш складною у порівнянні з прямою, із-за необхідності перекачування розчину із одного корпусу у другий для подолання перепаду тисків, а також підігріву розчину між корпусами. Крім того, додаткові операції пов'язані з необхідністю використання додаткового обладнання. Все це робить дані установки неекономічними.

Враховуючі всі вище зазначені переваги та недоліки вакуумних випаровувачів різних видів, нами було розроблено пристрій та спосіб його здійснення, що ґрунтується на проточному виді руху теплоносія та випарюваного розчину [1, 2, 3, Додатки С, Т].

5.2. Термічні установка і спосіб для переробки відходів одержаних при переробці полімінеральних калійних руд

Метою розробки установки та способу є: переробка розсолів та відходів переробки полімінеральних калійних руд, що на даний час скидаються в природні водойми, стравлюються в підземні водоносні горизонти або складаються в шламо- та хвостосховищах; перетворення відходів калійного виробництва на вторинну технічну сировину; зменшення кількості відходів переробки полімінеральних солей.

В основу розроблених установки і способу поставлено задачу вдосконалення існуючих пристроїв та способів для переробки відходів переробки полімінеральних калійних руд та інших розсолів морського типу, шляхом встановлення оптимальної кількості корпусів випарювальної установки і розширенням корисної різниці температур між розчином у першому та останньому корпусах, що дозволить: одержати харчову кухонну сіль і розчин придатний для приготування хлормагнієвих розчинів сировини для виробництва штучного карналіту; створити замкнуту систему та екологічно-безпечний пристрій для переробки відходів калійних руд; зменшити антропогенне навантаження на довкілля.

Процеси випарювання супроводжуються витратою великої кількості дорогої пари нагрівання. Її зменшення можна досягти шляхом: усунення відкладів накипу

сульфату кальцію з поверхні теплообмінника; збільшення кількості корпусів вакуумно-випарювальної установки; розширенням корисної різниці температур між розчином у першому та останньому корпусах. Так як підвищення температури випарювання в першому корпусі обмежується кристалізацією вторинних калійно-магнієвих мінералів і інкрустацією поверхонь нагрівання випарювальних апаратів, то необхідно було дослідити граничні температури і глибину випарювання. На основі одержаних даних було встановлено можливе число корпусів вакуумно-випарювальної установки та запропоноване їх оптимальне число.

5.2.1. Характеристика вихідних матеріалів, їх підготовка і встановлення оптимального складу сировини для переробки.

Для розробки установки та способу її експлуатації, шляхом вакуумного випарювання, використовували розсоли Домбровського кар'єру (їх закачують у виробки рудника „Ново-Голинь” і вони, практично, ідентичні за хімічним складом розсолам, які витісняються із шахтних виробок у результаті осідання земної поверхні), складу, мас. %: K^+ - 2.18; Mg^{2+} - 1.55; Na^+ - 4.39; Ca^{2+} - 0.02; Cl^- - 11.92; SO_4^{2-} - 1.83; H_2O - 78.11. Їх попередньо донасичували галітово-лангбейнітовим залишком сульфатної фабрики складу, мас. %: K^+ - 4.37; Mg^{2+} - 3.26; Na^+ - 18.12; Ca^{2+} - 2.24; Cl^- - 29.65; SO_4^{2-} - 21.31; H_2O - 13.07. У результаті донасичення одержали освітлений розчин складу, мас. %: K^+ - 1.93-2.10; Mg^{2+} - 1.33-1.48; Na^+ - 7.29-7.732; Cl^- - 15.46-16,08; SO_4^{2-} - 2.49-2.76; Ca^{2+} - 0.02-0.05 H_2O - 69.86-71.17. Донасичений галітом розчин обробляли гідролізованим аміачним поліакриламідом, відстоювали і декантували освітлений розчин.

Дослідження по донасиченню розсолів проводили в ізотермічних умовах у термостатному реакторі при перемішуванні. Для експериментів, у реактор завантажували 500 см^3 вихідного розсолу, нагрівали до температури досліду і додавали розраховану кількість галітово-лангбейнітового залишку калійного виробництва. Розчинення проводили на протязі 10 хв., після чого одержану суспензію повільно декантували, залишок який не розчинився віджимали на фільтрі, зважували та аналізували, а в мутний розчин додавали гідролізований поліакриламід, відстоювали,

освітлений розчин відбирали на аналіз, а згушений глинистий шлам віджимали на фільтрі, і також зважували та аналізували.

Температура експериментів складала від 20 до 60 °С, а співвідношення розчину і вихідного галітово-лангбейнітового залишку змінювалось у межах від 3 до 5:1. Результати експериментів наведено в табл. 5.1.

Із наведених даних у табл. 5.1. випливає, що збільшення температури від 20 до 60 °С сприяє підвищенню ступеню розчинення галіту відповідно в 1,09 і 1,12 рази, тоді як ступінь розчинення калію зростає в 2,85 і 4,25 рази, а магнію – в 1,43 і 2,10 рази, тому оптимальною для донасичення є температура від 30 до 40 °С.

Для визначення оптимальної кількості матеріалів для донасичення і встановленні можливості одночасного одержання кондиційного лангбейнітово-полігалітового концентрату (ЛПК) досліджували, також, вплив співвідношення між розчином і галітово-лангбейнітовим залишком у процесі донасичення. Досліди показали, що збільшення розходу розчину на розчинення одиниці маси галітово-лангбейнітового залишку сприяє більш повному розчиненню галіту і підвищенню чистоти одержаного галітово-лангбейнітового концентрату, однак концентрація NaCl в розчині зменшується. При п'ятикратному масовому розході розчину концентрація в ньому NaCl знижується з 18,2 % до 17,5 %, а в утвореному ЛПК залишається 14,0 % галіту. Ступінь розчинення галіту складає лише 88,5 %. Подальше збільшення розходу розчину приводить до ще більшого зниження концентрації в ньому NaCl і збільшення енергетичних затрат на наступне його випарювання. Зважаючи на вище сказане, оптимальним є співвідношення вихідного розчину та залишку (3:4):1 при тривалості процесу донасичення – 10 хв. з температурою 40 °С (табл. 5.2).

Одержані експериментальним шляхом результати показали, що в одноступінчастому процесі випарювання неможливо одержати одночасно донасичений галітом розчин і кондиційний ЛПК, тому для подальших досліджень нами було вибрано із одержаних даних оптимальне співвідношення між масами розчину і галітово-лангбейнітового залишку рівне (3-4):1. Враховуючи, що температура і теплоємність вихідних розсолів і галітово-лангбейнітового залишку складає 15 °С і 3,35 кКл/кг град. для донасичення раціонально використовувати розсіл після попереднього пі-

Дослідження процесу донасичення розсолів галтово-лангбейттовим залишком та встановлення оптимальної температури донасичення.

Співвідношення розчину і залишку (Р:З)	Температура експерименту, $T^{\circ}\text{C}$	Час, t , хв.	Склад рідких фаз, мас., %						Склад твердих фаз, мас., %						Ступінь вилучення компонентів, мас., %			
			K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na^+	Cl^-	SO_4^{2-}	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na^+	Cl^-	SO_4^{2-}	H_2O	Na^+	K^+	Mg^{2+}
3:1	20	10	2,03	1,54	0,03	7,02	15,72	2,04	6,28	4,22	2,65	14,18	23,25	27,64	7,69	54,86	3,43	13,01
3:1	30	10	2,05	1,55	0,03	7,11	15,83	2,18	5,97	4,32	2,75	13,56	22,72	28,18	7,87	57,36	7,12	16,04
3:1	40	10	2,08	1,57	0,03	7,18	15,91	2,29	5,82	4,38	2,95	12,68	20,96	29,63	7,98	59,90	9,77	18,65
3:1	50	10	2,12	1,62	0,03	7,25	16,02	2,58	5,92	4,24	3,22	12,47	20,53	29,71	8,27	60,84	12,56	24,11
3:1	60	10	2,15	1,66	0,03	7,28	16,06	2,73	5,91	4,18	3,31	12,14	20,20	29,73	8,52	61,30	14,58	27,36

Таблиця 5.2.

Встановлення оптимального співвідношення при донасиченні між вихідним розчином і галітрово-лангбейнговим залишком

Співвідношення розчину і залишку (Р:З)	Температура експерименту, $T^{\circ}\text{C}$	Час, t , хв.	Склад рідких фаз, мас., %						Склад твердих фаз, мас., %						Ступінь вилучення компонентів, мас., %			
			K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	H ₂ O	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺
3:1	20	10	2,03	1,54	0,03	7,02	15,72	2,04	6,28	4,22	2,65	14,18	23,25	27,64	7,69	54,86	3,43	13,01
3:1	40	10	2,08	1,57	0,03	7,18	15,91	2,29	5,82	4,38	2,95	12,68	20,96	29,63	7,98	59,90	9,77	18,65
4:1	40	10	2,05	1,54	0,03	7,16	19,87	2,14	7,07	5,23	3,82	7,78	13,37	36,66	9,74	78,67	10,92	19,75
5:1	40	10	2,04	1,55	0,03	6,80	15,53	2,06	7,62	5,98	4,17	5,51	9,92	41,06	8,77	88,51	11,34	24,46

дигрівання, що дозволить підвищити в ньому концентрацію NaCl з 11,6 % до 17,86 % при 30 °С і до 18,26 % при 40 °С і сумою розчинених солей від 28,4 до 29,1 %.

Крім того досліджували вплив тривалості процесу на концентрацію солей у дона-сиченому розчині. Експерименти проводили при температурі 40 °С і співвідношенні розчину і залишку 3 до 1. Результати представлено в табл. 5.3., з яких видно, що на протязі перших 5 хв., концентрація NaCl у розчині збільшувалась з 11,16 до 16,25 %, через 10 хв., з початку досліду, вона склала 18,29 % і потім практично не змінювалась. Концентрація калію і магнію в перші 5 хв., навіть зменшилась за рахунок розчинення галіту, а потім продовжувала зростати на протязі усього досліду. Через 45 хвилин у твердій фазі містилось 36,17 % галіту, майже стільки ж (32,3 %) містила тверда фаза і через 10 хвилин від початку досліду. Це говорить про те, що збільшенням тривалості процесу не вдасться підвищити чистоту лангбейнітово-полігалітового концентрату, так як після розчинення основної маси галіту продовжується розчинення калійно-магнієвих мінералів і навіть можливе часткове висолювання NaCl. Тому для одержання концентрованого по NaCl розчину оптимальний час розчинення в розсолах має складати 10 хв ± 1 хв.

Таким чином, одержані експериментальним шляхом дані дозволили вибрати опти-мальний технологічний режим процесу дона-сичення вихідних розсолів галітово-лангбейнітовим залишком: температура вихідного розсолу і галітово-лангбейнітового залишку в межах від 30 до 40 °С; співвідношення між розсолом і залишком – (3-4):1; тривалість процесу дона-сичення 10 хв ± 1 хв.

5.2.2. Вплив температури на процес випарювання дона-сиченого розсолу.

Багаторазове використання пари нагрівання дозволяє суттєво зменшити її розхід на одержання кухонної солі та кондиційного лангбейнітово-полігалітового концентрату. Тому, для підвищення ефективності використання теплоти пари нагрівання необхідно розширювати інтервали температур випарювання між корпусами в багатокорпусній ва-куумно-випарювальній установці. З вказаною метою досліджували процес випарювання дона-сиченого розчину при високих температурах (120, 130 і 140 °С). Такі температури на випарювання розчинів морської системи солей і виділення з них NaCl до сьогодні

Динаміка розчинення галітово-лапгбейгітового залишку в розсолах.

Співвідношення розчинувача (Р:З)	Температура експерименту, T, °C	Час, t, хв.	Склад рідких фаз, мас., %						Склад твердих фаз, мас., %						Ступінь вилучення компонентів, мас., %			
			K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	H ₂ O	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺
3:1	40	5	1,88	1,45	0,03	6,39	14,34	2,03										
3:1	40	10	2,13	1,60	0,03	7,19	15,98	2,37										
3:1	40	20	2,07	1,55	0,03	6,93	15,17	2,46										
3:1	40	30	2,22	1,65	0,03	6,99	15,65	2,73										
3:1	40	45	2,23	1,70	0,02	6,98	15,57	3,01	5,20	3,74	3,52	14,18	23,17	27,85	7,48	57,18	22,38	38,16

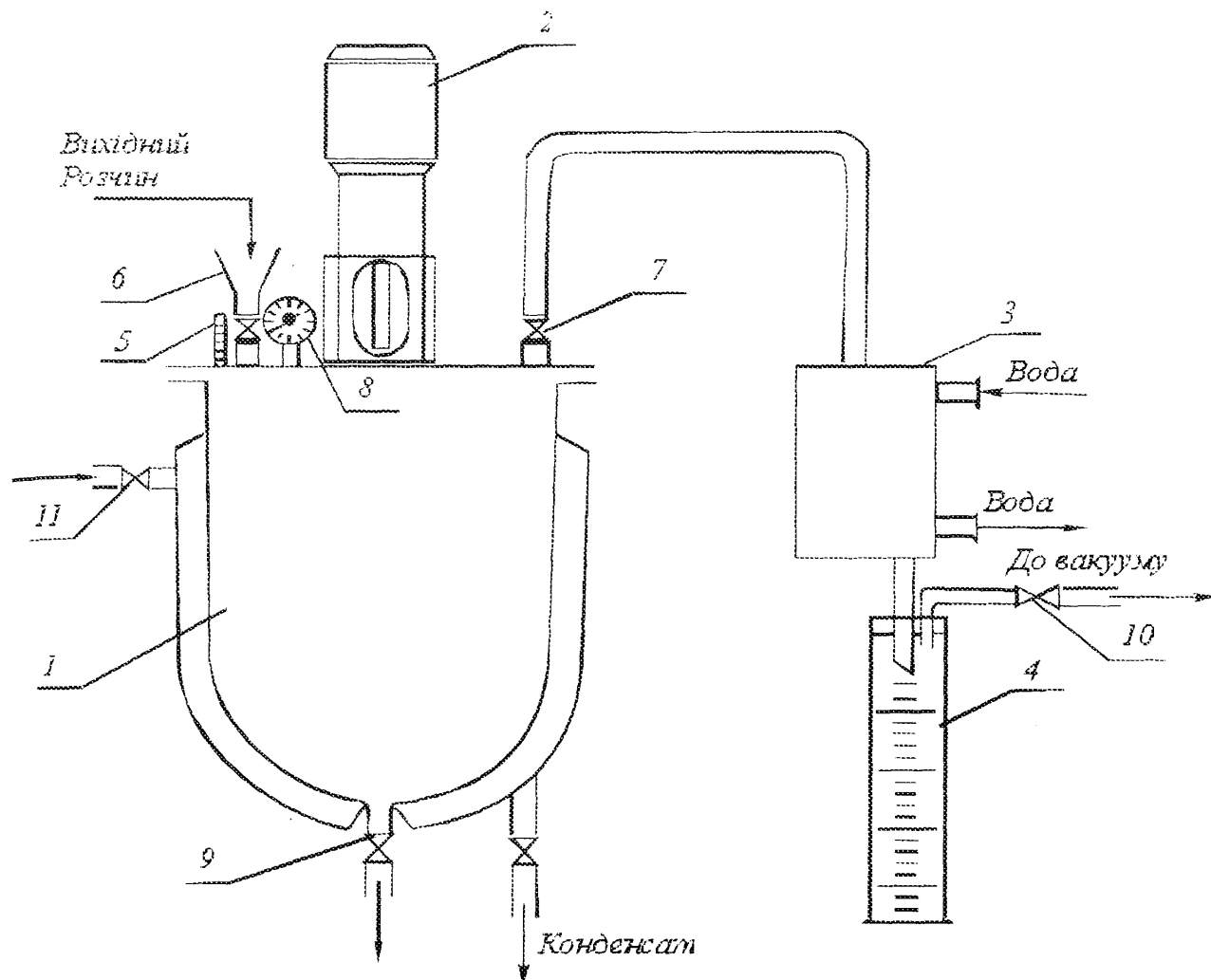


Рисунок 5.2. Пілотна установка для випарювання розчинів під тиском.

не використовувались і не досліджувались. Метою досліджень було встановлення гранично можливого ступеню випарювання, при якому ще виділяється чиста сіль. Дослідження проводили на пілотній установці показаній на рис. 5.2. Яка працює наступним чином. Випарюваний розчин через лійку (6) завантажували в герметично закритий емальований автоклав (1) ємністю 9 л зі змішувачем, який приводиться в рух електромотором з редуктором (2). Число обертів змішувача складало 78 об/хв., тип змішувача – якірний. Кількість вихідного розчину складала 8 л. Після завантаження розчину включали змішувач і подавали пару для нагрівання та воду для охолодження на конденсатор (3). Температуру випарювання встановлювали за показниками термометра (5), шляхом регулювання тиску в автоклаві за допомогою регулюючого вентиля (7) і вентиля на трубопроводі з паром для нагрівання (11). Тиск в автоклаві заміряли манометром (8). При необхідності випарю-

вання під розрідженням користувались вакуум-насосом. Конденсат збирали в приймачі конденсату (4). По мірі накопичення розрахункової кількості конденсату відкривали кран (9) і відбирали пробу випаруваної суспензії, яку швидко фільтрували під розрідженням до 100 мм.рт.ст. Передбачалось, що при охолодженні суспензії за рахунок самовипарювання калійно-магнієві солі, які випали при високій температурі не розчиняються, так як швидкість їх розчинення в концентрований розчинах дуже низька, а із випаруваного розчину при охолодженні кристалізується тільки NaCl, так як розчин насичений по NaCl і ненасичений по калійно-магнієвим солям. Склад у одержаних при цьому рідких та твердих фаз відповідає дещо більший ступінь випарювання. Останній визначали за допомогою ПК розв'язанням системи рівнянь матеріального балансу. Чистота солі при цьому практично не змінюється. Можлива в процесі відбирання проб помилка носить систематичний характер і характеризується невеликою відносною величиною. Вказаний спосіб був використаний замість спеціального пробовідбірника для відбору проб під тиском, якого на установці не було. Після відбору проби продовжували випарювання розчину до чергової глибини випарювання і повторно повторювали відбір. У кожному експерименті послідовно відбирали 5-7 проб, при кожній температурі паралельно проводили 3-4 експерименти. Відібрані проби рідких і твердих фаз аналізувались на повний хімічний склад. Результати експериментів наведені на рис. 5.3.

Із одержаних результатів видно, що при температурах 120, 130 і 140 °С і низькій концентрації магнію в розчині, в тверду фазу кристалізується достатньо чистий NaCl. Домішки солей в осаді знаходяться, в основному, у вигляді розчину для просочування, і частково у вигляді, як показують розрахунки дійсно твердих фаз, кристалічних калійно-магнієвих солей. При досягненні визначеної концентрації магнію в розчині починає збільшуватись концентрація іонів K^+ , Mg^{2+} і SO_4^{2-} . Значення граничного ступеню випарювання, тобто ступеню, при якому кристалізується чиста сіль, залежить від температури випарювання. Так, для температури 120 °С вона складає за магнієм у рідкій фазі 3,51 %, для 130 °С – 3,02 %, для 140 °С – 2,80 %. Залежність граничної концентрації магнію у випаруваному розчині (С, %) від температури (t, °С) може бути наближено описана емпіричним рівнянням [142]:

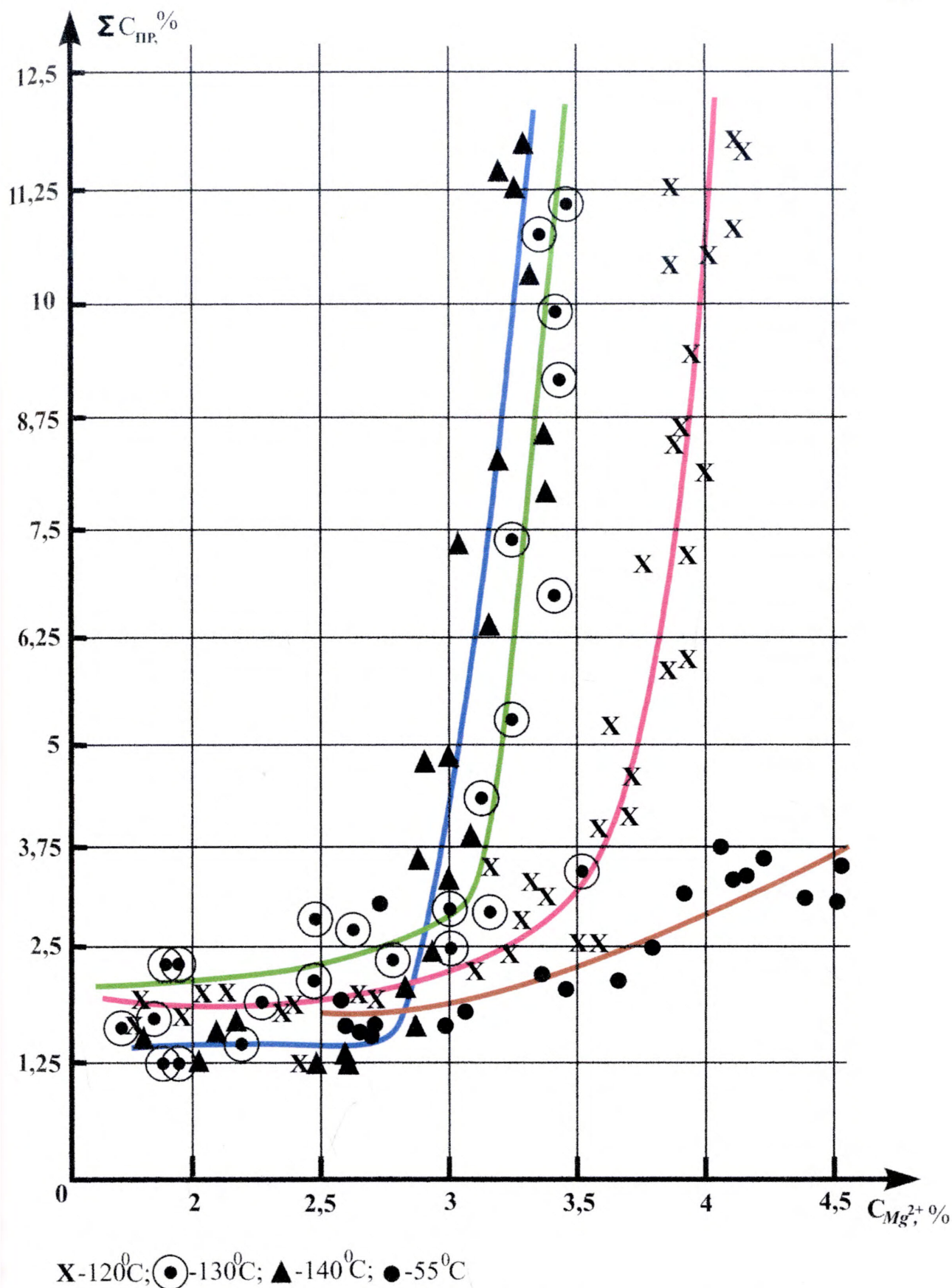


Рисунок 5.3. Залежність зміни концентрації домішок K^+ , Mg^{2+} і SO_4^{2-} ($\Sigma C_{пр}$) від концентрації магнію ($C_{Mg^{2+}}$) у випареному розчині і температури випарювання.

$$C=7,9-0,0365 \cdot t$$

(5.1)

Вище вказаної концентрації кухонна сіль забруднюється твердими домішками калійно-магнієвих солей, тому перевищення її є неприпустимим. Одержані дані показали, що в першому корпусі вакуумно-випарювальної батареї можлива температура випарювання від 120 до 140 °С за умови, що глибина випарювання не перевищує визначеного граничного значення. Ця умова забезпечується у тому випадку, коли необхідний загальний ступінь випарювання на стадії одержання кухонної солі, який розділений на число корпусів установки, менший величини „С” рівняння (5.1).

Розрахункові значення граничного ступеню випарювання при різній температурі і фактична концентрація магнію в розчині після першого корпусу для випадку випарювання розчинів Домбровського кар'єру від вихідної концентрації за магнієм від 1,5 % до 4,5 % наведено в табл. 5.4.

Таблиця 5.4.

Гранична концентрація Mg^{2+} , % в залежності від температури випарювання в першому корпусі та концентрація Mg^{2+} , % у розчині після першого корпусу в залежності від кількості корпусів у ВВУ.

Показники	Температура випарювання в першому корпусі, °С						
	115	120	125	130	135	140	145
Гранична концентрація Mg^{2+} , %	3,70	3,51	3,34	3,02	2,97	2,80	2,61
Кількість корпусів в установці							
2	2,75-3,00						
3	2,33-2,50						
4	2,12-2,25						
5	2,00-2,10						
6	1,92-2,00						

Із табл. 5.4. видно, що при випарюванні донасиченого розчину при кількості корпусів установки 3 і більше, в першому корпусі досягається концентрація магнію в розчині значно менша її граничної величини. У двохкорпусній вакуумно-випарювальній установці (ВВУ) максимальна температура випарювання не має перевищувати 130 °С. Максимально можлива кількість корпусів обмежується величиною корисної різниці температур між корпусами.

Якщо прийняти температуру випаровування в останньому корпусі рівною 55 °С, а температурну депресію розчину 7 °С, то значення корисної різниці температур у залежності від кількості корпусів і температури випаровування будуть наступними (табл. 5.5.).

Таблиця 5.5.

Величина корисної різниці температур у залежності від кількості корпусів і температури випаровування у ВВУ.

Число корпусів	Температура випарювання в першому корпусі, °С						
	115	120	125	130	135	140	145
2	23,0	25,5	28,0	30,5	38,0	35,5	38,0
3	13,0	14,7	16,3	18,0	19,7	21,3	23,0
4	8,0	9,2	10,5	11,8	13,0	14,2	15,5
5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
6	3,0	3,8	4,7	9,5	6,3	7,2	8,0

З таблиць 5.4. - 5.5. можна вибрати ефективну кількість корпусів установки, при якій у першому корпусі не буде досягатись граничний ступінь випаровування і корисна різниця температур між корпусами буде більша 7 (табл. 5.6).

Таблиця 5.6.

Значення ефективної кількості корпусів в залежності від температури в першому корпусі ВВУ.

Температура випаровування	115	120	125	130	135	140	145
Ефективне число корпусів	2,3	2,3,4	2,3,4,5	2,3,4,5	3,4,5	3,4,5,6	3,4,5,6

Проведені нами дослідження дозволили зробити висновок, що випарювання розчинів Домбровського кар'єру можна проводити при високих температурах, від 115 до 140 °С, з використанням багатокорпусних (до 6 корпусів) вакуумно-випарювальних установок. Збільшення кількості корпусів дозволить суттєво знизити розхід дорогої пари для нагрівання і підвищить ефективність виробництва кухонної солі.

5.2.3. Дослідження випарювання розсолів у багатокорпусних прямотечієвих вакуумно-випарювальних установках.

Описані вище результати досліджень відносяться до роботи першого високотемпературного корпусу випарювальної установки. Подальші дослідження були спрямовані на вивчення процесу випарювання в багатокорпусній установці до кінцевої концентрації за магнієм, яка забезпечує одержання чистої кухонної солі і максимально випареного розчину. Експерименти проводились на установці, показаній на рис. 5.2. Після досягнення розрахункової, нижче граничної, глибини випарювання при високій температурі знижували температуру випаровування шляхом скиду надлишкового тиску і включення вакуум-насосу. Випаровування проводили ступінчасте при температурах 130, 110, 90 та 70 °С і рівних ступенях випаровування для кожної температури (рис. 5.4.). Провели три досліди при різному ступеню випарювання по Mg^{2+} , мас. % (табл. 5.7.).

Таблиця 5.7.

Склад випаруваного розчину та непромитої солі в залежності від ступеню випаровування

Найменування матеріалу	№ досліджу	Склад, мас. %						
		K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na^+	Cl^-	SO_4^{2-}	H_2O
Випаруваний розчин	1	5,89	4,18	0,03	3,62	17,70	7,46	61,12
	2	5,59	3,92	0,02	4,09	17,55	7,18	61,65
	3	6,07	4,61	0,01	2,84	17,28	8,22	60,97
Одержана сіль	1	1,16	0,42	0,03	34,19	53,96	1,51	8,73
	2	1,17	0,87	0,03	31,93	51,67	1,67	12,66
	3	1,53	1,08	0,03	31,24	51,47	1,77	12,88

Розрахунки складу дійсно твердих фаз показують, що крім розчину для просочування в кухонній солі містяться тверді домішки калійно-магнієвих солей. Можливо, кристали калійно-магнієвих солей, які випали при високих температурах із зміною температури випарювання не розчиняються і продовжують забруднювати кухонну сіль. Тому для одержання солі вищої чистоти осад після випарювання необхідно репульпувати вихідним до насиченим по галіту розчином і після цього його відділяти від розчину і промивати водою.

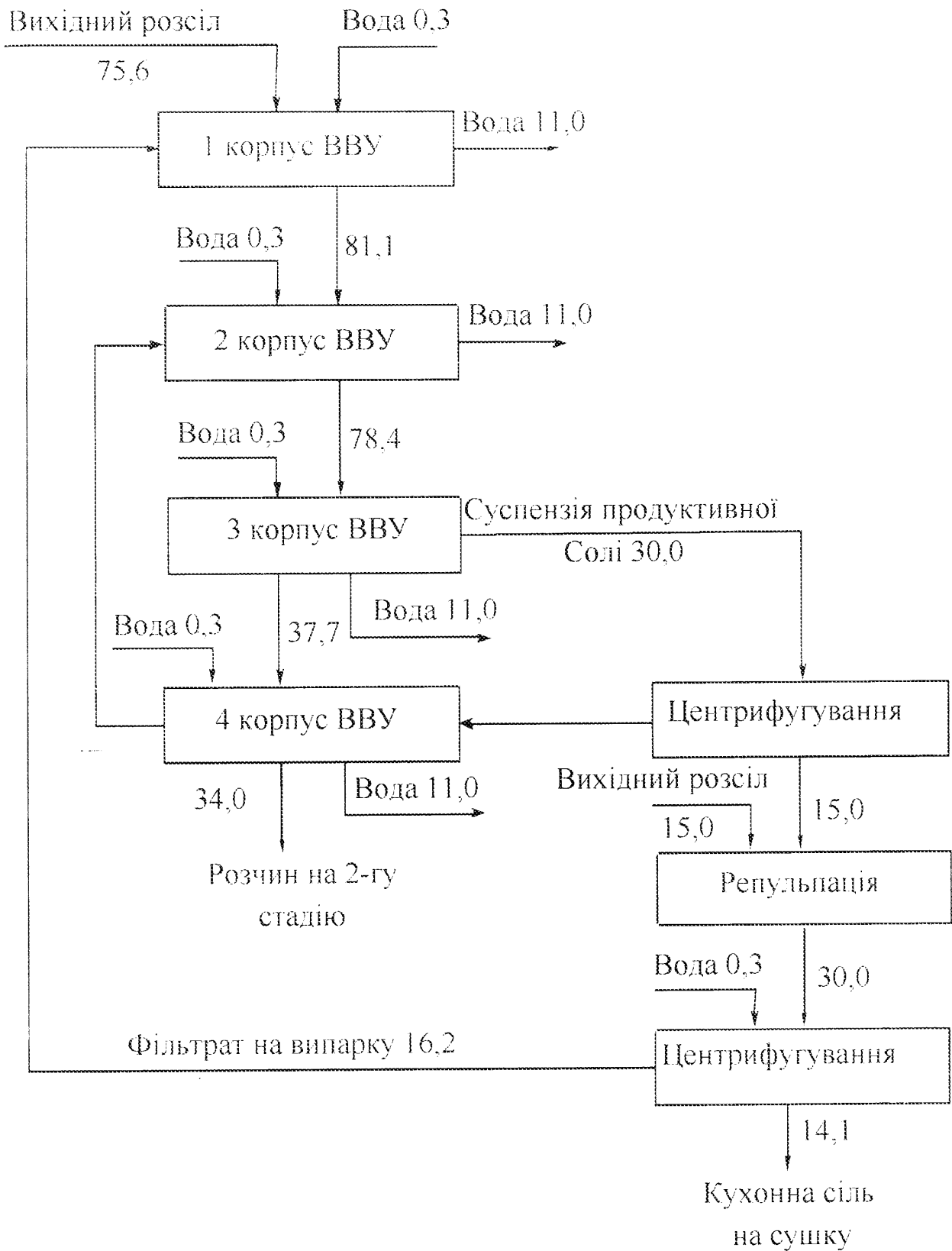


Рисунок 5.4. Блок-схема чотирьохкорпусної ВБУ для випарювання донасичених розчинів.

Для дослідження процесу промивки брали забруднену кухонну сіль і вихідний донасичений галітом розчин у співвідношенні 1:1, репульпували на протязі 5 хв., фільтрували і промивали порціями води, в сумарній кількості 10 % від маси солі. У результаті одержали промиту сіль складу (табл. 5.8.), мас. %: K^+ - 0,08; Mg^{2+} - 0,04; Na^+ - 36,98; Ca^{2+} - 0,01; Cl^- - 57,05; SO_4^{2-} - 0,13; H_2O - 5,73, яка відповідає продукту вищого гатунку (ДСТУ 3583-97) [152].

Із наведених даних в таблиці 5.8 видно, що ступінь випарювання розчину для виділення кухонної солі без домішок калійних солей складає 48,7 %, а ступінь виділення продукту із розчину складає 79,0 %.

Таблиця 5.8.

Матеріальний баланс процесу одержання солі із донасиченого розсолу.

Матеріали	Маса, кг	Маса за іонним складом, кг						
		K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na^+	Cl^-	SO_4^{2-}	H_2O
Прихід:								
Вихідний розчин	100	2,10	1,47	0,01	7,290	15,46	2,70	70,97
Вода на промивку	1,685							1,685
Всього	101,685	2,10	1,47	0,01	7,290	15,46	2,70	72,655
Розхід:								
Одержана сіль	15,612	0,012	0,006	0,003	5,761	8,907	0,02	0,903
Випаруваний розчин	37,347	2,088	1,464	0,007	1,529	6,552	2,68	23,026
Конденсат	48,726							48,726
Всього	101,685	2,10	1,47	0,01	7,290	15,46	2,70	72,655

Аналіз результатів досліджень показав, що випарений розчин після виділення $NaCl$ за складом практично відповідає розчину після першої стадії випаровування надлишкового галітового розчину і його разом із основним потоком слід подавати на другу стадію випарювання для виділення калій-магнієвих солей.

Для підтвердження можливості одержання кухонної солі за прямотечієвою схемою були поставлені спеціальні експерименти. Спочатку донасичений розчин Домбровського кар'єру випарювали при температурі $55^{\circ}C$ до кінцевого ступеню випарювання (до концентрації магнію 4,0-4,5 % мас.). Потім одержаний осад відділяли і додавали у свіжий донасичений розчин. Одержану суспензію випарювали до концентрації 3,0-3,8 % за магнієм, відокремлювали сіль, яка випала, промивали її і аналізували.

При температурі 55°C і концентрації магнію $3,37\%$ у тверду фазу кристалізується не більше 8% солей калію, магнію і сульфатів від їх кількості у вихідному розчині подальше випарювання приводить до збільшення кількості кристалічних домішок. При концентрації магнію в розчині $4,37\%$ випадання NaCl у осад складає $86,3\%$, а домішок – $8,7\text{--}11,3\%$.

Одержаний у вказаних умовах осад кухонної солі додавали у вихідний розчин. Суміш повторно випаровували при температурах спочатку 115°C і потім 80°C до $3,1\%$ магнію в рідкій фазі. Осад солі відділяли, одержали продукт складу, мас. %: K^+ - $0,63$; Mg^{2+} - $0,53$; Na^+ - $38,32$; Cl^- - $53,76$; SO_4^{2-} - $0,35$; H_2O - $10,16$ і випарений розчин складу, мас. %: K^+ - $3,34$; Mg^{2+} - $3,1$; Na^+ - $4,87$; Ca^{2+} - $0,01$; Cl^- - $17,20$; SO_4^{2-} - $4,51$; H_2O - $65,97$. Теоретичні розрахунки вказують на присутність невеликої кількості домішок у кухонній солі в твердому вигляді. При репульпації солі вихідним розчином і промиванні водою утворюється сіль вищого гатунку.

Основою для запропонованого пристрою стала трикорпусна прямоточна вакуумно-випарювальна установка, за допомогою якої на калійному виробництві одержують технічний хлорид натрію. Установка містить три послідовно встановлені вакуумно-випарювальні апарати з винесеними камерами нагрівання і сепараторами змішування, та вимушеною циркуляцією розчину (рис. 5.5.).

Вибір такого типу апаратів зумовлено ще й тим, що при розміщенні нагрівальної камери поза корпусом випарного апарату стає можливим підвищення інтенсивності випарювання не тільки за рахунок збільшення різниці густин рідини і парогазової суміші в циркуляційному контурі, але й за рахунок збільшення довжини кип'ятильних труб.

Апарат з винесеною камерою нагрівання працює при більш інтенсивній циркуляції, за рахунок того, що циркуляційна труба не обігривається, а підйомний і опускний проміжки циркуляційного контуру мають значну висоту.

Винесена камера нагрівання легко відділяється від корпусу апарату, що полегшує і пришвидшує ремонт і її очистку.

Для того щоб усунути відкладення накипу в трубах, особливо при випарюванні розчинів, що кристалізуються, необхідні швидкості циркуляції не менше $2 - 2,5$ м/сек, тобто значно більші швидкості при яких працюють апарати з природною цир-

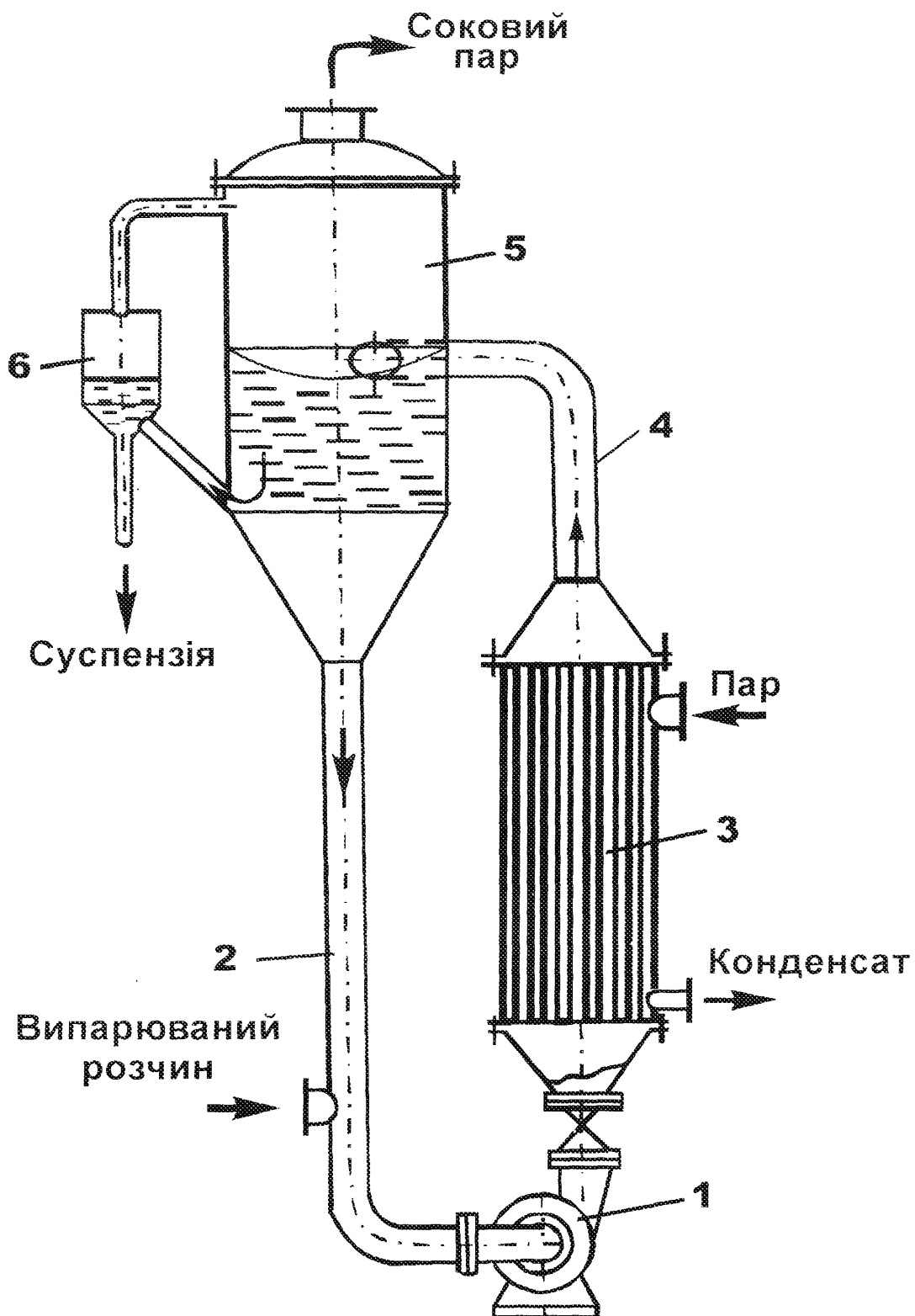


Рисунок 5.5. Випарювальний апарат із вимушеною циркуляцією і винесеною камерою нагрівання.

1 – циркуляційний насос; 2 – зворотна труба; 3 – камера нагрівання; 4 – підйомна труба; 5 – сепаратор; 6 – ліхтар.

куляцією. В принципі, таких швидкостей можна досягнути і на апаратах з природною циркуляцією розчину, але для цього необхідні дуже великі корисні різниці температур між парою нагрівання та киплячим розчином, а це дуже дорого.

В апаратах з вимушеною циркуляцією розчину швидкість її визначається продуктивністю циркуляційного насосу і не залежить від висоти рівня рідини в трубах, а також від інтенсивності пароутворення. Тому в таких апаратах випарювання ефективно проходить при малих корисних різницях температур, що не перевищують $3 - 5^{\circ}\text{C}$ и при значній в'язкості розчинів.

При великій швидкості руху випаровуваного розчину його кипіння проходить на короткому проміжку перед виходом із кип'ятильних труб. Таким чином, зона кипіння переміщується в саму верхню частину нагрівальної камери. На більшій частині довжини кип'ятильних труб розчин лише трохи перегрівається. Це пояснюється тим, що тиск внизу труби більший за тиск біля її верхнього краю на величину гідростатичного тиску стовпа рідини і гідравлічного опору труби.

Внаслідок високого рівня розчину в кип'ятильних трубах, значна частина всього циркуляційного контуру заповнена рідиною, а паровміст суміші рідини і вторинної пари, що викидається із труб, невеликий. У зв'язку з цим циркуляційний насос має перекачувати великі об'єми рідини (мати велику продуктивність) при низькій енерговитраті, що затрачується в основному на подолання гідравлічного опору труб. Таким вимогам задовольняють пропелерні насоси, які зазвичай використовують в апаратах з вимушеною циркуляцією розчину [142].

Апарати в прототипі з'єднані між собою підвідними та відвідними парозолопроводами, розчини циркулюють у пристрої за допомогою насосів та під дією створеного тиску. Пристрій працює таким чином. Корпус першого випарного апарату обігрівается парою для нагрівання, а кожний наступний – вторинним паром попереднього корпусу. Розчин поступає на випарювання у перший корпус у камеру нагрівання де випаровується і з якої, разом з парою, потрапляє на сепаратор змішування, в якому проходить змішування та охолодження випарованого розчину до температури випаровування другого корпусу, після чого розчин під тиском з першого апарату поступає на довипарювання у другий апарат, потім розчин поступає у третій випарювальний апарат, із якого відділяється продуктивна сіль. Суспен-

зія із сепаратора третього корпусу насосом вивантажується в бак-гідрозатвор із якого насосом подається в гідроциклон де осад відділяється від розчину. Утворений осад являє собою технічну сіль і подається на центрифугу, де розділяється, вивантажується і подається на сушку, а злив гідроциклона, який утворився після відділення солі повертають у шламо- та хвостосховища [144].

В описаній установці одержують технічну сіль яка є непридатною для вживання людьми, внаслідок її забруднення калійно-магнієвими домішками. Установка не забезпечує виділення максимальної кількості корисної сировини, так як випаровування закінчується стадією одержання технічної солі, а одержані концентровані калійно-магнієві розчини скидаються в шламо- та хвостосховища.

Виходячи з вище викладених експериментальних досліджень, нами пропонується наступний режим випаровування. З економічних міркувань в якості прикладу взята чотирикорпусна вакуумно-випарювальна установка. Спочатку розчин випарюється у високотемпературному першому корпусі при температурі від 115 до 140 °С, потім при температурі від 95 до 110 °С у другому корпусі та після цього при температурі від 75 до 80 °С у третьому корпусі. Із третього корпусу суспензія кухонної солі виводиться на гідроциклон, де розділяється. Згущена суспензія кухонної солі виводиться на розділення в центрифугі з виведенням продуктивної солі, а розчин з концентрацією магнію 3,0-3,8 % поступає на випарювання в четвертий корпус, де випаровується до кінцевої концентрації (4,0-4,5 % Mg^{2+}). Одержана в четвертому корпусі суспензія забрудненої солі розділяється на гідроциклоні, розчин поступає на другу стадію випаровування, а згущена суспензія насосом повертається у другий апарат, в якому при температурі від 95 до 110 °С викристалізовані раніше домішки розчиняються, а кристали кухонної солі виводяться з потоком в третій корпус, звідки у вигляді продукту виводяться (табл. 5.9.). Розчин після донасичення нерозчинним залишком розчин має такий склад (мас. %): K^+ - 1,93-2,10; Mg^{2+} - 1,33-1,48; Ca^{2+} -0,02-0,05; Na^+ -7,29-7,73; Cl^- -15,46-16,08; SO_4^{2-} -2,49-2,76; H_2O -69,86- 1,17. Низька концентрація в ньому калію, магнію і сульфатів дозволяє проводити випарювання при температурах від 115 до 140 °С, не допускаючи при цьому, кристалізації разом з кухонною сіллю калійно-магнієвих солей.

За рахунок збільшення різниці температур вихідного і випаруваного розчинів,

Середній хімічний та сольовий склад розчинів, що поступають і одержують на ВВУ.

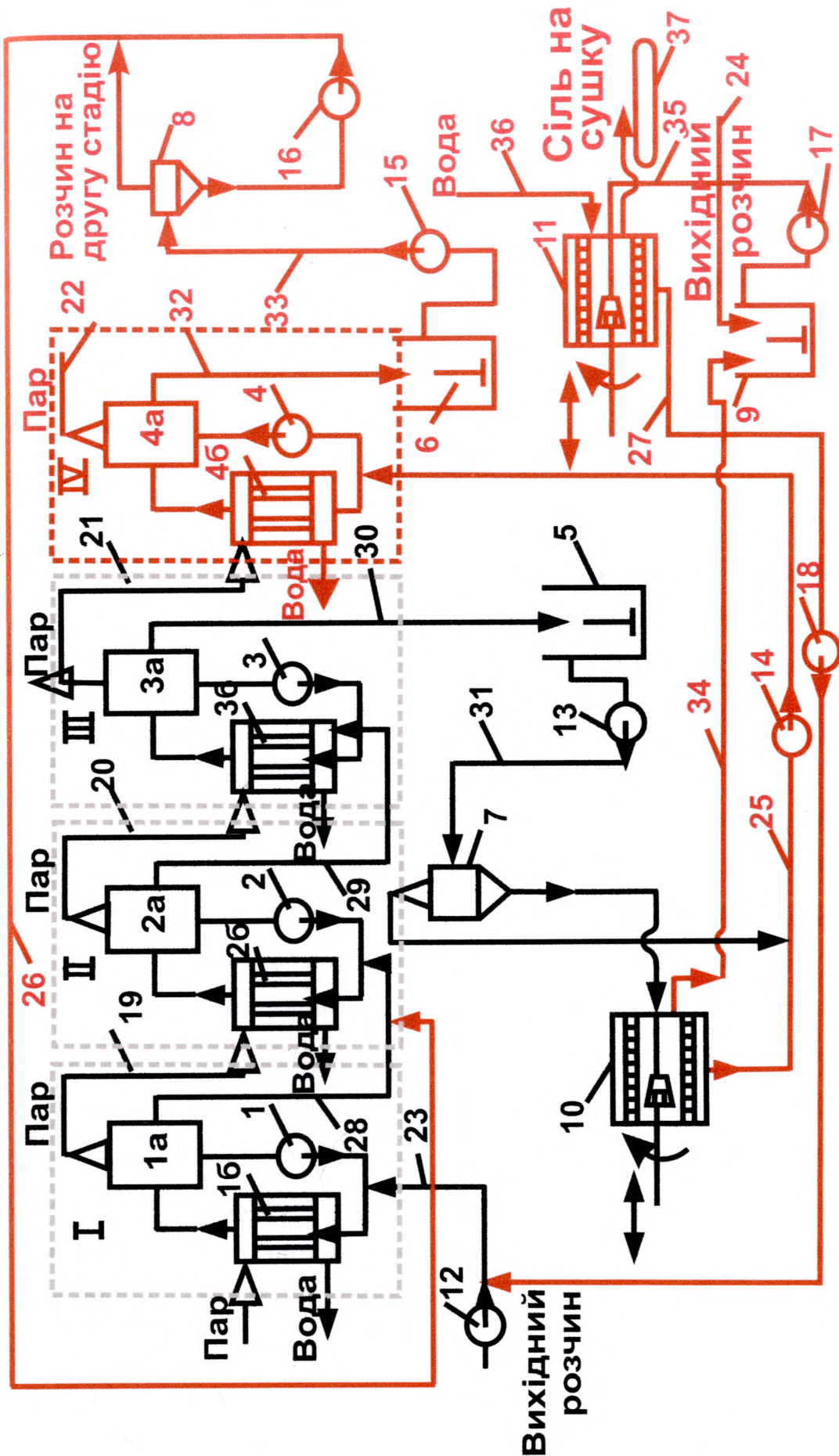
Назва продукту	Склад, мас. %						Склад солей, мас. %						
	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	H ₂ O	MgSO ₄	MgCl ₂	KCl	NaCl	CaSO ₄	H ₂ O
Вихідний розчин	2,10	1,47	0,01	7,29	15,46	2,7	70,97	3,35	3,11	4,0	18,53	0,03	70,97
Розчин після I корпусу	2,97	2,08	0,01	6,49	15,98	3,82	68,65	4,76	4,39	5,67	16,50	0,03	68,65
Розчин після II корпусу	3,84	2,7	0,01	5,69	16,5	4,94	66,32	6,16	5,71	7,32	14,46	0,03	66,32
Розчин після III корпусу	4,72	3,31	0,01	4,89	17,03	6,06	63,98	7,56	6,99	9,0	12,43	0,03	63,98
Розчин після IV корпусу	5,59	3,92	0,02	4,09	17,55	7,18	61,65	8,93	8,28	10,66	10,39	0,06	61,65
Непромита сіль	1,16	0,42	0,03	34,19	53,96	1,51	8,73						

стає можливим встановлення додаткового корпусу вакуумної батареї і зниження питомого розходу пари для нагрівання.

Установка призначена для випарювання донасичених розчинів відходів кадійного виробництва з одержанням харчової кухонної солі і розчину, придатного для виробництва хлор-магнієвого розчину – сировини для виробництва штучного карналіту. До складу установки входять вакуумно-випарювальні апарати з винесеною камерою нагрівання і вимушеною циркуляцією розчину, барометричний конденсатор змішування і інше необхідне обладнання (циркуляційні насоси, баки – гідрозатвори, гідроциклони, бак зі змішувачем, центрифуги, насоси для розчинів та суспензій, трубопроводи сокового пару, трубопроводи вихідного розчину, циркуляційні розсоло-проводи, трубопроводи випарюваного розчину та суспензій, трубопровід води для промивання солі, транспортер, акумулююча ємність). Установка повинна забезпечувати виведення хлориду натрію при температурі від 75 до 80 °С.

Розсіл після донасичення поступає на випарку в чотирьокорпусну вакуумно-випарювальну установку (рис. 5.6.). Випарювання здійснюється за прямоотечієвою схемою з виведенням соляної продукції з третього корпусу, а з четвертого – забрудненої, яку повертають у другий корпус. Допустима температура випарювання в першому корпусі складає від 115 до 140 °С в залежності від параметрів нагріваючої пари, оптимальна 137 °С (± 2 °С). Тиск в сепараторі першого корпусу від 0,11 до 0,22 МПа. Допустима температура в другому корпусі від 95 до 110 °С, оптимальна 104 °С (± 5 °С), а допустима в третьому – від 75 до 80 °С, оптимальна 78 °С і в четвертому – від 47 до 55 °С, оптимальна 53 °С. Тиск в барометричному конденсаторі складає $0,2 \cdot 10^4$ Па.

Пристрій працює таким чином. Корпус першого випарного апарату обігрівається свіжою парою, а кожний наступний – вторинним паром попереднього корпусу, що поступає по паропроводам (19-22) під створеним в корпусах тиском. Вода, що утворюється під час випарювання розчинів, разом з водою для охолодження виводиться з корпусу, подається на охолоджувач (не вказаний на схемі) і знову використовується в процесі, а її надлишок поступає у акумулюючу ємність (не показану на схемі пристрою) і використовується для планового промивання пристрою, після чого оде-



унок. 5.6. Схема установки для переробки відходів одержаних при переробці полімінерних калійних руд.

I, II, III, IV - вакуумно-випарювальні апарати; 1а, 2а, 3а, 4а - сепаратори змішування; 16, 26, 36, 46 - винесені камери нагрівання; 1 - 4 циркуляційні насоси; 5, 6 - баки-гідрозатори; 7, 8 - гідроциклони; 9 - бак зі змішувачем; 10, 11 - центрифуги; 12 - 18 - трубопроводи для розчинів та суспензій; 19 - 22 - трубопроводи сокового пару; 23, 24 - трубопроводи вихідного розчину; 25 - 27 - циркуляційні розсолопроводи; 28 - 35 - трубопроводи випарюваного розчину та суспензій; 36 - трубопровід води для промивання солі; 37 - транспортер.

ржаний розчин змішують з вихідним розчином, і подають на випарювання насосом (12) по трубопроводу (23) в перший корпус вакуумно-випарювального апарату (I) в камеру нагрівання (1б).

При роботі пристрою вихідний розчин на випарювання подається в перший апарат (I) насосом (12) по трубопроводу (23) в нагрівальну камеру (1б) в якій нагрівається до температури випарювання передбаченої у першому апараті, перенасичений розчин піднімається разом з паром нагрівання у сепаратор змішування (1а) в якому проходить змішування та охолодження випаруваного розчину до температури випарювання другого апарату, після цього розчин під тиском з першого апарату поступає по розсолопроводу (28) на довипарювання у другій апарат (II) в нагрівальну камеру (2б) з якої піднімається у сепаратор змішування (2а), потім розчин поступає по розсолопроводу (29) у третій випарювальний апарат (III) у нагрівальну камеру (3б), звідки перенасичений розчин піднімається на сепаратор змішування (3а), із якого відділяється продуктивна сіль, суспензія із сепаратора третього корпусу (3а) по розсолопроводу (30) вивантажується в бак-гідрозатвор (5), із якого насосом (13) по розсолопроводу (31) подається в гідроциклон (7).

Злив гідроциклона (7) насосом (14) подається по циркуляційному розсолопроводу (25) в четвертий випарювальний апарат (IV, 4а, 4б), де продовжує випарюватися розчину до кінцевої концентрації за магнієм. Суспензія із сепаратора четвертого корпусу (4а) по розсолопроводу (32) вивантажується в бак-гідрозатвор (6), із якого насосом (15) подається по розсолопроводу (33) в гідроциклон (8). Злив гідроциклона (8) є аналогічним за хімічним складом випареному розчину після першого апарату випарювання, тому подається на другий апарат випарювання (II, 2а, 2б), а згущена забруднена сіль із гідроциклона насосом (16) поступає по циркуляційному розсолопроводу (26) у другий випарювальний апарата (II, 2а, 2б), де домішки кухонної солі (в основному КС1) переходять в розчин і проходить репульпація кухонної солі. Піски гідроциклона (7), являють собою чисту кухонну сіль, подаються по циркуляційному розсолопроводу (25) насосом (14) у четвертий апарат випарювання (IV, 4а, 4б). Відфільтрована кухонна сіль із центрифуги (10) по розсолопроводу (34) вивантажується в бак зі змішувачем (9), куди подається вихідний розчин по розсолопроводу (24) для репульпації. Утворена суспензія насосом (17) подається по розсолопроводу

(35) на центрифугу (11), де розділяється, осад на центрифугі промивається питною водою, яка надходить з трубопроводу (36), вивантажується на транспортер (37) і подається на сушку (не показана на схемі пристрою). Фільтрат і промивна вода після центрифуги (11) насосом (18) по циркуляційному розсолотриводу (27) подається разом із вихідним розчином на випарку у перший випарювальний апарат (1а, 1б). Цикл повторюється з додаванням вихідного розчину.

Тверді фази у всіх корпусах ВВУ представлені галітом (хлоридом натрію). У четвертому корпусі можливі домішки сільвіну (хлориду калію). У процесі експлуатації можливі відхилення в складі вихідного розчину та готових продуктів = 10 %. Температура зворотної води: взимку – від 20 до 22 °С, влітку – від 26 до 28 °С. Мінералізація зворотної води за сумою солей від 1,5 до 2,0 мас. %. Тиск: зворотної води від 2 до 4 атм; пари від 3 до 4 атм.

Продуктивність ВВУ: а) по вихідному розсолу - 90 т/год; б) по кухонній солі – 14 т/год; в) по випаренній воді – 48,7 т/год.

У новому варіанті економічний ефект від впровадження установки для випарювання розсолів визначиться додатковим виробництвом 93 тис. т. кухонної солі вищого гатунку, що буде реалізована за ціною 350 грн. за тону (розфасовану в 1 кг поліетиленові пакети), без урахування додаткового виробництва супутньої продукції: хлормагнієвого лугу 34 тис. тонн (у перерахунку на $MgCl_2$), (табл. 5.10).

Позначення всіх фізичних величин узгоджено з ДСТУ 3651.1-97 [153].

4.3 Висновки

1. Основною метою розробки вищенаведених способу та пристрою є переробка високомінералізованих розсолів відходів, які утворюються: в результаті переробки полімінеральних калійних руд; витіснення із затоплених шахтних виробок внаслідок просідання земної поверхні над ними; внаслідок вилуговування солей атмосферними опадами і підземними водами, що накопичуються у Домбровському кар'єрі та загострення ситуації щодо їх утилізації.

Таблиця 5.10.

Економічний ефект від впровадження установки для випарювання донасичених розчинів

Назва показників	Одиниці виміру	Показник прототипу	Показник нового варіанту
Продуктивність пристрою по випуску кухонної солі:			
- технічній / харчовій	тис. т / рік	79,0 / -	79,0 / 93,0
Час роботи пристрою	дні	276	276
Випареної пристроєм води	т/год	36,5	48,7 (323000 рік)
Розхід пари пристроєм	Гкал/год	10,0	10,1
Розхід газу а сушку солі	кг/год	-	3,8
Оптова ціна 1 тонни солі кухонної:			
- технічної / - харчової	грив.	6,44 / -	6,44 / 550,0
Собівартість 1 т. солі:			
- технічної / - харчової	грив.	5,80 / -	5,80 / 55,665
Додаткові капіталовкладення	тис. грив.	-	3262,4
Економічний ефект	тис. гр. / рік	-	1805,65

2. Розроблені винаходи є удосконаленням вже відомих пристроїв та способів, шляхом: розширення корисної різниці температур між розчином у першому та останньому корпусах; створення замкнутої екологічно-безпечної схеми їх переробки при додатковому включенні ще одного вакуумно-випарювальний апарату з винесеною камерою нагрівання і сепаратором змішування, та вимушеною циркуляцією розчину, до того ж доз додатково введено гідроциклон, центрифугу, бак-змішувач, бак-гідрозатвор, причому елементи пристрою встановлені з утворенням прямої замкнутої схеми руху теплоносіїв та розчинів. З їх допомогою одержують харчову кухонну сіль та технічну сіль, а також розчин, який можна використати для приготування хлормагнієвих розсолів – сировини для виробництва штучного карналіту.

3. Слід вважати доведеним, що при впровадженні вищенаведених пристрою і способу переробки високомінералізованих розсолів досягається: значне зменшення кількості соляних відходів (тільки високомінералізованих (до 380 г/дм³) розсолів – 630 тис. м³/рік), знижується негативний вплив на довкілля, налагоджується випуск товарної сировини та продукції.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ПІДСУМКОВІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення і вирішення наукової задачі зі зменшення наслідків впливу керованого затоплення калійних шахт Прикарпаття на навколишнє середовище, шляхом розробки та впровадження науково-технічних природоохоронних методів і засобів.

Основні наукові і практичні результати дисертаційної роботи наступні:

1. На підставі виконаного аналізу та проведених досліджень впливу затоплених калійних шахт на довкілля встановлено, що основним джерелом сольового забруднення поверхневих і підземних вод є розміщені у виробках високомінералізовані розсоли ($350 - 400 \text{ г/дм}^3$), забруднення гідросфери проходить через канали гідродинамічного зв'язку (карстові провали, стовбури свердловин і шахт), між розсолами затоплених шахт і водоносними горизонтами.

2. Запропоновано, для зменшення наслідків впливу керованого затоплення шахт на довкілля, застосувати метод спорудження баражної завіси з місцевих водонепроникних матеріалів навколо вже існуючих провалів і виділених у результаті досліджень ареалів засолення.

3. Розроблена та впроваджена математична модель розрахунку прогнозування розповсюдження забруднюючих речовин по каналах гідродинамічного зв'язку зі створеними на її основі методикою, та САПР „Еколог”, з метою кількісної оцінки впливу виносу солей із затоплених гірничих виробок у підземні та поверхневі водоносні горизонти, шляхом молекулярної дифузії.

Після реалізації даної моделі, для рудника „Калуш”, встановлено, що забруднення водоносного горизонту, за рахунок виносу солей шляхом молекулярної дифузії, носиме локальний характер і проявиться лише через 130 років після заповнення каналу зв'язку прісними водами (при коефіцієнті молекулярної дифузії із каналу зв'язку $D_M = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}$ і швидкості руху підземних вод 1,5 м/добу).

4. Розроблена та впроваджена математична модель тривимірного прогнозування розповсюдження забруднюючих речовин у підземному водоносному горизонті зі створеними на її основі методикою, та САПР „Ореол”, для прогнозування процесу площинного розповсюдження ареалу сольового забруднення у підземних водоносних горизонтах. З її допомогою можна: визначити концентрацію забруднюючої речовини у будь-який час, у будь-якому місці ареалу забруднення; дати прогноз щодо

форми, розмірів, швидкості просування і зміні у часі та просторі ареалу забруднення у підземних водах; підібрати і впровадити конкретні, максимально ефективні природоохоронні заходи для попередження, локалізації і ліквідації наявного та можливого забруднення.

5. Розроблено метод зменшення негативного впливу на довкілля розсолів, які витісняються із затоплених калійних шахт, шляхом скиду розсолів у маловодні водотоки, підчас повеней і паводків, з урахуванням їх асимілюючих властивостей. Дослідженнями встановлено, що кратність розведення для розсолів концентрацією 250 г/дм^3 має становити 436 (разів для хлоридів, як по переважаючому компоненту), при середній витраті води в річці $7500 \text{ м}^3/\text{год}$ можна скинути $12,9 \text{ м}^3/\text{год}$, $309,63 \text{ м}^3/\text{добу}$ або $113 \text{ тис. м}^3/\text{рік}$, за умови постійного гідромоніторингу поверхневих вод.

6. Запропоновано відновити утилізацію надлишкових розсолів методом скиду у підземні водоносні горизонти. Для підтвердження його економічної та екологічної доцільності, можливості практичної реалізації, проведено розрахунки приймальності і зони впливу на водоносний горизонт захоронення надлишкових розсолів. Розрахунками встановлено, що через одну поглинаючу свердловину можна утилізувати від 680 до $890 \text{ м}^3/\text{добу}$ (від 240 до $325 \text{ тис. м}^3/\text{рік}$) розсолів, а радіус їх розповсюдження у водоносному горизонті через 50 років становитиме всього $504,2 \text{ м}$.

7. Розроблено термічні установка і технологія з переробки відходів полімінеральних калійних руд (розсолів до $630 \text{ тис. м}^3/\text{рік}$), з одержанням кінцевих продуктів – кухонної – 14 т/год та технічної – 12 т/год солей і сировини для виробництва штучного карналіту (мінеральне добриво).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Малишевська О.С., Семчук Я.М., Кнігініцька Л.П. Екологічні проблеми при ліквідації калійних видобувних підприємств Прикарпаття // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2004. - №3. – С. 51-56.
2. Патент України № 75177. Кнігініцька Л.П., Семчук Я.М., Малишевська О.С. Спосіб переробки відходів, одержаних при переробці полімінеральних калійних руд, Бюл. №3, 15.03.2006. МПК C01D3/00.
3. Патент України № 76241. Кнігініцька Л.П., Семчук Я.М., Малишевська О.С. Установка для переробки відходів одержаних при переробці полімінеральних калійних руд, Бюл. №6, 15.06.2006. МПК B01D 1/12.
4. Декларативний патент України № 67391 А. Семчук Я.М., Малишевська О.С., Бараненко О.Б. Спосіб прогнозування розповсюдження забруднюючих речовин по каналах гідродинамічного зв'язку, бюлетень № 6, 15.06.2004. МПК G01V5/00, 9/00.
5. Малишевська О.С., Семчук Я.М., Бараненко О.Б. Підземне захоронення промислових стоків // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2004. - №3. – С. 35-38.
6. Малишевська О.С. Геофільтраційна модель визначення зміни концентрації забруднюючих речовин по каналах гідродинамічного зв'язку на прикладі затоплених калійних виробок Калуш-Голинського родовища // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2004. - № 5. – С. 58-63.
7. Малишевська О.С. Моделювання площинного розповсюдження забруднюючих речовин у підземних водах // Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції „Наука і освіта „2005””. Екологія. – Дніпропетровськ – Наука і освіта, Том 15. 2005. - С. 54.
8. Малишевська О.С. Регульований скид високомінералізованих розсолів у поверхневі водотоки, як вимушений тимчасовий захід їх знешкодження // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2004. – Вип. 4/2004 (27). – С. 162-164.
9. Малишевська О.С. Водоохоронні заходи у районі затоплених гірничих виробок калійних шахт Калуш-Голинського родовища // Вопросы химии и химической тех-

еології. – 2004. - №6. – С. 157-161.

10. Адаменко О.М., Рудько Г.І. Екологічна геологія: Підручник для студентів вищих навчальних закладів екологічних, геологічних, географічних спеціальностей. К.: «Манускрипт», 1997. – 348с

11. Раевский В.И., Гемп С.К. и др. Методические основы прогнозирования изменений геологической среды при разведке калийных месторождений. – В сб. Охрана геологической среды на калийных месторождениях. – Труды ВНИИГ. – Л.: 1985. С. 60-73.

12. Козлов С.С., Липницкий В.К., Ходьков А.Е. О гидродинамической и гидрохимической взаимосвязи подземных вод соленосных отложений и надсолевых пород (на примере Стебникского месторождения калийных солей). / В кн.: Геология и полезные ископаемые соленосных толщ. – Киев: «Наукова думка». – 1974. – С. 176-183.

13. Семчук Я.М. Наукові та методичні основи охорони геологічного середовища в районах розробки калійних родовищ (на прикладі Передкарпаття). Дисертація на здобуття доктора техн. наук: 21.06.01. – Івано-Франківськ. – 1995. – С. 18.

14. Бочевер Ф.М., Лапшин Н.М., Орадовская А.Е. Защита подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1979. 254 с.

15. Гаркушин П.К. Техногенез і охорона навколишнього середовища при розробці калійних родовищ Передкарпаття. // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. №2, 2001. – С.48-55.

16. Гаркушин П.К., Семчук Я.М. Технология закладочных работ на калийных рудниках Прикарпатья // Подземное и шахтное строительство. -1991. - №2. - С.13-17.

17. Варламов А.А., Козлов С.С., Липницкий В.К. Гидрогеологические условия и карст в районе прорыва надсолевых вод в штреке 43/2. / В кн.: Материалы по гидрогеологической и геологической роли подземных вод. – Л.: - ЛГУ. – 1971. – С. 27-32.

18. Джиноридзе Н.М., Поликарпов А.И., Телегин В.П., Коринь С.С., Ратникова Г.Н., Рудашевская Н.С. Геология Восточного поля Голыни Калуш-Голынского калийного месторождения. / В кн.: Геология месторождений калийных солей и их разведка. – Труды ВНИИГ, выпуск 64. – Л.: 1988. - С. 3-19.

19. С.С.Коринь, Н.М.Джиноридзе. Минеральный состав и свойства соляных пород Предкарпатья – индикаторы тектонических деформаций. Советская геология №24. 1988. С 95-97.

20. Кузьменко Е.Д. Тривимірне картування карстових утворень на родовищах калійної солі за даними гравірознавства // Розвідка і розробка. Випуск 33. Івано-Франківськ. – 1996. – С. 42-48.
21. А.В.Лущик., Н.І.Швирло., А.А.Лущик., Е.А.Яковлев., Е.Д.Кузьменко., Н.В.Штогрин. Оцінка експресними методами еколого-геологічної обстановки родовища калійних „Стебник” в Передкарпатті (Україна). // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. №2, 2001. – С. 55-60.
22. Мироненко В.А., Мольский Е.В., Румынин В.Г. Изучение загрязнения подземных вод в горнодобывающих районах. - Л.: Недра. 1988.-279 с.
23. Рудько Г.І, Шкіца Л.Є. Екологічна безпека та раціональне природокористування в межах гірничопромислових і нафтогазових комплексів: Монографія. - К: „Нічлава”, 2001 р. – 588 с.
24. Гошовський С.В., Рудько Г.І., Прісне Б.М. Екологічна безпека техноприродних геосистеми у зв'язку з катастрофічним розвитком геологічних процесів. – Л.-К.: ЗАТ «Нічлава», 2002. – 624 с.
25. Рудько Г.И. Оценка техногенных изменений геологической среды и вопросы управляемого контроля техногенеза (на примере Карпатского региона Украины) // Геоэкология. – 1999. – №2. – С. 15-25.
26. Рудько Г.І, Шкіца Л.Є. Техногенно-екологічна безпека солевидобувних гірничопромислових комплексів Передкарпаття // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2001. - №5-6. – С. 68-71
27. Рудько Г.І., Депутат Б.Ю. Екологічна безпека навколишнього середовища України. Контури проблеми // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. 2003. - №4. – С. 22-28.
28. Рудько Г.І, Адаменко О.М. Екологічний моніторинг геологічного середовища: Підр. – Л: Видавничий центр ЛНУ ім. Ів. Франка. 2001 р. - 260 с.
29. І.О. Лукаш, Я.М. Семчук. Вплив відходів калійних підприємств на гідрохімічний режим ґрунтових вод. Хімічна промисловість України, 1995, №2. С. 81-85.
30. Семчук Я.М. Результаты исследования засоления грунтовых вод на калийных предприятиях Предкарпатья. – В реф.сб.; Калийная промышленность. – М., НИИТЭХИМ, 1983, вып. 1. – С. 9-13.
31. Камаева І.О., Семчук Я.М. Дослідження процесів засолення ґрунтових вод у районах впливу калійних виробництв. Хімічна промисловість України, 2001, № 6. С. 10-12.

32. Тесель Н.И., и др. Научно-методические основы экологической гидрологии. М.: Изд. Московского ун-та. 1992. – 406 с.
33. Шокин Ю.П. Анализ причин затопления калийных рудников ГДР и ФРГ подземными водами и рассолами // Тр. ВНИИГ. 1969. Вып. 57.
34. Янин Е.П. Екологічна геохімія гірничопромислових територій // Геоекологічні дослідження й охорона надр: Огляд. – Вип. 2. – М.: АТ «Геоінформмарк», 1993. – 50 с.
35. Комплексное освоение калийных месторождений Предкарпатья / Тарасов Б.Г., Гаркушин П.К., Глоба В.М.-Львов: Вища шк. Изд-во при Львов. ун-те, 1987. –128 с.
36. С.С.Коринь, Н.М.Джиноридзе. Минеральный состав и свойства соляных пород Предкарпатья – индикаторы тектонических деформаций. Советская геология. №24. 1988. С 95-97.
37. Хрущов Д.П. Литология и геохимия галогенных формаций Предкарпатского прогиба. – Киев. Наукова думка, 1980. – 316 с.
38. Атлас родовищ нафти і газу України в 6 томах. Українська нафтогазова академія (УНГА). Видавництво «Центр Європи». Львів. 1998 р. Т 4 - 327 с. Т 5 - 382 с.
39. Коринь,С.С., Лукаш І.О., Садовий Ю.Б. Оцінка впливу заповнення вироблених просторів калійних рудників Калуш-Голинського родовища гідравлічною закладкою на гідрохімічний режим ґрунтових та поверхневих вод. /Заключний звіт по г/д №260Н/ 97-99 з ВАТ“Оріана”/. 2001р.
40. Кузьменко Е.Д. Еколого-геофізичні дослідження в Західному регіоні України з метою простеження розвитку природного і техногенного карсту та супутніх процесів. Звіт. НДІНІТ ІФНТУНГ. - Івано-Франківськ, 2002 р. – С. 197.
41. С.С.Козлов, В.И.Липницкий, А.Е.Ходьков. О гидродинамической и гидрогеохимической взаимосвязи подземных вод соленосных обложений и надсолевых пород (на примере Стебникского месторождения калийных солей). В кн. Геология и полезные ископаемые соленосных толщ. Изд. «Наукова думка». –К.; 1974. С176-183.
42. Хмара, В. Авраменко, Г. Цимбаліста. Геологічна оцінка впливу результатів заповнення просторів калійних рудників гідравлічною закладкою на стійкість міжкамерних ціликів і на деформацію земної поверхні над шахтними полями Калуш-Голинського родовища. Звіт., НДІ “Галургія” по договору 247П/96-2007 етап 9, Калуш, 2004 р. – 59 с.
43. М. П. Нестеров, В. И. Авраменко. Рекомендации по уменьшению опасных по-

следствий неуправляемого затопления рудника "Калуш" предприятия п/я А-3640 (протокол от 11 – 14.03. 86. г). КФ ВНИИГ, Калуш, 1986 – 86 с.

44. Я. М. Семчук, С. С. Корінь, Т. М. Мосора. Розробка рекомендацій по організації сітки спостережних свердловин над шахтними полями рудника "Калуш". Звіт., Н/Ц "Галургія". Калуш, 1992 р. – 28 с.

45. Я. М. Семчук, В. И. Авраменко. Рекомендации по ликвидации рудника им. 50-летия Октября Калуш-Гольского месторождения калийных солей. Отчет по х/д №10 книги I и II КФ ВНИИГ, Калуш, 1990 – 47 с.

46. Семчук Я.М., Малишевська О.С. Методи боротьби з припливами вод і розсолів на калійних рудниках // Матеріали науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу ІФНТУНГ.- м. Івано-Франківськ. «Факел». - 2002 р. - С. 33-34.

47. М.П.Нестеров И.Пельцель. Связь полноты извлечения калийных руд из недр с проблемой ликвидации рудников после прекращения их эксплуатации. // Пути снижения потерь при добыче калийных руд. Тр. ВНИИГ. Л., 1978. С. 92-110.

48. Семчук Я.М., Малишевська О.С. Вплив регульованого затоплення калійних шахт рудника „Калуш” на довкілля // Матеріали Міжн. наук.-прак. конф. „Динаміка наукових досліджень „2003””. Екологія. – Дніпропетровськ – Черкаси - Одеса: Наука і освіта, Том 14, 2003. С. 45-46.

49. Семчук Я.М., Малишевська О.С. Дослідження порушення соляного масиву навколо виробок калійних шахт та впливу вологості на міцність порід. // Уголь Украины. 2002. - №2-3. С. 22-23

50. Сивоконь Е.П. Исследование влияния закладки на устойчивость междукамерных целиков калийных рудников. Автореф. на соиск. учён. степени канд. техн. наук. Л., 1966. 20 с.

51. Агошков М.И.,Требуков А.Л. Влияние закладки выработанного пространства на несущую способность целиков // Науч. сообщ. ИГД им. А.Скочинского. 1963. Вып. 18.

52. Атрашкевич А.А., Зимин В.Н., Барботина В.Ф. О гидравлической закладке выработанного пространства при разработке карналитовых пластов // Вопросы разработки месторождений калийных солей: Тр. ВНИИГ. 1969. Вып. 51.

53. Сивоконь Е.П., Гаркушин П.К. Снижение потерь при добыче калийных солей системами с твердеющей закладкой // Развитие калийной промышленности. 1970.

вып. 1. С. 21-27.

54. Духовлинов Д.П. Механизация работ на калийных рудниках ГДР // Хімічна промисловість 1957. №6. С. 8-11.

55. Канин В.А., Пашенко А.В. Новый состав для укрепления неустойчивых горных пород // Уголь Украины. 2002. - №2-3. – С. 18-22.

56. Ротыкин С.М., Ризнич И.И. О возможности подземного захоронения промстоков основных предприятий калийной промышленности // Использование и складирование отходов обогатительных фабрик. - Л., ВНИИГ, 1974. - С.104-118.

57. Пермяков Р.С. и др. Технология добычи солей. – М.: «Недра». – 1981. –271 с.

58. Хабер Н.В. Состояние и перспективы размещения и утилизации отходов от переработки полиминеральных руд Прикарпатья // Использование и складирование отходов обогатительных фабрик. - Л., ВНИИГ, 1974. С.7-11.

59. Eckart D/ Ergebnisse von Untersuchungen uber Schaden an stillgelegten Bergwerksanlagen, Frieberger Forschungshefte A 526 (1973)).

60. Семчук Я.М., Малишевська О.С. Дослідження процесів розчинення та вилуговування соляних порід для оцінки наслідків затоплення калійних шахт // Хімічна промисловість України. 2002. - №1, с. 9-12.

61. Высоцкий Э.А. Калиеносные бассейны мира. Минск: «Наука и техника». – 1988. – 387 с.

62. Очёт министерства экологии и чрезвычайных ситуаций, Федеральный горный и промышленный надзор России (Госгортехнадзор России). Глава 7. Экологические проблемы горнопромышленного комплекса. – М.: 2004. С. 624-657.

63. «Новый компаньон» Пермская деловая и политическая газета. / Природа не терпит пустоты / 17.09.2002. №33 С. 4-5.

64. А.с. №1257239 СССР. Д.Е. Широбоков, В.В. Рыбкин, А.А. Дубинюк, В.И. Авраменко, М.П. Нестеров, Я.М. Семчук, М.Н. Сосновский, Л.Ф. Шендеров. Способ ликвидации рудников на месторождениях калийных солей. 1986 г.

65. Малишевська О.С. Аналіз дослідження механізму розчинення калійних солей // Матеріали науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу ІФНТУНГ. - м. Івано-Франківськ. «Факел». 2002 р - С. 31-33.

66. Рекомендации по ликвидации рудника «Калуш» Калуш-Гольинского месторождения калийных солей. Отчёт, Фонды ВНИИГ, 1978. 139 с.

67. Семчук Я.М., Малишевська О.С. Вплив регульованого затоплення калійних шахт рудника „Калуш” на довкілля // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції „Динаміка наукових досліджень „2003””. Екологія. – Дніпропетровськ Черкаси - Одеса: Наука і освіта. Том 14, 2003. - С. 45-46.
68. Малишевська О.С., Семчук Я.М., Кнігініцька Л.П. Екологічна ситуація в районах розробки та переробки полімінеральних калійних руд Прикарпаття // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2004. - №4. – С. 47-53.
69. Малишевська О.С., Бараненко О.Б. Проблема підтоплення на техногенно порушених територіях і можливі шляхи її вирішення // Матеріали II міжнародній науково-практичній конференції „Нагальні питання вирішення проблеми підтоплення ґрунтовими водами територій міст та селищ міського типу”. –Харків: Товариство «Знання» України. - 2003. - С. 23-25.
70. Лаврик В.И., Никифорович Н.А. Матиматическое моделирование в гидроэкологических исследованиях. –Киев, Фитоцентр, 1998. – 418 с.
71. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Наука, 1978. – 418 с.
72. Альшинский В.С. Структурный подход к исследованию загрязнения подземных вод статистическими методами. // В сборнике. Водные ресурсы. М.: ВНИИГ. - 1989. – С. 95-99.
73. Антошкіна Л.І., Беляєв М.М., Коренюк Є.Д., Хрущ В.К. Стан довкілля: моделі та прогноз. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2003. –328 с.
74. Арье А.Г. Физические основы фильтраций подземных вод. –М.: Недра, 1984. 284 с.
75. Атрощенко Ф.Г. Изучение миграции высокоминеральных рассолов на физических моделях. – Записи Ленинградского государ. инст. – т.2 – 1982. С. 82-88.
76. Ф.М.Бочевер, И.В.Гармонов, А.В.Лебедев, В.М.Шестаков. Основы гидрогеологических расчетов. Изд. 2е перер. и доп. – М.: Недра, 1969. – 367 с.
77. Веригин П.Н., Шержуков Б.С. Диффузия и массообмен при фильтрации жидкостей в пористых средах. – В кн.: Развитие исследований по теории фільтрации в СССР. – М.: Наука, 1969. С. 237-277.
78. Горев Л.М. Основи моделювання в гідроекології. // В кн.: Моделювання природно-техногенних процесів – К.: - 1996. – С. 5-141.

79. Формирование и строение ореолов рассеивания вещества в подземных водах В.А.Грабовников, В.З.Ребейкин, Л.М.Самсонова и др. М.: Недра, 1977.
80. В.П.Зверьев. Роль подземных вод в миграции химических элементов. М.: Недра, 1982. 184 с.
81. Гидрогеологические основы охраны подземных вод. Под ред. Е.А.Козловского Т. 1,2.- М.: Центр международных проектов ГКНТ, 1984. – 421 с.
82. Коллинз Р. Течения жидкостей через пористые материалы.- М.: Мир, 1964. - 350 с.
83. Лаврик В.І. Методи математичного моделювання в екології: Навч. посіб. – К.: Вид. дім. «КМ Академія», 2002. – 203 с.
84. Лукнер Л., Шестаков В.М. Моделирование миграции подземных вод. – М.: Недра, 1982. 184 с.
85. Минкин Е.Л. Исследование и прогнозные расчёты для охраны подземных вод. – М.: «Недра». – 1972. – С. 112.
86. В.А.Мироненко, В.Г. Румынин. Опытнo-миграционные работы в водных пластах. – М.: Недра, 1986. 238 с.
87. Мироненко В.А. Проблемы чисельного моделирования переноса загрязнений в подземных водах. // Известия вузов. Геология и разведка. – 1990, №5. – С. 99-111.
88. Е.В.Мольский, Н.С.Петров, Н.Г.Головина, М.Н.Кочнева. Использование численного моделирования геофильтрации для прогноза распространения загрязнений в водоносных пластах. // Сб. Теоретические основы и методика гидрогеологического прогноза загрязнения подземных вод. – М.: Наука, 1990. – 54-57 с.
89. Музылёв С.В., Привальский В.Е. Стохастические модели в инженерной гидрологии. – М.: «Наука». – 1982. – 307 с.
90. П.Я. Полубаринова-Кочина. Теория движения грунтовых вод.– М.: Гостехиздат, 1952. 672 с.
91. Советов Б.Я, Яковлев С.А. Моделирование систем: Учеб. для вузов. - 3-е изд., пере раб. и доп. – М.: Высшая шк., 2001 г. - 343 с.
92. Смирнов С.И. Конвективная диффузия и конвективно-диффузионный массоперенос в подземных водах седиментационных бассейнов. – В кн.: происхождение солёности подземных вод седиментационных бассейнов. – М.: Недра, 1972. – 216 с.
93. Ж.Фрид. Загрязнение подземных вод. Теория, методика, моделирование и

практическое применение. Перевод с англ. – М.: Недра, 1981. 304 с.

94. Храмченков М.Г. Массоперенос при фильтрации вод, содержащих агрессивные компоненты // ИФЗ. 1994. Т. 66(5). С. 580-584.
95. Хубларян М.Г. Водные потоки: модели течений и качества вод суши. – М.: Наука. - 1991. – 192 с.
96. Чандрасекар С. Стохастические проблемы в физике и астрономии. – М.: Изд-во иностр. лит. 1947. – 168 с.
97. Шестаков В.М. Динамика подземных вод. – М.: Издво МГУ, 1973. – 327 с.
98. Шлендов В.Д., и др. Математическое моделирование процессов диффузии через среды со сложной микропористой структурой. Фонды ЛТИ им. Ленсовеча. – Л.: - 1977.
99. Aris R. On the dispersion of a solute in a fluid flowing through a tube. - Proc.Roy Soc.London, Ser.A, 1956, № 235, 1967 p.
100. Aronofsky J.S., Heller J.P. Model to explain mixing of flowing miscible fluids in porous media. - Prans.AIME, 1957, vol.210, № 12. p.345-349.
101. Bear J. Dynamics of Fluids in Porous Media. N.Y.: Elsevier, 1972. 764 p.
102. Bruch J.C., Street R.L. Two-dimensional dispersion.-J.of the Sanitary Engineering Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers №36, 1967, (vol.93).
103. Houpes J. A., Harleman D. R. F. Dispersion in Radial Flow from a Recharge Well. — «Journ. of Geophys. Research», 1967, v. 72, N 14, p. 3595-3607.
104. Ogata A. and Banks R. B. A solution of the differential equation of longitudinal dispersion in porous media. — Prof. Paper 411--A, V, S, G, S, Wash., 1961, 7 p.
105. Peter S.Huyakom, Michael J.Unlge, Lee A.Mulkey and Edward A.Sudicky. A three dimensional analytical method for predicting leachate migration // Ground Water, - 1998. - Vol.25, N 5. - P.588-598
106. Moench A.F. Convergent radial dispersion: a Laplace transform solution for aquifer tracer testing // Water resources Research. – 1989. – Vol. 25, №3. – P. 439-447.
107. Sepulveda N., Zack A.L. The effects of overburden stress on the specific storage and hydraulic conductivity of artesian aquifers // Journal of Hydrology. – 1991. – Vol. 128, № 1-4. – P. 305-321.
108. Tim Udoyara S. / Models for groundwater contamination in pores media. ICSCCE. Canteen. Conf. Montreal, May 19-22, 1997, Proc. Vol. 2. Sec.1.

109. Danel P. The measurement of ground water flow. In Proceeding of the Ankara symposium on Arid Zone Hydrology. Paris Unesco (Arid zone research. II) 1952. p.99-107.
110. Письмен Л.М., Кучанов С.И. Поперечная диффузия в зернистом слое. - Докл. АН СССР, М., 1967, № 3, с.650-653.
111. Самсонов В.Г., Грабовников В.Д. Значение фильтрационной дисперсии при формировании ореолов рассеяния вещества в подземных водах. Гидрогеол. и инж. геология. Экспресс-информация / ВНИИ экон. минер. сырья и геол.-развед. работ. ВИЗМС. Отрасл. ЦНТИ. М., 1974, №7, с.16-32.
112. Скороход А.В. Стохастические уравнения для сложных систем. – М.: Наука, 1983. – 190 с.
113. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. / В.С. Королук, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин. – 2 – е изд перер. и доп. – М.: Наука, 1985. – 640 с.
114. Фоменко В.И. Способы и технические средства охраны подземных вод при освоении месторождений твёрдых полезных ископаемых. – М.: ВИЭМС. – 1987. С. 56.
115. Малишевська О.С. Водоохоронні заходи в районі затоплених гірничих виробок калійних шахт // Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції „Наука і освіта „2004””. Екологія. – Дніпропетровськ – Наука і освіта, Том 58, 2004. - С. 43-45.
116. Волошкіна О.С., Трофимчук О.М. Розрахунок фільтрації зі споруд з екранами для оцінки ефективності природоохоронних заходів. // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2004. - №2. – С. 89-91.
117. Малишевська О.С. Вимоги до методів вивчення ареалів розсіювання забруднюючих речовин в підземних водах // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції „Україна наукова”. Том 15. Екологія. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2003. - С. 18-19.
118. Изобретения в СССР и за рубежом. МКИ Е 02В. Е 21В, 1979-2003 гг.
119. Закрепления грунтов и противofильтрационные завесы в гидротехническом строительстве. М.: Энергия, 1980. – 300 с.
120. В.Ф. Кондратьев, И.В.Захарченко. Применение гидрозавес в основании ограждающих дамб для защиты грунтовых вод от загрязнения. // Тр. ин-та / ВНИИ ВОДГЕО. -Гидрологические исследования и расчеты защиты подземных вод от загрязнения. -М., 1992-- С. 31-33.
121. Пиннекер Е.В. Охрана подземных вод. «Наука». – Новосибирск, 1979. – 71 с.

122. Гладко Ю.А. Влияние предприятий горнодобывающей промышленности на природные ландшафты центральной части Белорусского Полесья // Современные геологические процессы. – Минск: Ин-т геол. наук НАН Беларуси, 1998. – С. 16-19.
123. Кужель Н.П., Пашельно-Лавачева Г.М. Новые способы ограждения карьеров от притоков грунтовых вод. УКРНИИНТИ, серия 18-г, Киев: - 1971. – С. 41-47.
124. Анিকেев В.А., Копи И.З., Скалкин Ф.В. Технологические аспекты охраны окружающей среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 255 с.
125. Бойчук Р.В. Охрана водоемов от засоления отходами производства калийных удобрений Калушского «Хлорвинил». // Охрана окружающей среды калийных производств. – Минск, 1979. - С. 41-46.
126. Коржевский Б.А., Тарасова С.П. Охрана подземных вод в районе Домбровского карьера калийных солей Предкарпатья. / В кн.: Региональные условия динамики, охраны и пополнения подземных вод УССР. – К.: - 1979. С. 145-146.
127. Рыжиков А.П. Авария на Стебнинском хвостохранилище. Энергия, экономика, техника, экология. №.4, 1991 г.
128. Малишевська О.С., Семчук Я.М. Проблема утилізації розсолів калійного виробництва та шляхи її вирішення // Матеріали III Всеукраїнської науково-методичної конференції „Безпека життя і діяльності людини – Освіта, Наука, Практика”. Рівне: УДУВГП. - 2004. - С. 173-175.
129. Малишевська О.С., Семчук Я.М. Регульований скид розсолів калійного виробництва у поверхневі водотоки, як вимушений тимчасовий захід їх знешкодження // Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених „Екологія. Людина. Суспільство.” – Київ: КПІ «Видавництво «Політехніка». - 2004. - С. 146.
130. Константинов Н.М. Гидравлика, гидрология, гидрометрия. В 2 частях. – М.: Высшая школа, 1987. 1-ч., 304 с., 2-ч., 431 с.
131. Малишевська О.С. Утилізація промислових стоків шляхом закачування у підземні водоносні горизонти // Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції „Динаміка наукових досліджень „2004””. Екологія. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, Том 33, 2004. - С. 51-52.
132. Малышев. А.С. Оценка загрязнения водоносного горизонта при подземном захоронении промстоков. // Тр. ин-та ВНИИ ВОДГЕО. - Гидрологические исследо-

ания и расчеты защиты подземных вод от загрязнения. - М., 1992. -- С. 25-29.

133. Лепкий С.В., Хрущов Д.П. Геологічні передумови використання соленосних дощ УРСР для поховання відходів. Вісник АН УРСР. – К.: 1991. С. 78-81.

134. Долянюк И.Н. Условия захоронения жидких стоков в Предкарпатье. // Разведка и охрана недр. №9, 1984. – С. 43-46.

135. Перепельченко В.Ф., Еникеева М.И. Применение метода Монте-Карло для моделирования захоронения сточных вод. // В сборнике. Водные ресурсы. М.: ВНИИГ. - 1989. – С. 86-91.

136. Бахтин В.В., Липницкий В.К., Михайлов Г.К., Ваганов А.А. О перспективах сброса рассолов калийных предприятий в подземные горизонты Верхнекамского региона. // Сб. науч. тр. ВНИИГ. Под ред. С.с.Козлова. – Л.: - 1985. – С. 130-146.

137. Бешенцева О.Г., Ильченко В.П. Мировой и отечественный опыт подземного захоронения сточных вод. // Изв. вузов. Нефть и газ. №2, 2000. – С. 4-9.

138. Геологические условия захоронения промышленных стоков в недрах Предкарпатского прогиба. – К.: «Наука». – 1978. – С. 80.

139. Белицкий А.С. Охрана природных ресурсов при удалении промышленных жидких стоков в недра Земли. – М.: «Недра». – 1976. – С.143.

140. Гаев А.Я. Подземное захоронение сточных вод на предприятиях газовой промышленности. – М.: - «Недра». – 1981. С. 107.

141. Гидрогеологическое обоснование подземного захоронения промстоков и охрана подземных вод от загрязнения. Сборник научных трудов вып. 146. Отв. Ред. В.М.Гольдберг.- М.: ВСЕГИНГЕО, 1982. С. 137.

142. Пыветт Я. Кристаллизация из растворов / Перевод со словацкого. - М., «Химия». 1974. 287 с.

143. Запольський А.К., Мішкова-Клименко Н.А., Астрелін І.М., і ін. «Фізико-хімічні основи очистки стічних вод». – К.: Лібера. 2000. 522 с.

144. Постоянный технологический регламент производства технической поваренной соли, калийно-магниевых солей, рассола хлористого натрия и раствора хлористого магния. №35/1-85. Калушское ООО «Хлорвинил»).

145. Желібо Є.П., Авраменко Н.Л. Методологія еколого-економічної оцінки ефективності методів промислового водоочищення. // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. - 2004. - №2. - С. 26-29.

146. Паль Л.Л., Кору Я.Я., Мельдер Х.А., Ренин Б.Н. Справочник по очистке природных и сточных вод. – М.: Высшая школа, 1994. – 336 с.
147. Рогова В.М., Филипчук В.л. Электрохимическая технология изменения свойств воды. – Л.: «Химия». – 1989. С. 154.
148. Кульский Л.А., Накорчевская В.Я. Химия воды. Физико-химические процессы обработки природных и сточных вод. – М.: «Недра». – 1983. С. 214.
149. Веселов Ю.С. Водоочистительное оборудование: Конструирование и использование. – Л.: «Химия». – 1985. С. 274.
150. Запольский А.К., Баран Л.А. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки вод. – «Недра». – 1987. – С. 116.
151. Ковалишин И.И., Дрогомирецкая О.А., Савчак И.М. и др. Исследование процесса выпаривания маточных шенитовых растворов на стадии выделения поваренной соли. Рук. деп. в ОНИИТЭХИИ (г.Черкаassy). 21 июня 1974 г. №280/74 Деп).
152. ДСТУ 3583-97 (ГОСТ 13830-97). Сіль кухонна. Загальні технічні умови. Чинний від 07.01.98. –К.: Держстандарт України, 1998. – 24 с.
153. ДСТУ 3651.1-97. Похідні одиниці фізичних величин міжнародної системи одиниць та позасистемні одиниці. Основні поняття, назви та позначення. Введ. 09.10.97. –К.: Держстандарт України, 1998. – 76 с.