

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

*Приміряна дисертація ідеальною є змістом
з іншими примірянами
внешні секретар
Зас. голови сектору*

*В.Р.
Н.Е.*

Побережна Любов Ярославівна



УДК 504.05

**ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ В РАЙОНАХ
ЛІКВІДОВАНИХ ГІРНИЧО-ХІМІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ
(на прикладі м. Калуш)**

21.06.01 - екологічна безпека

Дисертація
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник:
Семчук Ярослав Михайлович
доктор технічних наук,
професор

Івано-Франківськ - 2016

d 570



ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	9
1.1 Огляд основних причин просідань ґрунтів в районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств.....	9
1.2 Види екологічних ризиків	22
1.3 Оцінка екологічних ризиків	25
Розділ 2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	35
2.1 Методика вивчення суфозії та вилюговування.....	35
2.2 Методика компресійних випробовувань	46
2.3 Методика оцінки ризиків	53
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ВИЛУГОВУВАННЯ ЗАСОЛЕНИХ ҐРУНТІВ.....	60
3.1 Динаміка коефіцієнта фільтрації засолених ґрунтів в процесі вилюговування.....	60
3.2 Вплив рівня засолення на механічні властивості ґрунтів.....	67
3.3 Вплив засолення ґрунтів на опір при тривалому статичному навантаженні.....	76
3.4 Моделювання процесів просідання засолених ґрунтів в районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття	85
РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА І ПРОГНОЗУВАННЯ НЕБЕЗПЕК ПРОСІДАННЯ ЗАСОЛЕНИХ ҐРУНТІВ НА ПРИКЛАДІ МІСТА КАЛУШ	96
4.1 Кластеризація досліджуваної території за рівнем засоленості ґрунтів.....	96

4.2 Ранжування території м. Калуш за рівнем потенційного екологічного ризику	109
ВИСНОВКИ	114
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	116
ДОДАТКИ.....	133

ВСТУП

Актуальність теми: До найбільш збиткових екзогенних процесів, з якими пов'язані ризики освоєння територій та функціонування природно - технічних систем у межах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття, належать механічна суфозія, сульфатний карст, зсуви, підтоплення ґрунтів, набухання ґрунтів, просідання ґрунтів, засолення ґрунтів. Основні вогнища розвитку суфозійних процесів розташовані на шахтних полях та хвостосховищах, а також в районі Домбровського кар'єру.

Основними причинами просідань та провалів ґрунтів в м. Калуш та околицях є карстові явища та процеси вилугування засолених ґрунтів. До цього часу основну увагу приділяли мінімізації небезпек, пов'язаних з карстовими провалами на шахтних полях, оскільки їхній розвиток може бути дуже стрімкий, і це несе загрозу життю та здоров'ю громадян.

Водночас потенційні ризики, пов'язані із просіданням засолених ґрунтів у місцях цивільної та промислової забудови враховувалися недостатньо, оскільки розвиток процесів суфозійного просідання є значно повільніший.

Кількісна оцінка природних, техногенних, екологічних ризиків створює сприятливе та необхідне підґрунтя для класифікації всіх господарських об'єктів і ранжування територій країни за ступенем небезпеки.

В Україні розроблено та впроваджено «Методику вивчення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки», яка дозволяє здійснити оцінку потенційних ризиків певних об'єктів, однак недостатньо конкретизовані та класифіковані потенційні небезпеки, які є джерелами екологічних ризиків.

Зв'язок з науковими програмами і темами. Робота виконана згідно з «Загальнодержавною програмою розвитку мінерально-сировинної бази

України на період до 2030 року», Основними засадами (стратегіями) державної екологічної політики України на період до 2020 року в частині «...поліпшення екологічної ситуації та підвищення рівня екологічної безпеки» та Стратегією соціально-економічного розвитку міста Калуша.

Мета і завдання дослідження. Встановлення взаємозв'язку між рівнем, типом засолення ґрунтів, їх жорсткістю при тривалому деформуванні та прогнозним рівнем просідання з метою оцінки потенційних екологічних ризиків в районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття (на прикладі м. Калуш).

1. Проаналізувати вітчизняний та зарубіжний досвід в галузі оцінки потенційних екологічних ризиків, вибрати оптимальні методики, адаптувати їх до техногенно навантажених територій (на прикладі Калуського промислового району). Дослідити вплив циклічного засолення-розсолення на фізико-механічні характеристики ґрунтів.

2. Встановити закономірності взаємозв'язку між рівнем засолення та величиною просідання. Запропонувати спрощену математичну модель для проведення інженерних розрахунків.

3. Розробити методику кластеризації районів ліквідованих гірничо-хімічних підприємств за рівнем засоленості та розрахувати прогнозні показники просідання для кожного кластера на прикладі м. Калуш.

4. Вибрати критерії та провести ранжування території м. Калуш за рівнем потенційних екологічних ризиків, викликаних погіршенням механічних характеристик засолених ґрунтів. Встановити найбільш придатні та найнебезпечніші райони житлової забудови.

Об'єкт дослідження: процеси вилуговування і суфозії засолених ґрунтів та їх вплив на опір тривалому статичному навантаженню.

Предмет дослідження: засолені земельні ділянки в районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств м. Калуш.

0

Методи досліджень. Теоретичні дослідження базуються на застосуванні методів логічного аналізу та узагальнення. Для дослідження процесів фільтрації у роботі використано аналітичні та експериментальні методи, для оцінки та прогнозування рівнів просідань засолених ґрунтів, оцінки та ранжування потенційних екологічних ризиків – методи математичного моделювання та математичної статистики. Обробка результатів проводилася з використанням карт Google, пакетів Microsoft Office, Originlab Origin, CorelDraw X7.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Дістали подальший розвиток підходи до оцінки потенційних екологічних ризиків шляхом виділення та класифікації основних джерел екологічної небезпеки, характерних для районів ліквідованих гірничо-хімічних підприємств.

2. Вперше вибрано характеристичні показники та запропоновано принципи кластеризації територій в районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств, що дозволяє здійснювати управління екологічною безпекою цих територій шляхом урахування змін характеристик міцності розсолених ґрунтів.

3. Дістали подальший розвиток наукові підходи до математичного моделювання процесів просідання засолених ґрунтів, зокрема введено поняття моно- та полізасолення як однієї з характеристик засолених ґрунтів, використання якої дає змогу підвищити коректність прогнозу просідання ґрунту внаслідок вимивання солей.

4. Набули подальшого розвитку наукові підходи до оцінки потенційних екологічних ризиків в районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств. На основі результатів теоретико-експериментальних досліджень встановлено найбільш придатні та найнебезпечніші райони житлової забудови м. Калуш, що дає змогу мінімізувати екологічну загрозу розвитку селітебних зон у цьому регіоні.

Практичне значення одержаних результатів:

1. З використанням запропонованої математичної моделі обчислено прогностичні показники просідання ґрунтів у районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств на прикладі м. Калуш.

2. Побудовано додатні для інженерних розрахунків криві суфозійного просідання засолених ґрунтів. На основі аналізу хімічного складу створено моделі просідання моно- та полізасоленого ґрунту.

3. Розроблено методику та проведено кластеризацію території м. Калуш за рівнем засоленості ґрунту, густиною забудови та наявністю об'єктів цивільної та промислової інфраструктури, яка дає змогу оцінити потенційні ризики, зумовлені просіданнями.

4. На основі літературних та отриманих нами даних побудовано карту засолення ґрунтів м. Калуша та околиць, визначено епіцентри засолення та виділено області еквізасолення. Її використання дасть змогу визначати ділянки з підвищеною небезпекою просідань та мінімізувати потенційні ризики для довкілля.

5. Розроблену Методику моделювання процесів просідання засолених ґрунтів в районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств впроваджено в Управлінні Держгеокадастру у Калуському районі, Управлінні з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи Івано-Франківської ОДА та в навчальний процес на кафедрах будівельної механіки та основ геології та екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Особистий внесок здобувача. Основні результати роботи отримані автором самостійно. Роботи [4, 5, 6, 9, 11] опубліковані без співавторів. У роботі [1] автору належить класифікація основних проблем утилізації розсолів, в роботі [2] -дослідження зміни фізико-механічних властивостей засолених ґрунтів гіпсово-глинистої шапки Стебницького родовища.

У роботі [3] – дослідження зміни коефіцієнту фільтрації залежно від типу порід та ступеня засоленості. У роботах [7, 8] – математичне моделювання кінетики суфозійного просідання для плівкового та дисперсного засолення. У роботі [9] – розробка спрощеної математичної моделі просідання засолених ґрунтів.

Апробація результатів: основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на II міжнародній науково-технічній конференції «Еколого-економічні проблеми Карпатського Єврорегіону» (м. Івано-Франківськ, 2005 р.); III міжнародній науково-технічній конференції «Еколого-економічні проблеми Карпатського Єврорегіону» (м. Івано-Франківськ, 2006 р.); Міжнародній науковій конференції «Ломоносовські читання 2013» (м. Севастополь, 2013 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених та студентів «Екологічна безпека держави» (м. Київ, 2014 р.); IV міжнародній науково-технічній конференції «Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування» (м. Тернопіль, 2015 р.).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 11 наукових праць, з них 4 статті індексовано у міжнародних наукометричних базах, 3 – у фахових виданнях і 1 – у інших збірниках праць, 3 тези доповідей наукових конференцій.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Огляд основних причин просідань ґрунтів в районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств

Калієності родовища Прикарпаття представлені Калуш-Голинським родовищем, яке знаходиться у Калуському районі Івано-Франківської області та Стебницьким родовищем, яке розміщене неподалік м. Стебник Львівської області.

Проблемою підвищення екологічної безпеки районів ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття займалася низка вчених, зокрема: Семчук Я.М., Шкіца Л.Є., Рудько Г.І., Кузьменко Е.Д., Федоришин Д.Д., Зозуля І.І., Білявський Г.О., Горстко А.Б., Данілишин Б. М., Яковлєв Є.О., Корінь С.С., Джинорідзе Н.М., Орадовська А.Е., G.D. Miller, Тесля Н.І. та ін.

За період експлуатації Калуш-Голинського родовища на його базі сформувалися гірничопромислові геологічні комплекси, які включають ряд об'єктів гірничо-видобувного та переробного профілів і впродовж тривалого часу створюють техногенне навантаження та здійснюватимуть такий вплив в перспективі [12].

Основними причинами просідань та провалів ґрунтів в м. Калуш та околицях є карстові явища та процеси вилуговування засолених ґрунтів. До цього часу основну увагу приділяли мінімізації небезпек, пов'язаних з карстовими провалами на шахтних полях, оскільки їхній розвиток може бути дуже стрімкий і це несе загрозу життю та здоров'ю громадян.

Водночас потенційні ризики, пов'язані із просіданням засолених ґрунтів у місцях цивільної та промислової забудови враховувалися

недостатньо, оскільки розвиток процесів суфозійного просідання є значно повільніший.

Тому основну увагу у роботі буде приділено процесам вилуговування та суфозійного просідання засолених ґрунтів та оцінкою пов'язаних з ними потенційних ризиків на територіях, розташованих за межею шахтного відводу Калуш-Голинського родовища.

Розташування родовища в межах м. Калуш та навколишніх сіл показано на рис.1.1.



Рис. 1.1. Оглядова карта-схема Калуш-Голинського родовища калійних солей

Ґрунти м. Калуш засолюються через природні та техногенні фактори. Природне засолення ґрунтів відбувається за рахунок порід гіпсово-глинистої шапки Калуш-Голинського родовища калійних солей, а техногенне – внаслідок діяльності гірничо-хімічних підприємств [13].

На території м. Калуш виробничу діяльність здійснювало ДП «Калійний завод» ВАТ «Оріана». Проектна потужність заводу - 499,2 тис. тон в рік мінеральних добрив (в натуральному вигляді). Це був єдиний виробник калійних добрив в Україні. Завод функціонував з 1966 по 2001 роки та був зупинений в зв'язку з нерентабельністю.

Основними мінералами соляних покладів є каїніт, лангбейніт та полігаліт, які становлять від 65 до 70% загального об'єму порід, а також сильвін, карналіт, кізєрит.

Перераховані мінерали, зазвичай, знаходяться в парагенетичному зв'язку як між собою, так із галітом, утворюючи полімінеральні калійні солі [14-16]. 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.

Незважаючи 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 були єдиним пластом [17].

Калуш-Голинське родовище калійних солей знаходиться в Івано-Франківській області в 32 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 та північний-схід. Більша частина родовища

розташована в межах третьої тераси ріки Лімниця, яка знаходиться на 10 - 12 м вище рівня річки [18].

В околицях с. Кадобна 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 пластоподібне 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 від +350 до +360 м [19].

До 1867 року на території родовища добували кухонну сіль методом вилуговування. Розробка Калуш-Голинського родовища калійних солей розпочалась у 1867 р. Експлуатація рудника Калуш припинена у 1978 р. після відпрацювання запасів.

Після добування калійних руд Калуш отримав виробітки трьох шахт — «Калуш», «Голинь» і «Ново-Голинь». Над виробленими територіями шахт відбувається просідання ґрунту, яке супроводжується підтопленням та затопленням поверхонь [20].

У світі родовища калійних солей розташовані у Канаді (Саскачеванський калійний басейн, басейн Монктон), США (продовження Саскачеванський калійний басейн Росії (Верхньокамське родовище), Німеччині (Ганноверський та Штрасфуртський басейни), Білорусі (Старобінське родовище) [21].

У країнах Західної Європи та Америки усі шахтні виробітки, в тому числі калійних руд, заповнюються твердою породою. Проте в колишньому Радянському Союзі в 1970-х роках було застосовано технологію затоплення їх розсолами. Видобуток каїнітових і сильвінітових руд проводився камерною системою розробки на відокремлених один від

одного виїмкових ділянках: Північному сільвінітовому, Північному каїнітовому, Центральному 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 [22].

Північне сільвінітове поле відпрацьоване в період з 1943 по 1962 роки на глибині 160-440 м. Поле розкрито головним штреком VI горизонту і шахтним стволом № 2. Вище VI горизонту відпрацьовані камери закладені «сухою» закладкою, нижче - відходами збагачувальної фабрики [23].

Гідрозакладка, в об'ємі 780 тис.м³, проводилась у 1954-1958 роках та в 1962-1966 роках. На період 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'явилося невелике озеро в центрі мульди зсуву, на даний час площа його складає 31 га. Максимальна швидкість осідання до затоплення досягла в 1961 році 450 мм [24-26].

У 2004 р. одержано максимальне накопичене осідання 4736 мм. Міжкамерні цілики зруйновані та відбувається їх ущільнення. Максимальна швидкість по незатоплених базисах - 3-5 мм/рік, в центрі мульди зсуву біля 15 мм/рік. Процес зсуву над полем знаходиться на стадії затухання. Житлових будинків і промислових споруд на ділянці немає [27].

Північне каїнітове поле розкрито штреком VI і відпрацьоване в 1940-1943 роках та 1956-1975 роках на глибині 100-260 м. Вище VI горизонту була організована дільниця гідрозакладки, але в зв'язку з проривом розсолів на нижні горизонти, закладку припинили. З лютого 1989 р. по червень 1990 р. проводилось кероване заповнення виробок поля недонасиченими розсолами хвостосховища Домбровського кар'єру.

Процес зсуву над полем знаходиться на початковій стадії та зумовлений двома причинами: деформацією міжкамерних ціликів під дією ваги налягаючої товщі, що проявляється в плавному осіданні земної поверхні над виробками та в прилеглій зоні впливу гірничих робіт; карстово-суфозійними процесами, які почали проявлятися з 1984 року у вигляді утворення провальних воронок на земній поверхні. Коли з'явилась провальна воронка №4, яка стала каналом гідродинамічного зв'язку між вищезалігаючим водоносним горизонтом і гірничими виробками, відбувся прорив розсолів у рудник, що викликало формування карстових пустот у відкладах соленосної товщі та утворення провалів на земній поверхні (рис. 1.2) [28].



Рис. 1.2. Провалля на північному каїнітовому полі. 1987 рік

Поява воронки №5 не викликала збільшення швидкості осідання в цьому районі, але стала другим джерелом поступлення прісних вод у відпрацьований простір, які, згодом викликали раптове просідання земної

поверхні площею 200×180 м і глибиною 8,5 м у 1987 році в 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. Центральна частина мульди була затоплена водою.

Одночасно з раптовим осіданням виникла воронка №7, яка ускладнила ситуацію на Північному каїнітовому полі. Таким чином, до початку регульованого затоплення в пустотах Північного каїнітового поля накопичилось близько 180-200 тис. м³ розсолів [29].

Над полем, завдяки активним карстово-суфозійним процесам, протягом 1984-2004 років утворилося 12 провалів діаметром до 30 м і глибиною до 25 м. Безпосередньо у провалах формуються озера. Так, у мульді воронки №4 утворилося озеро площею 1000 м² і глибиною до 4 м, при провалі у червні 1987 р. утворилося озеро площею 0,6 га і глибиною 8,5м, яке згодом було засипане. З 1993 року при утворенні провалів розсоли шахтних виробок з концентрацією до 400 г/дм³ розвантажуються у ґрунтові та поверхневі води [30-32].

Основними джерелами засолення ґрунтів в м. Калуш та околицях є:

- три рудники, розташовані на території ДП «Калійний завод»;
- Домбровський кар'єр;
- два відвали засолених ґрунтів;
- два хвостосховища;
- шламонакопичувач.

Дані об'єкти є потенційно небезпечними та можуть спричинити просідання земної поверхні, утворення провальних воронок, карстів, зсувів, забруднення водних об'єктів та земель [33].

На хвостосховищі № 1, площа якого становить 54 га, заскладовано хвости флотації об'ємом 12,0–14,0 млн м³. У 1993 р. виконано технічну рекультивацію – поверхню покрито шаром суглинку та гіпсоглинистої

породи товщиною 1,5 м. Однак вторинного планування чаші хвостосховища та біологічної рекультивації не проведено. Унаслідок неоднорідного ущільнення хвостів відбулося просідання поверхні, що стало причиною накопичення на поверхні хвостосховища № 1 поверхневих вод, їхньої інфільтрації в солевмісний масив та витоку засолених інфільтратів через верхню частину дамби висотою 6 м, нарощену без облаштування глинистого замка. Через це з хвостосховища вимиваються розчинні солі й витікають розсоли через бічні укоси дамб, які марковані численними карстовими провалами у центральній частині та відкладами мірабіліту по периферії та схилах дамб [34-35].

Особлива небезпека полягає в тому, що на території шахтних полів відпрацьованих рудників розташовані:

- 256 житлових будинків і промислових об'єктів м. Калуш;
- 109 житлових будинків с. Хотінь, з яких 18 вже знесено, а людей переселено;
- 7 споруд промислового призначення на вентстволі «Хотінь»;
- 285 житлових будинків та 7 промислових споруд с. Кропивник;
- 304 житлові будинки та 16 промислових споруд с. Сівка-Калуська.

Небезпечна ситуація склалася і на хвостосховищах, де спостерігається фільтрація розсолів через тіло греблі [35-37].

У середині 80 х років в м. Калуш відселили мікрорайон по вулиці Вітовського (колишня Пархоменка). Близько 36 новобудов розібрали, а людей переселили в інші безпечніші райони міста, в квітні 2009 року на цій же вулиці утворилася провальна воронка розміром 20 на 18 м з витоком розсолів.

Перший провал утворив 6-гектарне озеро неподалік від житлового масиву по вул. Литвина. Дно заповненого прісною водою плеса опустилося на 8-10 метрів (рис.1.3).

У 2008 році «Інститут спецгеологорозвідки» довів, що утворилося 24 провали і ропа вийшла на поверхню. Використовуючи метод опору землі, вчені визначили, що таких ям може утворитися понад 150. За підрахунками, на території всіх калуських рудників відселення потребують 109 сімей.

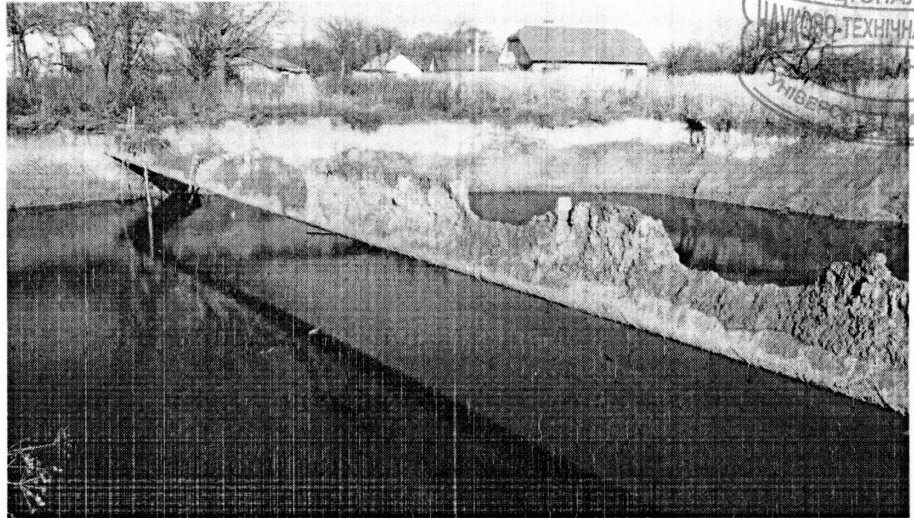


Рис. 1.3. Провалля глибиною 32 метри. Фото з архіву 2008 року

Внаслідок просідань ґрунтів у м. Калуш руйнується велика кількість об'єктів цивільної забудови та об'єктів інфраструктури. Через просідання основи руйнуються фундаменти та стіни, будівлі стають непридатними для використання (рис. 1.4).

Найбільше впливу просідань піддаються будинки малоповерхової приватної забудови 1940-1970 рр. У багатьох з них немає належним чином укріпленого фундаменту, і навіть при відносно незначній зрушеннях ґрунту основи на несучих елементах будинків поширюються тріщини в напрямку дії дотичних напружень. Це шкодить як будинку, так і мешканцям, особливо у зимовий час, коли через тріщини будинок втрачає тепло. Іншою проблемою є руйнація пам'яток архітектури, передусім культових споруд, спорудження яких велося без урахування структурної нестійкості ґрунтів внаслідок карстових та суфозійних процесів, зумовлених природним та техногенним засоленням.

d570

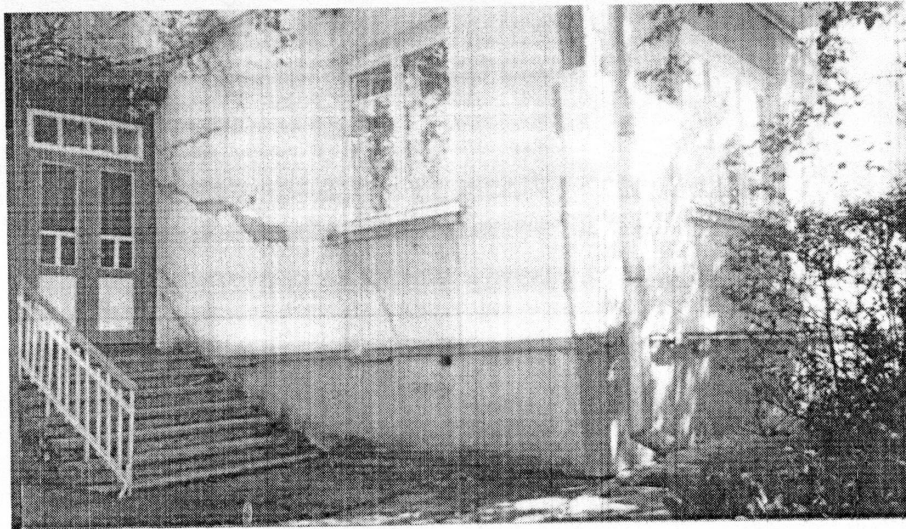
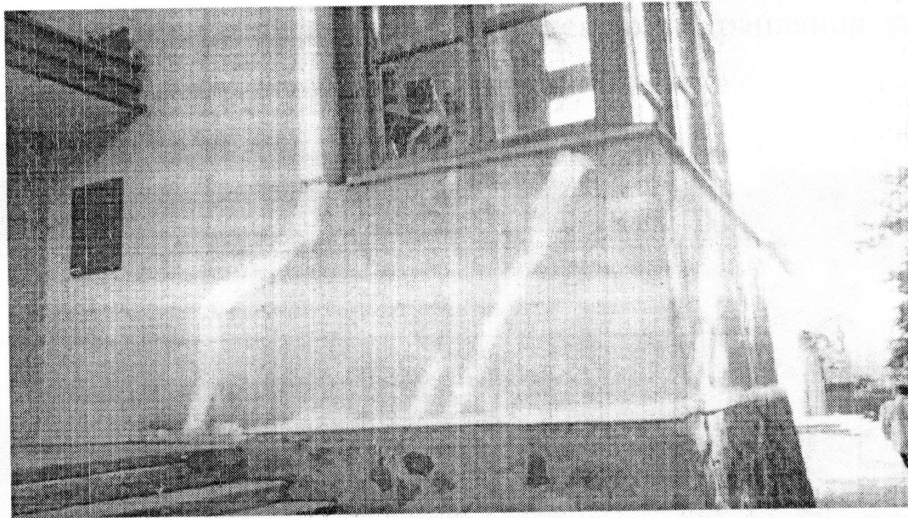


Рис. 1.4. Руйнування будинків у м. Калуш

На даний час Домбровський кар'єр є джерелом забруднення довкілля важкими металами, нафтопродуктами, а також органічними шкідливими хімічними речовинами, оскільки після завершення його експлуатації він перетворився на стихійний полігон для розміщення відходів промислових підприємств всього регіону (рис. 1.5 - 1.6) [38-42].

Значна кількість нагромаджених розсолів потребує сучасних методик переробки, які дадуть змогу використати високомінералізовані води кар'єру як джерело мінеральної сировини. Важливо також розробити та запровадити комплекс заходів із гідроізоляції берегів кар'єру з метою запобігання засоленню водоносних горизонтів, зменшення та контролю

екологічних ризиків, пов'язаних із небезпекою потрапляння розсолів у річки басейну Дністра при високому паводку.

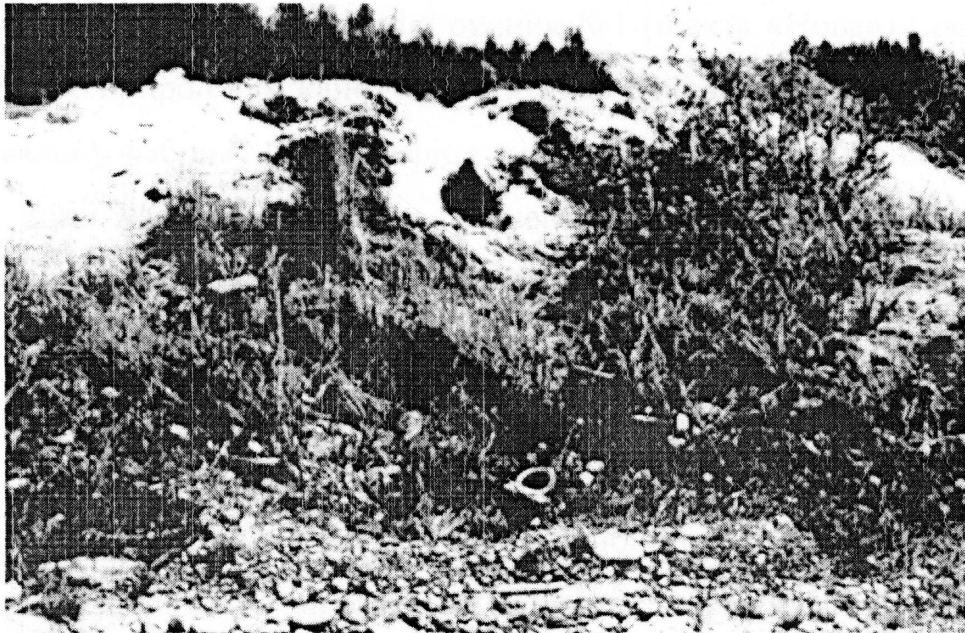


Рис. 1.5. Стихійне звалище відходів промислових і хімічних виробництв на внутрішньому кар'єрному полі

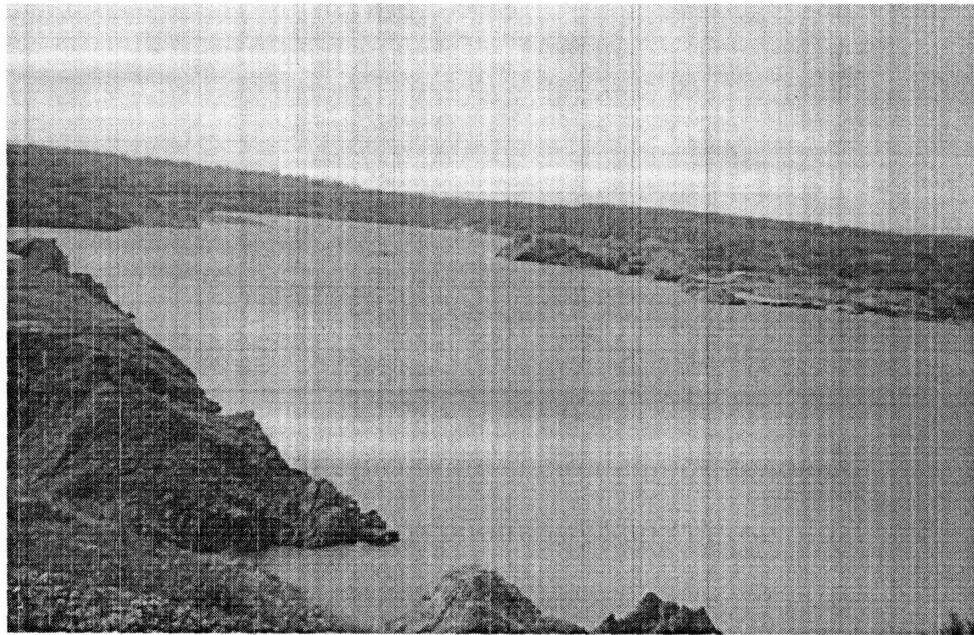


Рис. 1.6. Загальний вигляд затопленого розсолами Домбровського кар'єру

Видобуток калійної солі у Стебнику бере початок ще з XV століття. Спочатку процес виготовлення здійснювався шляхом випаровування солі з

розсолів, які виходили у цій місцевості на поверхню. Стабільний розвиток виробництва калійних добрив у Стебнику розпочався після 1946 року. У 1960 році введено в експлуатацію рудник №1 (шахта «Нова») і розпочато виробництво природного каїніту [13]. У 1966 році запущено рудник №2 та збагачувальну фабрику. В цей період виробляється 1,3 млн. тонн каїніту та 64 тис. тонн калійно-магнієвого концентрату у рік. Загальна кількість працівників підприємства у той час складала 5,5 тис. осіб. Родовище калійної руди відроблялося двома підземними рудниками загальною потужністю 4 млн. тонн у рік.

За період експлуатації копалень до 1952 р. (копальня № 1) випадків просочування розсолів у гірничі виробки глибинних горизонтів не було. У 1952 р. у квершпазі 4/1 на копальні № 1 був виявлений перший великий приплив води. В листопаді 1978 р. у копальні № 2 стався прорив надсольових вод у відпрацьовані камери 115 - 116, а згодом у камеру 122 на північно-східному і південно-східному флангах течії (рис.1.7).



Рис. 1.7. Просідання та деформації поверхні соляно-глинистих відходів на земній поверхні секції № 1 Стебницького хвостосховища

14 вересня 1983 р. після сильного дощу відбувся прорив ґрунтової дамби хвостосховища між пікетами 7 та 8. Величезна маса висококонцентрованої ропи та твердих відходів (мулу) ринула у басейн р. Солониці, а з неї - у р. Тисменицю, й далі, у р. Дністер та Чорне море.

Сумарна маса цього викиду становила понад 5 млн т, це був селевий потік з потужним гідравлічним напором. Величезна маса соляних відходів забруднила всю навколишню територію (річки, сади, городи, поля, ліси). Це завдало величезної шкоди флорі й фауні району, а також гідробіонтам річок Солониці, Тисмениці, Дністра та Чорного моря. У 2003 році видобуток каїніту було припинено [13, 16, 43].

Катастрофічна ситуація з просіданнями та провалами земної поверхні спостерігається не тільки в нашій державі. Зокрема в м. Солікамськ (Пермський край, Росія) в районі розробки Верхнекамського родовища калійних солей протягом 2012-2015 років утворилося більше 8 нових провалів (рис. 1.8).

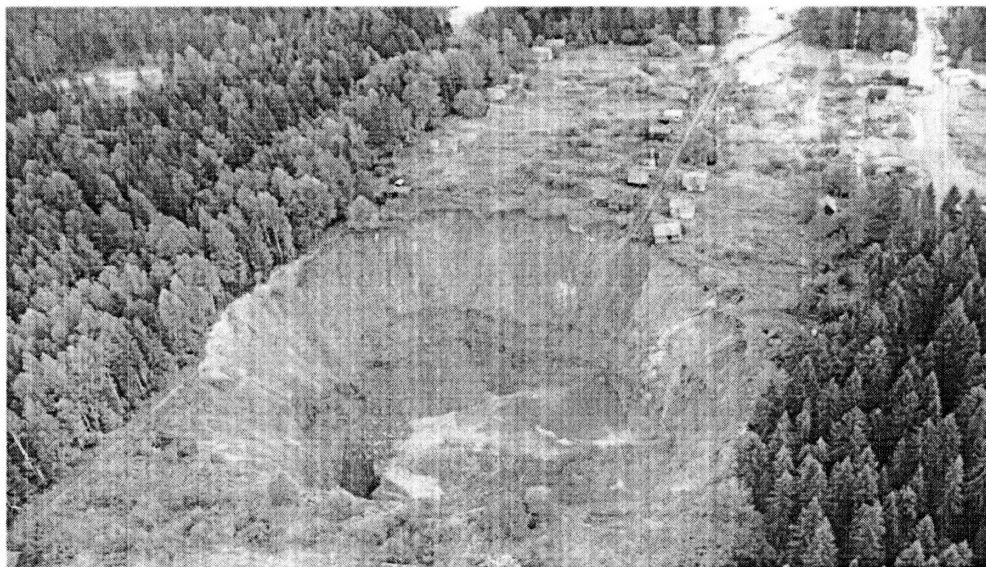


Рис. 1.8. Провал в м. Солікамськ (Росія)

Враховуючи складну техногенно-екологічну ситуацію, яка склалася в м. Калуш та Калуському районі, міська рада 24.03.2008 року прийняла рішення № 559 «Про кризову екологічну ситуацію в районі Калуського промислово вузла та шляхи виходу з неї», а районна рада своїм рішенням №342-19 від 16 квітня 2008 року підтримала його. Указом Президента України від 10.02.2010 р. № 145/2010, підтвердженим Законом України від 12.02.2010 р. № 1885/VI, територію міста Калуш та сіл Кропивник та Сівка-Калуська Калуського району Івано-Франківської області оголошено

зоною надзвичайної екологічної ситуації [44, 45].

Відповідно до цього передбачено вирішення проблем, що залишились у спадок від тривалої розробки Калуш-Голинського калійного родовища та накопичення відходів виробництва. До таких проблем належать самозатоплення Домбровського соляного кар'єру, розмив атмосферними опадами солевмісних відвалів, переповнення хвостосховища № 2, поширення ареалів засолення вод четвертинного водоносного горизонту та небезпека різкого погіршення якості води в міському водозаборі, розвиток соляного карсту та просідання територій над виробленим простором шахт з деформацією чи руйнуванням інженерних споруд і житлових будівель та ін. [5,7].

Однак при вирішенні цих проблем значну увагу приділяють саме карстовим провалам, в той же час проблема просідання ґрунтів внаслідок вилуговування не досліджена належним чином. Тому в даній роботі розглянемо саме просідання внаслідок розсолення ґрунтів в процесі вилуговування.

1.2 Види екологічних ризиків

Екологічна безпека регіонів є однією з найважливіших проблем суспільства на даний час. На державному рівні визнано, що екологічна безпека є однією зі складових національної безпеки. Загальний стан екобезпеки в Україні є складним [46].

Загальній концепції екологічної безпеки держави в своїх роботах приділяли увагу Данілова-Данільян В.І., Реймерс Н.Ф., Боголюбова С.А. та багато інших вчених [47-50]. Протягом останніх років на регіональному рівні інтенсивно проводяться теоретичні та практичні дослідження з управління екологічною безпекою [51]. Розвиваються різні наукові напрями, зокрема техніко-економічний (Горстко А.Б., Данілишин Б. М.,

Яковлєв Є.О.) та природничий (Рудько Г.І., Білявський Г.О.) [51-53].

Небезпечні процеси та явища, з якими людство постійно стикається, починаючи з другої половини ХХ століття, призвели до необхідності розробки Концепції прийняттого технічного ризику та приведення її у відповідність до світових стандартів. Погіршення екологічного стану навколишнього середовища тісно пов'язане з проблемою погіршення здоров'я населення на забруднених територіях. Це викликає потребу глибокого вивчення екологічних ризиків. На даний час в Україні та світі в цілому оцінка та аналіз техногенних ризиків є одним з напрямів промислової безпеки.

Небезпека - доволі широке комплексне поняття, що охоплює різні наукові дисципліни. А. Б. Качинський, А. М. Сердюк підкреслюють, що небезпека - поняття якісне. Кількісною мірою небезпеки є ризик [46].

Застосування поняття «ризик», дозволяє переводити небезпеку в розряд категорій, що вимірюються. Часто використовують поняття «ступінь ризику» («risk level»), яке за змістом не відрізняється від поняття «ризик», лише підкреслює, що йдеться про вимірювану величину [54-55].

Всі названі або схожі тлумачення терміну «ризик» використовуються на даний час при аналізі небезпек та управлінні безпекою технологічних процесів зокрема й виробництв в цілому. Основна концепція оцінок ризику полягає в тому, щоб ідентифікувати ризики кількісно, або щонайменше в порівняльному вигляді (якісно) стосовно будь-яких інших ризиків.

Ризик - це ймовірність виникнення втрат, збитків, недоотримання запланованих прибутків порівняно з варіантом, розрахованим для раціонального розподілу ресурсів [56].

Екологічні ризики тісно пов'язані з економічними ризиками. Зокрема, під економічним ризиком розуміють ймовірність або загрозу втрати підприємством частини своїх ресурсів, недоотримання прибутків або появи додаткових втрат у результаті певної виробничої та фінансової

діяльності [57-60].

Майже всі екологічні процеси супроводжуються елементами невизначеності, що призводить до неоднозначності результату. Кількісна та якісна характеристика ймовірності різних варіантів і визначатиме відповідний ризик.

Визначення ризиків пов'язане з обов'язковим вивченням статистики та виконанням таких умов:

- наявність необхідної інформації в повному обсязі та чинників щодо невизначеності;
- необхідність оцінити усі можливі варіанти та їх наслідки;
- вибір з наявних можливостей кращої [61].

Вибір здійснюється за наявності альтернативних варіантів за об'єктивними, суб'єктивними або суб'єктивно-об'єктивними оцінками залежно від мети вибору, розв'язання та їх реалізації. Саме це дозволяє розглядати ризик як дію, що виконується в умовах вибору й передбачає існування альтернативи [62-64].

Поняття ризику пов'язують з можливістю людських жертв, травм, руйнувань і матеріальних втрат. На практиці намагаються визначити *інтегральний ризик* - узагальнений показник комплексів загроз, які можуть реалізуватися за певних умов і спричинити надзвичайні ситуації на даній території, а також масштабність їх наслідків за певний період часу, внаслідок різних поєднань причин і сценаріїв розвитку аварій [65-67].

Визначення та оцінка ризиків має ґрунтуватися на результатах контролю технічного стану потенційно небезпечних об'єктів, статистичних даних про відмови, інциденти, аварії та надзвичайні ситуації техногенного характеру, даних моніторингу небезпечних геологічних, гідро-метеорологічних процесів, стану природних комплексів тощо, статистичних даних про стихійні природні явища, а також на результатах моделювання і прогнозування відповідних небезпечних подій, ситуацій

[68-71]. Екологічні чинники — чинники, зумовлені причинами природного характеру (кліматичні умови, фізико-хімічні характеристики атмосфери, води, ґрунтів, природні нещастя і катастрофи).

Екологічний ризик - це можливість появи непереборних екологічних явищ: розвиток парникового ефекту, руйнування озонового шару, радіоактивне забруднення, кислотні опади. З погляду кількісної оцінки поняття «екологічний ризик» може бути сформульоване як відношення величини можливого збитку від впливу шкідливого екологічного фактора за визначений інтервал часу до нормованої величини інтенсивності цього фактора (рис.1.9).



Рис. 1.9. Класифікація небезпечних факторів за джерелами небезпеки

1.3 Оцінка екологічних ризиків

Кількісна оцінка природних, техногенних, екологічних ризиків створює сприятливе та необхідне підґрунтя для класифікації всіх господарських об'єктів і ранжування територій країни за ступенем небезпеки. Така оцінка дає можливість застосовувати до них правові норми й державні механізми адміністративного та економічного впливу пропорційно до створюваної ними небезпеки з метою забезпечення

прийняттого рівня ризику для досягнення безпечної життєдіяльності суспільства [72-73].

Це потребує розробки та застосування відповідного науково методологічного апарату оцінювання ризиків. Дослідження у цій сфері активно розвиваються. Прогнозування небезпечних подій і ситуацій здебільшого є основою запобігання надзвичайних ситуацій [74-76].

В Україні, згідно [71] розроблено та впроваджено «Методику вивчення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки», яка дозволяє здійснити оцінку ризиків певних об'єктів [77].

Для України визначено базові показники ризику:

- незначний ризик;
- прийнятний ризик;
- граничнодопустимий ризик;
- недопустимий ризик.

При цьому прийнятним ризиком вважається ризик, який забезпечується повною відповідністю умов і безпеки праці вимогам нормативно - правових актів з охорони праці, але допускає наявність тяжких і шкідливих умов праці, робота в яких винагороджується пільгами та компенсаціями згідно чинного законодавства [78-80].

Концепція прийняттого ризику містить такі складові:

- оцінка ризику - аналіз походження та масштаби ризику у певній ситуації;
- керування ризиком - процес розробки рішення про те, як усунути причини відповідних небезпек [81-83].

Процедура керування ризиком складається з основних етапів, відображених на рис. 1.10.

У сучасній практиці для формалізації ризику R широко використовують модель, яка пов'язує між собою ймовірність виникнення

негативних подій P_i (аварій, катастроф) і ймовірність можливих збитків W_i у результаті цих подій:

$$R = \sum_{i=1}^n P_i \cdot W_i \quad (1.1)$$

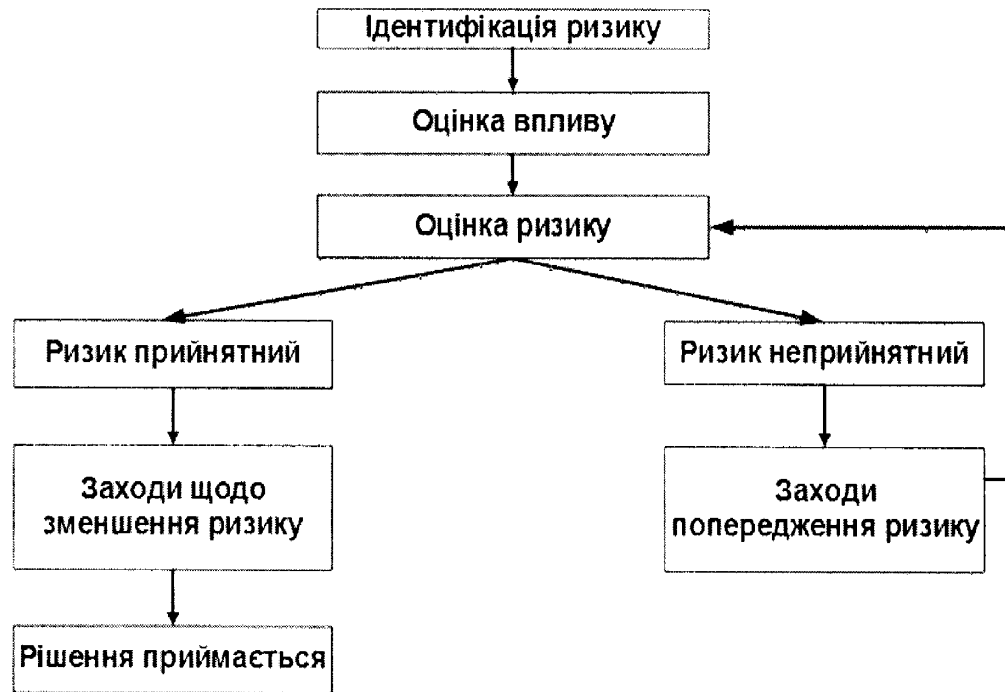


Рис. 1.10. Етапи системи керування ризиком

За формулою (1.1) можна пояснити як невизначеність можливої появи події, що призводить до небажаних наслідків, так і величину цих наслідків. Оцінка ризику має передбачати розвиток несприятливих подій за різними сценаріями, що потребує узагальнення формули (1.1):

$$R = \sum_{ij=1}^n P_{ij} \cdot W_{ij} \quad (1.2)$$

де:

індекс i стосується події,

індекс j - відповідного сценарію [84-86].

Критерії вибору рівня прийняттого ризику та його нормативного

розрахунку у провідних країнах Євросоюзу дещо відрізняються (табл.1.1), однак його абсолютні показники для різних держав є достатньо близькими [87, 88].

Таблиця 1.1

Критерії прийнятності ризику в деяких країнах Європи

<i>Країна</i>	<i>Визначення прийнятності наглядовими органами</i>	<i>Необхідне обґрунтування</i>	<i>Використання кількісних оцінок ризику</i>
Великобританія	Ризик повинен бути мінімальний	Доповідь про діяльність, визначена нормативами СІМАН	Пропонований ризик серйозних аварій 10^{-4} в рік- на межі прийнятності
Німеччина	Задовольняє технічні правила та не завдає шкоди довкіллю та населенню	Аналіз безпеки заключного стану технології	Частина безпеки. Кількісні показники не визначаються на задовільному рівні
Франція	Визначається арбітражними органами	Оцінка технічного ризику та економічний аналіз	Ризик неприйнятних наслідків не повинен перевищувати 10^{-6} в рік
Данія	Вимоги виражені загальними термінами	Повинен бути прийнятним для Комітету відповідної організації	Ризик, що не перевищує 10^{-6} в рік - прийнятний
Нідерланди	Небезпека повинна бути максимально квантифікована	Доповідь з безпеки повинна бути схвалена наглядовими органами та Робочою радою	Аналіз в термінах теорії ймовірності. Забезпечуваний максимальний прийнятний індивідуальний ризик смерті 10^{-6} в рік

На даний час згідно з «Методикою визначення ризиків та їх

прийнятих рівнів для декларування безпеки небезпечних об'єктів» [77], ризик визначається ймовірнісним методом «дерева відмов» та «дерева подій».

Концепція керування ризиками для здоров'я людини сформувалась лише в останнє десятиріччя. Спочатку схожі поняття застосовувались лише до ситуацій, які пов'язані з аваріями та катастрофами [50].

Цей напрям продовжує залишатись актуальним, наприклад, для оцінки професійного ризику під час ліквідації аварій, в умовах нерегламентованого робочого дня, для військовослужбовців тощо. Згодом метод почали використовувати для аналізу ризику, пов'язаного із впливом факторів навколишнього середовища у звичайних умовах [50,83].

Незважаючи на неоднозначність самого поняття та підходів до оцінки екологічного ризику, сьогодні цей напрям є найперспективнішим і швидко розвивається.

Важливим для екологічних досліджень є визначення поняття екологічного ризику, яке дотепер трактується неоднозначно. Світові вчені, залежно від конкретної галузі застосування концепції ризику, розглядають його різні види. Деякі автори до проблем екологічного ризику зараховують не тільки ризик для здоров'я населення, але й деякі інші види ризику [84-86].

С. І. Пирожков [87] розрізняє такі види екологічного ризику:

- ризик руйнування природних систем;
- ризик для здоров'я населення;
- ризик техногенних систем для конкретного промислового підприємства;
- ризик у керуванні природними ресурсами;
- ризик природних катастроф;
- ризик впливу регіональних військових конфліктів;
- ризик екологічного тероризму.

Очевидно, що основною проблемою медико-екологічних досліджень є оцінка ризику для здоров'я населення внаслідок впливу на людину шкідливих факторів навколишнього середовища [50, 88-91].

У межах цього напрямку також існує різноманітне розуміння оцінки ризику. Окремі вчені пов'язують екологічний ризик з певними факторами довкілля та оцінюють ризик для здоров'я окремої людини, тобто ймовірність реалізації конкретних несприятливих дій з боку навколишнього середовища, в інших випадках екологічний ризик розглядається як поняття, визначене на популяційному рівні. Аналіз та оцінювання ризику аварій разом із превентивними заходами безпеки є основою системи управління безпекою техногенних об'єктів різних типів [92].

Схема аналізу ризику охоплює широкий спектр взаємопов'язаних проблем різноманітних етапів:

- ідентифікація факторів ризику;
- оцінка ризику;
- прийняття рішень, спрямованих на керування ризиком за допомогою аналізу відношення необхідних витрат та їхньої ефективності.

Першим кроком у оцінці ризику є виявлення найбільших джерел небезпеки (факторів ризику) та їхнє ранжування з метою визначення реальної загрози для людини і навколишнього середовища на основі побудови карт ризику; визначення порогів стійкості технічних й екологічних систем; використання методів математичної статистики. Ідентифікацію факторів ризику можливо здійснити за допомогою різноманітних прийомів: апробації, відбору, моделювання поведінки різних хімічних речовин у навколишньому середовищі, моніторингу та діагностики [93].

Згідно з [94] *екологічна безпека - відсутність дій, станів та*

процесів, які прямо чи непрямо призводять до суттєвих збитків для навколишнього середовища, населення та матеріальних об'єктів.

Повну екологічну безпеку певного об'єкта W можна подати у вигляді функції:

$$W = f(P, Z, O), \quad (1.3)$$

де:

P - параметри, які надиктовані процесами зовнішнього походження, для яких об'єкт дослідження є реципієнтом;

Z - параметри, які надиктовані процесами втілення загроз;

O - параметри сталості процесів всередині об'єкта [50].

При подальшому розгляді компонентів забезпечення екологічної безпеки об'єкта слід виділити три основні завдання щодо зниження ймовірності виникнення комплексної кризової ситуації:

- захист об'єкта від зовнішніх загроз;
- профілактичні заходи проти можливості впливу на об'єкт аварій та кризових ситуацій зовнішнього походження;
- профілактичні заходи проти можливості виникнення всередині об'єкта аварійних ситуацій, аварій та кризових ситуацій [95-96].

Саме тому для планування комплексних заходів для забезпечення екологічно безпечного функціонування конкретного об'єкта необхідно мати у розпорядженні повну та детальну схему можливого розв'язку комплексної кризової ситуації масштабнішого рівня [97-98].

Екологічний моніторинг здійснюється на чотирьох рівнях:

- *локальному* - на території окремих об'єктів (підприємств), міст, ділянках ландшафтів. Для ефективного контролю за забрудненням атмосфери в містах із населенням до 100 тис. осіб контрольних

станцій доцільно мати принаймні три; від 100 тис. до 300 тис. осіб - не менше п'яти, від 300 тис. до 500 тис. - сім, тоді як у населеному пункті з населенням понад 1 млн чоловік - 11-24 пункти. Промислові системи екологічного моніторингу контролюють викиди промислових підприємств, рівень забруднення промислових майданчиків і прилеглих до них районів;

– *регіональному* - в межах адміністративно-територіальних одиниць, на територіях економічних і природних регіонів. Здебільшого він отримує дані про забруднення атмосфери та водойм від міських і промислових контрольних станцій;

– *національному* - на території країни в цілому. Моніторинг означає статистичну обробку та аналіз даних про забруднення навколишнього середовища від регіональних систем, зі штучних супутників землі та космічних орбітальних станцій. Вони функціонують разом зі службою погоди Держкомгідромету України та здійснюють прогноз якості навколишнього середовища на великих територіях країни;

– *глобальному* - глобальні системи моніторингу навколишнього середовища використовуються для досліджень і охорони природи та здійснюються на основі міжнародних угод у цій сфері. Низка країн має мережу наземних станцій, на яких здійснюються безперервний відбір та аналіз проб на наявність в атмосфері забруднювальних речовин, CO₂, CO, пилу, свинцю, радіонуклідів та ін. [99-102].

Математичне моделювання ризиків у природно-екологічному та природно-техногенному середовищі ускладнюється невизначеністю просторових, часових параметрів процесів зародження, розвитку і виявлення аварій [103].

У теорії прийняття рішень розрізняють два типи невизначеностей:

– *статистична*, до якої належать процеси, що спостерігаються

достатню кількість разів, зокрема за допомогою натурних або модельних експериментів;

– *нестатистична*, яка характеризується тим, що досліджувані події проявляються недостатню кількість разів, або взагалі неможливо припустити реалізацію цих подій лише в майбутньому та відносяться до нестатистичного типу невизначеності [104].

У цьому випадку також можна користуватися поняттям ймовірності та визначати з її допомогою числові значення. Дана ймовірність трактується не як частота події, а як ступінь впевненості або достатня міра можливості того, що ця подія відбудеться [104-108].

Нестатистична інтерпретація невизначеності оперує поняттям суб'єктивної ймовірності. При цьому кількісне визначення суб'єктивних ймовірностей здійснюється за допомогою спеціально організованих процедур на основі декомпозиції складної події на прості.

У зв'язку з цим для підвищення рівня екологічної безпеки та мінімізації екологічних ризиків у районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття потрібно вирішити **наступні завдання**:

1. Проаналізувати вітчизняний та зарубіжний досвід в галузі оцінки екологічних ризиків, вибрати оптимальні методики, доопрацювати та адаптувати їх до техногенно навантажених територій (на прикладі Калуського промислового району). Дослідити вплив циклічного засолення-розсолення на фізико-механічні характеристики ґрунтів.
2. Встановити закономірності взаємозв'язку між рівнем засолення та величиною просідання. Запропонувати спрощену математичну модель для проведення інженерних розрахунків.
3. Розділити територію м. Калуш на кластери за рівнем засоленості ґрунтів та розрахувати прогностичні показники просідання для кожного кластера.

4. Вибрати критерії та провести ранжування території м. Калуш за рівнем екологічних ризиків. Встановити найбільш придатні та найнебезпечніші селітебні території м. Калуш.

Розділ 2

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Методика вивчення суфозії та вилуговування

Для обґрунтованого проектування основ та фундаментів промислових і цивільних споруд на засолених ґрунтах необхідно знати специфічні властивості засолених глинистих ґрунтів, які містять велику кількість легко-і середньорозчинних солей, основні закономірності зміни цих властивостей, щоб врахувати можливе їх обводнення атмосферними опадами, при замочуванні або підтоплення територій, внаслідок аварій чи витоків з мереж водопроводу, каналізації, технологічних трубопроводів.

Актуальність даної проблеми пов'язана з швидким розвитком будівельної галузі та проблемою безпеки об'єктів капітального та індивідуального будівництва.

Просідання глинистих ґрунтів характеризується рядом показників:

1. межа просідання (вологість ґрунту, при досягненні якої припиняється зміна його початкового об'єму);
2. щільність скелету ґрунту на межі просідання;
3. величини відносного лінійного та об'ємного просідання [7].

Для визначення просідання ґрунту з природною структурою необхідно:

- за допомогою ґрунтового кільця вирізати зразок циліндричної форми та помістити його на предметне скло, покрите шаром парафіну; за початковий об'єм ґрунту приймаємо об'єм кільця; розрахувати об'ємну масу та об'ємну масу скелета ґрунту, попередньо зваживши кільце з ґрунтом з точністю до 0,01 г;
- зневоднення зразка при вивченні його просідання необхідно проводити в три етапи: на першому етапі зразок висушують в

закритому об'ємі при температурі 18-20 °С зі зміною маси в межах від 0,5 до 2 г за добу; на другому - після досягнення вологості межі просідання, що контролюється згідно графіка, подальше зневоднення необхідно проводити на відкритому повітрі при тій же температурі; на третьому - сушіння доводиться до завершення в термостаті при температурі 105-107 °С; кількість вимірювань маси та об'єму зразка при його дегідратації повинно бути не менше п'яти на кожному етапі;

- за результатами вимірювань побудувати графік залежності зміни об'єму (маси) від вологості [109].

При визначенні просідання ґрунту з порушеною структурою необхідно:

- повітряно-сухий ґрунт розтерти в порцеляновій ступці гумовим товкачиком і пропустити крізь сито 0,5 мм;
- до перетертого крізь сито ґрунту додати воду, доводячи його до консистенції, близької до верхньої межі пластичності та помістити в ексікатор з водою на 24 год.;
- після закінчення вказаного часу довести ґрунт до стану верхньої межі пластичності за допомогою конуса Васильєва та заповнити ним прямокутну форму розміром 5×3×2 см, покриту зсередини шаром технічного вазеліну; на торцевій поверхні ґрунту нанести діагоналі й помітити точки вимірювання;
- зневоднення ґрунту, аналогічно до випадку з природною структурою ґрунту;
- за результатами зважувань і відповідних їм замірів зміни лінійних розмірів зразка ґрунту побудувати графік, за яким графоаналітичним способом визначити параметри просідання.

Одним з напрямків дослідження засолення ґрунтів в районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття є вивчення їх

фільтрації в процесі вилуговування, зокрема динаміка зміни коефіцієнта фільтрації [2].

На підставі результатів дисперсного та мікроагрегатного аналізів можна зробити висновки лише про елементарний і мікроагрегатний склад ґрунтів гіпсово-глинистої шапки, агрегатний склад їх залишається невідомим. Про нього можна судити лише за числом пластичності, яке є комплексною характеристикою ґрунту і залежить не тільки від його дисперсності, але і від мінерального складу, складу обмінних катіонів та від концентрації солей в поровому розчині.

Для інженерно-геологічної оцінки засолених ґрунтів дуже важливою задачею є з'ясування картини їхньої природної агрегованості, оскільки ці ґрунти, завдяки цементуючому впливу солей, в природних умовах є повністю агрегованими.

Для вирішення цієї задачі необхідно, разом з дисперсним аналізом, проведення агрегатного та мікроагрегатного аналізів, і в цьому випадку виникають основні труднощі, пов'язані з коагуляцією глинистих частинок в умовах високої концентрації електролітів [109].

При проведенні гранулометричного аналізу у водному середовищі від агрегатної схеми підготовки доводиться відмовитися, оскільки через швидку коагуляцію суспензії аналіз неможливо довести до кінця. Попереднє відмивання водорозчинних солей в даному випадку суперечило б самій суті агрегатного аналізу, що допускає лише слабку механічну дію на ґрунт, а відмивання солей є, по суті, хімічною дією, оскільки воно змінює хімічний склад ґрунту, його ємність поглинання і склад поглинених катіонів.

Підготовка до мікроагрегатного аналізу передбачає енергійну фізичну дію на ґрунт (кип'ятіння протягом 1 години). Попереднє відмивання водорозчинних солей для запобігання коагуляції в цьому випадку теж має хімічну дію на ґрунт. Але, оскільки видалення

легкорозчинних солей сприяє руйнуванню тільки неводостійких агрегатів, не зачіпаючи водостійкі, зцементовані важкорозчинними солями, то воно не суперечить мікроагрегатній схемі підготовки до аналізу.

Для ґрунтів гіпсово-глинистої шапки не спостерігається збільшення їхньої дисперсності в процесі кип'ятіння в порівнянні з відмиванням солей. Більше того, у багатьох випадках, особливо для закарбонатованих ґрунтів, кип'ятіння сприяє коагуляції суспензії [110].

У зв'язку з цим від кип'ятіння при проведенні мікро агрегатного аналізу ґрунтів шапки довелося відмовитися. Застосування аміаку для стабілізації суспензій за даною схемою підготовки до аналізу не дає позитивних результатів, а у ряді випадків навіть підсилює коагуляцію.

Проведені нами дослідження показали, що невеликі добавки (1 см^3 на 0,5 л однопроцентної суспензії) пірофосфату натрію дають більшу стабілізацію суспензії, ніж аміак. Слід відмітити, що у випадку сильно загіпсованих і закарбонатованих ґрунтів (при засоленості більше 40%) проведення мікроагрегатного аналізу стає недоцільним, оскільки навіть при дотриманні вищезгаданих умов ґрунтова суспензія повністю або частково коагулює.

Видалення ж гіпсу і карбонатів є, по-перше, тривалим і трудомістким процесом; по-друге, вимагає поправочних коефіцієнтів для обліку втрат цих солей з різних гранулометричних фракцій і, по-третє безумовно, суперечить самій суті мікроагрегатного аналізу.

Для проведення дисперсного аналізу в даний час широко застосовується метод обробки ґрунту пірофосфатом натрію, який володіє здатністю сильно диспергувати глинисту суспензію і стабілізувати її при значній концентрації електролітів. Завдяки цим властивостям пірофосфат натрію можна з успіхом застосовувати для проведення дисперсного аналізу засолених ґрунтів. Але при значному вмісті водорозчинних солей, коли концентрація електроліту досягає і перевищує поріг коагуляції,

потрібне попереднє відмивання ґрунту, адже поріг коагуляції для сумішей солей значно нижчий, ніж для кожної з них окремо.

Крім того, при високій загіпсованості й закарбоначеності порід необхідно збільшувати кількість реагенту. Слід зазначити, що збільшення дози пірофосфату натрію, на відміну від інших реагентів, не викликає коагуляції суспензії, що є дуже цінною якістю цього реагенту [111].

Зважаючи на значну засоленість ґрунтів, проведення гранулометричного аналізу за трьома схемах неможливе. При наших дослідженнях використовувалися тільки дві значно змінені схеми підготовки до аналізу: мікроагрегатна та дисперсна, причому остання застосовувалася для ґрунтів із загальним засоленням не більше 30-40%.

Відбір проб ґрунту проводився на території м. Калуш Івано-Франківської області. При відборі використовувалася методика згідно ДСТУ Б В.2.1-22:2009 [112].

Консистенція, або стан глинистого ґрунту, що відображає ступінь рухливості його частинок залежно від вологості, є надзвичайно важливою характеристикою стійкості ґрунту. Для оцінки наявної консистенції або її прогнозу визначають показники пластичності ґрунту, які включають число пластичності, вологість на межі пластичності, вологість на межі текучості. Числом пластичності I_p називають інтервал вологості, у межах якого порода перебуває у вологому стані. Ця величина визначається за формулою:

$$I_p = W_L - W_p \quad (2.1.)$$

де:

W_L - значення вологості на межі текучості

W_p - значення вологості на межі пластичності (розкочування) для даної породи [109].

Число пластичності може бути виражене у відсотках або в частках від одиниці. Його розрахунок проводять на підставі даних визначення лабораторними методами вологості на межі текучості та вологості на межі пластичності. У табл. 2.1. наведені значення показників пластичності й текучості різних типів глинистих порід.

Таблиця 2.1

Показники пластичності й текучості глинистих порід

Порода (грунт)	Вміст глинистих частинок, %	Показник пластичності I_p , %	Межа текучості, W_L , %
Супісок	3 - 10	$1 < I_p \leq 7$	16-26
Легкий суглинок	10 - 15	$7 < I_p \leq 12$	
Суглинок середній	15 - 20	$7 < I_p \leq 15$	26-42
Суглинок важкий	20 - 30	$15 < I_p \leq 17$	
Глина	>30	$I_p > 17$	42

Крім того, консистенція глинистого ґрунту може бути охарактеризована показником консистенції I_L , який визначають за формулою:

$$I_L = \frac{W_0 - W_P}{W_L - W_P} \quad (2.2)$$

де

W_0 - природна вологість ґрунту;

W_L - вологість на межі текучості;

W_P – вологість на межі пластичності [113].

За розрахованим показником визначають консистенцію глинистого

грунту того чи іншого типу (табл. 2.2), що дозволяє прогнозувати поведінку глинистих порід при зміні вологості.

Таблиця 2.2

Значення показника текучості для глинистих порід різної консистенції

Тип ґрунту (породи)	Консистенція	Величина показника текучості
Супісок	тверда	$I_L < 0$
	пластична	$0 \leq I_L \leq 1$
	текуча	$I_L > 1$
Суглинок і глина	тверда	$I_L < 0$
	напівтверда	$0 \leq I_L \leq 0,25$
	тугопластична	$0,25 \leq I_L \leq 0,50$
	м'якопластична	$0,50 \leq I_L \leq 0,75$
	текучопластична	$0,75 \leq I_L \leq 1$
	текуча	$I_L > 1$

Міцність глинистих порід знижується з підвищенням вологості, тому для її оцінки необхідно визначити консистенцію породи в природних умовах. У глинах ущільнених, з непорушеною структурою, зміни консистенції при зміні вологості можуть не відбуватися завдяки наявності структурних зв'язків зчеплення. Після порушення структурних зв'язків така глиниста порода може перейти у м'який стан без додаткових ущільнень. Таким чином, характеристиками консистенції глинистих порід необхідно користуватися з урахуванням комплексу геологічних даних (умови залягання, мінералогічний склад порід тощо).

Суфозія або механічне винесення дрібних частинок із породи водою є несприятливим, а інколи й небезпечним процесом, ризик виникнення і ступінь прояву якого необхідно оцінити ще на стадії проектування споруд і будівель [114].

Орієнтовну оцінку суфозійності ґрунту обчислюють, виходячи зі значення коефіцієнта неоднорідності η і допустимого градієнта напору $I_{дон}$. Коефіцієнт неоднорідності ґрунту η визначають як співвідношення:

$$\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (2.3)$$

де d_{60} і d_{10} - діаметри частинок, яких у ґрунті міститься менше 60 і 10 % частинок за масою відповідно.

Для ґрунтів з $\eta < 10$ $I_{дон} = 0,3...0,4$; при $10 < \eta < 20$ $I_{дон} = 0,2$; при $\eta > 20$ $I_{дон} = 0,1$.

При значеннях градієнта напору менше допустимого для ґрунтів визначеного зернового складу суфозійні явища не спостерігаються.

У ґрунтах з $\eta < 10$ при градієнтах напору більше 0,3...0,4 відбувається не власне суфозія, а випирання.

Точнішим методом оцінки суфозійності ґрунту є розрахунковий, який базується на визначенні за експериментальними залежностями діаметра максимального порового каналу, діаметра і процентного вмісту суфозійних частинок, критичних швидкостей і критичних градієнтів напору фільтраційного потоку [115].

Розрахунковий метод визначення суфозійності ґрунту складається з декількох етапів.

1) Побудова інтегральної кривої

У напівлогарифмічному масштабі будують графік інтегральної кривої гранулометричного складу ґрунту, на горизонтальній осі якого відкладають діаметр частинок, а на вертикальній - сумарний вміст частинок фракцій. Для цього послідовно підсумовують вміст фракцій, починаючи із найбільш дрібних часток, і по цих числах будують криву.

Кожне з отриманих чисел вказує, таким чином, на сумарний вміст фракцій менше визначеного діаметра.

Побудову графіка здійснювали засобами відповідних комп'ютерних програм (MS Excel, та OriginPro).

2) Розрахунки параметрів суфозійності ґрунту.

Максимальний діаметр порового каналу розраховують за формулою:

$$d_{\max}^0 = 0,455 \cdot \chi \cdot \sqrt[6]{\eta} \cdot \frac{n}{1-n} \cdot d_{17} [\text{см}] \quad (2.4)$$

де η - коефіцієнт неоднорідності (різнозернистості) ґрунту, який дорівнює відношенню d_{60}/d_{10} ;

χ - коефіцієнт локальності суфозії, який залежить від коефіцієнта неоднорідності ґрунту і визначається за залежністю $\chi = 1 + 0,05\eta$;

n - ефективна пористість ґрунту, частка од.;

d_{17} - діаметр частинок, яких в ґрунті міститься менше 17 % частинок за масою, см.

Максимальний діаметр суфозійних частинок d_{\max}^c розраховують за формулою:

$$d_{\max}^c = 0,77 d_{\max}^0 [\text{см}] \quad (2.5)$$

Відсотковий вміст суфозійних частинок знаходять за кривою гранулометричного складу ґрунту в залежності від їх максимального діаметру.

Розрахунок критичної швидкості суфозії проводять за формулою:

$$V_{кр}^c = \varphi_0 \cdot d_{max}^c \cdot \sqrt{\frac{n \cdot g}{\nu}} \cdot K \text{ [см/с]} \quad (2.6)$$

де

d_{max}^c - максимальний діаметр суфозійних частинок, см;

n - ефективна пористість ґрунту, частки од.;

g - прискорення сили тяжіння, см/с²;

ν - кінематичний коефіцієнт в'язкості, см²/с;

K - коефіцієнт фільтрації, см/с;

φ_0 - коефіцієнт критичної швидкості:

$$\varphi_0 = 0,6 \cdot \left(\frac{\rho_{с.г.}}{\rho_в} - 1 \right) \cdot f^* \cdot \sin \left(30^\circ + \frac{\Theta}{8} \right) \quad (2.7)$$

де:

$\rho_{с.г.}$ - щільність сухого ґрунту, г/см³;

$\rho_в$ - щільність води, г/см³;

Θ - кут між напрямками швидкості фільтрації і сили тяжіння;

f^* - зведений коефіцієнт тертя, який визначається за залежністю:

$$f^* = 0,82 - 1,8n + 0,0062 (\eta - 5) \quad (2.8)$$

Коефіцієнт фільтрації ґрунту можна визначити за залежністю
М. П. Павчича:

$$K = \frac{3,99 \cdot \varphi_1}{\nu} \cdot \sqrt[3]{\eta} \cdot \frac{n^3}{(1-n)^2} \cdot d_{17}^2 \text{ [см/сек]} \quad (2.9)$$

де :

φ_1 - коефіцієнт, який враховує форму і шорсткість частинок (для

піщано-гравелистих ґрунтів $\varphi_1=1,0$; для щебневих ґрунтів $\varphi_1=0,35 \dots 0,40$);

ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості (см²/с);

n - ефективна пористість ґрунту;

η - коефіцієнт неоднорідності ґрунту;

d_{17} - діаметр частинок, менше якого у ґрунті міститься 17 % за масою, см [109, 116].

Якщо при розрахунку виявиться, що фактична швидкість фільтрації менша критичної, то згідно з (2.6) визначаємо максимальний діаметр суфозійних частинок (см), для яких фактична швидкість фільтрації буде критичною:

$$d_{\max}^c = \frac{V_\phi}{\varphi_0 \cdot \sqrt{\frac{n \cdot g}{\nu} \cdot K}} \text{ [см]} \quad (2.10)$$

Відсотковий вміст таких частинок визначають за кривою гранулометричного складу ґрунту.

Ущільнення ґрунтів поєднує в собі кілька фізичних процесів, зокрема зміну об'єму пор, стиснення твердих часток, води газів, що містяться в порах, деформації плівок зв'язної води, розчинення газів у поровій воді, взаємне зміщення та руйнування структурних агрегатів [117].

Деформації твердих часток ґрунту, плівок зв'язної води, газів і води, якщо вони не мають вільного виходу на по верхню, при звичайних напругах в основах фундаментів незначні й практично миттєво відновлюються після зняття навантаження, тобто вважаються пружними. Таким чином, можна вважати, що деформації опору тривалому статичному навантаженні виникають тільки за рахунок зменшення об'єму пор ґрунту.

2.2 Методика компресійних випробовувань

Розрахунок основ і фундаментів виконується з використанням законів механіки ґрунтів, які, як правило, формулюються на підставі аналізу результатів експериментальних досліджень. Закони механіки ґрунтів встановлюють залежність між різними параметрами механічного стану ґрунту, наприклад, між напругою і деформаціями, між дотичними і нормальними напруженнями, між швидкістю фільтрації води через ґрунт і градієнтом напору [118].

Основні закономірності механіки ґрунтів, властивості, які вони описують і характеризують, та механічні показники зведені у табл. 2.3.

Стисливість ґрунтів - властивість ґрунтів змінювати свій первісний об'єм за рахунок перекомпонування частинок і зменшення пористості.

Стисливість глинистих порід залежить від їх мінерального складу, ступеня дисперсності, пористості та стану породи і умов стиску.

Ступінь стисливості ґрунтів при неможливості бічного розширення ґрунту виражають через коефіцієнт компресії - коефіцієнт ущільнення q_y .

Коефіцієнт ущільнення q_y рівний

$$q_y = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{P_2 - P_1}, \quad (2.11)$$

де ε_1 - коефіцієнт пористості при тиску P_1 ;

ε_2 - коефіцієнт пористості при тиску P_2 .

За результатами компресійних випробовувань обчислюють модуль загальної деформації

$$E_0 = \frac{(1 - \xi)(1 + 2\xi)(1 + \varepsilon_0)}{q_y(1 + \xi)}, \quad (2.12)$$

де ξ - коефіцієнт бічного тиску ґрунту, який визначають експериментально;

ε_0 - початковий коефіцієнт пористості.

Модуль осідання визначають за даними дослідів за формулою

$$l_p = \frac{\Delta h_n}{h_0}, \quad (2.13)$$

де Δh_n - зменшення висоти при тиску P_n , мм;

h_0 - початкова висота зразка, мм.

Процес стискування глинистих порід під навантаженням відбувається протягом тривалого часу і його називають консолідацією.

Ступінь консолідації є відношення деформації зразка у компресійному приладі у якийсь момент до повної його деформації

$$\theta = \frac{\Delta h_t}{\Delta h_k} \cdot 100\%, \quad (2.14)$$

де Δh_t - деформація зразка в момент часу t ;

Δh_k - повна деформація зразка.

Одночасно для ґрунту який випробовують визначають питому вагу γ , початкову вологість W , густину ρ , обчислюють початковий коефіцієнт пористості ε_0

$$\varepsilon_0 = \frac{\gamma(1+0,01W_0)}{\rho} - 1. \quad (2.15)$$

Знаючи деформацію зразка Δh_n при тиску P_1 , можна визначити зміну коефіцієнту пористості $\Delta \varepsilon_n$ і коефіцієнт пористості ε_n , який відповідає тому самому навантаженню, за формулами

$$\Delta \varepsilon_n = \frac{\Delta h_n}{h_0} (1 + \varepsilon_0), \quad (2.16)$$

$$\varepsilon_n = \varepsilon_0 - \Delta \varepsilon_n, \quad (2.17)$$

де h_0 - початкова висота зразка (20 мм).

Випробування ґрунту в компресійному приладі характеризується наступними умовами:

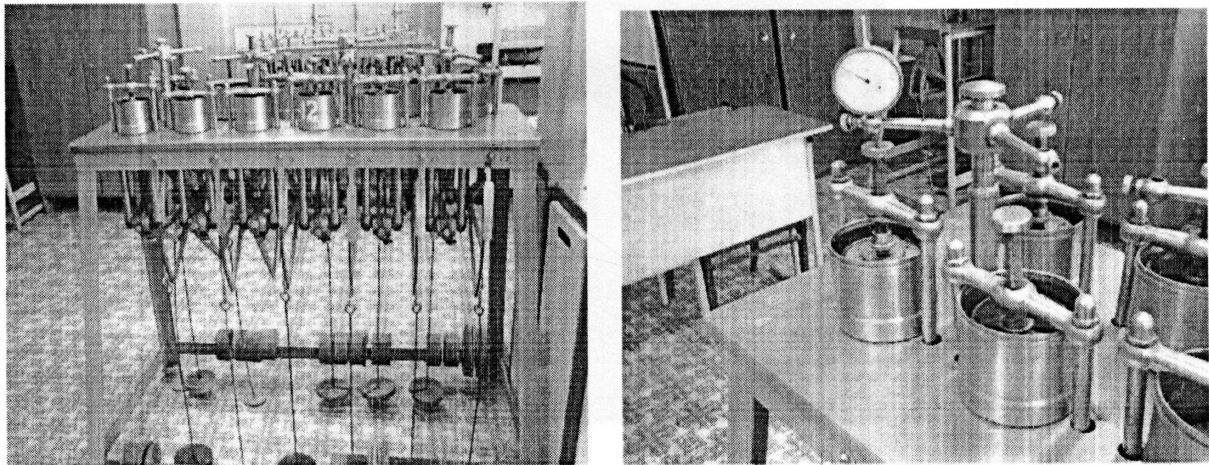
- кільце, в яке поміщається зразок, має достатню жорсткість і тому ґрунт деформується при неможливості бічних переміщень.
- деформації частинок дуже малі, і ними можна знехтувати.
- надлишкова вода в ґрунті вільно видавлюється з пор і видаляється через отвори в штампах.
- обсяг твердих частинок в об'ємі зразка не змінюється (винос дрібнодисперсних часток разом з надлишковою поровою водою не враховується)[119-121].

Таблиця 2.3

Основні закономірності механіки ґрунтів

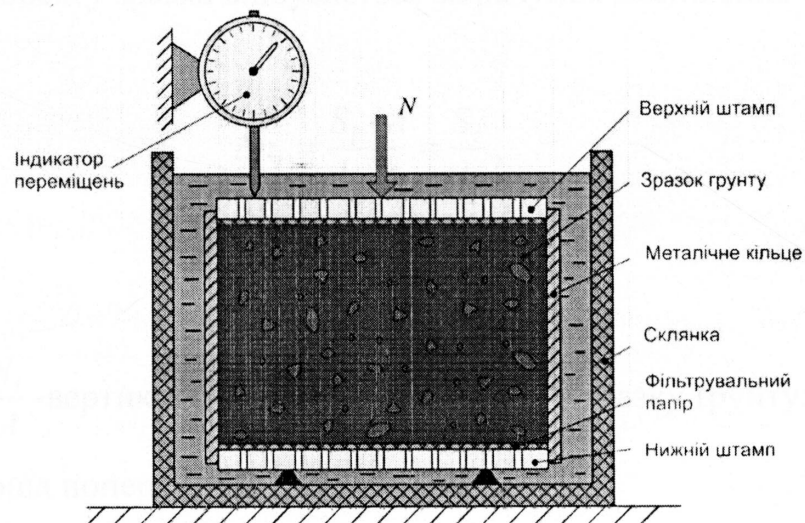
Властивість	Закон	Показники	Застосування
1. Деформаційні властивості	<i>Закон ущільнення</i>	m_v -коефіцієнт відносного стиску. E_0 - модуль загальних деформацій	При розрахунку основ за другою групою граничних станів або за деформаціями
2. Властивості міцності	<i>Закон Кулона</i>	φ - кут внутрішнього тертя, c - питоме зчеплення	При розрахунку стійкості основи, I-ша група граничних станів.
3. Водопроникність	<i>Закон Дарсі</i>	k_f - коефіцієнт фільтрації, c_v - коефіцієнт консолідації	Розрахунок осідань основи в часі, інші фільтраційні розрахунки

Дослідження стисливості ґрунту в лабораторних умовах проводилися в компресійних приладах - одометрах. Схема одометра наведена на рис. 2.1



а)

б)



в)

Рис. 2.1. Компресійний прилад:

а), б) загальний вигляд компресійного приладу,

в) принципова схема приладу.

Розглянемо, як змінюється пористість ґрунту при його ущільненні в компресійному приладі. Позначимо первинну висоту зразка h . При стисненні зразка навантаженням величиною N_i поверхня зразка зміщується на величину S_i , рис.2.2.

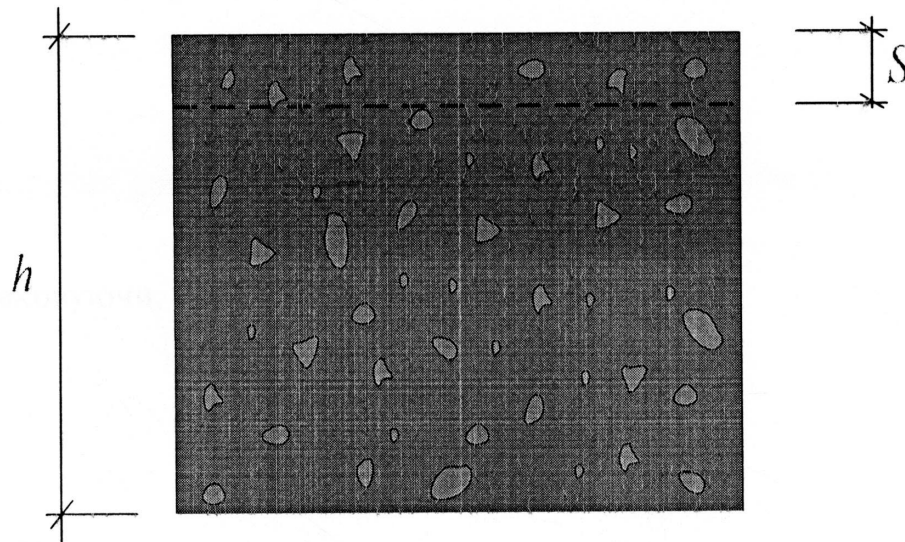


Рис. 2.2. Схема деформування зразка ґрунту в компресійному приладі
Зменшення обсягу зразка відбувається за рахунок зменшення об'єму пор:

$$\Delta n_i = \frac{S_i \cdot A}{h \cdot A} = \frac{S_i}{h}, \quad (2.18)$$

де:

$p_i = \frac{N_i}{A}$ - вертикальні стискаючі напруги у зразку ґрунту;

A - площа поперечного перерізу зразка.

Враховуючи значення коефіцієнта пористості, отримаємо:

$$e_i = e_0 - \Delta e_i = e_0 - \frac{\Delta n_i}{m'} \quad (2.19)$$

де:

e_i - коефіцієнт пористості;

e_0 - початковий коефіцієнт пористості ґрунту;

Δe_i - зміна коефіцієнта пористості;

m' - обсяг твердих частинок в одиниці об'єму.

$$e_i = e_0 - \frac{1}{m'} \cdot \frac{S_i}{h} \tag{2.20}$$

Враховуючи, що

$$m' = \frac{1}{1 + e_0} \tag{2.21}$$

отримаємо:

$$e_i = e_0 - (1 + e_0) \cdot \frac{S_i}{h} \tag{2.22}$$

Формула (2.22) дозволяє оцінити зміну пористості ґрунту відносно його ущільнення.

У результаті випробувань ґрунту в одометрі при поступовому збільшенні N_i можемо побудувати *компресійну криву* - графік зміни коефіцієнта пористості ґрунту зі зміною ущільнюючого тиску [122].

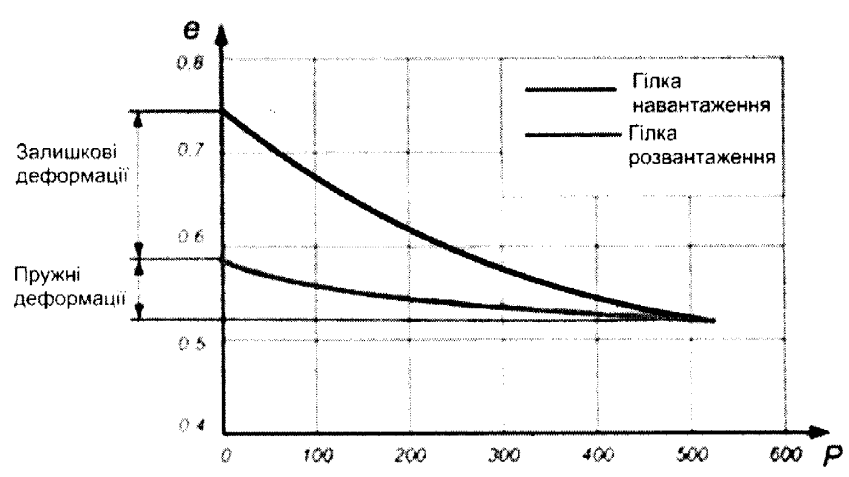


Рис. 2.3. Загальний вигляд компресійної кривої
 Аналіз характеру зміни коефіцієнта пористості ґрунту при зміні

ущільнюючого тиску дозволяє зробити такі висновки:

- зі збільшенням ущільнюючого тиску (p_i) коефіцієнт пористості (e_i) зменшується. При цьому залежність e_i-p_i є криволінійною.
- залишкові деформації ущільнення значно більші ніж пружні.

Крім того, багато ґрунтів володіють структурною міцністю. У цьому випадку загальний вигляд компресійної кривої матиме вигляд:

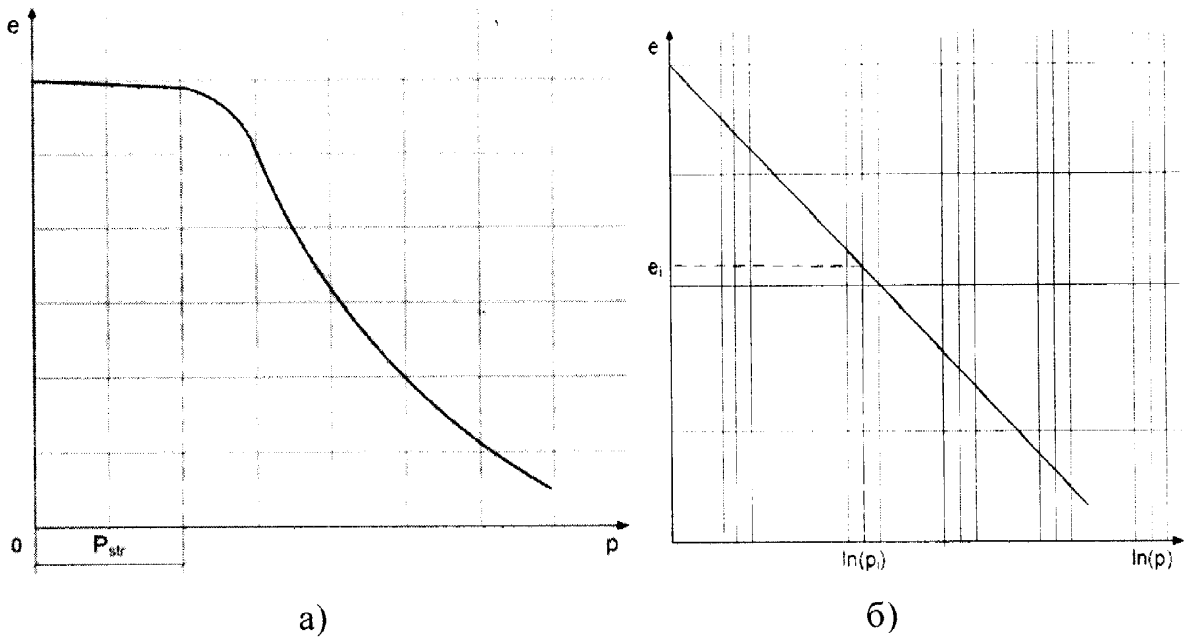


Рис. 2.4. Компресійна крива з урахуванням структурної міцності ґрунту:

а) – класичний вигляд, б) – в логарифмічних координатах

У цьому випадку вона є практично прямою лінією і рівняння даної кривої можна записати у вигляді:

$$e_i = e_0 - a_k \cdot \ln(p_i) \quad (2.23)$$

де- a_k - коефіцієнт компресії.

Однак застосування в розрахунках логарифмічної залежності процесу ущільнення ґрунту від навантажень призводить до значного

ускладнення розрахункових моделей і тому таке подання компресійної кривої не має широкого практичного застосування [4].

2.3 Методика оцінки ризиків

У теорії прийняття рішень застосовують статистичний та нестатистичний тип невизначеностей. Нестатистична інтерпретація невизначеності оперує поняттям суб'єктивної імовірності. При цьому кількісне визначення суб'єктивних ймовірностей здійснюється за допомогою спеціально організованих процедур на основі декомпозиції складної події на прості.

Узагальнена процедура аналізу ризиків включає в себе такі кроки:

1. Ідентифікація джерел небезпеки. Дана інформація може бути використана для одержання відповіді на запитання:
 - Які за генезисом первинні і вторинні джерела небезпеки для об'єкта дослідження?
 - Де, коли і за яких умов вони уражали чи можуть вразити даний об'єкт?
2. Оцінка рівня загроз від джерел небезпеки - проведення аналізу просторово-часових і обсяго-потужнісних параметрів джерел небезпеки, які виявлені по відношенню до об'єкта дослідження.
3. Загальна оцінка екологічної уразливості території, персоналу об'єктів дослідження, населення, що проживає на територіях, прилеглих до об'єкту дослідження та об'єктів господарювання, які будуть реципієнтами.
4. Оцінка ризиків розвитку аварії у комплексну аварію або кризову ситуацію.
5. Обґрунтування заходів щодо мінімізації ризиків з урахуванням економічних, соціальних та екологічних вимог і можливостей регіону, де

розташований об'єкт дослідження [123].

Таким чином, оцінювання ризиків функціонування об'єкту може базуватися на співвідношеннях:

$$\begin{cases} R_{ns}(W_j) = P_s(W_j) \cdot V_{sf}(W_j) \cdot V_{nt}(W_j) \cdot V_{ns}(W_j) \cdot N_s \\ R_{is}(W_j) = \frac{R_{ns}(W_j)}{N_s} \\ R_{ns}(W_i) = \sum_j k_j \cdot R_{ns}(W_j) \end{cases} \quad (2.17)$$

де:

$R_{ns}(W_j)$ - колективний ризик загибелі чи втрати здоров'я на території S від j -го типу вражаючих впливів W (чол./рік);

$P_s(W_j)$ - ймовірність прояву на території S вражаючих впливів W_j (випадків/рік);

$V_{sf}(W_j)$ - фізична уразливість території S від вражаючих впливів W_j , що визначається відношенням ураженої площі S_i до загальної площі S ;

$V_{nt}(W_j)$ - часова вразливість населення, що визначається ймовірністю опинитися на території S під час прояву вражаючих впливів W_j ;

$V_{ns}(W_j)$ - просторова вразливість населення, що визначається ймовірністю потрапити на уражену частину території S ;

N_s - загальна кількість населення у межах території S [124].

Ризик-аналіз повинен бути невід'ємною складовою процедури прийняття проектних рішень та оцінки впливу проектованої діяльності на навколишнє середовище на всіх стадіях проектування. Основними напрямками подальших наукових розвідок є з'ясування механізму розвитку

сучасних морфодинамічних процесів, виявлення основних природних і антропогенних чинників, які сприяють їхній активізації, районування території міста за інтенсивністю, масштабами та характером прояву процесів, кількісна оцінка ризиків для різних видів господарських об'єктів, розробка заходів щодо їхнього зменшення.

На території Прикарпаття одним з об'єктів підвищеного екологічного ризику район ліквідованих гірничо-хімічних підприємств поблизу м. Калуш Івано-Франківської області.

Метою оцінки та аналізу геологічних чинників, що формують екологічні ризики в районах ліквідації гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття є попередження природно-техногенних аварій і катастроф, зумовлених проявом небезпечних природних, природно-техногенних процесів та впливом специфічних типів ґрунтів і ґрунтових вод [3].

За характером прояву ці процеси по-різному впливають на ті чи інші техногенні об'єкти, природні ландшафти та людину. Провали, карст, зсуви і суфозія з'являються миттєво або протягом порівняно короткого часу, тому є найбільш небезпечними.

Окрім того, надійних методів прогнозування, які б давали однозначну відповідь на ключові питання в розрахунку ризиків: де, коли, з якими кількісними параметрами виявляються ці процеси, практично не існує.

Натомість такі процеси, як підтоплення, просідання чи осідання ґрунтів розвиваються поступово, вони легше піддаються кількісному прогнозу, тому є менш небезпечними.

До найбільш збиткових екзогенних процесів, з якими пов'язані ризики освоєння територій та функціонування природно - технічних систем у межах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття, належать:

- механічна суфозія;

- сульфатний карст;
- зсуви;
- підтоплення ґрунтів;
- набухання ґрунтів;
- просідання ґрунтів;
- засолення ґрунтів.

Основні вогнища розвитку суфозійних процесів розташовані на шахтних полях та хвостосховищах, а також в районі Домбровського кар'єру [2, 125].

Розвиток суфозійних процесів супроводжується переважно утворенням провалів та воронок, які суттєво впливають на стійкість та експлуатаційну придатність споруд промислового та цивільного будівництва.

У Калуші неподалік перехрестя вулиць Вітовського, Мостиської і Глібова 16 листопада 2015 р. було виявлено утворення нового провалля діаметром близько 20 м, ймовірно, заповненого мінералізованим розчином.

На відстані близько 1 км від провалля розташований недіючий ДП «Калійний завод» ВАТ «Оріана», а неподалік від провалля проходить польова дорога, яка веде до 5 індивідуальних житлових будинків, розташованих в радіусі 70-250 м від воронки.

Глибину провалля визначити не вдалося. Наступного дня відбулося повторне просідання ґрунту між старим проваллям (воронка №14), яке утворилося у 2008 році, та новим, що виникло напередодні. Два провалля з'єдналися, утворивши воронку розміром 80х30 м (рис.2.5).

Пропонується **концепція ризик-менеджменту техногенно навантажених територій**, яка складається з таких етапів:

1. визначення потенційних небезпек та їх ранжування;
2. структурування небезпек за групами ризику;
3. ранжування груп ризику та оцінка прямих і непрямих збитків у

кожній групі;

4. розроблення способів та засобів мінімізації ризиків їх зведення до прийнятних;

5. створення системи управління ризиками для контролю і підтримки їх рівня у безпечних межах.



Рис. 2.5. Провал на вул. Глібова у м. Калуш

Згідно з даною концепцією проведено аналіз небезпек у районі ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття та структуровано їх за відповідними групами ризиків.

Виокремлено п'ять основних видів потенційних ризиків, зокрема:

- індивідуальний;
- економічний;
- екологічний;
- технічний;
- соціальний (рис 2.6).

Це дасть змогу удосконалити та наблизити українську нормативну базу до світових стандартів і підвищити якість контролю та управління потенційними екологічними ризиками, а також зменшити їх абсолютний рівень до прийнятого у згаданих країнах.

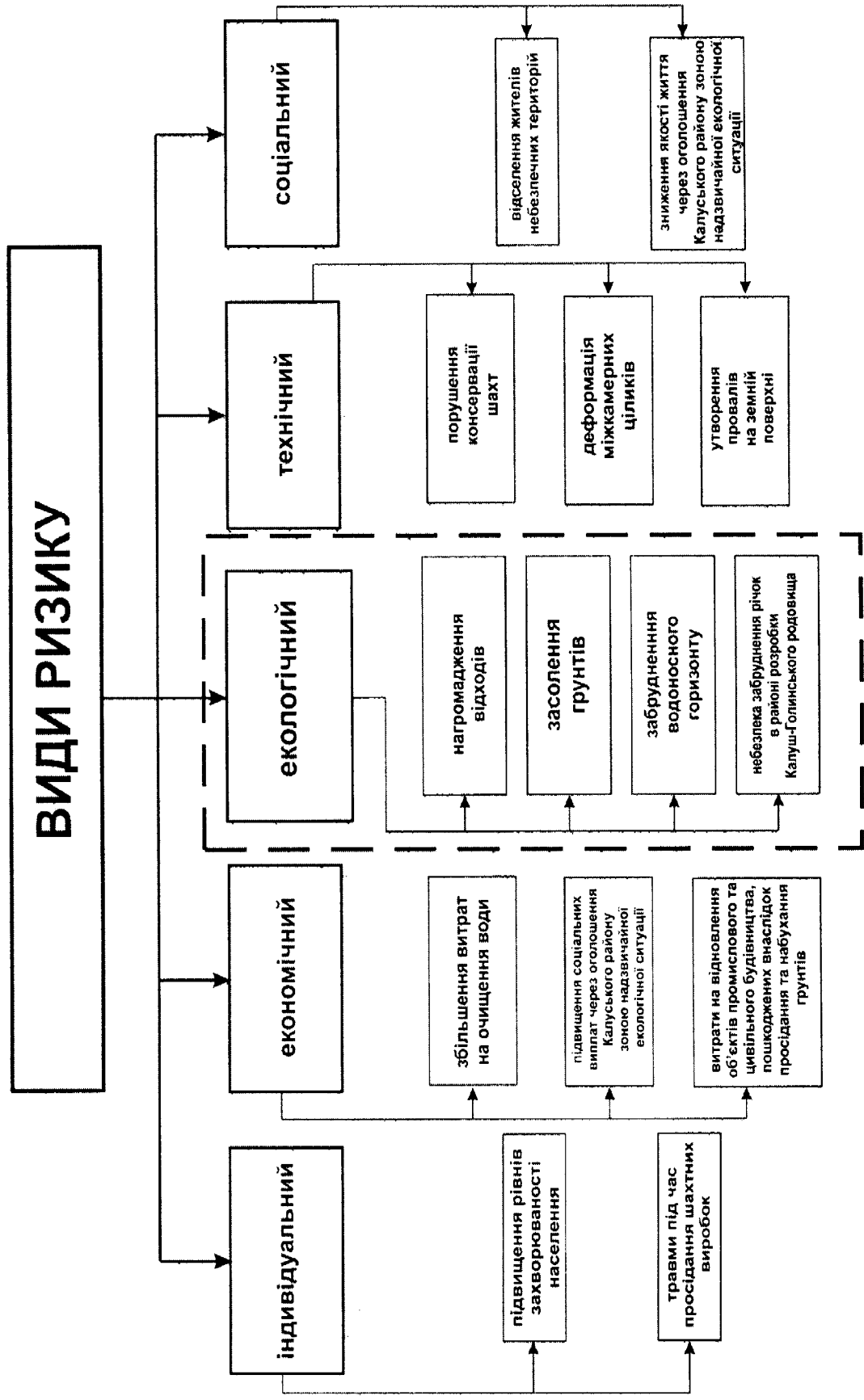


Рис. 2.6. Класифікація ризиків для Калуш-Голинського родовища калійних солей.

Висновки до розділу 2:

1. Здійснено порівняння методологічних підходів до оцінки та розрахунку екологічних ризиків з урахуванням ранжування рівнів небезпек, розрахунку прямих та непрямих збитків від настання позаштатної ситуації, впливу на здоров'я людини тощо.
2. Проаналізовано причини, кількість та характер позаштатних ситуацій у районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття, проведено їх структурування за групами ризиків.
3. Вперше запропоновано та науково обґрунтовано концептуальний підхід до оцінки екологічних ризиків в районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття, що дало можливість запровадити комплексний підхід до виділення та класифікації основних джерел екологічної небезпеки.
4. Запропоновані методичні підходи до оцінки потенційних екологічних ризиків у районах ліквідованих калійних підприємств Калуського промислового району можуть бути адаптовані до інших родовищ калійних солей України.

РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ВИЛУГОВУВАННЯ ЗАСОЛЕНИХ ГРУНТІВ

3.1 Динаміка коефіцієнта фільтрації засолених ґрунтів в процесі вилуговування.

Особливості фільтрації ґрунтів в умовах вилуговування вивчалися на зразках порід гіпсово-глинистої шапки калійних родовищ Східного Прикарпаття. Дослідження проводилися на зразках порід Стебницького і Калуш-Голинського родовищ. Вивчення фільтрації і вилуговування цих порід має важливе практичне значення при оцінці гірничотехнічних умов експлуатації калійних родовищ та ліквідації гірничо-хімічних підприємств.

За гранулометричним складом породи гіпсово-глинистої шапки представлені пилуватими суглинками (від легких до важких) і глинами, що нерідко містять значну кількість великих уламків матеріалу. Вони відрізняються брекчійованим складом, часто пронизані тріщинами, заповненими солями і піщано-пилуватим матеріалом.

Для порід гіпсово-глинистої шапки характерне значне, причому змішане засолення: вміст легкорозчинних солей коливається від 0,2 до 13%; гіпсу - від 2 до 70%; карбонатів від 0,5 до 20%. Засоленість збільшується з глибиною [1, 126].

Для фільтраційних досліджень були відібрані зразки з непорушеною структурою та природною вологістю, з сумарним засоленням від 6 до 33%. Вилуговування зразків проводилося в трубках Каменського при сталому тиску, встановленому для кожного зразка окремо, залежно від його водопроникності. Зразки порід шапки цілісного складу діаметром 7 см і заввишки 3 см закріплювалися в трубках за допомогою розпавленого парафіну, що повністю виключало пристінкову фільтрацію. Вилуговування зразків вироблялося з можливістю набухання, без навантаження, тобто в

умовах, найбільш сприятливих для розвитку фільтрації. Зміна водопроникності ґрунтів вивчалася при фільтрації через зразки дистильованої води. У процесі вилуговування велися щоденні спостереження за зміною коефіцієнта фільтрації в часі й через певні проміжки часу, залежно від швидкості фільтрації, відбиралися проби фільтрату для хімічного аналізу [2, 127].

В результаті проведених досліджень було встановлено, що процес фільтрації ґрунтів гіпсово-глинистої шапки характеризується яскраво вираженою динамічністю, що полягає в зміні коефіцієнта фільтрації у часі. Динамічність процесу фільтрації для засолених ґрунтів пов'язана, зі зміною структури ґрунту під час сольової суфозії. Протягом досліджень було встановлено чотири найхарактерніші типи динамічності процесу фільтрації:

- I - прогресуючий,
- II - змінний на етапах,
- III - циклічний,
- IV - затухаюча фільтрація.

Перший тип характеризується неперервним підвищенням водопроникності у процесі фільтрації та стабілізації коефіцієнта фільтрації після вимивання всіх солей до розмірів, що перевищують початковий коефіцієнт фільтрації у багато разів. На цьому етапі відбувається змочування зразка й незначне збільшення коефіцієнта фільтрації (тривалість першого етапу 1-15 діб).

Другий тип характеризується поетапною зміною коефіцієнта фільтрації, причому він збільшується різко (в 100-1000 разів) - для одних зразків і не так різко (в 2 - 10 раз) - для інших. Тривалість цього етапу 3 -5 діб.

На третьому етапі йде більш або менш поступове зменшення коефіцієнта фільтрації. Третій тип процесу фільтрації відзначається

нестійкою фільтрацією, що виражається в чергуванні ряду циклів більш або менш різкого збільшення і падіння коефіцієнта фільтрації.

Четвертий тип характеризується поступовим зменшенням коефіцієнта фільтрації в порівнянні з початковим, і відбувається його стабілізація, яка настає, зазвичай, через 30-100 діб.

Для досліджуваних ґрунтів найхарактернішими є II і III типи процесу фільтрації. Залежно від ступеня динамічності коефіцієнта фільтрації в межах окремих типів виділяються підтипи. Ступінь динамічності коефіцієнта фільтрації в значній мірі залежить від режиму фільтрації. При відносно невеликих градієнтах тиску ($=1-3$) зміна його розтягнута в часі, при великих ($= 5-25$) вона відбувається різкіше та швидше.

На ступінь динамічності коефіцієнта фільтрації великий вплив мають структурні характеристики ґрунту, зокрема об'ємна вага та пористість. Чим менша об'ємна вага і більша пористість, тим різкіше змінюється коефіцієнт фільтрації. При близьких значеннях пористості, що мало місце в досліджуваних зразках, ступінь динамічності коефіцієнта фільтрації більше залежить від характеру і інтенсивності сольової суфозії [2, 128-131].

Характер сольової суфозії завдяки змішаному засоленню порід змінюється в процесі фільтрації наступним чином. Спочатку спостерігається інтенсивне винесення легкорозчинних солей. За перші 5-10 діб виноситься 50-90% їхнього первинного вмісту, потім кількість солей, що виносяться, різко скорочується, і вилуговується в основному гіпс і бікарбонати. Кількість гіпсу і бікарбонатів, що виносяться з ґрунту, знаходиться в прямій залежності від швидкості фільтрації, причому кількість бікарбонатів, що вилуговуються дуже мала.

Щільний залишок у фільтраті на початку процесу фільтрації є максимальним, потім різко знижується і стає сталим, близьким до граничної межі розчинення гіпсу і бікарбонатів. Інтенсивність сольової

суфозії має значний вплив на ступінь динамічності коефіцієнта фільтрації.

Максимальні коефіцієнти фільтрації спостерігаються зазвичай при винесенні від 40 до 90% легкорозчинних солей і 1-3% гіпсу. Проте для різних зразків при однаковій інтенсивності сольової суфозії спостерігається різна картина, як динаміки процесу фільтрації, так і ступеня динамічності коефіцієнта фільтрації.

Отже, тип динаміки процесу фільтрації, і ступінь його динамічності не можна пояснити тільки інтенсивністю сольової суфозії.

У процесі дослідження структурно-текстурних особливостей зразків, що вилуговуються, виявилось, що відмінність в характері та ступені динамічності коефіцієнта фільтрації для цих зразків відповідає відмінності їх структурно-текстурних особливостей [18].

Структурні дослідження порід гіпсово-глинистої шапки проводилися за методикою А. К. Ларіонова на зразках з непорушеною структурою.




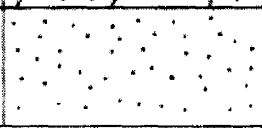
В результаті цих досліджень було встановлено, що для ґрунтів шапки найхарактернішими є п'ять структурно-текстурних типів:

- **А** - переважно цілісна структура з солями, рівномірно розподіленими в глинистій масі;
- **Б** - цілісна структура з тріщинами, заповненими солями (в основному гіпсом);
- **В** - цілісна структура з тріщинами, заповненими зернисто-агрегативною та агрегативною масою;
- **Г** - цілісна структура із зонами зернисто-агрегативної та агрегативної маси;
- **Д** - переважно агрегативна і зернисто-агрегативна структура.

В межах окремих структурно-текстурних типів можна виділити ґрунти із вмістом легкорозчинних солей більше 3 і менше 3% і гіпсу - більше 7 і менше 7% (рис. 3.1).

Дані структурно-текстурні типи ґрунтів з урахуванням їх засоленості

добре узгоджуються з виділеними раніше типами динаміки процесу фільтрації.

Типи порід	Схематичний розріз	Підтипи по степені засоленості	
		<10%	>10%
А		А'	А''
Б		Б'	Б''
В		В'	В''
Г		Г'	Г''
Д		Д'	Д''




Рис. 3.1. Структурно-текстурні типи і підтипи порід гіпсово-глинистої шапки.

Основні структурно-текстурні типи порід і характерні для них типи динамічності коефіцієнта фільтрації в процесі вилугування показані на рис. 3.2.

Прогресуюча фільтрація є характерною для структурно-текстурного типу Д. В результаті вилугування солей і пов'язаного з цим зростання пористості в ґрунтах з агрегативною і зернисто-агрегативною структурою відбувається неперервне збільшення коефіцієнта фільтрації, причому для сильно засолених ґрунтів дуже різке, більш ніж в 100 разів, а для мало засолених - слабше.

Помітного зменшення коефіцієнта фільтрації в процесі засолення не

спостерігається, оскільки піщано-пилуватий матеріал майже не набухас.

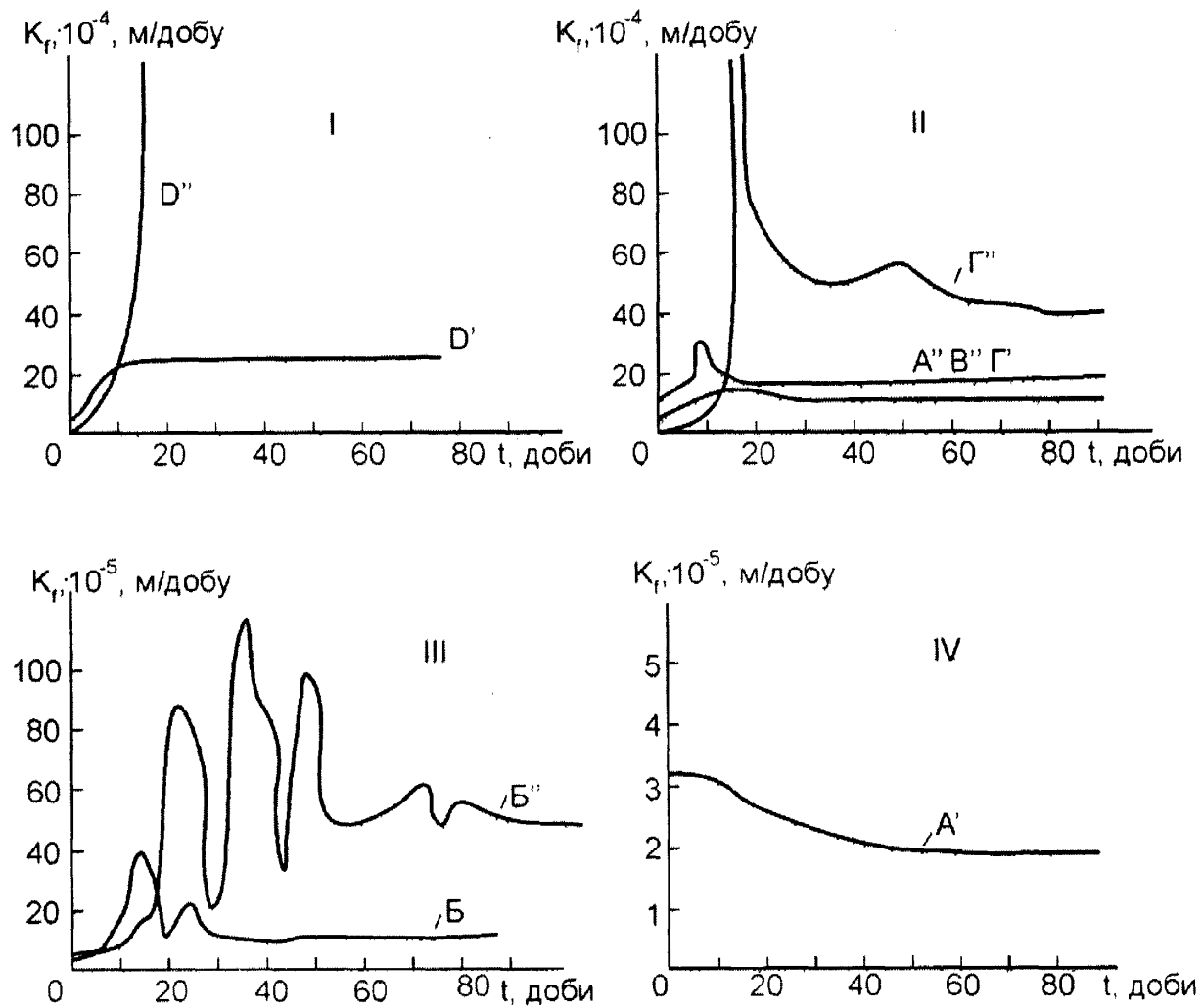


Рис. 3.2. Залежність типу і ступеня динамічності фільтраційного процесу від структурно-текстурних особливостей і засоленості порід:

I - прогресуюча, II - змінна на етапах, III - циклічна, IV – затухаюча;
 A', A'', Б', Б'', В', В'', Г', Г'', Д', Д'' - структурно-текстурні типи порід з урахуванням їх засоленості.

Стабілізація коефіцієнта фільтрації після винесення всіх солей наступає на рівні, який більш ніж в 100 разів перевищує початковий.

Фільтрація, яка змінюється поетапно, спостерігається для структурно-текстурних типів В і Г, а також А, але для сильно засолених ґрунтів. Причому для типу Г характерний вищий ступінь динамічності коефіцієнта фільтрації, ніж для В, і він збільшується зі збільшенням ступеня засолення ґрунту. (Коефіцієнт фільтрації в деяких випадках

збільшується в 100-1000 разів).

Для типу **В** спостерігається порівняно невелике збільшення коефіцієнта фільтрації при вилугованні, приблизно в 2-5 разів.

Більш-менш різке збільшення коефіцієнта фільтрації на перших стадіях вилуговання для цих порід пояснюється тим, що при фільтрації через ґрунти цілісної структури із зонами і тріщинами, заповненими зернисто-агрегативною масою, винесення солей призводить до збільшення водопроникності зон і тріщин, а це може різко збільшити коефіцієнт фільтрації всієї породи. Чим більша площа зон, зайнятих зернисто-агрегативною масою та вища їх засоленість, тим сильніше зростає коефіцієнт фільтрації при винесенні солей з цих зон.

Подальше зниження величини коефіцієнта фільтрації можна пояснити зменшенням концентрації порового розчину при засоленості, яке призводить до гідратації і дезагрегації глинистих частинок, що сприяє зростанню сил набухання та зменшенню активної пористості. Циклічна фільтрація спостерігається для ґрунтів структурно-текстурного типу **Б**.

Циклічну зміну коефіцієнта фільтрації з більш або менш різкими підйомами і падіннями можна пояснити нерівномірним винесенням солей з тріщин, які пронизують глинисту масу.

В результаті цього утворюються зосереджені шляхи фільтрації, що призводять до значного підвищення коефіцієнта фільтрації всієї породи. Зокрема, набухання та перерозподіл глинистих частинок в промитій зоні кальматус тріщину й призводить до тимчасового зниження величини коефіцієнта фільтрації.

Таких циклів може бути декілька, залежно від числа і розташування тріщин, причому піки стрибків і падінь коефіцієнта фільтрації можуть бути різної величини, але при значному засоленні спостерігається його зменшення і стабілізація [2].

Затухаюча фільтрація є характерною для ґрунтів структурно-

текстурного типу А при незначному зміні водорозчинних солей.

Поступове зменшення коефіцієнта фільтрації в процесі вилуговування для цих ґрунтів пов'язане з тим, що винесення солей із слабо засоленого глинистого ґрунту відразу ж супроводжується активізацією сил набухання, які раніше стримувалися підвищеною концентрацією порового розчину. Це призводить до зменшення активної пористості й відповідного зниження коефіцієнта фільтрації [127].

3.2 Вплив рівня засолення на механічні властивості ґрунтів

Специфічні властивості засолених глинистих ґрунтів, що містять велику кількість легко-і середньорозчинних солей, основні закономірності зміни цих властивостей при замочуванні та підтоплення територій дуже важливі для обґрунтованого проектування основ і фундаментів промислових і цивільних споруд на засолених ґрунтах з урахуванням можливого обводнення їх атмосферними опадами, при замочуванні або підтоплення внаслідок аварії чи витоків з мереж водопроводу, каналізації, технологічних трубопроводів [3].

В умовах сучасного розвитку суспільства значне місце займає проблема освоєння та забудови значних земельних територій. Велика конкуренція, висока щільність забудови та недостатній обсяг земельного фонду призвели до залучення під будівництво структурно-нестійких ґрунтів Калуського промислового району Івано-Франківської області.

Для встановлення кількісних залежностей були проведені дослідження з розробки методики та вивчення фізичних, міцнісних, деформаційних, фільтраційних і реологічних властивостей засолених суглинків і глин в лабораторних умовах на зразках, відібраних в районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття [4, 7, 11].

Зразки ґрунтів відбирали з шурфів через кожні 0,5 м по глибині до рівня підземних вод. Для визначення хімічного складу та мінералізації підземної води були взяті проби нижче рівня підземних вод. Досліди проводилися з багаторазовою повторюваністю. Відтворюваність експерименту перевіряли за допомогою критерію Кохрена [132-137].

Вміст у ґрунті водорозчинних солей встановлювали шляхом визначення сухого залишку водної витяжки. Як показали результати досліджень (табл.3.1), ґрунти експериментальних ділянок характеризуються великим вмістом легкорозчинних солей, що дозволяє їх класифікувати як надлишково засолені. Сухий залишок солей становив 7,8%.

Таблиця 3.1

Хімічний склад засолених ґрунтів

Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^{+}+K^{+}$	SO_4^{2-}	Cl	HCO_3^{-}
100	44,4	374,0	428	3,94	123
60	45,2	284,0	381	1,97	99
12	37,9	350,0	396	1,97	123
421	81	160,0	560	3,6	113
328	72	151,0	641	4,2	154
271	67	140,0	481	3,1	124

Фізичні властивості засолених ґрунтів досліджувалися в лабораторних умовах з урахуванням впливу солей. Щільність водонасичених засолених ґрунтів визначали методом ріжучих кілець, а засолених ґрунтів твердої консистенції - методом парафінування, вологість засолених ґрунтів - ваговим способом, висушування їх у сушильній шафі при температурі 60-65 °С до сталої маси [6].

Щільність частинок ґрунтів, що містять легко- і середньорозчинні солі, визначали з урахуванням можливості розчинення солей при вакуумуванні в нейтральній рідині (зневоднений гас, толуол).

Зміна гранулометричного складу засолених ґрунтів в процесі вилуговування солей встановлювали без відмивання і з відмивання солей [3, 5].

Експериментальні дослідження показали, що зі збільшенням вмісту легкорозчинних солей щільність часток засоленого глинистого ґрунту зменшується (табл. 3.2):

Таблиця 3.2

Взаємозв'язок вмісту солей та щільності частинок ґрунту

Вміст солей, %	1-3	3-5	5-8
Щільність частинок ґрунту, г/см ³	2,69-2,67	2,67-2,65	2,65-2,6

Щільність засоленого глинистого ґрунту залежно від складу легкорозчинних солей змінювалася в межах 1,80- 1,86 г / см³ і не залежала від їх кількості. Таким чином, щільність не є показником специфічних властивостей засолених ґрунтів.

При наявності значної кількості легкорозчинних солей щільність частинок ґрунту становить 1,40-1,50 г/см³ і може служити непрямою характеристикою можливості розвитку суфозійних процесів (табл. 3.3).

Вологість засолених глинистих ґрунтів, як показали дослідження, не є характеристичною властивістю для прогнозування суфозійних просідань.

Межа пластичності ґрунтів є важливою характеристикою, за якою встановлюється тип ґрунту.

Однак існуюча методика визначення меж пластичності неприйнятна для засолених глинистих ґрунтів, оскільки із збільшенням вмісту сульфатних солей зростає вологість на межі текучості, а при вмісті в ґрунтах хлоридних солей вологість на межі розкочування виявляється меншою і

значно знижується вологість на межі текучості (порівняно зі розсоленим глинистим зразком) (рис. 3.3).

Таблиця 3.3

Фізичні характеристики засолених ґрунтів

Ґрунт	№ проби	Фізичні характеристики засолених ґрунтів						
		ρ	γ	w	w_s	ρ_d	s_r	e
Суглинок	1	1,80	2,76	0,28	0,02	1,40	0,98	0,80
	2	1,82	2,77	0,28	0,02	1,41	0,97	0,84
	3	1,86	2,77	0,29	0,02	1,44	0,93	0,87
Глина	4	1,90	2,80	0,29	0,02	1,47	0,91	0,91
	5	1,93	2,81	0,29	0,02	1,48	0,89	0,94
	6	1,97	2,81	0,30	0,02	1,50	0,87	0,97

Неприйнятним є також визначення гранулометричного складу засолених глинистих ґрунтів за загальноприйнятими методиками. Були проведені спеціальні дослідження ґрунтів сульфатного і хлоридно-сульфатного типів засолення різного ступеня.

Гранулометричний склад визначали за загальноприйнятою методикою [112-113] до і після вилуговування.

Як показали результати досліджень, кількість глинистих часток (0,005 мм) після вимивання солей збільшилася на 20-28%. Це пояснюється тим, що при наявності солей в поровому розчині окремі глинисті частинки злипаються в групи (конгломерати), а при зменшенні концентрації порового розчину ці групи розпадаються.

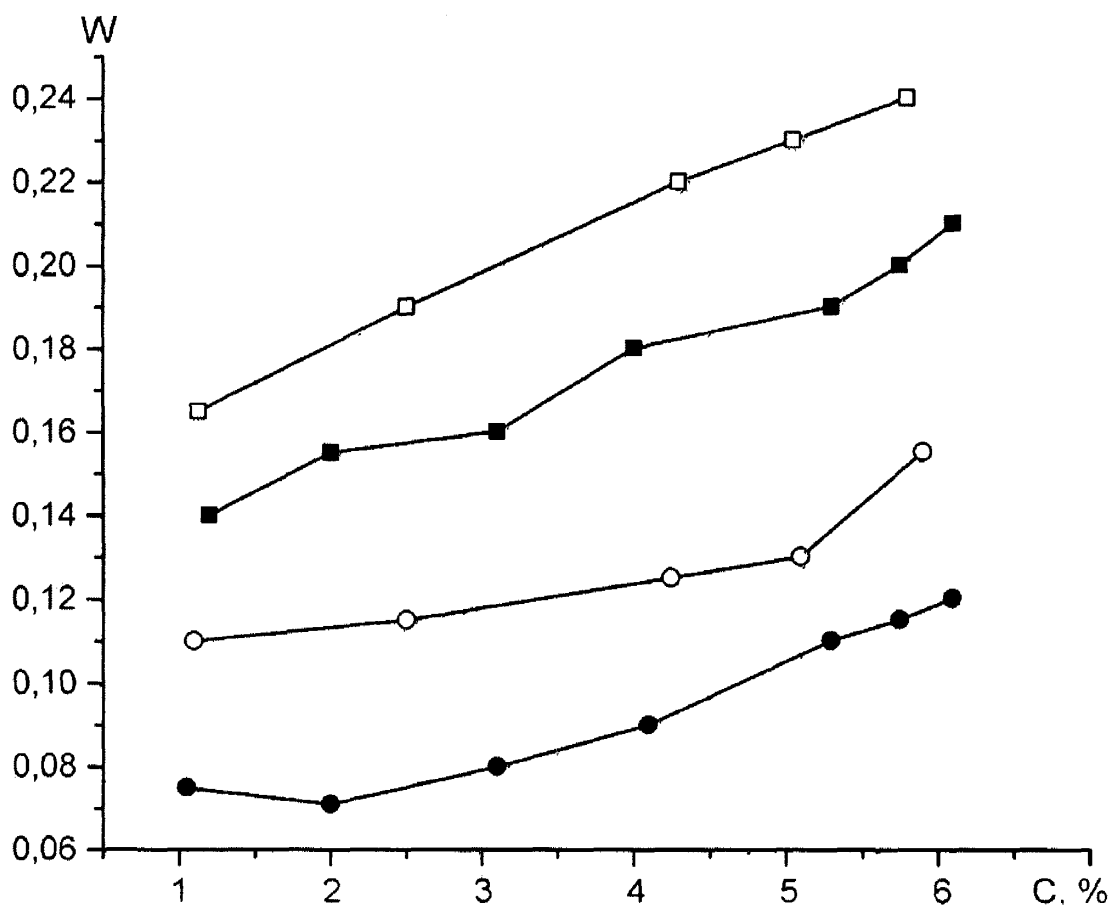


Рис. 3.3. Зміна меж пластичності глинистих ґрунтів при:

(●,○)-сульфатному засоленні;

(■, □) хлоридно-сульфатному засоленні;

●, ■ - нижня межа пластичності;

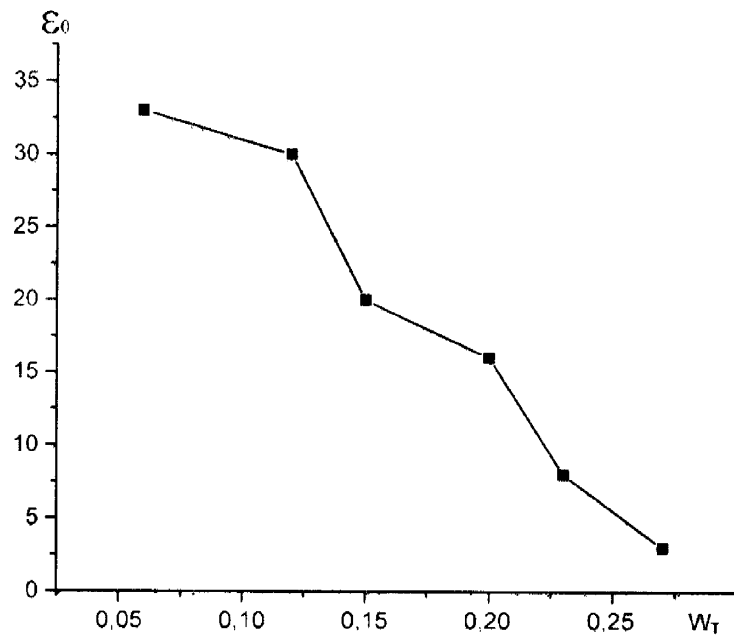
○, □ - верхня межа пластичності.

Таким чином, визначення гранулометричного складу за загальноприйнятою методикою може призвести до помилок.

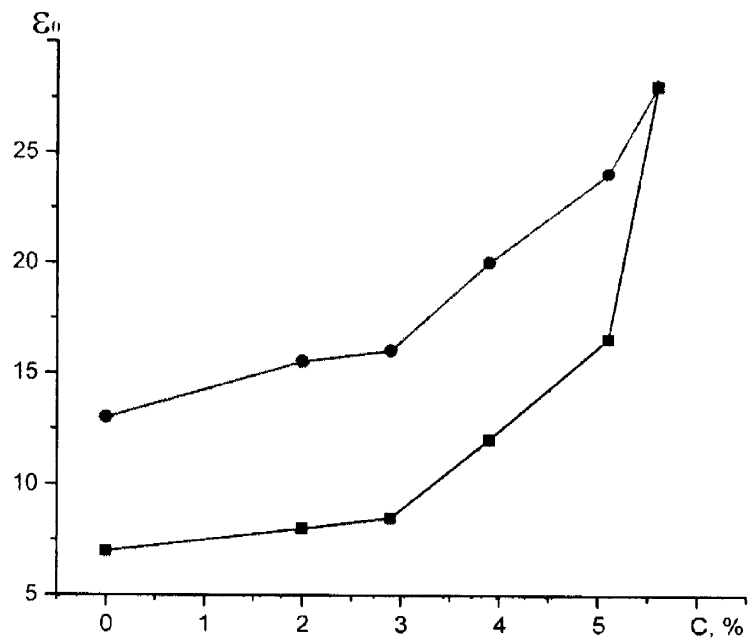
Необхідно було встановити модуль загальної деформації для засолених малозвожених і водонасичених ґрунтів, та характер його зміни в залежності від вологості і кількості легкорозчинних солей.

При збільшенні вологості стисливість ґрунтів збільшується (рис. 3.4).

Результати досліджень показали, що за природної вологості засолені ґрунти мають дуже високий модуль загальної деформації, що свідчить про неможливість розвитку просадних явищ.



а)



б)

Рис. 3.4. Зміна модуля загальної деформації E_0 засолених ґрунтів при підвищенні вологості (а) та вилугуванні солей (б)

Так, для деяких зразків ґрунту при зміні вологості на межі розкочування до вологості на межі текучості модуль загальної деформації зменшився з 34,0 до 4,0 МПа.

При подальшому збільшенні вологості до подвоєного значення вологості на межі розкочування модуль деформації зменшився до 2,4 МПа.

Спеціальний цикл досліджень стисливості засолених ґрунтів був проведений на однакових зразках глинистого ґрунту: один зразок поміщали в компресійний прилад (досліди проводилися під водою), а інший - в компресійно-фільтраційний прилад.

Через зразок у компресійно-фільтраційному приладі протягом однієї доби пропускали дегазовану дистильовану воду за $t = 60^{\circ}\text{C}$ і градієнті напору $l = 8-10$.

Фільтрація відбувалася через зразок висхідним потоком знизу-вгору. Інфільтрат збирався в мензурку для визначення хімічного складу в процесі досліду. Потім однакові зразки в різних приладах навантажували за однією і тією ж схемою тиском 0,01; 0,02; 0,03; 0,05; 0,075; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30 МПа [133].

Як показали результати досліджень (рис. 3.3), після видалення легкорозчинних солей стисливість ґрунтів значно збільшилася, а модуль деформації знизився на 10-75% порівняно з результатами досліджень в компресійних приладах для одних і тих же діапазонів тисків.

На підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що стисливість глинистих ґрунтів, що містять велику кількість легкорозчинних солей, істотно залежить від умов видалення солей.

Якщо в процесі будівництва засолені глинисті ґрунти основи будуть схильні до значного обводнення, в результаті чого відбудеться їх розсолення, то при розрахунках просідання слід використовувати модуль загальної деформації, отриманий після попереднього розсолення ґрунту.

Якщо засолені глинисті ґрунти володіють малою проникністю, а за технологічною схемою зведення споруди обводнення не передбачено, то модуль загальної деформації слід визначати на компресійних приладах після водонасичення ґрунтів [134-136].

Зазвичай в розрахунках фундаментів використовують характеристики, отримані при лабораторних дослідженнях ґрунтів за

методикою повільного консолидованого зсуву.

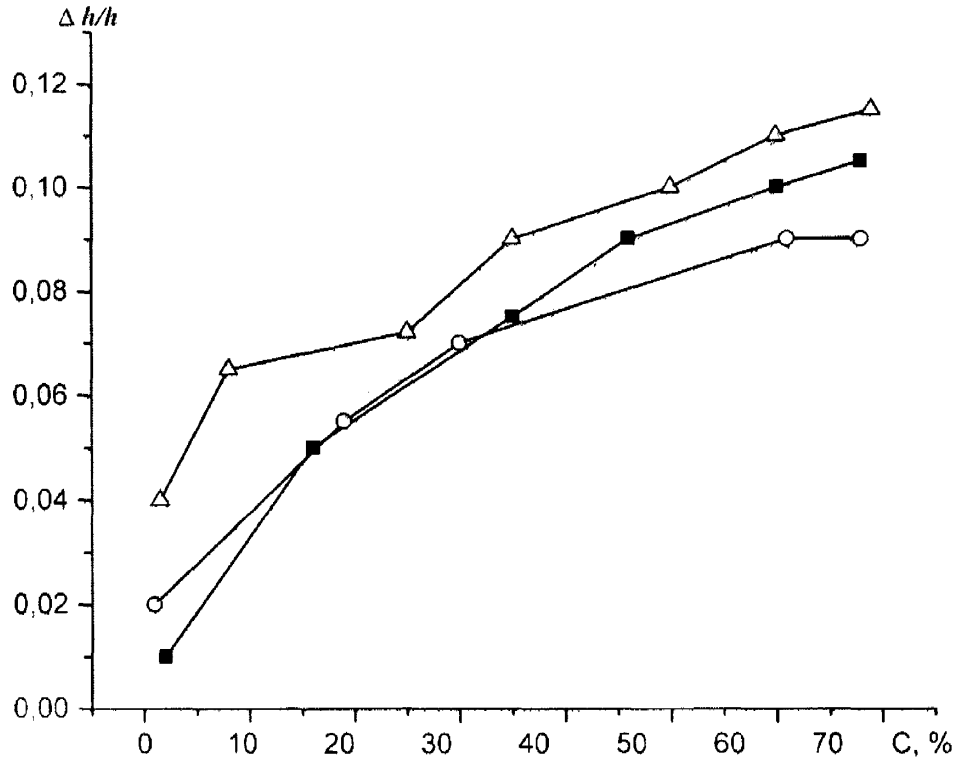


Рис. 3.5. Стисливість зразків глинистих ґрунтів, що містять легкорозчинні солі, при $p = 0,1 \text{ МПа}$; ◀ - суглинок; ●, ■ - суглинок загіпсований.

Однак такі розрахунки є неточними, а іноді служать причиною втрати стійкості фундаментів на засолених ґрунтах як у процесі будівництва, так і при експлуатації будівель і споруд.

Для визначення характеристик міцності були проведені спеціальні лабораторні дослідження зразків засолених ґрунтів з основи експериментального майданчика на приладах одноплощинного зсуву за методикою повільного консолидованого та швидкого зсуву при природній пористості та після попереднього ущільнення під тиском 0,10; 0,20; 0,30 МПа.

Були досліджені зразки ґрунту малої вологості і після штучного водонасичення. Всього було досліджено 76 зразків за різними методиками (рис.3.6).

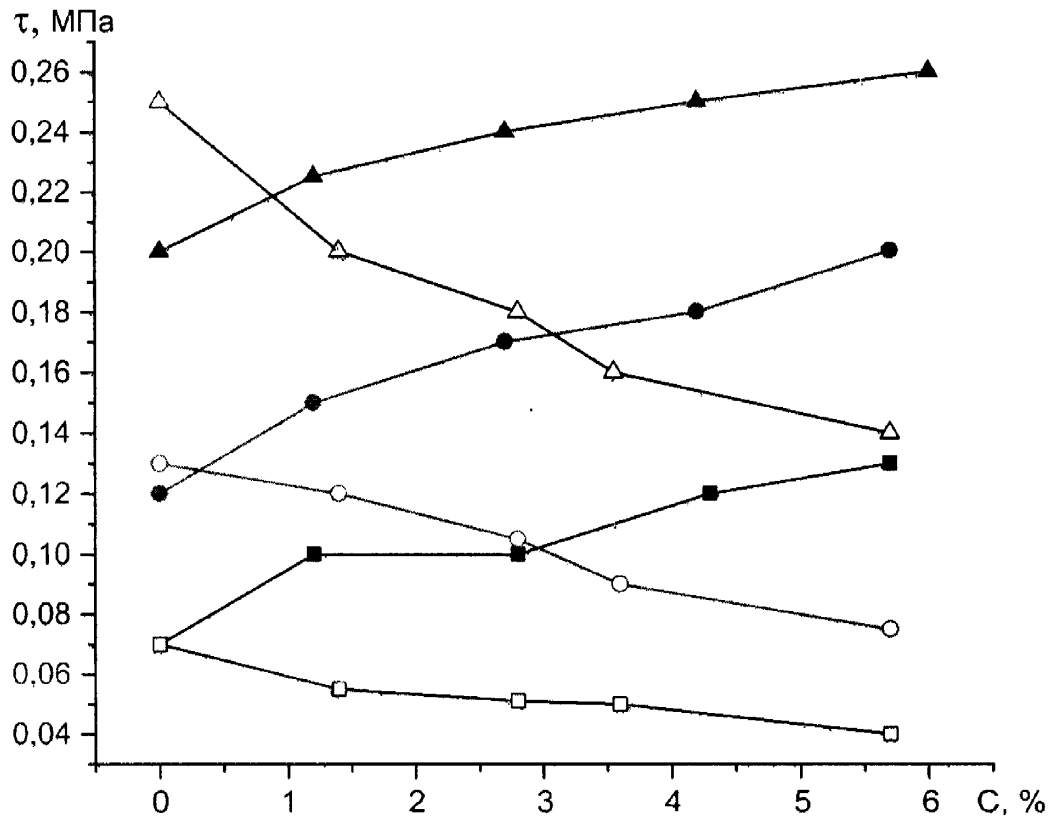


Рис. 3.6. Залежності міцності засолених глинистих ґрунтів 0,1 МПа (■); 0,2 МПа (●); 0,3 МПа (▲); природна вологість - заліті символи; водонасичення - не заліті символи.

В результаті досліджень було встановлено, що засолені глинисті ґрунти як маловологі, так і водонасичені при зміні вертикального тиску від 0,025 до 0,5 МПа мають сталі кут внутрішнього тертя ϕ і зчеплення C .

Істотної різниці не виявлено і при порівнянні результатів досліджень засолених глинистих ґрунтів (як малозвожених, так і водонасичених) з макропористими лесовими малозвоженими суглинками.

Щоб виявити вплив легкорозчинних солей на характеристики міцності ґрунту, з великого моноліту засоленого глинистого ґрунту вирізали шість - десять однакових зразків для кілець зсувового приладу площею $F = 40 \text{ см}^2$. Половину зразків помістили в компресійно-фільтраційний прилад, через який при певному навантаженні 0,025; 0,05; 0,075; 0,1 МПа пропускали водопровідну або дистильовану воду до вимивання легкорозчинних солей. Кількість винесених солей визначали

аналізом витяжки інфільтрату. Після цього розсолені глинисті зразки випробовували на тих же приладах і за тією ж методикою, як і ґрунти природного засолення.

У всіх серіях дослідів характеристики міцності розсолених ґрунтів виявилися значно нижчими (на 10%) у порівнянні з результатами досліджень однакових зразків природного засолення. Особливо зменшується зчеплення ґрунту. Так, при дослідженні за методикою швидкого зсуву зчеплення було 0,048 МПа, а після попереднього розсолення 0,010 МПа. За методикою повільного консолідованого зсуву для засолених ґрунтів зчеплення було 0,036 МПа, а після розсолення 0,010 МПа.

3.3 Вплив засолення ґрунтів на опір при тривалому статичному навантаженні.

Екологічна безпека регіонів є однією з найважливіших проблем на сучасному етапі розвитку суспільства. Погіршення екологічного стану оточуючого середовища та погіршення здоров'я населення, що проживає на даних територіях визначає необхідність вивчення екологічних небезпек та ризиків. В умовах сучасного розвитку суспільства значне місце займає проблема освоєння та забудови значних земельних територій.

Велика конкуренція, висока щільність забудови та недостатній обсяг земельного фонду призвели до залучення під будівництво структурно-нестійких ґрунтів.

У Калуському промисловому районі Івано-Франківської області великі площі займають засолені ґрунти, які належать до району ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття.

Проблема убезпечення від руйнування споруд цивільного та промислового будівництва є однією з найважливіших на даний час. При

проектуванні споруд, які знаходяться у зоні шкідливого впливу гірських виробок необхідно враховувати діючі Державні будівельні норми України та міжнародні стандарти, котрі застосовуються при будівництві споруд [138].

При виборі майданчиків будівництва необхідно враховувати, що на ньому:

- немає покладів калійних солей;
- залягають непромислові запаси;
- поклади вироблені, процес деформації земної поверхні завершився і після стабілізації деформації виключається можливість появи воронки і провалів;
- виробка шахт очікується після завершення амортизаційного періоду споруди [138].

Вивчення закордонного досвіду дозволяє здійснювати прогноз стійкості фундаментів будівель, споруджених на засолених територіях.

Просідання глинистих ґрунтів характеризується рядом показників: межа просідання, щільність скелету ґрунту на межі просідання, величина відносного лінійного та об'ємного просідання.

Просідання ґрунту часто визначають розрахунковим шляхом, використовуючи для цього або метод М.Я. Денисова, згідно з яким об'ємне просідання ґрунту V обчислюється за формулою:

$$V = \left(1 - \frac{\rho_d^b}{\rho_d^c} \right) \cdot 100, \quad (3.1)$$

де:

ρ_d^b - вологість скелета вологого ґрунту;

ρ_d^c - вологість скелета сухого ґрунту.

або метод Е.М. Сергєєва, згідно з яким об'ємне просідання повністю водонасиченого ґрунту описується рівнянням

$$V = V_c \cdot (1 + \beta_V \cdot W), \quad (3.2)$$

де:

V - об'єм ґрунту при вологості W ;

V_c - об'єм сухого ґрунту;

β_V - коефіцієнт об'ємного просідання, який дорівнює відносному приросту об'єму при зміні вологості на одиницю:

$$\beta_V = \frac{V_1 - V_2}{V_2 W_1 - V_1 W_2}, \quad (3.3)$$

де V_1 і V_2 - значення об'єму ґрунту при вологості відповідно W_1 і W_2 [4,10].

Межу просідання ґрунту можна обчислити зі співвідношення:

$$W_s = \frac{e_s \rho}{\rho_s}, \quad (3.4)$$

де:

e_s - коефіцієнт пористості ґрунту на межі просідання;

ρ - густина вологого ґрунту;

ρ_s - густина твердої частини ґрунту.

На даний час при вивченні механіки ґрунтів відсутня строга математична постановка задачі про напружено-деформований стан масиву водонасиченого засоленого ґрунту та зміни цього стану з урахуванням процесів масообміну та масопереносу між компонентами ґрунту. Це значно сповільнює подальший розвиток методів розрахунку основ, котрі складаються з засолених ґрунтів.

Наявність в ґрунтах різних за кількісним складом солей впливає на деформаційні показники ґрунтів. При зволоженні засолених ґрунтів відбувається розчинення і винос солей, які в них містяться і згідно з цим збільшується пористість ґрунту. Збільшення ж пористості засолених ґрунтів при зволоженні в свою чергу призводить до суфозійного просідання [138,139].

Для просідання однорідного шару ґрунту у напрямку осі X маємо формулу (3.5):

$$S(t) = \int_{h_1}^{h_2} \alpha_0 (\sigma - \bar{\sigma}_0)^{\nu_0} \frac{\xi_0 - \xi(t)}{\xi_0} dx \quad (3.5)$$

де :

h_1, h_2 - відповідно верхня і нижня межі області суфозійної осадки;

$\sigma = \gamma_0 x$ - зміна ущільнюючого навантаження по глибині в умовах природного напруженого стану, МПа;

γ_0 - питома вага ґрунту в водонасиченому стані, Н/см³;

α_0, ν_0 - параметри нелінійної деформації, які є сталими для однорідної товщі ґрунту;

$\xi(t)$ - функція розподілу питомого обсягу солей, в частках одиниць;

$\bar{\sigma}_0$ - мінімальний тиск, при якому виникає суфозійне осідання ґрунту, МПа [139].

У загальному випадку закон зміни питомого обсягу розчинних солей в ґрунті з глибиною і з часом описується системою рівнянь (3.6):

$$\begin{cases} Dm_0 \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} - \delta \frac{\partial \xi}{\partial t} = m_0 \frac{\partial C}{\partial t}; \\ \frac{\partial \xi}{\partial t} = -\frac{\gamma}{\delta} (C_m - C) \xi^k \end{cases} \quad (3.6)$$

де:

D - коефіцієнт конвективної дифузії, $\text{см}^2/\text{с}$;

C - концентрація солей у рідині, $\text{г}/\text{см}^3$;

ξ - питомий об'єм солей в ґрунті, в частках одиниць.

C_m - концентрація насичення води солями даного складу, $\text{г}/\text{см}^3$;

γ - узагальнений коефіцієнт солевіддачі, с^{-1} ;

m_0 - пористість ґрунту;

v - швидкість фільтрації ґрунтової води, $\text{см}/\text{с}$;

δ - щільність солей, $\text{г}/\text{см}^3$;

k - коефіцієнт засолення.

У системі (3.6) k приймає значення $0; 0,5; 1$. При $k = 0$ отримуємо випадок плівкового засолення ґрунту; при $k = 0,5$ або $k = 1$ - випадок об'ємного (дисперсного) засолення ґрунту [4].

Розглянемо математичну модель задачі з розрахунку концентрації солей в рідині, яка фільтрується та розрахунку зміни питомого обсягу

солей, що містяться в засоленому ґрунті і суфозійне просідання, яка при цьому виникає.

Для розв'язання цієї задачі використовується система (3.6) з наступними початковими та граничними умовами (3.7):

$$\begin{cases} C(x,0) = C_H \\ \xi(x,0) = \xi_0 \\ \frac{\partial C(0,t)}{\partial x} = \frac{v}{m_0 D} (C(0,t) - C_0) \\ \frac{\partial C(l,t)}{\partial x} = 0 \end{cases} \quad (3.7)$$

де:

C_H - рівномірний розподіл концентрації солей у рідині в початковий момент часу по товщі ґрунту, г/см³;

C_0 - концентрація солей у вхідному перерізі ґрунту, г/см³;

ξ_0 - рівномірний розподіл питомого об'єму солей в ґрунті в початковий момент часу, в частках одиниць;

l - товщина ґрунту, см [140].

Розв'яжемо систему (3.6) з початковими та граничними умовами (3.7) кінцево-різницеvim методом.

Розглянемо систему (3.6) при $k = 0$ і $v = const$.

Це випадок плівкового засолення ґрунту. Дане завдання зводиться до розв'язання системи диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{Pe} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \frac{\partial C}{\partial x} + N(C_m - C) \\ \frac{\partial \xi}{\partial t} = -\frac{1}{\delta} N(C_m - C) \end{cases} \quad (3.8)$$

з початковими і граничними умовами (3.9),

$$\begin{cases} C(\bar{x}, 0) = C_H \\ \xi(\bar{x}, 0) = \xi_0 \end{cases},$$

$$\begin{cases} \frac{\partial C(0, \bar{t})}{\partial \bar{x}} = Pe(C(0, \bar{t}) - C_0) \\ \frac{\partial C(l, \bar{t})}{\partial \bar{x}} = 0 \end{cases} \quad (3.9)$$

де:

$$\bar{x} = \frac{x}{l} - \text{безрозмірна координата};$$

$$\bar{t} = \frac{v \cdot t}{m_0 l} - \text{безрозмірний час};$$

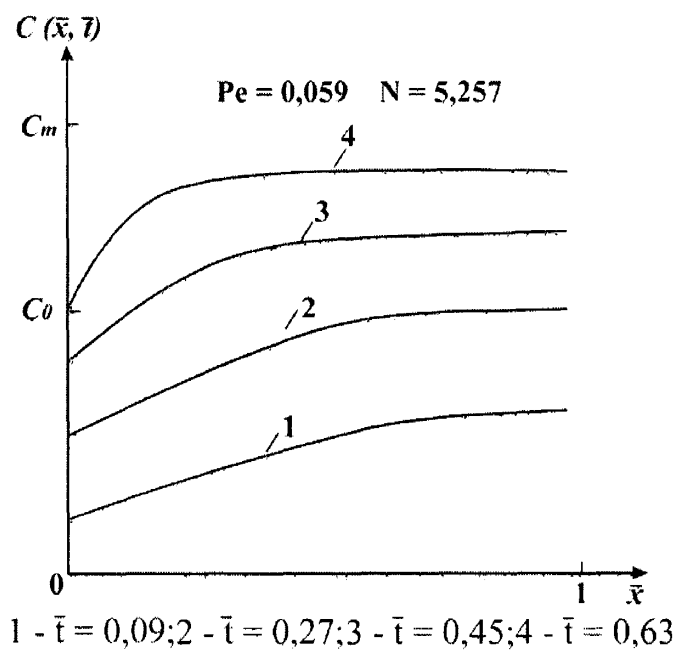
$$Pe = \frac{v \cdot l}{m_0 D} - \text{критерій Пекле};$$

$$N = \frac{m_0 \gamma \cdot l}{v} - \text{критерій розчинення}.$$

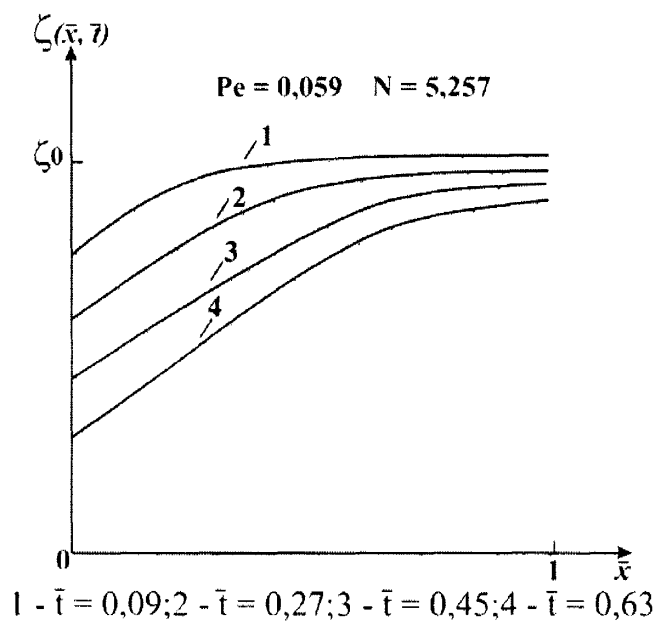
Таким чином, задача (3.8)-(3.9) буде залежати тільки від двох безрозмірних критеріїв Pe і N .

При розрахунках були використані наступні дані: $C_m = 0,026 \text{ г/см}^3$, $C_0 = 0,026 \text{ г/см}^3$, $C_u = 0,08 \text{ г/см}^3$. За результатами розрахунків отримані залежності концентрації солей в рідині (рис. 3.7, а) і питомого вмісту солей по товщині ґрунту з плином часу (рис. 3.7, б).

Використовуючи отримані розподіли функції $\xi(x, t)$, можна визначити суфозійне просідання ґрунту в часі для природного напруженого стану при плівковому і дисперсному засоленні за формулою (3.5).



а)



б)

Рис. 3.7. Залежність концентрації солей в рідині а), та їх питомого об'єму у ґрунті б)

Розрахунки проводилися для двох характерних випадків загіпсованого засоленого ґрунту $A=10\%$ (слабозагіпсованого засоленого) і $A=40\%$ (сильнозагіпсованого засоленого).

Для $A=10\%$ маємо такі дані: $\bar{\sigma}_0 = 0,038 \text{ МПа}$, $C_m = 0,026 \text{ г/см}^3$,

$\gamma_0 = 0,015 \text{ Н/см}^3$, $C_0 = 0,2 \text{ г/см}^3$, $\gamma = 0,001 \text{ с}^{-1}$, $m_0 = 0,6$, $\nu = 55 \text{ см/добу}$,
 $\xi_0 = 0,6$, $D = 0,21 \text{ см}^2/\text{с}$, $h = 10 \text{ см}$, $\delta = 2,65 \text{ г/см}^3$, $\nu_0 = 1$, $\alpha_0 = 0,075 \text{ МПа}^{-1}$.

Для сильнозагіпсованого засоленого ґрунту нелінійний коефіцієнт стисливості $\alpha_0 = 0,38 \text{ МПа}^{-1}$. За результатами розрахунків були побудовані графіки кінетики суфозійного просідання для плівкового та дисперсного засолення для слабо- (рис. 3.8, а) та сильнозагіпсованого засоленого ґрунту (рис. 3.8, б).

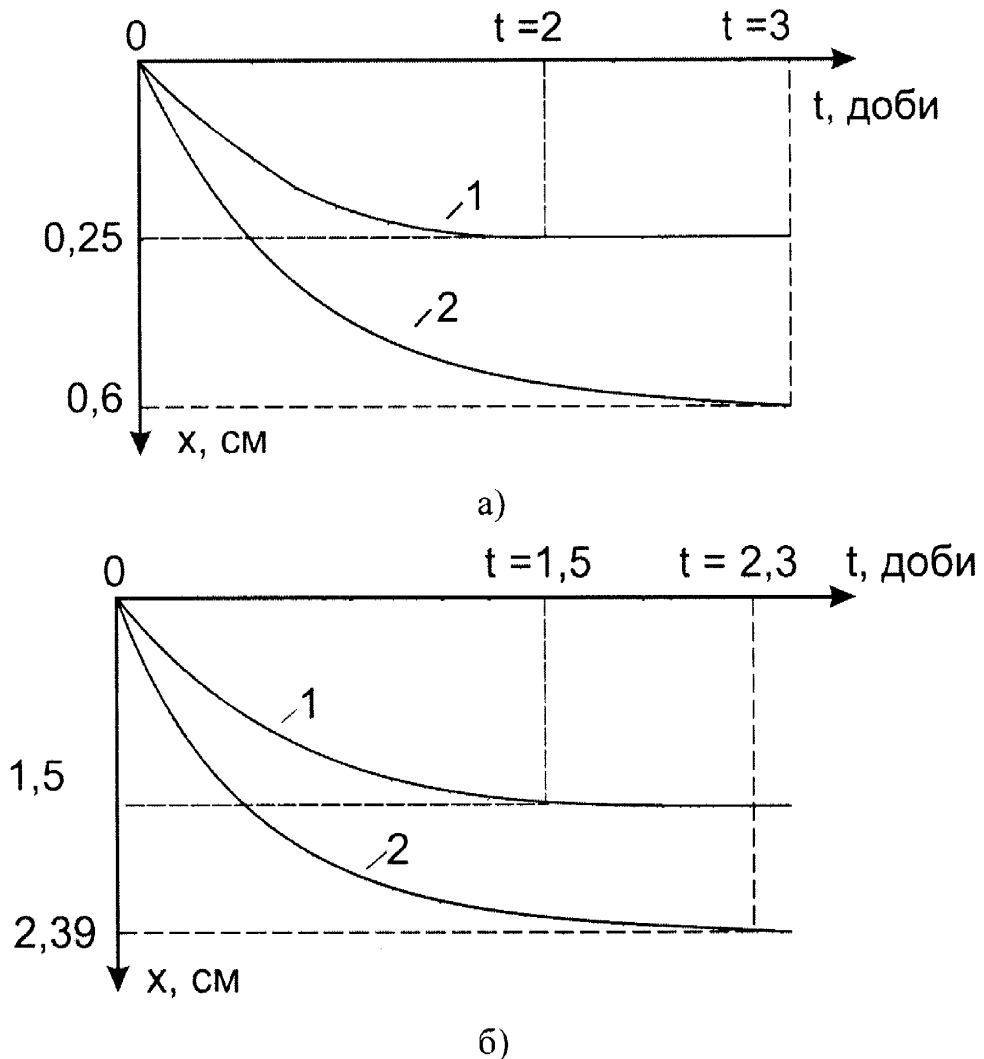


Рис. 3.8. Криві суфозійного просідання : а) – для слабозагіпсованого засоленого ґрунту; б) - для сильнозагіпсованого засоленого ґрунту; 1 - плівкове засолення; 2 - дисперсне засолення.

Як видно з наведених залежностей, слабозагіпсовані ґрунти дають

менші деформації в порівнянні з сильнозагіпсованими. Так само для сильнозагіпсованих ґрунтів характерною є порівняно швидка стабілізація деформації, за якої процес суфозійного просідання припиняється.

Дані дослідження проводилися для засолених загіпсованих ґрунтів гіпсово-глинистої шапки Стебницького родовища, яка є своєрідним протектором глинистих засолених порід від проникнення прісних вод [117,125].

Однак, в загальному, отримані залежності можуть бути використані і для ґрунтів Калуського промислового району після незначної адаптації та експериментальної перевірки в польових умовах, оскільки породи, які залягають на даних родовищах схожі за своєю структурою.

3.4 Моделювання процесів просідання засолених ґрунтів в районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття

В умовах сучасної економічної ситуації житлове будівництво розвивається у надшвидкому темпі. Зменшення кількості придатних для забудови земельних ділянок призводить до будівництва на структурно-нестійких ґрунтах, зокрема засолених [114, 117].

Засолені ґрунти Прикарпаття в знаходяться в районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств. Ареал засолення розповсюджується на територію м. Калуш та навколишніх сіл, зокрема Кадобна, Тужилів, Пійло, Сівка -Калуська. У інших населених пунктах рівень засоленості значно нижчий і його впливом на процеси просідання в ґрунтах можна знехтувати [19, 22].

Вцілому до головних об'єктів катастрофічного погіршення безпеки життєдіяльності в межах Калуського району належать:

- рудник «Калуш»;
- рудник «Голинь»;

- рудник «Ново-Голинь»;
- Домбровський кар'єр;
- відвали Домбровського кар'єру;
- хвостосховища;
- шламонакопичувач.

За час експлуатації родовища загальний об'єм вилучених породних мас склав біля 19 млн.м³, які за раніше існуючими вимогами проектів виробки та вимог правил безпеки у більшості випадків повинні були закладатися інертними матеріалами з метою максимального попередження осідань поверхні та активізації водообміну.

Рудник «Калуш» має найбільш складний гірничо-видобувний комплекс і складається з Північного каїнітового, Північного сильвінітового, Центрального та Хотінського рудних полів, який формувався протягом 1867-1978 рр., тобто понад 100 років зі значною зміною технологій та просторової структури гірничих виробок.

Явища осідання земної поверхні найактивніше проявлялись в межах Центрального та Північного каїнітового шахтних полів у 1975, 1980, 1985-1987, 1993, 1995, 1997, 2001, 2002 роках. Обсяг лійок осідання змінювався від 30 до 3000 м³ [81, 116].

Заповнення виробок недостатньо насиченими розсолами формує загрозу послаблення стрічкових міжкамерних ціликів, подальшого збільшення руйнівних осідань поверхні та витиснення і прискорення міграції солоних вод у зоні активного водообміну водоносних горизонтів з наступним витокком у річкову мережу.

Незатопленим залишилось Хотінське шахтне поле, в межах якого розташоване частина с. Хотінь. Якщо прийняти до уваги підвищене інфільтраційне живлення підземних вод в межах с. Хотінь та неглибоке розташування гірничих виробок (70-100 м), то можна припустити високу ймовірність катастрофічного прориву у гірничий простір вод р. Лімниця,

оскільки річкові долини Карпат мають переважно тектонічне походження, в межах яких породи відрізняються зменшенням міцності, підвищеними значеннями тріщинуватості, проникності та здатності до вилуговування [136-140].

Сучасні осідання земної поверхні в межах рудника змінюються від 0,5 до 5,1 м, прогнозні величини сягають до 7,1 - 9,1 м, які в умовах активізації карстово-суфозійного процесу здатні суттєво погіршити інженерно-геологічні умови Калуського району.

Рудник «Голинь» знаходився в експлуатації з 1930 по 1972 р.р. з формуванням біля 1,7 млн. м³ порожнин. Ліквідація рудника розпочалася з 1996 р. За даними Державного управління екологічної безпеки в Івано-Франківській області осідання земної поверхні знаходиться на стадії затухання (сучасні осідання сягають 15-30 мм/рік) при фактичному максимальному опусканні на 3,5 м та його прогнозному значенні 4,9 м.

Рудник «Ново-Голинь» знаходився в експлуатації з 1966 по 1995 рр. з формуванням за цей період біля 12,0 млн. м³ загального обсягу гірничих виробок. Ліквідація рудника розпочалася з 1996 р., головним технологічним засобом при цьому була подача біля 7,2 млн. м³ розсолів (до 60% загального обсягу гірничих виробок).

Хвостосховища №1 та №2 загальним обсягом до 24,8 млн. м³ та площею до 10 км² мають складну фізико-хімічну структуру накопичень з прогресивним розвитком гідрохімічного забруднення підземних вод, активізацією карстово-суфозійного процесу та розмивом укосів дамб. За попередніми оцінками площа гідрогеохімічного забруднення підземних вод перевищує 1,5 км², а їх мінералізація 10,6-54,3 г/дм³, що в десятки разів вище фонових [141-142].

Аналізуючи просторово-часову динаміку розвитку головних небезпечних екологоформуючих процесів можна дійти висновку, що в межах Калуської промислово-міської агломерації відбуваються незворотні

процеси порушення стійкості геологічного середовища та перетворення кризової еколого-техногенної ситуації у катастрофічну національного, а з часом, транскордонного рівня.

У загальному плані розчинні гірські породи поділяються на карбонатні (крейда, вапняки, доломіти), сульфатні (гіпси, ангідрити), галогенні (калійні та кам'яні солі). Слід відмітити, що у природних умовах розчинність карбонатних, сульфатних та галогенних порід (за існуючими натурними та експериментальними оцінками) змінюється у співвідношенні, відповідно, 1:100:1000 (до 10000 - для калійних солей) [143].

Осідання поверхні над гірничими виробками, що затоплюються, у більшій мірі пов'язані з погіршенням їх геомеханічної стійкості внаслідок поверхневого вилуговування ціликів та дифузійного зволоження порід у зоні контакту з недостатньо насиченими розчинами [50].

Досвід будівництва різних будівель і споруд довів, що всі вони тим чи іншим чином схильні до деформацій, які відбуваються внаслідок переміщення часточок ґрунту [141].

Основні причини деформації можна розділити на дві групи:

- загальні причини, пов'язані з особливостями фізико-механічних властивостей ґрунтів, які є основою фундаменту споруди;
- часткові причини, пов'язані з особливостями проведення будівельних робіт та режиму експлуатації.

Однією з найбільших небезпек є просідання ґрунтів основи під фундаментами об'єктів житлового та цивільного будівництва. Одним з найважливіших чинників є тип ґрунту основи [110,113-1114].

При розрахунку можливих просідань використовували методику, описану в ДБН В.2.1.-10-2009 .

Розглянемо можливі просідання споруд, які розташовані на засоленних ґрунтах. Нехай маємо рівномірне дифузійне засолення в межах

кожного шару ґрунту. Розглянемо ґрунтовий масив, поділений на i шарів з умовою ізотропії фізико-механічних властивостей кожного шару [144].

Тоді просідання за умови повного вилуговування становитиме:

Випадок 1 - засолення викликане однією хімічною сполукою (каїніт)- монозасолення. Тоді просідання за умови повного вилуговування (рис. 3.8, а) та без урахування ущільнення ґрунту внаслідок обводнення становитиме:

$$H = \sum_{i=1}^n \frac{D_{sal_i} \cdot \rho_{ґрунту_i} \cdot h_i}{\rho_{sal}}, \quad (3.10)$$

де:

H - просідання ґрунту при повному вилуговуванні солей без урахування обводнення, (м);

D_{sal_i} - концентрація солі в i -тому шарі ґрунту, (частка від 1) ;

$\rho_{ґрунту_i}$ - густина i -го шару ґрунту, (кг/м³);

h_i - висота i -го шару ґрунту, (м);

ρ_{sal} - густина солі, (кг/м³)

Випадок 2 - засолення викликане j хімічними сполуками - полізасолення. Тоді просідання за умови повного вилуговування та без урахування ущільнення ґрунту (рис. 3.8, б) внаслідок обводнення становитиме для кожного шару ґрунту:

$$H = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m \frac{D_{sal_{ij}}}{\rho_{sal_j}} \right) \cdot \rho_{ґрунту_i} \cdot h_i, \quad (3.11)$$

де:

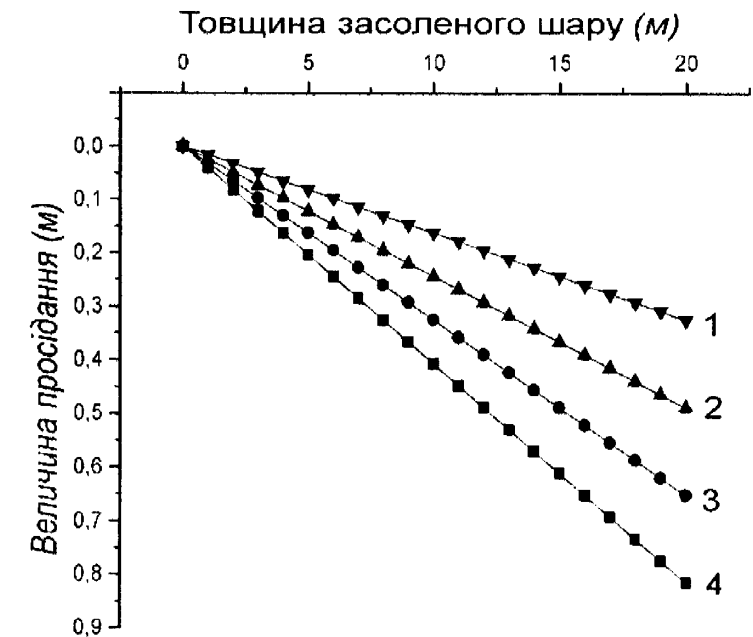
H - просідання ґрунту при повному вилуговуванні солей без урахування обводнення, (м);

D_{salij} - концентрація j -тої солі в i -тому шарі ґрунту, (частка від 1);

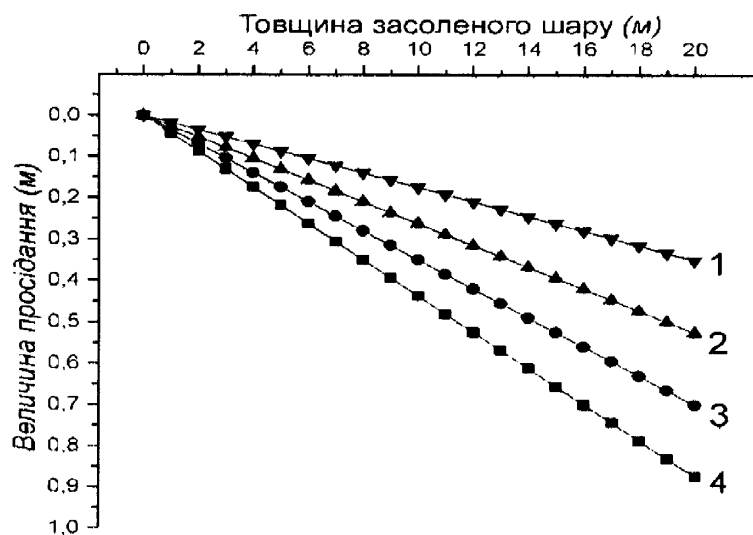
$\rho_{грунту_i}$ - густина i -го шару ґрунту, ($\text{кг}/\text{м}^3$);

h_i - висота i -го шару ґрунту, (м);

ρ_{salj} - густина j -тої солі, ($\text{кг}/\text{м}^3$)



а)



б)

Рис. 3.9. Залежність глибини просідання від рівня та глибини засоленості:

а) у випадку монозасолення; б) у випадку полізасолення;

1- $D_{sal}=0,02$, 2- $D_{sal}=0,03$, 3- $D_{sal}=0,04$, 4- $D_{sal}=0,05$.

Для полізасолення ми враховували розчинні сполуки, найпоширеніші на території, що розглядається. Малорозчинними сполуками, а отже і малими деформаціями при вилугуванні нехтуємо.

За результатами аналізу хімічного складу засолених ґрунтів визначено основні засолюючі компоненти: каїніт, галіт, карналіт, K_2SO_4 , $MgSO_4$.

За розчинністю солей у воді поділимо їх на три типи:

I - $MgSO_4 + K_2SO_4$;

II - галіт + каїніт;

III - карналіт.

Приймаємо, що кількість солей, які будуть вилугувані прямо пропорційна їх розчинності в воді [144]. Тоді вагові коефіцієнти для солей становитимуть для I типу- 0,425; для II типу - 0,2; для III типу - 0,375. (рис. 3.10).

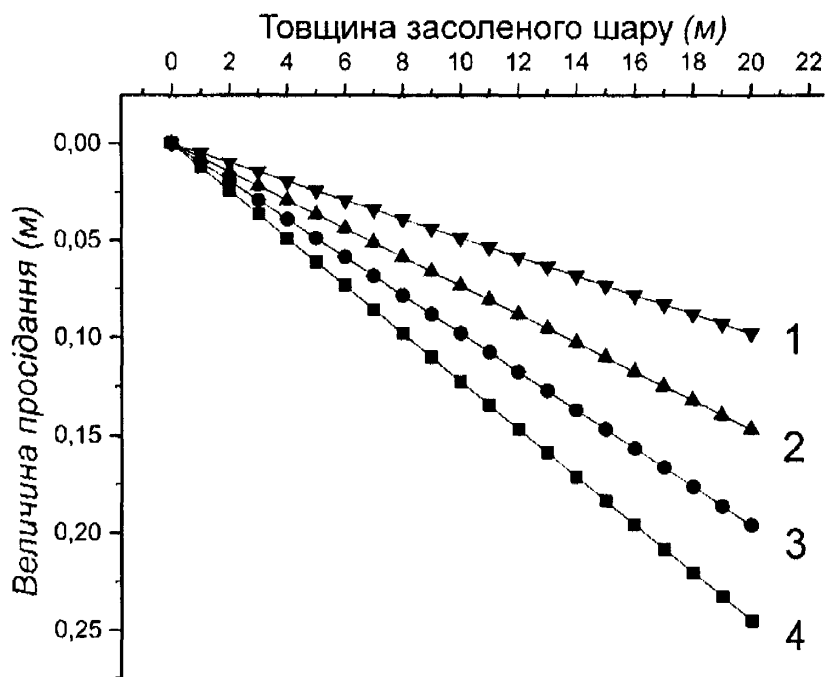


Рис. 3.10. Залежність глибини просідання від рівня засоленості та глибини з урахуванням вагових коефіцієнтів:

1- $D_{sal}=0,02$, 2- $D_{sal}=0,03$, 3- $D_{sal}=0,04$, 4- $D_{sal}=0,05$

Згідно з аналізом гранулометричного складу, середній радіус частинок солі складав $2,5 \cdot 10^{-5}$ м, а частинок ґрунту - $7,5 \cdot 10^{-5}$ м.

Відповідно співвідношення площі стикання солі і ґрунту з водою становитиме *1:9*, тому в математичній моделі ми робимо наступне припущення [144-146].

На початковому етапі в розчиненні солей бере участь лише 10 % води, яка фільтрується через ґрунт. У процесі розчинення ця частка буде зменшуватися по причині зменшення ефективного радіусу частинок солі.

Тоді швидкість вилугування буде прямо пропорційна сумарній площі, а швидкість просідання - сумарному об'єму частинок солі.

Таким чином, величина просідання в певний момент часу буде рівною добутку величини повного просідання на коефіцієнт, взятий із рис 3.11.

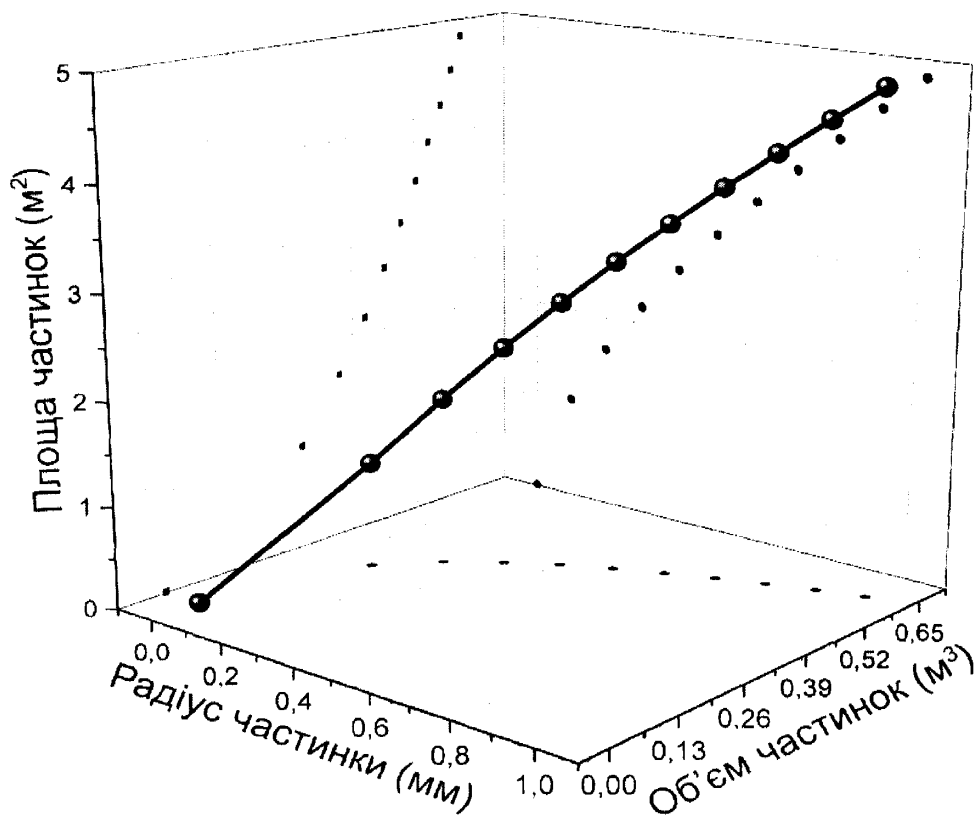


Рис. 3.11. Взаємозв'язок радіуса, площі та об'єму частинок.

Експериментально встановлено також взаємозв'язок між швидкістю фільтрації та швидкістю вилуговування для випадку дисперсного монозасолення (рис. 3.12).

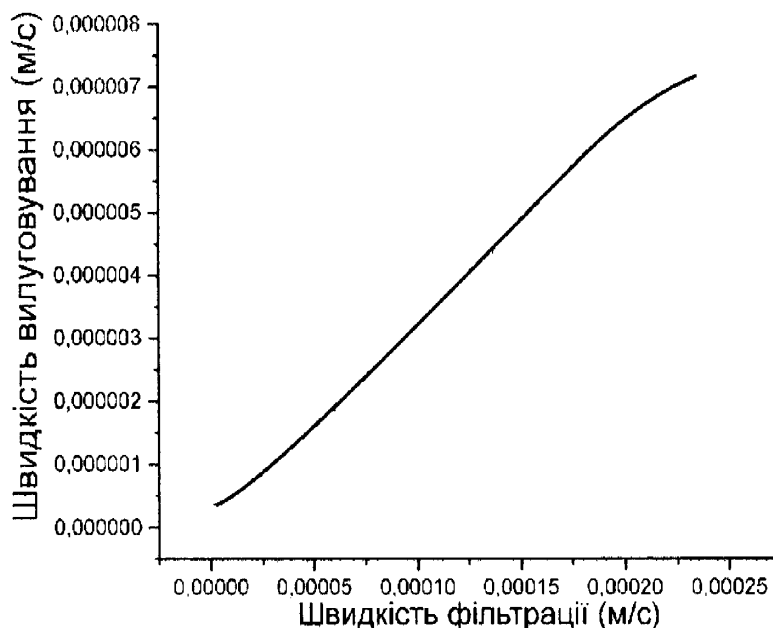


Рис.3.12. Взаємозв'язок швидкостей фільтрації та вилуговування.

На даний час відсутня строга математична постановка задачі напружено-деформованого стану масиву водонасиченого засоленого ґрунту, тому в подальшому необхідно удосконалити пропоновану модель шляхом урахування просідань в результаті обводнення та ущільнення частинок ґрунту.

Необхідно також нагромадити і систематизувати теоретико-експериментальні дані з метою створення бази даних вагових коефіцієнтів основних компонентів – засолювачів для підвищення якості розрахунку процесів вилуговування з метою кращого прогнозування суфозійних просідань засолених ґрунтів.

Висновки до розділу 3:

1. Модуль загальної деформації засолених ґрунтів з порушеною структурою слід визначати за вологості, що дорівнює або дещо перевищує вологість на межі текучості, а для засолених глинистих ґрунтів з непорушеною структурою - при повному водонасиченні зразків .
2. Доведено неприйнятність визначення гранулометричного складу засолених глинистих ґрунтів за загальноприйнятими методиками. Вологість засолених глинистих ґрунтів, як показали дослідження, не є характерною властивістю для прогнозування суфозійних просідань.
3. Встановлено, що характеристики міцності розсолених ґрунтів в середньому на 10% нижчі за аналогічні для незасолених, однак показники зчеплення знижуються від 3,6 - до 4,8 разів. В подальшому необхідно продовжити системне вивчення даних процесів для встановлення закономірностей впливу засолення на фізико-механічні характеристики ґрунтів техногенно навантажених територій.
4. Проаналізовано характер та причини просідань ґрунту у районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття. За результатами розрахунків отримані залежності концентрації солей в рідині та питомого обсягу солей по товщині ґрунту з плином часу для випадків дисперсного та плівкового засолення.
5. Запропоновано спрощену математичну модель просідання засоленого ґрунту внаслідок вилуговування для випадків моно- і полізасолення. В подальшому планується розвиток математичних моделей у напрямку їх універсалізації та адаптації розрахунків до умов експлуатації ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття.

6. Побудовано кінетичні криві суфозійного просідання для дисперсного та плівкового типів засолення, використання яких дасть змогу прогнозувати та контролювати просідання засолених ґрунтів техногенно навантажених територій. Встановлено взаємозв'язок між рівнем дисперсності солей та швидкістю їх вилуговування і показано, що в загальному швидкість розчинення пропорційна загальній площі поверхні розділу фаз «сіль-розчинник».

РОЗДІЛ 4

ОЦІНКА І ПРОГНОЗУВАННЯ НЕБЕЗПЕК ПРОСІДАННЯ ЗАСОЛЕНИХ ГРУНТІВ НА ПРИКЛАДІ МІСТА КАЛУШ

4.1 Кластеризація досліджуваної території за рівнем засоленості грунтів

Екологічний стан територій в значній мірі зумовлений рівнем техногенного навантаження на природні комплекси. Одною із задач екологічної політики на регіональному рівні є районування територій, яка базується на окремих показниках, що характеризують стан екологічної ситуації на території регіону. Однак, у більшому випадку, диференціація територій зводиться до ранжування за окремим показником, що визначає рівень техногенного навантаження на навколишнє природне середовище.

Прикладом такого підходу є районування територій за значенням модуля техногенного навантаження, який визначається як відношення суми вагомих одиниць усіх видів відходів (твердих, рідких, газоподібних) промислових, сільськогосподарських та комунально-побутових об'єктів [148].

Основним недоліком даного методу є відсутність індивідуального підходу до оцінки забруднення окремих природних середовищ, оскільки кількість забруднювальних речовин, які надходять до навколишнього природного середовища, підлягають простій сумації, що знижає адекватність оцінки рівня негативного впливу на стан довкілля.

Тому для підвищення безпеки будівництва та мінімізації супутніх ризиків необхідно докладно вивчити причини та характер просідання ґрунтів. Згідно мети, поставленої у роботі, нами було досліджено характер та рівень засоленості ґрунтів на території м. Калуш. Основними джерелами засолення виступають:

- рудники «Калуш»; «Голинь»; «Ново-Голинь»;

- Домбровський кар'єр та його відвали;
- Хвостосховища , шламонакопичувач та акумулюючі басейни.

На підставі гідрогеологічних спостережень Я.М. Семчук виділив сім головних ареалів засолення ґрунтових вод рис. 4.1. [18, 39, 149].



Рис. 4.1. Ареали засолення ґрунтових вод м. Калуш.

Ареал 1 приурочений до витоків засолених інфільтратів з південно-східної дамби хвостосховища № 1, витягнутий у напрямі руху ґрунтових вод із розвантаженням у Домбровський кар'єр. Довжина його досягає 1 700 м, ширина – 200–250 м.

Ареал 2 закартований на північно-західній околиці м. Калуш і утворений унаслідок впливу витоків з північної частини хвостосховища №1 із незначним підживленням від хвостосховища № 2. Зона підвищеної мінералізації ґрунтових вод закартована на північ та північний схід від хвостосховищ. Ширина зони – 400–500 м, довжина – 1600–1800 м.

Ареал 3 довжиною 1 500 м і шириною 180–200 м, виявлений на схід від солевідвалів з рухом у напрямі р. Млинівка.

Ареал 4 приурочений до солевідвалу 1 та рухається у північно-східному напрямі. Ширина ареалу – 150–220 м, довжина – майже 2 км.

Ареал 5 приурочений до одиначної мульди стоку засолених інфільтратів, розташований на схід від хвостосховища у с. Кропивник, розміром 400 × 150 м.

Ареал 6 зумовлений витісненням ропи через стовбур затопленої шахти «Калуш» у разі карстових провалів та розвантаження у четвертинний водоносний горизонт і старе русло р. Сівка. Розмір ареалу 6 – 200 × 70 м.

Ареал 7 приурочений до одиначної мульди стоку засолених інфільтратів, який розташований на південь від солевідвалу 4 розміром 140 × 50 м [151].

Нами було проведено дослідження рівня засоленості ґрунтів на території м. Калуш. За результатами побудовано карту-схему (рис. 4.2.-4.3.) з відповідними ізолініями еквізасолення.



Рис. 4.2. Супутникова карта-схема засоленості ґрунтів м. Калуш та
ОКОЛИЦЬ

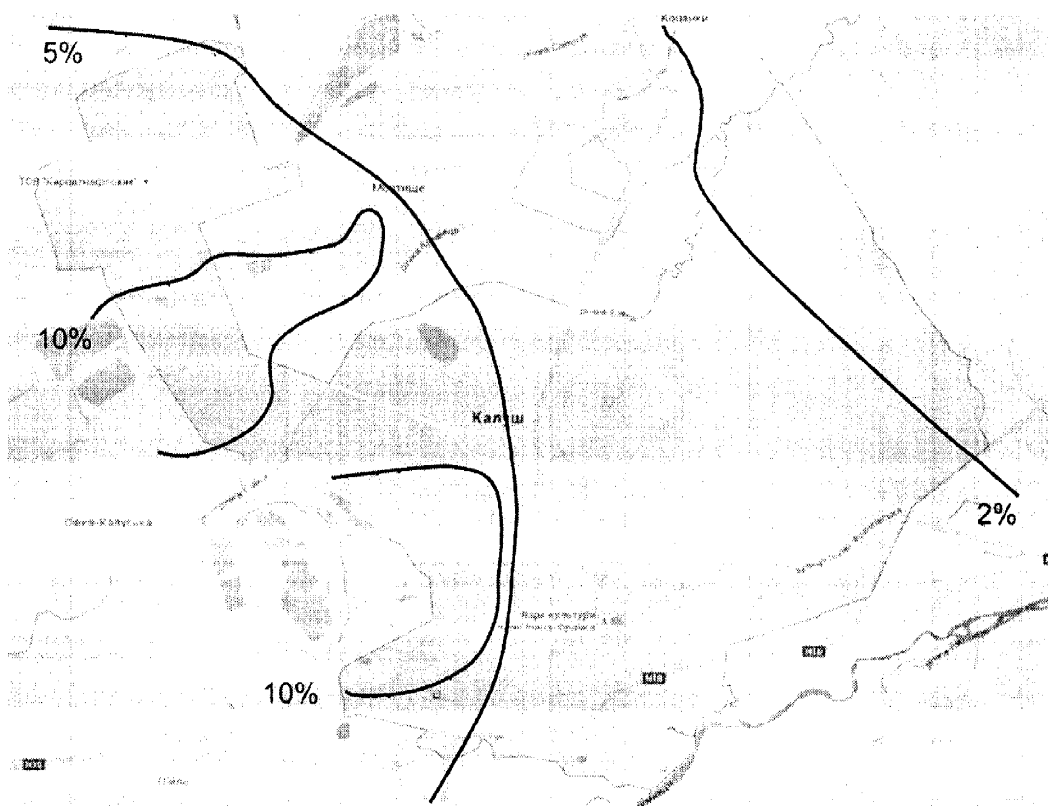


Рис. 4.3. Карта-схема засоленості ґрунтів м. Калуш та околиць

Аналіз водних витяжок засолених ґрунтів показав, що у нашому випадку ми маємо справу з хлоридним та хлоридно-сульфатним видами засолення. Основними засолюючими компонентами виступали каїніт, галіт, карналіт, K_2SO_4 , $MgSO_4$. Отже, маємо класичний випадок засолення розчинними сполуками.

Згідно з нормативними документами, зокрема ДСТУ Б.В.2.1-2-96, за ступенем засоленості легкорозчинними солями у випадку хлоридного, сульфатно-хлоридного засолення виділяють п'ять різновидів ґрунтів (табл. 4.1).

За отриманими результатами хімічного аналізу водних витяжок ґрунтів шляхом нанесення їх на карту визначено ареали засоленості ґрунтів. Встановлено, що згідно з існуючою класифікацією [113], усі ґрунти в адміністративних межах м. Калуш належать до засолених.

Отримані результати дозволили виділити два епіцентри засолення ґрунтів (рис.4.2-4.3):

- I. Домбровський кар'єр та солевідвал № 1;
- II. Хвостосховища 1, 2 та шламонакопичувач.

Таблиця 4.1

Класифікація ґрунтів за рівнем засоленості

<i>Різновид ґрунтів</i>	<i>Ступінь засоленості $D_{sal},\%$</i>
Незасолений	$<0,5$
Слабозасолений	$0,5 \leq D_{sal} < 2,0$
Середньозасолений	$2,0 \leq D_{sal} < 5,0$
Сильнозасолений	$5,0 \leq D_{sal} < 10,0$
Надлишково засолений	$D_{sal} > 10$

Найнебезпечнішим для об'єктів житлового та цивільного будівництва, на нашу думку, є ареал засолення ґрунтів з епіцентру I. Водночас ареал засолення з епіцентру II теж несе в собі істотні екологічні ризики, пов'язані з просіданням ґрунту у промисловій зоні ТОВ «Карпатнафтохім».

Аналіз абсолютних та відносних площ засолення (табл.4.2) свідчить, що площа відносно безпечної території складає менше 14%, що підтверджує високі екологічні ризики для населення м. Калуш.

Таблиця 4.2

Абсолютні та відносні площі кластерів засолених ґрунтів м. Калуш

№ кластера	Площа, км ²	Частка від загальної площі, %
I	9,02	13,88
II	41,08	63,2
III	9,83	15,12
IV	5,07	7,8

На території м. Калуш та околиць можна виділити чотири кластери, відповідно до рівнів засоленості (рис. 4.4-4.5):

I кластер - слабозасолені ґрунти (зелена зона);

- II кластер - середньозасолені ґрунти (жовта зона);
- III кластер - сильнозасолені ґрунти (помаранчева зона);
- IV кластер - надлишково засолені ґрунти (червона зона).

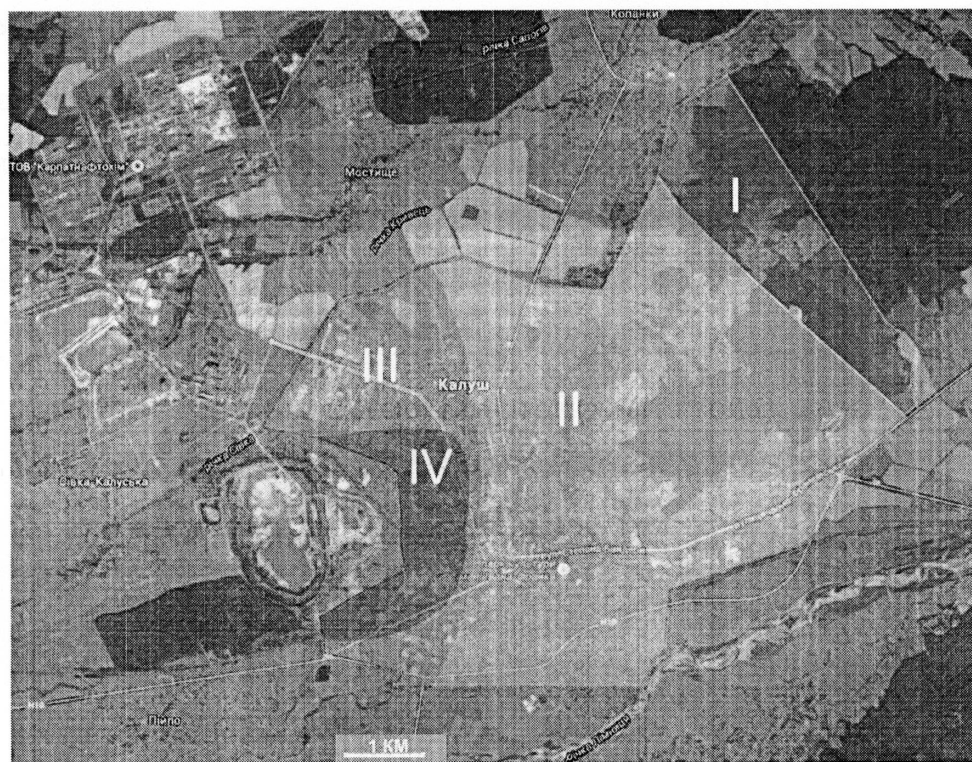


Рис. 4.4. Супутникова карта-схема кластерів засолення ґрунтів м. Калуш



Рис. 4.5. Карта-схема кластерів засолення ґрунтів м. Калуш

Особливе занепокоєння викликає той факт, що на відносно безпечну зону припадає найменша кількість об'єктів житлового та цивільного будівництва (рис.4.6) [135].

Решта території м. Калуш розташована на ґрунтах з високим ризиком просідання внаслідок вилуговування. Такий висновок можна зробити, взявши до уваги рівень засолення, частоту обводнення та тип засолення (хлоридно-сульфатне, легкорозчинними солями).

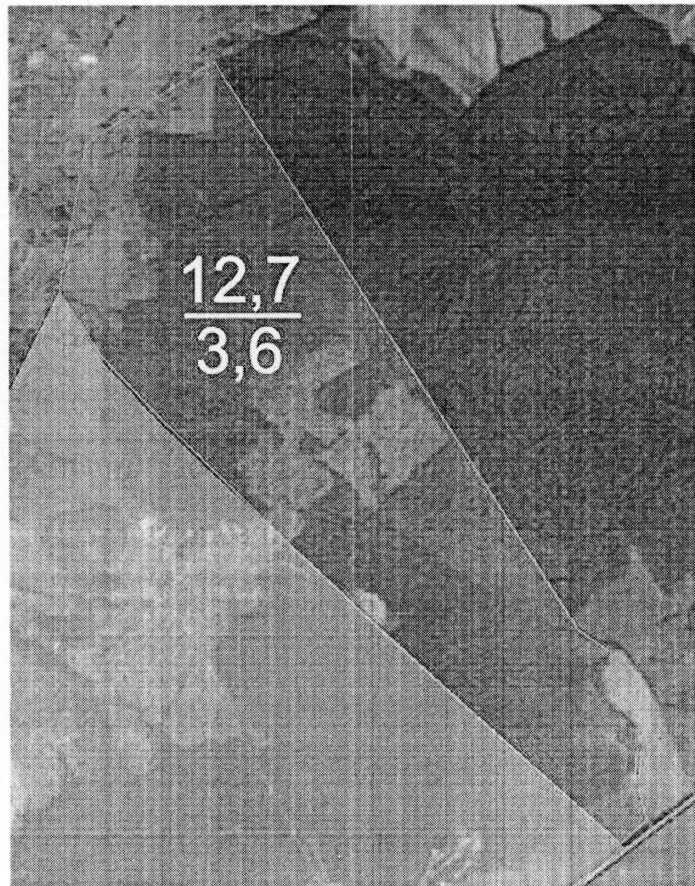


Рис. 4.6. Супутникова карта-схема кластера № 1 із зазначенням коефіцієнта забудованості (чисельник) та частки у забудові міста у відсотках (знаменник)

Більшість об'єктів житлової та цивільної забудови припадає на кластер №2 (рис.4.7.). У кластер № 2 потрапляє не тільки найбільше забудована, але й найбільш густозаселена частина міста практично всі об'єкти багатопверхової забудови, ризик руйнування яких внаслідок просідань є надзвичайно високий.

Окремо слід відзначити розміщення у цьому кластері об'єктів інфраструктури та найбільших храмів міста.



Рис.4.7. Супутникова карта-схема кластера № 2 із зазначенням коефіцієнта забудованості (чисельник) та частки у забудові міста у відсотках (знаменник)

У зоні кластера № 3 переважно розміщені об'єкти промислової забудови (рис. 4.8).

Густина заселення порівняно з кластером № 2 є незначною, проте небезпека просідань внаслідок вилуговування висока. Крім того, у вказаній зоні підвищені ризики засолення водоносних горизонтів та питної води.

У зоні кластера № 4 (рис. 4.8) катастрофічний рівень засолення, цивільне будівництво та постійне проживання людей практично неможливе.

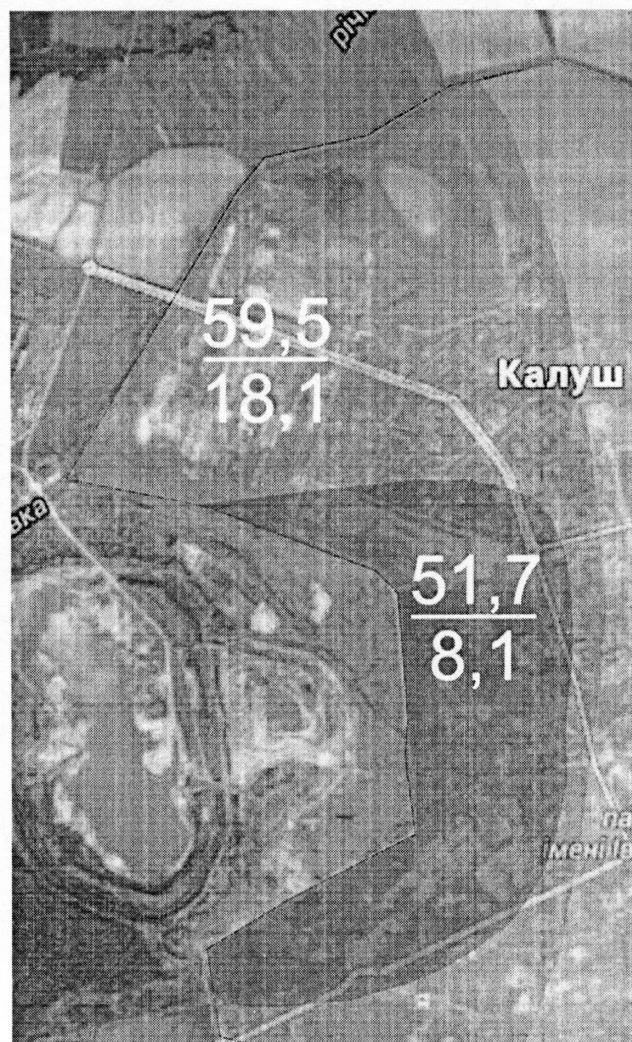


Рис. 4.8. Супутникова карта-схема кластерів № 3 і 4 із зазначенням коефіцієнта забудованості (чисельник) та частки у забудові міста у відсотках (знаменник)

Таким чином, частково або повністю непридатною до проживання людей є майже 23% площ в межах міста Калуш.

Розглянемо другий епіцентр засолення. Тут найбільші екологічні ризики пов'язані з руйнуванням об'єктів ВАТ «Карпатнафтохім» (рис.4.9).

Уся територія підприємства розташована на сильнозасолених ґрунтах. Додаткову небезпеку викликає наявність на території річок

Фронилів та Кропивник, що додатково підвищує ризик обводнення та вилуговування засолених ґрунтів.

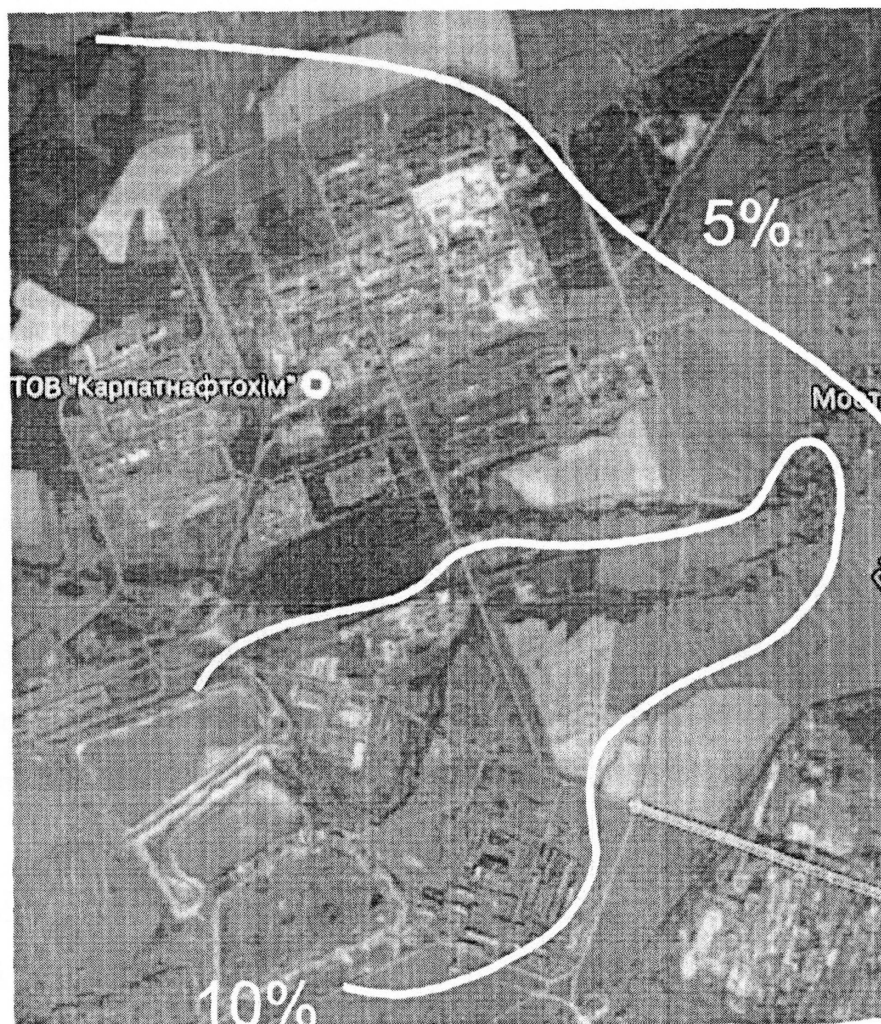


Рис.4.9. Супутникова карта-схема II епіцентру засолення ґрунтів м. Калуш

Для оцінки ризику для населення від просідання необхідно встановити коефіцієнт забудованості у кожному кластері. Коефіцієнт забудованості k_{zi} розраховуємо за формулою:

$$k_{zi} = \frac{S_{zi}}{S_{ci}}, \quad (4.1)$$

де:

S_{zi} - площа забудови у i -тому кластері;

S_{ci} - площа i -того кластера.

Окрім того необхідно встановити відносну частку забудови кожного кластера у загальній забудові міста B_i .

$$B_i = \frac{S_{zi}}{\sum_{i=1}^n S_{zi}} \cdot 100\%, \quad (4.2)$$

де n - кількість кластерів.

Застосувавши формули (4.1) та (4.2) отримаємо наступні значення для кожного кластера (табл. 4.3).

Для визначення площ забудови у кожному кластері використовувалася програма *Google Earth Pro*, яка дає змогу накладання користувацької сітки на супутникові знімки високої роздільної здатності та *Corel Draw X7* для ручного уточнення меж забудови та кластерів.

За отриманими в попередньому підрозділі результатами, використовуючи запропоновану нами математичну модель проведено прогнозні розрахунки просідання ґрунтів внаслідок вилуговування солей для м. Калуша та околиць.

Для підвищення якості прогнозування усю територію м. Калуш розбито на 6 частин. Найбільший за площею кластер II дискретизовано на 3 зони. Прогноз просідання розраховано за умови повного вилуговування розчинних солей з ґрунту.

Показники у кластерах I та II (рис. 4.10) загалом відносно невеликі, особливо беручи до уваги, що процес вилуговування досить повільний і, враховуючи природні умови, насправді повного вилуговування досягнути буде досить важко.

Потенційні ризики руйнувань будівель тут будуть незначними, увагу слід звернути на паводкові ситуації, під час яких обводнюються значні

масиви ґрунту і прискорюються процеси не тільки вилуговування а й втрати жорсткості ґрунтовим масивом.

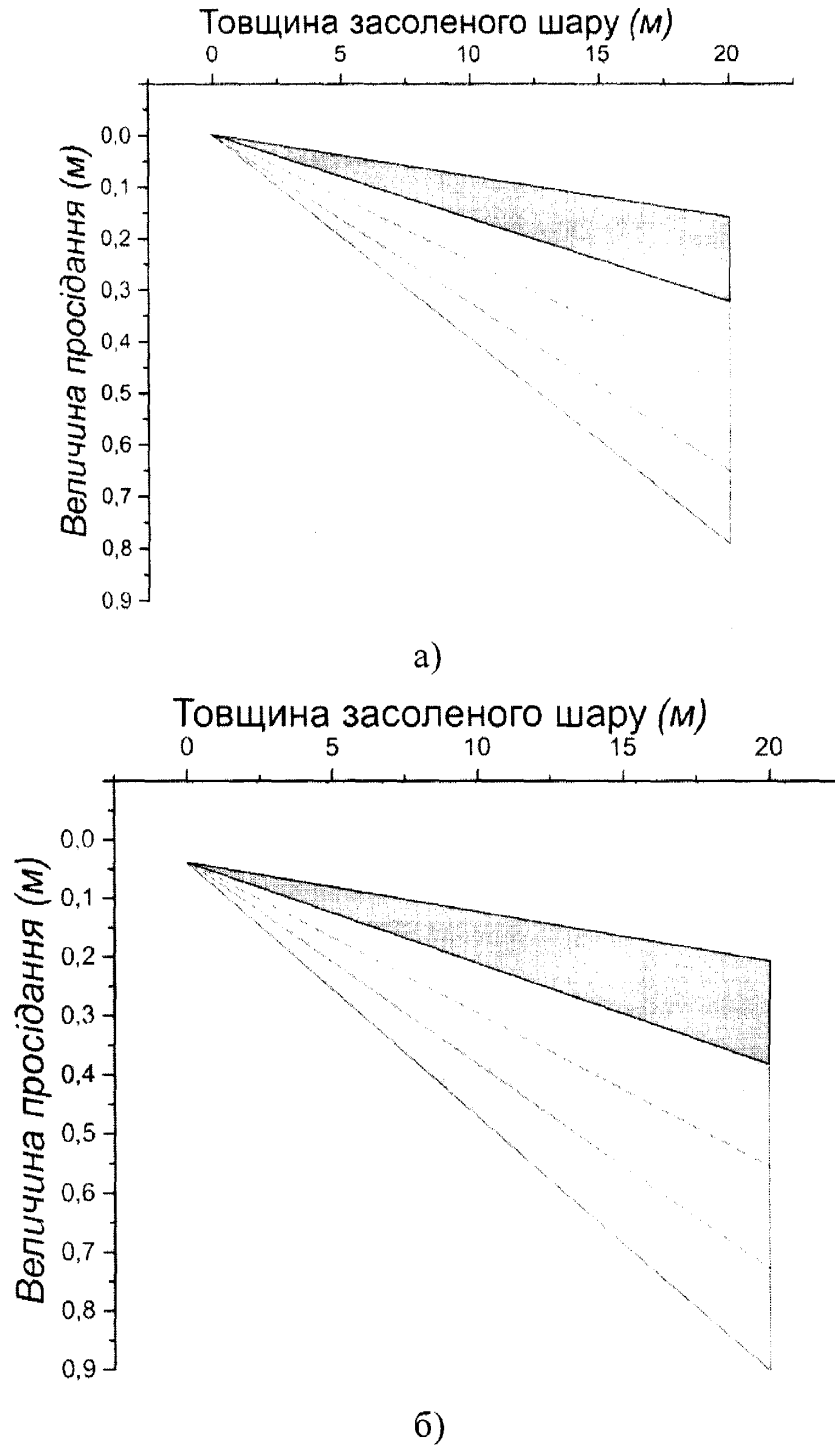


Рис. 4.10. Прогнозні діапазони просідань для кластерів I-II

а) - монозасолення, б) – полізасолення

Важливо звернути увагу на прогнозний рівень просідань на межі II та III кластерів (рис.4.10, нижній жовтий сектор). При глибині засоленого

шару 5-10 м показники просідання сягають 0,5 м, і це без урахування впливу обводнення, яке, як відомо, значно знижує жорсткість ґрунтів. Саме на цих ділянках розташована значна частина малоповерхової приватної забудови, яка внаслідок недосконалих будівельних методів особливо чутлива до деформацій ґрунтів основи (рис. 1.4).

Таблиця 4.3

**Абсолютні та відносні показники забудованості
кожного кластера у м. Калуш**

№ кластера	S_{zi} , км ²	S_{ci} , км ²	k_{zi}	B_i , %
I	1,15	9,02	0,127	3,6
II	22,75	41,08	0,554	70,2
III	5,85	9,83	0,595	18,1
IV	2,62	5,07	0,517	8,1

Окрему увагу слід звернути на наявність у II кластері 13 шкіл та дошкільних закладів, пошкодження несучих елементів будівель яких несе у собі потенційні ризики для учасників навчального процесу.

Прогнозні показники просідання на території ВАТ «Карпатнафтохім» загалом відповідають таким для III та IV кластерів (рис. 4.11), що свідчить про високі потенційні екологічні ризики, особливо зважаючи на серйозні наміри відновлення та розширення виробництва з допомогою європейських інвесторів.

Беручи до уваги використання у технологічному процесі хімічних речовин високого класу небезпеки, а також клас небезпеки продуктів хлорорганічного виробництва потенційні ризики для довкілля та населення міста є високими. Крім ВАТ «Карпатнафтохім» у межах цього ж промислового майданчика розміщені виробничі потужності ВАТ «Оріана». Така концентрація техногенних об'єктів підвищеної небезпеки створює

додаткові екологічні ризики та техногенне екологічне навантаження на північну частину III кластеру.

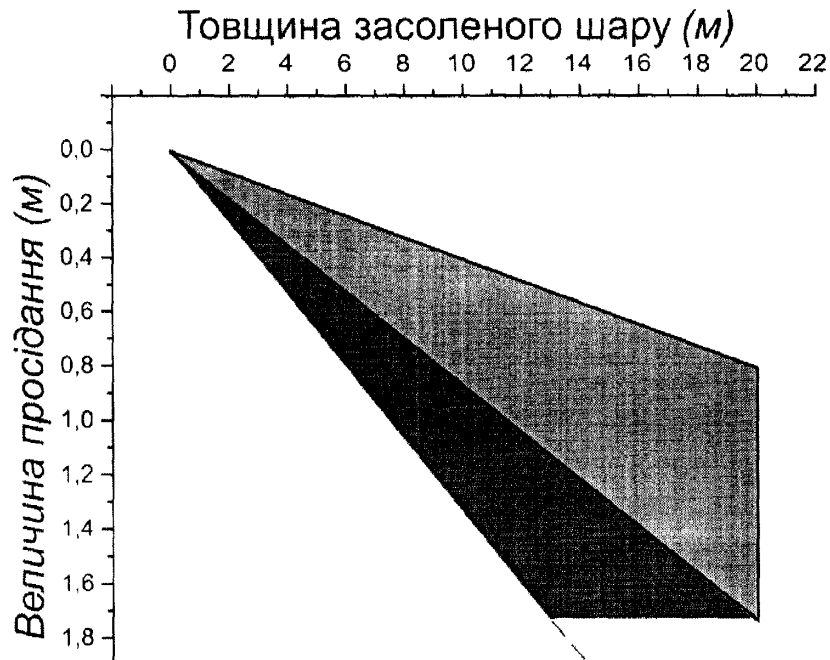


Рис. 4.11. Прогнозні діапазони просідань для кластерів III-IV

Прогнозні просідання для III та IV кластерів (рис. 4.11) є досить високими, однак, зважаючи на відсутність житлової забудови у кластері IV найвищі потенційні екологічно-техногенні ризики будуть у III кластері, де високий відсоток забудованості, а також значний вік об'єктів цивільного та промислового будівництва, що додатково підвищує ризик пошкоджень під час просідання ґрунтів.

Слід також відмітити значну кількість місць постійного скупчення людей (дитячі садки, школи, гімназії, культові споруди), де підвищений ризик шкоди здоров'ю від просідання ґрунтів основи.

4.2 Ранжування території м. Калуш за рівнем потенційного екологічного ризику

Для розрахунку потенційних ризиків руйнування об'єктів промислового та цивільного будівництва та визначення селітебних зон на

території м. Калуш використовуються методи теорії керування, математичної статистики та дослідження операцій.

Одним з методів, який широко застосовується у наукових дослідженнях є теорія ранжування.

Ранг – це ступінь відмінності за будь-якою ознакою, а ранжування - процес визначення рангів, відносних кількісних оцінок ступенів відмінностей за якісними ознаками.

Ранжування застосовується у випадках, коли неможлива або недоцільна безпосередня оцінка. При цьому ранжирування об'єктів містить лише інформацію про те, який з них кращий, і не містить інформацію про те, наскільки або в скільки разів один об'єкт переважає над іншим.

При проведенні ранжування використовують експертну оцінку з використанням рангової кореляції та узгодженості експертних оцінок, метод парних порівнянь або метод безпосередньої оцінки [152-154].

У своїх дослідженнях ми використали метод безпосередньої оцінки, який полягає у віднесенні об'єкта оцінки до певного значення за оціночною шкалою (тобто присвоєння об'єкту оцінки балів у певному інтервалі, наприклад від 0 до 20), згідно з перевагою за певною ознакою або групою ознак.

Найменше значення для кожного характеристичного показника приймаємо рівним одиниці та розраховуємо за ним відносні показники (бали) для інших випадків. Потім шляхом сумування балів за всіма характеристичними показниками отримуємо кінцевий ранг для кожного кластера та визначаємо найнебезпечніші.

Прийmemo наступні характеристичні показники для ранжування території м. Калуш за величиною потенційного екологічного ризику для населення:

- коефіцієнт забудованості k_z ;
- відносна частка забудови B , %;

- рівень засоленості D_{sal} (в частках 1);
- наявність об'єктів підвищеної небезпеки;
- наявність навчальних та дошкільних закладів.

Прийmemo, що наявність об'єктів підвищеної небезпеки оцінюється в 5 балів, якщо це мале підприємство, 10 балів – середнє, 15 балів – велике підприємство.

Підсумкова таблиця рангів побудована методом алгебраїчного сумування всіх показників екологічного ризику по кожному з кластерів;

Визначимо бали, що відповідатимуть кожному з показників.

Таблиця 4.4

Ранжування зон м. Калуш за основними показниками

Зона	Бали						
	% забудови м. Калуш	збудованість	засоленість	наявність об'єктів підвищеної небезпеки	школи та гімназія	дитячі дошкільні заклади	коледжі
Зелена	2	4	1	0	0	0	0
Жовта	8	5	2	0	8	4	1
Помаранчева	2	4	3	0	3	6	2
Червона	1	1	4	0	0	1	0

Занепокоєння викликає той факт, що у найбільш безпечній зеленій зоні немає освітніх закладів, тоді як у зоні підвищеної небезпеки - помаранчевій - розташовано 11 закладів.

У найбільшій за площею та найгустіше забудованій жовтій зоні знаходиться 13 навчально-виховних закладів, а також стадіон «Хімік»,

5 церков, з яких одна – пам'ятка архітектури національного значення. Для недопущення їх руйнування важливо правильно оцінювати потенційні небезпеки, пов'язані з суфозійним просіданням ґрунтів унаслідок процесів розсолення.

Таблиця 4.5

Підсумкове ранжування кластерів м. Калуш

Кластер	Підсумкові бали
I кластер (зелена зона)	7
II кластер (жовта зона)	28
III кластер (помаранчева зона)	21
IV кластер (червона зона)	16

Це пов'язано з давньою забудовою м. Калуш, зокрема з так званими «заводськими кварталами».

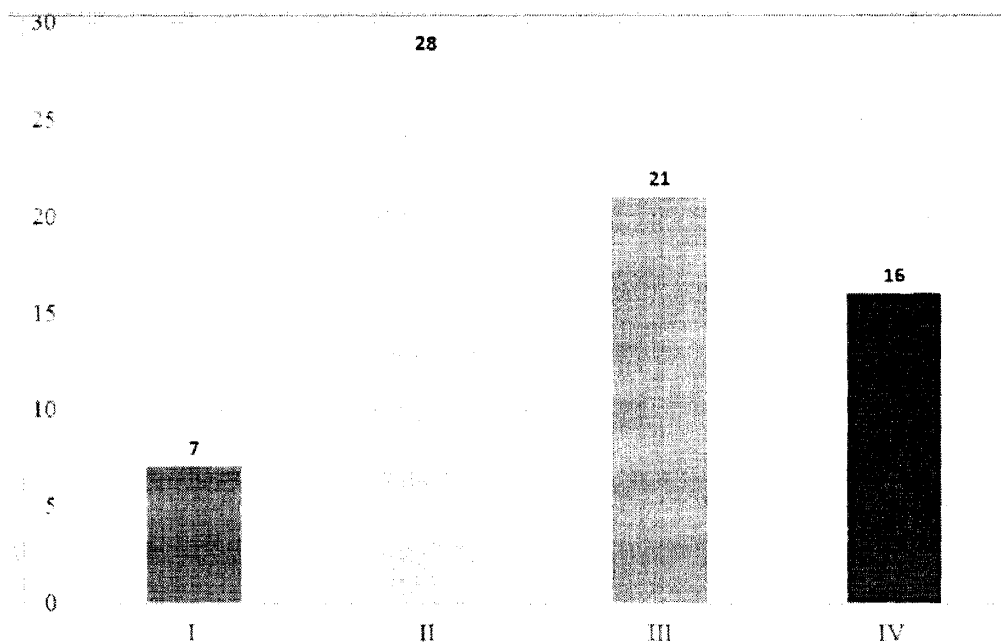


Рис.4.12. Діаграма ранжування ризиків території м. Калуш

Таким чином, використання запропонованої спрощеної математичної моделі просідання засолених ґрунтів у поєднанні з розробленими методиками ранжування небезпек, кластеризації територій, подальшого ризик-аналізу та ризик-менеджменту дає змогу підвищити рівень

екологічної безпеки населених пунктів поблизу ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття.

Висновки до розділу 4:

1. Побудовано карту засолення ґрунтів м. Калуша та околиць. Визначено епіцентри засолення та виділено області еквізасолення. Для підвищення якості прогнозування великі області дискретизовано.
2. Розраховано прогнозні показники просідання в результаті вилуговування для кожної з областей та промислових зон. Виділено зони підвищеної небезпеки техногенних аварій: промислова зона ВАТ «Оріана» та ВАТ «Карпатнафтохім».
3. Вперше вибрано характеристичні показники та запропоновані принципи кластеризації територій в районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття, що дозволяє підвищити рівень екологічної безпеки цих територій. Проведено ранжування кластерів за відсотком забудованості, густиною заселення та наявністю об'єктів підвищеної небезпеки.
4. Проведено ранжування областей та зон за відсотком забудованості, густиною заселення та наявністю об'єктів підвищеної небезпеки. Встановлено найбільш придатні та найнебезпечніші райони м. Калуша для житлової забудови, що дасть змогу мінімізувати екологічну загрозу розвитку селітебних зон у цьому регіоні.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання роботи вирішене важливе науково-прикладне завдання оцінки та прогнозування потенційних екологічних ризиків у районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств шляхом урахування взаємозв'язку між рівнем, типом засолення ґрунтів, їх жорсткістю при тривалому деформуванні та прогнозним рівнем просідання.

1. Проаналізовано причини, кількість та характер позаштатних ситуацій у районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття, проведено їх структурування за групами ризиків. Вперше запропоновано та науково обґрунтовано концептуальний підхід до оцінки екологічних ризиків в районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття, що дало можливість запровадити комплексний підхід до виділення та класифікації основних джерел екологічної небезпеки.

2. Встановлено, що характеристики міцності розсолених ґрунтів в середньому на 10% нижчі за аналогічні для незасолених, однак показники зчеплення знижуються від 3,6-до 4,8 разів. В подальшому необхідно продовжити системне вивчення даних процесів для встановлення закономірностей впливу засолення на фізико-механічні характеристики ґрунтів техногенно навантажених територій.

3. Дістали подальший розвиток наукові підходи до математичного моделювання процесів просідання засолених ґрунтів, зокрема введено поняття моно- та полізасолення як однієї з характеристик засолених ґрунтів, використання якої дає змогу підвищити коректність прогнозу просідання ґрунту внаслідок вимивання солей. Розраховано прогнозні показники просідання в результаті вилуговування для кожної з областей та промислових зон.

4. Побудовано кінетичні криві суфозійного просідання для дисперсного та плівкового типів засолення, використання яких дасть змогу

прогнозувати та контролювати просідання засолених ґрунтів техногенно навантажених територій.

5. Вперше вибрано характеристичні показники та запропоновані принципи кластеризації територій в районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття, що дозволяє підвищити рівень екологічної безпеки цих територій. Проведено ранжування кластерів за відсотком забудованості, густиною заселення та наявністю об'єктів підвищеної небезпеки. Встановлено найбільш придатні та найнебезпечніші райони м. Калуша для житлової забудови, що дозволило мінімізувати екологічну загрозу розвитку селітебних зон у цьому регіоні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Семчук Я.М. Фізико-механічні властивості порід гіпсово-глинистої шапки Стебницького калійного родовища в зв'язку з їх засоленістю і структурно-текстурними особливостями / Я.М. Семчук, Л.Я. Долішня // Наукові вісті Інституту менеджменту та економіки «Галицька академія» - Івано-Франківськ, 2006. – Спеціальний випуск (за матеріалами III міжнародної науково-технічної конференції «ЕЕПКЄ -2006») - с. 43-52.
2. Семчук Я.М. Динаміка коефіцієнта фільтрації засолених ґрунтів в процесі вилуговування / Я.М. Семчук, Л.Я. Долішня // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. пр. - К., 2009. - Вип. 3. - С. 59-66.
3. Побережна Л. Я. Комплексна оцінка екологічних ризиків територій, прилеглих до району розробки Калуш-Голинського родовища калійних солей / Л.Я. Побережна // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, № 3/2015 ч. 1(92) – Кременчук: КрНУ, 2015, 178 с.; с.150-156.
4. Побережна Л. Вплив рівня засоленості ґрунтів на опір деформаціям стиску/ Л. Побережна; Л. Побережний // Вісник ТНТУ — Тернопіль : ТНТУ, 2015. — Том 79. — № 3. — С. 78-84. — (Механіка та матеріалознавство).
5. Семчук Я.М. Моделювання процесів просідання засолених ґрунтів / Я.М. Семчук, Л. Я. Побережна // Вісник Кременчуцького національного університету імені М. Остроградського, № 5/2015 (94) – с.125-129.
6. Побережна Л.Я. Дослідження впливу засолення на фізико-механічні властивості ґрунтів техногенно навантажених територій / Л.Я. Побережна // Науковий вісник НЛТУ України: Збірник науково-технічних праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2015. – Вип. 25.8. – 392 с.; с. 203-209
7. Побережна Л.Я. Моделювання просідання засолених ґрунтів у Калуському промисловому районі/ Л.Я. Побережна // Науковий вісник

НЛТУ України: Збірник науково-технічних праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2015. – Вип. 25.9. – 392 с.; с. 158-161

8. Семчук Я.М. Проблема утилізації розсолів за рахунок солевідвалів Домбровського кар'єру / Я.М. Семчук, Л.Я. Долішня // Наукові вісті Інституту менеджменту та економіки «Галицька академія» - Івано-Франківськ, №1(7)/2005 р. - с. 201-203.

9. Долішня Л.Я. Особливості взаємозв'язку фізико-механічних властивостей з їх засоленням у районі розробки калійних родовищ Прикарпаття / Л.Я. Долішня // Матеріали Научной конференції «Ломоносовские чтения» 2013 года и Международной научной конференції студентів, аспірантів и молодих учених «Ломоносов-2013», Севастополь, 25-26 апреля 2013 г. – Севастополь. – 2013. – С. 32-33.

10. Долішня Л.Я. Вплив суфозійних процесів на взаємодію ґрунтів основи та фундаментів споруд // Екологічна безпека держави: тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених та студентів. м. Київ 15-17 квітня 2014 р., Національний авіаційний університет – К.: НАУ, 2014.- с.81-82.

11. Побережна Л. Я. Вплив засолення ґрунтів на опір деформаціям стиску / Л.Я. Побережна, Л.Я. Побережний // Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування: матеріали ІV міжнародної науково-технічної конференції, (Тернопіль 21-24 вересня 2015 року) – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2015. – с. 55-59.

12. Манюк О.Р. Дослідження особливостей геологічної будови та гідрогеологічних умов Калуш-Голинського родовища калійних солей з метою проектування полігону захоронення високомінералізованих розсолів / О.Р. Манюк, Я.М. Семчук // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2007. – №1. – С. 52-55.

13. Семчук Я.М., Шкіца Л.Є. Вплив систем розробки калійних родовищ на геологічне середовище // Уголь Украины. – 2004. - №3. - С.10-11.
14. Проведення моніторингових спостережень над шахтними полями Калуш-Голинського родовища калійних солей : звіт по г/д № 1(396н/08). Частина 1. - Калуш : Державне підприємство „НДІ галургії”, 2008, - 103 с.
15. 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.
16. Крижанівський Є.І. Техногенна ситуація в районі Калуського промислового вузла / Є.І. Крижанівський, Е.Д. Кузьменко, М.В. Палійчук, Б.Т. Бараненко// Науковий вісник Івано-Франківського технічного університету нафти і газу. - 2008.-№2.-с.3-9.
17. Рудько Г.І. Техногенно-екологічна безпека солевидобувних гірничопромислових комплексів Передкарпаття / Г.І. Рудько, Л.Є. Шкіца// Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. - 2001.-№5-6.-с.68-71
18. Семчук Я. М. Исследование влияния природных и техногенных факторов на формирование химического состава грунтовых вод Калуш-Гольинского месторождения калийных солей / Я. М. Семчук // Эвапориты Украины : сб. науч. тр. АН УССР, Ин-т геологии и геохимии горючих ископаемых. - Киев : Наук. думка, 1985. - С. 143-151.
19. Головчак В.Ф. Стан гірничопромислових геокомплексів Калуш-Голинського родовища калійних солей та заходи для їх екологічної оптимізації/ Головчак В.Ф. // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. - 2010.-№2. - с.4-13.
20. Продовження моніторингових спостережень над шахтними полями Калуш-Голинського родовища калійних солей у 2009 році : звіт по г/д № 33/09. Частина 1. - Калуш : Державне підприємство „Науково-дослідний інститут галургії”, 2009. - 87 с.

21. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Донецьк : Донбас, 2004. .
22. Бондаренко М.Д. Динаміка і прогноз стану геологічного середовища соляних і сірчаних родовищ Передкарпаття : автореф. дис. канд. геол. наук: 04.00.01 / М.Д. Бондаренко ; Львів, нац. ун-т ім. І.Франка. - Л., 2001. - 20 с.
23. Результати геофізичного моніторингу на рудних полях відпрацьованих рудників Калуш-Голинського родовища: звіт ПДП «Спецгеологорозвідка». - Івано-Франківськ, 2008. - 69 с.
24. Прогнозування деформацій земної поверхні над відпрацьованими шахтними полями рудника «Ново-Голинь» за результатами геофізичних досліджень 1995-2004 рр. : звіт ІФНТУНГ. – Івано-Франківськ, 2005. - 94 с.
25. Семчук Я.М., Шкіца Л.Є. Особливості геологічного середовища калійних родовищ // Матер. III Всеукр. науково-метод. конф. „Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика”, Рівне 2004. - С.242-244.
26. Семчук Я.М. Савчук Л.Я. Екологічні проблеми калузького гірничопромислового регіону та шляхи їх вирішення // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. - 2010. - № 1. - С. 64-69.
27. Ведення постійно діючої моделі геологічного середовища над шахтним полем рудника „НовоГолинь”. - Калуш : ДНДІГ, 2007. - 82 с.
28. Кузьменко Е., Багрій С. Геолого-геофізична характеристика Калуш-Голинського родовища калійної солі // “Геофізичні методи дослідження проблем довкілля”. - 2010. - № 1. - С. 147-152.
29. Разработка методики геофизического доизучения рудников Пийло и «50-летия Октября» Калуш-Гольинского месторождения с составлением карт элементов тектоники и прогноза возможного карстообразования, с выдачей рекомендаций по ведению подземных работ / А.В. Доливо-

- Добровольский, Е.И. Леонин, И.А. Окружнов // Информационные отчеты по этапам 1, 2, 3. - Ленинград : ВНИИГ, 1989. - 102 с.
30. Садовенко И. А. Экспериментальные исследования суффозионных и эрозионных деформаций лессовых грунтов/ Садовенко И. А., Деревягина Н. И.// Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. -2013. - Випуск 4 (81).- с. 129-134.
31. Екологічні ризики при розробці родовищ корисних копалин / Г.І Рудько, О.І. Бондар // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. - 2005. - № 5. - С. 75-83.
32. Комплекс геофізичних досліджень в межах відроблених шахтних полів рудника “Ново-Голинь” / Е.Д. Кузьменко, В.І. Шамотко // Звіт з науково-дослідної роботи. - Львів : Карпатське відділення Інституту геофізики НАНУ, 1996. - 148 с.
33. Комплексна інтегрована інтерпретація геолого-геофізичних даних з метою виявлення розвитку карстових процесів в межах північного борту Домбровського кар’єру та простеження зон активної фільтрації р. Сівка в кар’єр у режимі моніторингу: звіт по темі 1/2009-К. - м. Івано-Франківськ.
34. Корегування рекомендацій по ліквідації рудника „Ново-Голинь” в частині заповнення всіх пустот IV горизонту розсолами і гіпсо-муловою пульпою (заключний звіт з концерном „Хлорвініл”). - Калуш: ДНДІГ, 1993. - 40 с.
35. Ведення постійно діючої моделі геологічного середовища над шахтним полем рудника „Ново-Голинь”. – Калуш : ДНДІГ, 2007. – 82с.
36. Манюк О.Р. Науково-практичні засади захисту довкілля від забруднення високо мінералізованими розсолами (на прикладі Калуш-Голинського родовища калійних солей) : арэф. дис. канд. наук: 21.06.01 / О.Р. Манюк. – 2009. – 20 с.
37. Малишевська О.С., Семчук Я.М., Книгіницька Л.П. Екологічна ситуація в районах розробки та переробки полімінеральних калійних руд

- Прикарпаття // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2004. - №4. – С. 47-53.
38. Проект консервації Домбровського кар'єру з рекультивацією зовнішніх відвалів № 1, № 4 та хвостосховищ № 1, № 2. – Книга 1: загальні дані: 018.001.06.000-ПЗ-01-00 / І.І. Зозуля, В.В. Ковалишин. – Львів, 2008. – 48 с.
39. Семчук Я.М. Наукові та методичні основи охорони геологічного середовища в районах розробки калійних родовищ (на прикладі Передкарпаття):ареф. дис. ... д-ра техн. наук: 11.00.11 / Державний НДІ галургії. — Калуш, 1994. — 40 с.
40. Долін В. В. Прогнозування екогідрогеохімічної ситуації при затопленні Домбровського кар'єру калійних руд / В. В. Долін, Є. О. Яковлев, Е.Д. Кузьменко, Б. Т. Бараненко // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2010. – № 1. – С. 74–87.
41. Гайдін А. М. Умови формування прісноводної товщі в озері на місці соляного кар'єру / А. М. Гайдін, В. О. Дяків // Збірник наукових праць Волинського нац. ун-ту ім. Лесі Українки: Природа Західного Полісся та прилеглих територій. – Луцьк, 2010. – № 7. – С. 50–64.
42. Гайдін А. М. Калуш – програма ревіталізації / А. М. Гайдін, В.О. Дяків, І. В. Чікова // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2014. – № 2 (10). – С. 101–107.
43. Дяків В. Модель вилуговування, закарстовування та самоізоляції легкорозчинних солей з приповерхневих соляно-глинистих відкладів хвостосховищ і солевідвалів калійних родовищ Передкарпаття / В. Дяків, Х. Цар // Мінералогічний збірник. - 2010. - № 60, Вип. 2. - С. 136-147.
44. Указ Президента України від 10.02.2010 р. № 145/2010
45. Закон України Про затвердження Указу Президента України "Про оголошення територій міста Калуш та сіл Кропивник і Сівка-Калуська Калуського району Івано-Франківської області зоною надзвичайної екологічної ситуації"// Відомості Верховної Ради України, 2010, N 19, ст.148
46. Качинський А.Б. Екологічна безпека України: системний аналіз перспектив покращення. - К.: НІСД. 2001. - 312 с.

47. Экология, охрана природы и экологическая безопасность / Под ред. В.И. Данилова-Данильяна. - М. Изд. МНЭПУ, 1997. - 744 с.
48. Реймерс Н.Ф. Экология (теория, законы, правила, принципы, гипотезы). - М.: Россия молодая, 1994. - 367 с.
49. Экология: Учебное пособие / Под общ. ред. С.А. Боголюбова. - М.: Знание, 1997. - 228 с.
50. Шмандій В.М. Управління екологічною безпекою на регіональному рівні (теоретичні та практичні аспекти). Автореферат дис. дтехнічн.наук. - Х. 2004. - 36 с.
51. Биченок М.М., Трофімчук О.М. Проблеми природно-техногенної безпеки в Україні. - К.: УІНСіП. 2002. - 179 с.
52. Екологічна безпека техноприродних геосистем у зв'язку з катастрофічним розвитком геологічних процесів / С.В. Гошовський, І.І. Рудько, В.М. Преснер. - К.: ЗАТ «НІЧЛАВА», 2002. - 634 с.
53. Верес О. М. Дослідження множини ризиків прийняття рішень в галузі екології / О. М. Верес, В. М. Голиш // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". - 2010. - № 689. - С. 67-80.
54. U.S. Geological Survey: Proposed procedures for dealing with warning and preparedness for geologic-related hazard // United States Federal Register. - 1977. - Vol. 42, № 70. - P. 14292-14296.
55. Моделювання оцінок ризиків надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру / Ю.Л. Забулонов, Г.А. Хміль // Моделювання та інформаційні технології: Зб. наук. пр. - К.: ІПМЕ ім. Г. Є. Пухова НАН України, 2009. - Вип. 51. - С. 81-85.
56. Rowe W. D. An anatomy of risk. - N.-J.: John Wiley, 1977. - 488 p.
57. Piesson J. K., Hetes R. G., Nangle D. F. Risk characterization, framework for non-cancer end points // Environmental Health Perspectives. - 1991. - Vol. 95. - P. 121-129.

58. Кочетков В.Н. Экономический риск и методы его измерения / В.Н. Кочетков, Н.А. Шипова. - К.: Изд-во Европейского ун-та финансово-информационных систем менеджмента и бизнеса, 2000. - 66 с.
59. Svenson O. Are we all less risky and more skillful than our fellow drivers? // *Acta Psychologica*. - 1981. - Vol. 47. - P. 143-148.
60. Nagel D. C. Human factors in aviation operations // *Human Factors in Aviation* / E. L. Wiener, D. C. Nagel (eds.). - San-Diego: Academic Press. - 1988. - P. 263-303.
61. Хохлов Н.В. Управление риском / Н.В. Хохлов. - М.: ЮНИТИ, 1999. - 240 с.
62. Ваганов П.А. Экологический риск [Текст]: учеб. пособие / П. А. Ваганов, Им Манг-Сунг. - СПб.: Изд-во С. Петерб. ун-та, 1999. - 116 с.
63. Evans L., Frick M. C., Schwing R. C. Is it safer to fly or drive? A Problem in risk communication // *Risk Analysis*. - 1990. - Vol. 10. - P. 239-246.
64. Integrated Risk Information System (IRIS) : [Электронный ресурс] / U. S. Environmental Protection Agency (EPA). Режим доступа : <http://www.epa.gov/iris>.
65. Sivak M., Weintraub D. J., Frannagan M. Nonstop flying is safer than driving // *Risk Analysis*. - 1991. - Vol. 11, № 1. - P. 145-148.
66. U.S. Environmental Protection Agency. Risk assessment methodology, environmental impact statement for NESHAPC Radionuclides. - US EPA 520/1-89-005, 1989.
67. Формування інтегральної системи безпеки - запорука добробуту України/ О.Ю. Кірючкін, О.А. Лєвтерєв, В.В. Тютюнник, Р.І. Шевченко// F+S: технологии безопасности и противопожарной защиты. - 2008.- №6(36).- с.60-63
68. Коваленко Г. Д. Екологічний ризик погіршення стану навколишнього природного середовища України при збереженні існуючих

тенденцій антропогенного навантаження / Г. Д. Коваленко, Г. В. Півень, О. В. Рибалова // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення : V міжнар. наук.-практ. конф., 7-10 жовт, 2009 р. : зб. наук. ст. X. : Райдер, 2009. С. 78-85.

69. Взаимосвязь иницирующих и поражающих факторов чрезвычайных ситуаций природного характера на территории Украины / Ю.А. Абрамов, В.В. Тютюник, Р.И. Шевченко // Проблемы надзвичайних ситуацій. 2007. № 5. С. 8-17.

70. Турчик П. М. Екологічна безпека та розрахунок ризиків транспортування пестицидних препаратів на основі теорії нечітких множин [Електронний ресурс] / [Турчик П. М., Сушинська М. М., Нагорна К. В.] // Збірник наукових статей “III-го Всеукраїнського з’їзду екологів з міжнародною участю”. - Вінниця, 2011. - Том.1. - С.108-111. Режим доступу: <http://eco.com.ua/>

71. Інтегральна система безпеки регіонів України, як складових державної територіально-часової параметричної системи. Принцип комплексної оцінки небезпеки / Є.М. Грінченко, О.Ю. Кірючкін, В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко // Проблемы надзвичайних ситуацій. Харків: УЦЗУ, 2008. Вип. 7. С. 58-71.

72. Toxicity Criteria Database : [Електронний ресурс] / California Environmental Protection Agency (EPA). Режим доступу : <http://www.oehha.org/risk/chemicalDB/index.asp>.

73. Аверін Г. В. Оцінка ризику виникнення аварій на об’єктах підвищеної небезпеки / Г.В. Аверін, В.М. Москалець // Охорона праці. - 2008. - № 6. - С. 17-21.

74. IARC. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Overall evaluations of carcinogenicity: an updating of IARC monographs. - Lyon, 1987. - Vol. 1-42, suppl. 7. - 461 p.

75. Варламов Е. Н. Применение экологических показателей оценки состояния окружающей среды в системе мониторинга окружающей среды в соответствии с рекомендациями ЕЭК ООН / Е. Н. Варламов, Л. Л. Юрченко // Экологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення : IV міжнар. наук.-практ. конф., 3-5 жовт, 2008 р. : зб. наук. ст. X. : Райдер, 2008. С. 55-60.
76. Wiesen, K. Calculating the material input per service unit using the ecoinvent database [Text] / K. Wiesen, M. Saurat, M. Lettenmeier // International journal of performability engineering. - 2014. - Vol. 10, №. 4. - P. 357-366.
77. Наказ № 637 «Про затвердження Методики визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки» Міністерства праці та соціальної політики від. 04.12.2002
78. Прогнозирование экологических рисков с использованием анализа иерархов и теории нечетких множеств / Р. Риахи Ю.А. Безносик, Л.Н. Бугаева, Г.А. Статюха // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «I-й всеукраїнський з'їзд екологів», 4-7 жовтня 2006. - Вінниця. - 2006. - С. 25.
79. Abaza H., Bisset R., Sadler B. Environmental impact assessment and strategic environmental assessment: towards an integrated approach / United Nations Environment Programme, Geneva. □ 2004. 263 pp.
80. Bieda B. Stochastic Analysis in Production Process and Ecology Under Uncertainty / Berlin, New York: Springer, 2012. 189 pp.
81. Pastorok R. et al. Role of Ecological Modeling in Risk Assessment // Human and Ecological Risk Assessment: Vol. 9, No. 4, 2003. Pp. 939-972.
82. Wernick, I. K. Material Flows Accounts-A Tool for Making Environmental Policy, WRI Report [Text] / I. K. Wernick, F. H. Irwin. - World Resource Institute: Washington, DC, USA, 2005. -246 p.

83. Stern R. M. Assessing environmental carcinogens: review of an approach adopted by the expert groups of the World Health Organization Regional office for Europe // *Ann. Ist. Super. Sanit.* - 1991. - Vol. 27, № 4. - P. 559-573.
84. Addressing the New Challenges for Risk Assessment / SCENIHR, SCCS, SCHER. European Commission: Directorate D: Public Health Systems and Products. 2012. 154 pp.
85. Качинський А. Б. Методологічні основи ризику в медико-екологічних дослідженнях та його значення для екологічної безпеки України / А. Б. Качинський, А. М. Сердюк // *Лікарська справа.* - 1995. - № 3-4. - С. 5-15.
86. Зеркалов Д. В. та ін. Наукові основи техногенно-екологічної безпеки. Електронний ресурс : Монографія / Д. В. Зеркалов, М. Д. Кацман, М. І. Адаменко, О. Г. Радкевич, Т. В. Пічкур. За редакцією Д. В. Зеркалова - Електрон. дані. - К. : Основа, 2014.
87. Пирожков С. І. Концепція ризику та екологічна безпека // *Довкілля та здоров'я.* - 1996. - № 1. - С. 12-15.
88. Aramă M. et al. Advantages of new ecological impact and risk assessment models // *U. P. B. Sci. Bull. Series D*, Vol. 72, Iss.3, 2010. Pp. 213–222.
89. EPA/630/R-95/002F. Guidelines for Ecological Risk Assessment. [Electronic resource] - Washington, DC, 1998. - Access: <http://www.epa.gov/superfund/programs/nrd/era.htm>
90. Дрозд І.П., Охота А.С. До обґрунтування прийнятних рівнів ризику життєдіяльності в Україні // *Матеріали науковопрактичної конференції «Проблеми прогнозування та попередження надзвичайних ситуацій природного, природотехногенного та техногенного походження».* Ялта, 2009. С. 20-23.
91. Козуля, Т. В. Теоретико-практичні основи методології комплексної оцінки екологічності територіальних і об'єктових систем [Текст] /

- Т. В. Козуля, Н. В. Шаронова, Д. І. Ємельянова, М.М. Козуля // Проблеми інформаційних технологій. - 2012. - № 01 (011).- С. 37-45.
92. Харламова, Е. В. Теоретические основы управления экологической безопасностью техногенно нагруженного региона [Текст] / Е. В. Харламова, М. С. Малеваный, Л. Д. Пляцук // Екологічна безпека - 2012. - № 1 (13). - С. 9-12.
93. A Risk Management Standard / AIRMIC, ALARM, IRM: 2002. 14 p.
94. Статюха, Г. О. Системний підхід до оцінювання ризиків при проектуванні промислових об'єктів [Текст] / Г. О. Статюха, Т. В. Бойко, А. О. Абрамова // Східно-Європейський журнал передових технологій. - 2013. - Т. 2, 14 (56). - С. 8-12.
95. Системи підтримки прийняття рішень / [О.С. Пушкар, В.М. Гіковатий, О.С. Євсєєв, Л.В. Потрашкова]. - Х. : Инжек, 2006. - 304 с.
96. Азаренкова Г. М. Аналіз моделювання і управління ризиком (в схемах та прикладах) : навч. посіб. / Г. М. Азаренкова. - Львів : Новий світ-2000, 2011. - 240 с.
97. Benson S. Mainstreaming Disaster Risk Reduction into Development: Challenges and Experience in the Philippines /Geneva, Provention Consortium. 2009. 60 pp.
98. Ayyub B.M. Risk Analysis in Engineering and Economics. - Boca Raton: Chapman & Hall/CRC Press, 2003.
99. N.H. Rao. Environmental management: Relevance and implications for management of defence installations for sustainability // Current Science, Vol. 88, No. 11, June 2005. - P. 1753-1758.
100. Моніторинг надзвичайних ситуацій / Ю.О. Абрамов, Є.М. Грінченко, О.Ю. Кірючкін [та ін.] Харків: АЦЗУ, 2005. 530 с.
101. Лисиченко, Г. В. Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління [Текст] / Г. В. Лисиченко, Ю. Л. Забулонов, Г. А. Хміль - К.: Наук. думка, 2008. - 543 с.

102. Ятчишин Ю.Й., Мальований М.С. Екологічні проблеми переробки полімінеральних руд на теренах Західної України// Екологічний вісник.- 2004.-№5(27).-с.29-30.
103. Харламова, Е. В. Теоретические основы управления экологической безопасностью техногенно нагруженного региона [Текст] / Е. В. Харламова, М. С. Малеваный, Л. Д. Пляцук // Екологічна безпека - 2012. - № 1 (13). - С. 9-12.
104. Мальований М. С. Аналіз та систематизація існуючих методів оцінювання ступеня екологічної небезпеки / Мальований М. С., Шмандій В. М., Харламова О. В., Челядин Л. І., Сакалова Г. В. // Науковий журнал «Екологічна безпека».- 2013.- випуск 1/2013 (15). - с. 37-44.
105. Яковлев В. В. Экологическая безопасность, оценка риска / Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, СПб.: 2007. 399 с.
106. Цибуля С.Д. Наукові основи підвищення техногенної безпеки експлуатації технічних споруд небезпечних виробництв // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. - 2005. - № 6. - С. 72-81.
107. Челядин Л.І. Наукові засади ресурсозберігаючих технологій та устаткування підвищення екологічної безпеки промислових об'єктів Прикарпаття: автореф. дис. докт.техн.наук: 21.06.01. - Івано-Франківськ, 2011. - 36 с.
108. Шмандій В.М. Управління екологічною безпекою на регіональному рівні (теоретичні та практичні аспекти): автореф. дис. докт.техн.наук: 21.06.01. - Харків, 2003. - 36 с.
109. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи і фундаменти: Підручн. / М.Л. Зоценко та ін. – Полтава: ПНТУ, 2003. – 446 с.
110. Инженерная геология в примерах и задачах: Учебн. пособие/Сост. М.И. Чугай, А.В. Чебанов и др. – К.: УМКО ВО, 1990.

111. Швецов Г. И. Инженерная геология, механика грунтов, основания и фундаменты: Учебник – М.: Высш. школа, 1987.
112. ДСТУ Б В.2.1-22:2009. Метод лабораторного визначення властивостей просідання // К.: Мінрегіонбуд, 2010
113. ДСТУ Б В.2.1-2-96 (ГОСТ 25100-95). Грунти. Класифікація.
114. ДСТУ Б В.2.1-5-96 Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Методи статистичної обробки результатів випробувань.
115. Инженерная геология: Учеб. для строит. спец. вузов / В.П. Ананьев, А.Д. Потапов. – М.: Высш. школа, 2005. – 575 с.
116. Швецов Г. И. Инженерная геология, механика грунтов, основания и фундаменты: Учебн. – М.: Высш. школа, 1987.
117. Грищенко М. М. Розрахунок осідань та деформацій земної поверхні від впливу просідаючих ґрунтів на підроблюваних територіях / М. М. Грищенко // Проблеми гірського тиску. - 2011. - Вип. 19. - С. 6-26.
118. ДБН В.1.1-5-2000 Захист від небезпечних геологічних процесів. будинки і споруди на підроблюваних територіях і просідаючих ґрунтах.
119. Дорошенко Я.В. Механіка ґрунтів: Лабораторний практикум. – Івано-Франківськ: Факел, 2008 – 46 с.
120. ДБН В.2.1-10-2009 Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009.
121. Сорочан Е.А. Фундаменти промышленных зданий. – М.: Стройиздат, 2006. – 303 с.
122. Механіка ґрунтів. Основи та фундаменти: Підручник / В.Б. Швець, І.П. Бойко, Ю.Л. Винников, та ін. – Дніпропетровськ: «Пороги», 2014. – 231 с.
123. Про систему керування цілісністю магістральних трубопроводів. Поняття «ризик»аналізу / В.В. Розгонюк, А.А. Рудник, В. Ориняк, С.Ф. Білик // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2004. – №3 (12). – С. 120–125.

124. Ризик. Основні поняття / С.М. Орел, М.С. Мальований. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2008. – 88 с.
125. Семчук Я. М. Підвищення рівня екологічної безпеки територій на основі геоекологічного районування / Я. М. Семчук // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. - 2014. - № 2. - С. 164-165.
126. Тарасов Б.Г., Гаркушин П.К., Глоба В.М. Комплексное освоение калийных месторождений Предкарпатья. – Львов: Выща шк., 1987. – 128 с.
127. Теоретические основы и методика гидрогеологического прогноза загрязнения подземных вод. – М.: Наука, 1990. – 191 с.
128. Шестопалов В.М. Водообмен в гидрогеологических структурах Украины. Методы изучения водообмена. – К. Наукова думка, 1988.
129. Шикуча М.К., Гнатенко О.Ф., Петренко Л.Р., Капштик М.В. Охорона ґрунтів: Підручник/ 2-ге вид., випр. - К.: Т-во «Знання», КОО, 2004. – 398 с.
130. Коринь С.С., Прогнозирование расслопроявлений в калийных рудниках Прикарпатья / Коринь С.С, Семчук Я.М. и др. // Советская геология. № 7.
131. Лукаш І.О., Семчук Я.М. Вплив відходів калійних підприємств на гідрохімічний режим ґрунтових вод - Хімічна промисловість України - 1995. – №2- с.81-85
132. Кобзарь, А.И. Прикладная математическая статистика: Для инженеров и научных работников. –М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. –816 с.
133. Ansari A.R., Bradley R.A. Rank - tests for dispersions // AMS.1960. V.31. No4. – P .1174 - 1189.
134. Mood A. On the asymptotic efficiency of c ertain nonparametric tests // AMS. – 1954. – V.25. – P. 514 - 522.
135. Siegel S., Tukey J.W. A nonparametric sum of rank procedure for rela - tive spread in unpaired samples // JASA. – 1960. – V.55, No291. – P. 429 - 445.

136. Capon J. Asymptotic efficiency of certain locally most powerful rank tests // AMS. – 1961. – V.32, No1. – P. 88 - 100. 6.
137. Klotz J. Nonparametric tests for scale // AMS. – 1962. – V.33. – P. 498 - 512.
138. Мустафаєв А.А. Деформації засоленних ґрунтів в основаних сооруже́нь/ А.А. Мустафаєв. - М.:Стройиздат, 1985. - 280 с.
139. Садовенко І. А. Експериментальні дослідження суфозионних і ерозионних деформацій лесових ґрунтів/ Садовенко І. А., Деревягіна Н. І.// Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. –2013. – Випуск 4 (81).- с. 129-134.
140. Владимиров В.С. Уравнения математической физики./ Учебник для физич. и механико-математ. спец. вузов. — 4-е изд., испр. и доп. — М.: Наука, 1981. — 512 с.: ил.
141. Гаркушин П.К. Техногенез і охорона навколишнього середовища при розробці калійних родовищ Передкарпаття – Екологія довкілля і безпека життєдіяльності – 2001- №2- с.48-55
142. Іванов Є. Ландшафти гірничопромислових територій / Є. Іванов. – Львів : ВЦ ЛНУ ім. І.Франка, 2007. – 332 с.
143. Прогнозування деформацій земної поверхні над відпрацьованими шахтними полями рудника «Ново-Голинь» за результатами геофізичних досліджень 1995-2004 рр.: звіт ІФНТУНГ. – Івано-Франківськ, 2005. – 94 с.
144. Рабинович В.А. Краткий химический справочник. Справ. изд./ под ред. А.А. Потехина и А.И. Ефимова // 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1991 – 432 с.
145. Справочник химика / под ред. Б.П. Никольского. – Л. : Изд-во “Химия”, 1964. – Т. II. – 1168
146. Большой химический справочник/ А.И. Волков, И.М. Жарский, — Мн,: Современная школа, 2005. — 608 с.

147. Вітлінський В.В.. Теорія інтелектуальних систем прийняття рішень: навч.посіб. /Вітлінський В.В., Скіцько В.І // К.: КНЕУ, 2014. – 506с.
148. Гнатієнко Г.М., Дробот О.В. Алгоритм побудови групового ранжування об'єктів на множині експертних ранжувань // Вісник Київського університету. Серія: Фізико-математичні науки. Вип.№3, 2002. – С. 193–198.
149. Кицмур І. Оцінка впливу солевідвалів та хвостостосховищ Калуш-Голинського родовища калійних солей на геохімічні характеристики річкових вод / І. Кицмур, В. Дяків // Вісник Львівського університету. Серія : Геологічна. - 2013. - Вип. 27. - С. 69-80.
150. Hall A.D., A methodology for systems engineering, Van Nostrand, Princeton, N.J., 1962.
151. Sanoff H., Techniques of evaluation for designers, Design Res. Lab. Monogr., North Carolina State Univ., Raleigh, 1968.
152. Вентцель Е. С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология. — М.: Наука, 1980.
153. Дюран В., Сделп П. Кластерный анализ. — М.: Статистика, 1977
154. Таха Х. Введение в исследование операций: В 2 кн. / Пер. с англ. — М.: Мир, 1985.

ДОДАТКИ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник Управління

з питань надзвичайних ситуацій та у
справах захисту населення від наслідків
Чорнобильської катастрофи

Івано-Франківської ОДА

Стебницький В. М.

«19» 12 2015 р.

АКТ**впровадження методики прогнозування рівня просідання засолених
грунтів у районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств****Прикарпаття**

У Івано-Франківському обласному управлінні з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи Івано-Франківської ОДА впроваджено розроблену у Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Методику прогнозування рівня просідання засолених ґрунтів у районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття, яка дає змогу експрес-оцінки ризиків виникнення позаштатних ситуацій на тривало експлуатованих об'єктах цивільної забудови

Розробники:

науковий керівник,

д.т.н., проф.

Здобувач

 Я. М. Семчук Л. Я. Побережна

„ЗАТВЕРДЖУЮ”

Ректор ІФНТУНГ

доктор технічних наук, професор

Є. І. Крижанівський

_____ 200__ р.

АКТ


про впровадження методики прогнозування рівня просідання засолених ґрунтів у районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття

В Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу розроблено методики прогнозування рівня просідання засолених ґрунтів у районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття, а також запропоновано адаптовані для об'єктів промислового та цивільного будівництва алгоритми та загальні схеми оцінки потенційних екологічних ризиків, систему ранжування техногенно навантажених територій у районах ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття за ризиками для населення, спричиненими просіданням засолених ґрунтів.

Відповідні матеріали передано на кафедри будівельної механіки та теоретичних основ геології та екології для використання у курсовому та дипломному проектуванні.

Зав. каф. будівельної механіки, д. т. н.,

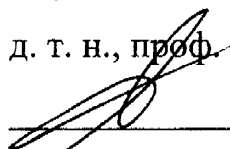
проф.

 В.І. Артим

Розробники:

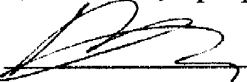
Науковий консультант

д. т. н., проф.

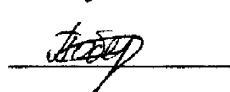
 Я.М. Семчук

Зав. каф. основ геології та екології,

д. геол. н., проф.

 В.Р. Хомин

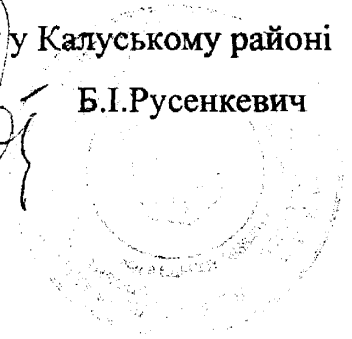
Здобувач

 Л. Я. Побережна

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Г. в. о. начальника управління
Держгеокадастру у Калузькому районі

Б.І.Русенкевич

**АКТ****впровадження методики прогнозування рівня просідання засолених
грунтів у районах розробки родовищ калійних солей**

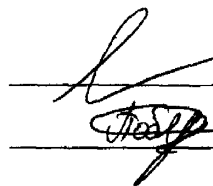
У Калузькому районному управлінні архітектури впроваджено розроблену у Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Методику прогнозування рівня просідання засолених ґрунтів у районах розробки родовищ калійних солей, яка дає змогу експрес-оцінки рівня потенційних ризиків просідання при спорудженні об'єктів промислового та цивільного будівництва.

Розробники:

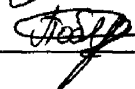
науковий керівник,

д.т.н., проф.

Здобувач



Я. М. Семчук



Л. Я. Побережна

