

Міністерство освіти і науки

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Григорук директор
Секретар
Голова
С.С. Курбанов 15.04.2016р



Д.Ф. Федерашин
Батрій Сергій Михайлович

На правах рукопису

УДК 550.83

**ГЕОФІЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ
ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА В
МЕЖАХ РОДОВИЩ КАЛІЙНОЇ СОЛІ
(на прикладі Калуш-Голинського
родовища)**

Спеціальність 04.00.22 - Геофізика

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата геологічних наук

Науковий керівник
Кузьменко Едуард Дмитрович
доктор геолого-мінералогічних наук,
професор

Івано-Франківськ – 2016

d580

Зміст

Зміст.....	2
Вступ.....	4
Розділ 1. Проблеми геофізичного моніторингу.....	11
1.1. Загальна характеристика соляних родовищ	11
1.2. Характеристика впливів розробки калійних родовищ на геологічне середовище (наслідки після розробки: провали, засолення, осідання по всіх родовищах)	14
1.3. Стан і проблеми застосування геофізичних методів при моніторингу калійних родовищ (геофізичний моніторинг в світі та Україні)	18
1.4. Висновки до розділу.....	24
Розділ 2. Оцінка стану геологічного середовища Калуш-Голинського родовища калійної солі.....	26
2.1. Геологічна та тектонічна характеристика.....	26
2.2. Гідрогеологічні умови.....	30
2.3. Аналіз наслідків впливу розробки Калуського гірничопромислового комплексу на геологічне середовище.....	33
2.4. Висновки до розділу.....	40
Розділ 3. Оцінка ефетивності застосування геофізичних методів для моніторингу геологічного середовища	42
3.1. Застосування методу ПЕМПЗ та фізико-геологічні моделі.....	42
3.2. Застосування методу гравіметрії та фізико-геологічні моделі.....	46
3.3. Застосування методу вертикального електричного зондування та фізико-геологічні моделі.....	51
3.4. Висновки до розділу.....	69
Розділ 4. Застосування геофізичних методів для моніторингу та прогнозування провальньо-просадкових проявів земної поверхні.....	70
4.1. Дослідження осідання земної поверхні методом ПЕМПЗ.....	70

4.2. Дослідження провальньо-просадкових процесів методом гравіметрії.....	84
4.3. Визначення зон розмиву гірських порід та прогнозування провалів та просідань земної поверхні електричними методами.....	92
4.4. Комплексний підхід до прогнозування провальньо-просадкових проявів геофізичними методами.....	102
4.5. Висновки до розділу.....	116
Розділ 5. Геофізичний моніторинг та оцінка забруднення підземних вод Калуш-Голинського гірничопромислового району.....	118
5.1. Наукові засади визначення мінералізації підземних вод методами геофізики. Зв'язок електричного опору та мінералізації.....	118
5.2. Інформативність карт засолення, побудованих за даними методу ЗС.....	127
5.3. Інформативність карт засолення за даними методу ВЕЗ.	129
5.4. Висновки до розділу.....	138
Висновки.....	140
Література	142
Додаток А.....	156
Додаток Б.....	158
Додаток В.....	160
Додаток Д.....	162

Вступ

Актуальність теми. Останніми роками в межах Калуш-Голинського та Стебницького родовищ калійної солі на Передкарпатті спостерігається тенденція до активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів, у тому числі: зсувів, просідання поверхні землі, карстопровальних явищ. Карстові провали утворюються як на території шахтних полів, так і в прибортових частинах Домбровського кар'єру.

Згідно Національних доповідей про стан техногенної та природної безпеки в Україні за останні роки внаслідок надзвичайних ситуацій (НС) геологічного характеру Україна зазнає багатомільйонних збитків [1, 2, 3, 4].

Зазначені НС в основному пов'язані з розвитком екзогенних геологічних процесів, у тому числі карстових. У [3] читаємо: «Розвиток техногенного карсту в Івано-Франківській області (в районі видобутку Калузького родовища сольових корисних копалин) призвів до виникнення НС регіонального рівня, що спричинило утворення карстових і провальних воронок об'ємом 7.6 млн. м³. У зоні розвитку розташовано близько 1300 житлових будинків п'яти населених пунктів та 23 промислові споруди». У [4], крім Калуш-Голинського родовища (саме так правильно), зазначається карстопровальна небезпека в районі Стебницького родовища калійної солі. Тому дослідження карстопровальних процесів та їх прогнозування є актуальною задачею сьогодення.

Пошукові та розвідувальні роботи на соляних родовищах Передкарпаття супроводжувались геофізичними дослідженнями. Це відноситься до всіх без винятку родовищ солі, що були задіяні до експлуатації: Солотвинське родовище кам'яної солі (Закарпатська обл.), Стебницьке родовище калійної солі (Львівська обл.), Калуш-Голинське родовище кам'яної та калійної солі (Івано-Франківська обл.).

Найбільш ефективним, з геологічної точки зору, засобом контролю екзогенних геологічних процесів є геофізичні дослідження. Прогноз розвитку

зсувів, просідання поверхні землі, карстопровальних явищ геофізичними методами дає можливість швидко та оперативно передбачити аварійні ситуації та вжити заходи щодо їх запобігання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалась у відповідності з науковими темами «Еколого-геофізичні дослідження в західному регіоні України з метою простеження розвитку природного і техногенного карсту та супутніх процесів» (№ ДР 0199U001186), «Прогнозування деформацій земної поверхні над відпрацьованими шахтними полями рудника «Ново-Голинь» за результатами геофізичних досліджень 1995 – 2004 рр.» (№ ДР 0104U009628), «Проведення моніторингових спостережень над шахтними полями Калуш-Голинського родовища калійних солей», (№ ДР 0108U007562), «Продовження моніторингових спостережень над шахтними полями Калуш-Голинського родовища калійних солей у 2009 році» (№ ДР 0109U004372).

Мета і завдання дослідження. Метою досліджень є розробка наукового підґрунтя геофізичного моніторингу Калуш-Голинського родовища калійної солі в Передкарпатті та його реалізація для окреслення негативних наслідків експлуатації і прогнозування надзвичайних ситуацій геологічного спрямування.

Для досягнення цієї мети поставлені та розв'язані наступні задачі.

1. Грунтовний аналіз літературних і фондкових матеріалів щодо надзвичайних ситуацій техногенного характеру, спричинених унаслідок видобутку калійної і кам'яної солі, як у світі в цілому, так і в Україні зокрема; огляд та зазначення результативності геофізичних методів дослідження розвитку негативних процесів (карст, підтоплення, засолення, провали).
2. Обґрунтування можливості використання геофізичних методів здійснення геолого-екологічного моніторингу для конкретних умов Калуш-Голинського родовища шляхом вирішення прямих геофізичних задач як на

стадії попереднього прогнозування, так і детального окреслення причин розвитку надзвичайних ситуацій.

3. Розробка та удосконалення існуючих методик обробки та інтерпретації геофізичної інформації для методів природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ), вертикального електричного зондування (ВЕЗ), зондування становленням електромагнітного поля (ЗС), гравіметрії з урахуванням конкретних геологічних умов та окреслених геологічних задач.

Створення геолого-геофізичних інтерпретаційних моделей покладів солі Калуш-Голинського родовища, які передбачають встановлення динаміки осідання та провальньо-просадкової небезпеки, а також визначення забруднення ґрунтових вод водоносного горизонту із прогнозуванням зазначених процесів у просторі та часі.

Об'єктом дослідження є небезпечні геологічні процеси.

Предметом дослідження є осідання земної поверхні, провальньо-просадкові явища і забруднення питного водоносного горизонту.

Методи дослідження - геофізичні.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Уперше виконано оцінку можливості застосування геофізичних методів для здійснення моніторингу геологічного середовища для Калуш-Голинського родовища калійної солі на основі створених автором фізико-геологічних моделей та відповідних геофізичних аномалій, що відповідають зонам розвитку небезпечних геологічних процесів (осідання земної поверхні, карстоутворення, провали, забруднення підземних вод).

2. Уперше сформовані класифікаційні характеристики аномалій ПЕМПЗ у відповідності до розвитку деформаційних процесів у масивах гірських порід, спричинених наявністю підземних видобувних камер, і визначені критерії якісної інтерпретації даних польових вимірювань, що відповідають прогнозним оцінкам щодо розвитку осідань та провалів на поверхні землі.

3. Удосконалено класифікацію геогустинних аномалій, підпорядкованих геологічній будові, наявності видобувних пустот та розвитку соляного карсту. Зазначену класифікацію використано при побудові інтерпретаційних моделей за даними режимних гравіметричних спостережень із відображенням зон розуцільнення гірських порід і розвитку їх у часі.

4. Дістала подальший розвиток методологія комплексної інтерпретації електроопорових та індукційних зондувань, яка полягає в ідентифікації спільних інтерпретаційних елементів (шарів розрізу) та узгодженні їх електричних опорів, що дозволило виконати побудову узагальненого геоелектричного розрізу для окремих шахтних полів із коригуванням фаціального складу літологічних різновидів та визначенням ступеня розмиву соляного дзеркала як передвісника провалів. Крім того, запропонована та розрахована для просторової імовірнісної оцінки розвитку карсту функція комплексного показника даних електрометричних методів.

5. Дістав подальший розвиток метод оцінки мінералізації ґрунтових вод за результатами вимірів електричного опору, який полягає у встановленні кореляційних зв'язків між геофізичними характеристиками, притаманними водоносному горизонту, та мінералізацію ґрунтових вод, що в результаті дозволило за даними площинних геофізичних досліджень конкретизувати джерела та окреслити площу та ступінь засолення, встановити напрям руху фронту засолення та його швидкість для розв'язку кінцевої задачі – прогнозу засолення водоносного горизонту та річкового басейну.

Практичне значення одержаних результатів. Застосування одержаних результатів дає можливість у стислі терміни дослідити ділянки, що пов'язані з можливими осіданнями земної поверхні, провальньо-просадковими небезпечними процесами та можливими забрудненнями території, надати вихідні дані для подальшого планування та прийняття управлінських дій. Надійний прогноз дозволяє передбачити заходи по:

1) переносу важливих промислових об'єктів (будівель, автомагістралей, залізниць, водоводів, продуктопроводів, ліній електропередач); 2) відселенню та переносу житлових об'єктів; 3) зменшенню екологічного навантаження на водоносний горизонт, що є єдиним питним горизонтом для м. Калуш.

Матеріали досліджень впроваджені та апробовані в ДГХП «Полімінерал», ДНДІ «Галургія» та ДП «Калійний завод», що підтверджується відповідними актами.

Особистий внесок здобувача.

Автор приймав участь у виконанні польових робіт на відпрацьованих шахтних полях Калуського гірничопромислового комплексу, під час яких одержано первинні матеріали для подальшої інтерпретації геолого-геофізичних даних. Також використано фондові матеріали ДГП "Укргеофізика" (Західно-Української геофізичної розвідувальної експедиції) та ДП «Спецгеологорозвідка».

Основні теоретичні положення та методичні результати, наведені в дисертаційній роботі, отримано здобувачем особисто і достатньою мірою висвітлені в наукових працях (у т.ч. фахових).

Основні результати досліджень відображені у публікаціях [5 - 26]. Роботи [5 - 8, 11 - 26] опубліковані у співавторстві. Автором в роботах [5, 6, 17 - 19, 21] здійснено моделювання та оцінку ефективності застосування геофізичних методів для моніторингу на відпрацьованих шахтних полях родовищ кам'яної та калійної солі. Результати обробки автором даних комплексного геофізичного моніторингу відпрацьованих шахтних полів Калуш-Голинського родовища наведені в працях [12, 14, 16, 17, 20, 22, 23], зокрема, автором доведено, що в якості першочергового методу досліджень слід розглядати метод ПЕМПЗ [25]. В роботах [11, 19] автором побудовано узагальнений електричний розріз Калуш-Голинського родовища з урахуванням розвитку карстових процесів за даними ВЕЗ і ЗС. У працях [7, 8, 10, 14, 16, 17, 20] автору належать проведення комплексної інтерпретації

геолого-геофізичних даних та узгодження виявлених аномалій і провальньо-просадкових процесів на кількісному рівні. У роботі [12] автором виконано класифікацію геогустинних аномалій та встановлено їх зв'язок із геологічною будовою. Визначення зон забруднення калійними солями представлено у роботі [13], де автору належить інтерпретація та побудова геоелектричних розрізів та карт забруднення території. У роботі [15] автором запропоновано методику розрахунку кількісних характеристик просідання земної поверхні на підставі аналізу розуцільнення гірських порід, зафіксованих в режимі моніторингу методом гравіметрії.

Апробація результатів дисертації. Основні результати наукових досліджень неодноразово доповідалися на ряді міжнародних та Всеукраїнських наукових з'їздах, конференціях, симпозіумах, нарадах, зокрема: V Міжнародній науковій конференції “Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища”, (м. Київ, 7-9 жовтня 2004 р), Всеукраїнській науковій конференції “Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища”, (м. Київ, 21-24 вересня 2006 р), матеріали наради “Можливості супутникових технологій у сприянні вирішення проблем Львівщини”, (м. Львів, 11 червня 2009 р), IX Міжнародній науковій конференції “Моніторинг геологічних процесів”, (м. Київ, 14-17 жовтня 2009 р), Міжнародна наукова конференція “Геофізичні дослідження та моделювання фізичних полів Землі”, (м. Львів - Чинадієво, 16-18 вересня 2010 р та 20-22 вересня 2012 р), Міжнародній науково-практичній конференції «Нафтогазова геофізика – Інноваційні технології» (м. Івано-Франківськ 25-28 квітня 2011 р), XII, XIV Міжнародній конференції «Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти» (м. Київ, 13-16 травня 2013 р та 11-14 травня 2015 р), XVIII Міжнародному науково-технічному симпозіумі «Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS і GIS-технології», (м. Алушта 10-15 вересня 2013 р).

Публікації. Основні положення, викладені у дисертації, представлені у вигляді 22 наукових публікацій, у тому числі 11 статей у фахових виданнях,

рекомендованих ВАК України (одна в закордонному виданні яке індексується РИНЦ Science Index). 11 тез доповідей, з яких 2 реферуються БД SCOPUS.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна роботи складається із вступу, 5 розділів, додатків. Повний обсяг дисертації – 163 сторінок, з них 4 додатки на 8 сторінках. Дисертація містить 39 рисунків, 23 таблиці та посилання на 120 літературних першоджерел на 14 сторінках.

Розділ 1. Проблеми геофізичного моніторингу

1.1. Загальна характеристика соляних родовищ

Світові ресурси (включаючи запаси) калійних солей в кінці ХХ ст. (1998) складали в перерахунку на K_2O 250 млрд т. Загальні запаси калійних солей у світі оцінюються в 24,2 млрд т, підтверджені — в 7,3 млрд т. Велика їх частина зосереджена в Канаді, Росії, Німеччині, Білорусі, Україні, США, а також у Китаї. Основна кількість запасів калійних солей, як загальних, так і підтверджених, припадає на родовища Канади, Росії, Німеччини, Білорусі та України [27]. Наведемо коротку характеристику найбільшій соляних родовищ світу.

За запасами калійних солей Канада займає перше місце у світі. Загальні запаси солей до глибини 1000 м перевищують 6,4 млрд т. Понад 90 % розвіданих запасів калійних солей зосереджено в межах Саскачеванського калійного басейну в провінції Саскачеван. Менше практичне значення має калійний басейн Монктон на крайньому південному сході країни (провінція Нью-Брансуїк). У Саскачеванському басейні поклади калійних солей приурочені до верхньої частини середньодевонської соленосної формації Прері Евапорайт. Головний калійний мінерал — сильвін, другорядний — карналіт. Горизонти, що експлуатуються, мають потужність біля 25 м і залягають на глибині понад 1000 м. Середній вміст K_2O — 23 %. Всі родовища розробляються шахтним способом, за винятком Белл-Плейн, де видобуток здійснюється методом підземного розчинення. У басейні Монктон калійні солі залягають у товщі середнього та пізньокам'яновугільного віку і відпрацьовуються в інтервалі глибин 600—1000 м. Головний породотвірний мінерал — сильвін. Середній вміст K_2O в рудах — 23-28 %. Родовища кам'яної солі приурочені до евапоритових товщ девону (Альберта і Півд. Манітоба) і верхнього силуру (Онтаріо), де потужність пласта місцями перевищує 200 м [28].

Найбільше кількість калійних солей в Росії (приблизно 95% підтверджених запасів) припадає на одне родовище — Верхньокамський соленосний басейн у Пермському краї. Головні калійні мінерали — сильвін і карналіт. Калійні солі відпрацьовуються на глибинах 250–350 м шахтним способом. Середній вміст K_2O в рудах істотно нижче, ніж в канадських родовищах, біля 17% [28].

Поклади калійних солей мають протяжність 136 км, ширину до 40 км, площа 3,5 тис. км². Промислові запаси 3,8 млрд. тон, перспективні - 15,7 млрд. тон.

Видобуток солі ведеться тут понад 500 років. Рудники зосереджені в районі Березняків та Солікамська. Система розробки камерна. Розробка ускладнена обводненістю надсольових порід, складною внутрішньою тектонікою [63].

За запасами калійних солей Німеччина займає третє місце серед країн світу (після Канади та Росії) і перше місце в Європі. В перерахунку на K_2O 720 млн. т. розвіданих руд знаходяться в межах пізньопермських калійних басейнів. Калійні солі приурочені до відкладів цехштейну (верхня перм) в Ганноверському, Верра-Фульда, Магдебург-Гальберштадтському та ін. басейнах. Соленосні товщі містять також поклади кам'яної солі. Найбільші поклади калійних солей (до 500 м) встановлені в Ганноверському басейні, що складає єдине ціле зі Штрасфуртським басейном. Калійні і кам'яні солі залягають також серед відкладів Середньоевропейського цехштейнового басейну (Верра, Південий Гарц, Ціліц і Кальфьорде). Залягання пластів пологохвилясте, потужність калійних пластів 2-14 м, іноді до 50 м [28].

За запасами калійних солей Білорусь займає перші позиції в Європі. Найбільші та детально розвідані родовища калійних солей Старобінське та Петриківське, які приурочені до Прип'ятського калієносного басейну.

Їх загальні запаси становлять 6903,5 млн тон сирової солі, або 1216,5 млн тон оксиду калію (2000 р). На Старобінському родовищі експлуатація проводиться чотирма підземними рудниками виробничого об'єднання

«Білоруськалій». Глибина залягання покрівлі горизонтів від 350 (перший горизонт) до 950 м (четвертий горизонт). Вміст хлористого калію в сильвініті другого горизонту звичайний 25-33 % при кількості хлористого магнію 0,14 % і незначному вмісті нерозчинного залишку. Третій горизонт менш багатий хлористим калієм (20-22 %), більш забруднений глинистим матеріалом, у зв'язку з чим середній вміст нерозчинного залишку становить 6,5 %. Середній вміст хлористого магнію по горизонту 0,6 %.

На Петриківському родовищі промислове значення має лише один пласт сильвініт-карналіт-галітового складу потужністю 4.8-7.5 м, що залягає на глибині від 500 до 1400 м [28].

В Україні калійні родовища пов'язані з неогеновою галогенною формацією Передкарпатського краєвого прогину. Прикарпатський калієносний басейн представлений сульфатними породами калійно-магнієвих солей. Відомо понад 20 родовищ. Найбільші з них Стебниківське і Калуш-Голинське родовища калійних солей, які представлені багатопластовими покладами, що зім'яті в складні складки, порушені численними скидами та насувами. Середній вміст K_2O в рудах 10-11 %, нерозчинного залишку до 30 %. Балансові запаси категорії А+В+С1 в перерахунку на K_2O становлять близько 250 млн т. Детальна характеристика Калуш-Голинського родовища буде представлена в розділі 2

На території США відомо три великих соленосних басейни: Делаверський, Парадокс (штати Юта, Колорадо) і Уїллстонський на кордоні з Канадою (штати Монтана, Північна і Південна Дакота). Основні запаси калійних солей зосереджені на Карлсбадському родовищі Делаверського басейну.

В Китаї кам'яну сіль добувають випаровуванням з морської води, соляних озер і підземних розсолів, а також на соляних шахтах. Промисли солі зосереджені вздовж морського берега від гирла р. Ялуцзян до о. Хайнань на відстані 11 тис. км. Центри видобутку зосереджені в районі м. Далянь і м. Таньцзінь, на узбережжі Бохайвань і Ляодунської затоки, в провінції

Хебей і в районах Дагу, Таньгу, Дацінхе, Хуанхуа, в провінціях Шаньдун, Цзянсу, по берегах затоки Ханчжоувань, в пров. Гуандун і в Гуансі-Чжуанському автономному районі. З соляних озер сіль добувають в Цайдамській улоговині (провінція Цінхай), з соляних шахт — в провінції Цзянсі, в Сіньцзян-Уйгурському автономному районі [28].

1.2. Характеристика впливів розробки калійних родовищ на геологічне середовище (наслідки після розробки: провали, засолення, осідання по всіх родовищах)

Найгострішою проблемою калійних рудників у всьому світі є їх затоплення, осідання земної поверхні та просадко-провальні явища над відпрацьованими гірничими масивами, а також забруднення території калійними відходами. Наведемо короткий опис впливу на геологічне середовище калійних родовищ світу. Так, у Саскачевані з сімнадцяти стволів калійних шахт, пущених в експлуатацію, п'ять мали великі притоки води або були повністю затоплені при їхньому проходженні. Шість з дев'яти рудників у провінції зіткнулися з великими притоками води на різних ділянках шахтних полів [29]. В районі калійних покладів Esterhazy, в середині грудня 2006 р зафіксовані перші ознаки припливу розсолів. За результатами досліджень в третій декаді січня 2007 р. приплив становив від 20 до 25 тис. галонів (близько 76-95 літрів) в хвилину. Іншою проблемою калійних рудників є техногенна сейсмічність. До початку ведення гірничих робіт, а також протягом перших 14 років їх ведення сейсмічна лабораторія Служби геологічної зйомки Канади (GSC) не фіксували, наприклад, в районі Esterhazy наявності сейсмічної активності. Перший землетрус силою 3,0 бала за шкалою Ріхтера стався в районі шахти К-1 7 листопада 1976 року. Епіцентр знаходився над пройденими виробками, при огляді яких не було виявлено ніяких пошкоджень. Починаючи з 1976 року, поблизу обох діючих копалень (К-1 і К-2) відбулося кілька десятків землетрусів з максимальною силою 3,7 бала [36].

В результаті розробки Верхньокамського соленосного басейну підземним способом у його надрах утворилися сотні мільйонів кубічних метрів пустот. У солевідвали висотою до 100 м накопичилося понад 300 млн. тон твердих відходів, а в шламосховищах калійних підприємств зосереджені сотні тисяч кубометрів рідких відходів. На ділянках складування твердих і рідких солевідвалів спостерігається засолення ґрунтів, підземних і поверхневих вод. На кількох шахтних полях фіксувалися прискорені осідання земної поверхні. У 1986 р в результаті порушення цілісності водозахисної товщі був затоплений рудник Третього Березниківського калійного рудоуправління. 19 жовтня 2006 року через порушення цілісності водозахисної товщі почалося затоплення рудника БКРУ-1. Затоплення копалень привело до тяжких не тільки техніко-економічних, але і геоекологічних наслідків. Одним з таких наслідків стало утворення на місці їх затоплення провалів земної поверхні, розміри яких до 2009 року досягли відповідно в плані 210×140 м і 446×335 м. В кінці минулого століття на території Верхньокамського соленосного басейну було зафіксовано три землетруси, що сталися 25.10.93г. (силою близько 3 балів), 05.01.95 р (5 балів) і 09.10.97 р (3 бали). Найбільш інтенсивний землетрус стався 5 січня 1995 року в 17 год 46 хв за місцевим часом в районі м. Солікамська. Він викликав одночасні раптові численні газодинамічні явища, обвалення порід покрівлі гірничих виробок і руйнування міжкамерних ціликів у північно-східній частині рудника Другого Солікамського калійного рудоуправління (Скру-1) ВАТ «Сильвініт» на площі 560×660 м (з одночасним просіданням земної поверхні на 4,4 м і розмірами в плані 670×840 м). Тільки наявність у покрівлі водозахисної товщі пластичної глинисто-ангідридової «шапки» потужністю 15-20 м врятувало від затоплення цей рудник і з'єднаний з ним виробленням сусідній (Перший Солікамський) [37].

Також виникає проблема засолення території промисловими відходами, які займають великі площі: це солевідвали і шламосховища ВАТ «Сильвініт» (понад 438 га) м. Солікамськ. На території Верхньокамського

соленого басейну ведуться спостереження за осіданням земної поверхні та геологічним середовищем.

Аналогічні проблеми пов'язані з калійними рудниками Німеччини. Це затоплення десятків як діючих, так і споруджуваних рудників. Основна причина - це прорив розсолів і вод у виробки. Навіть при зменшенні притоку вод у відпрацьовані камери не змогли зберегти рудники: «Фон дер Гейдт», «Мантейфель», «Агата», «Нейестассфурт III». Водопрояви на рудниках «Ренгардсбрунн» (Ганновер) та «Саксен-Веймар» (Віра-Фульда) виникали при проходженні виробками зон тектонічних порушень. Розвиток моніторингових досліджень в кінці 20-х рр. минулого століття дозволив розробити заходи для кожного калієносного району Німеччини, що призвело до різкого скорочення катастрофічних наслідків. Рекомендувалося проводити очисні роботи не ближче 200 м від соляного дзеркала, залишати захисні пачки солі в покрівлі камер під соленою глиною або ангідритом, не з'єднувати виробками суміжні шахтні поля. При камерній системі розробки передбачалася закладка відпрацьованих камер.

На калійних рудниках Німеччини також застосовуються сейсмологічні системи моніторингу, необхідні для контролю гірничих підприємств. У 1986 р, наприклад, в Центральній Німеччині зафіксовано техногенний землетрус, що пов'язаний з видобутком калійної солі, з магнітудою 5,4. З інших моніторингових систем на рудниках Німеччини найбільш широко використовують прямі методи визначення стану геологічного середовища, у першу чергу, це спостереження за осіданням земної поверхні на відпрацьованих гірничих територіях та методи ведення гідрогеологічного моніторингу.

На Старобінському родовищі калійних солей (Білорусь) практично повна відсутність підземних вод у соленій свиті, яка пов'язується з субгоризонтальним заляганням пластів, їх витриманість по простяганню, відсутністю проявів соляної тектоніки і слабкий розвиток розривних порушень. Це сприятливі фактори для проведення підземної розробки

родовища. Гідрогеологічні умови Старобінського родовища, що характеризуються наявністю великих площ із неглибоким заляганням підземних вод, сприяють активізації процесів підтоплення, заболочування та затоплення. У міру розширення фронту очисних робіт і розвитку процесів зрушення, площа територій, схильних до підтоплення, заболочування та затоплення, зростає і, за даними прогнозних розрахунків, на кінець процесу зрушення складе 50% всієї площі родовища. Завдяки більш сприятливим умовам проведення підземної розробки білоруських калійних руд, моніторинг геологічного середовища здійснюється тут в набагато менших обсягах.

В Україні це: небезпечне руйнування гірничого масиву над підземними виробками рудника ім. Шевченка Артемівського родовища кам'яної солі, яке триває протягом багатьох десятиліть з 1942 р. до теперішнього часу (Дніпрово - Донецька западина), затоплення кар'єру та шахт у Калуші і 2-го рудника в Стебнику (Передкарпаття), катастрофічні провали в Солотвино (Закарпаття), що спричинило втрату основних сировинних запасів та граничне загострення екологічної ситуації на окремих ділянках.

Усього у світовій практиці за весь період діяльності підземного солевидобування зафіксовано більше 80 випадків аварійної загибелі рудників [38]. Прикладом можуть слугувати масштабні аварії в Конго (1977), Росії (Соль-Ілецк, 1983, 2010; Солікамськ, 1995; Березняки, 2007), Німеччині (Роненберг, 1976), Україні (Солотвино, 2008, 2012) та інших країнах світу.

Таким чином, на найбільших соляних рудниках світу а також і в Україні, спостерігається техногенний впливу на геологічне середовище, що пов'язане з підвищеною сейсмічністю регіонів, затопленням рудників, осіданням земної поверхні та забрудненням поверхневих вод від солевідвалів і шламосховищ.

1.3. Стан і проблеми застосування геофізичних методів при моніторингу калійних родовищ (геофізичний моніторинг в світі та Україні)

В 1972 році на Стокгольмській конференції ООН з проблем охорони природного середовища пропонувалось створити «Службу Землі», яка б здійснювала глобальний екологічний моніторинг. Сам термін «моніторинг» означає систему повторюючих спостережень за змінами елементів охорони природного середовища з відповідними цілями і заздалегідь затвердженою програмою [30]. В інших літературних джерелах термін «моніторинг» отримав широке застосування завдяки його популяризації Ю. А. Ізраєлем [31, 32, 33], І. Г. Герасімовим [34].

І. Г. Герасімовим запропоновано більш широке визначення терміну [34, с. 14, 35, с. 23]:

«... мониторинг – это система наблюдения, контроля и управления состоянием окружающей среды, осуществляемая в различных масштабах, и в том числе глобальном».

Виходячи з визначення моніторинг повинен включати спостереження, контроль та управління станом довкілля як на локальному, так і глобальному рівні.

Узагальнивши відомі визначення, В.А.Королев (1995) зробив висновок, що «моніторингом геологічного середовища називається система постійних спостережень, оцінки, прогнозу й управління геологічним середовищем або будь – якою його частиною, що проведена за заздалегідь наміченою програмою з метою забезпечення оптимальних екологічних умов для людини в межах даної природно-техногенної системи »

Моніторинг геологічного середовища (МГС) передбачає розробку рекомендацій щодо запобігання або ослаблення негативних наслідків антропогенної діяльності [51, 52].

Метою МГС є інформування органів представницької і виконавчої влади, управління державним фондом надр про можливі прояви небезпечних процесів при експлуатації калійних рудників.

Основними завданнями МГС на відпрацьованих родовищах солі є:

1) проведення систематизованих спостережень за станом гірничих масивів гірських порід у районі діючих калійних рудників, а також спостереження за забрудненням підземних і поверхневих вод, екзогенних і ендегенних геологічних процесів для отримання даних, що характеризують закономірності розвитку негативних явищ і фактори, що їх викликають;

2) збір і отримання даних про техногенні фактори, що визначають виникнення та розвиток процесів осідання, а також забруднення поверхневих і підземних вод;

3) аналіз, обробка та зберігання інформації про стан геологічного середовища в різні періоди часу;

4) складання та перевірка інформації про активізацію різних негативних процесів і явищ, які можуть виникнути в процесі ліквідації калійних рудників;

5) періодичне проведення спеціального обстеження території соленосного басейну та оцінка схильності населених пунктів, водозаборів, промислових об'єктів негативному техногенному впливу;

6) розробка рекомендацій щодо надзвичайних ситуацій.

Пріоритетне місце в системі моніторингу стану геологічного середовища в межах зон розробки родовищ калійних солей посідають геофізичні методи [30, 35 51, 52, 53, 73, 85 91, 92, 110, 111, 112, 113, 116].

В праці [36] в межах Саскачеванського калійного басейну успішно використовуються геофізичні методи, зокрема метод вертикального сейсмічного відбиття для прогнозування аномальних геологічних умов. Метод успішно використовувався для виявлення водонасичених порід, які знаходяться над камерами, дослідження механічних властивостей порід для уникнення гідророзриву.

Метод високоточної гравіметрії успішно використаний в Техасі, США для попередження і оцінки розвитку карстового провалу (від 90 до 200 м в діаметрі в травні 2008 року) який утворився у пластових покладах солі соляного купола. За результатами даних високоточної гравіметрії виділено зон осідання земної поверхні, що можуть бути використані для побудови карти ризиків [50].

У [53] статті розглядається необхідність проведення тривалого моніторингу небезпечних інженерно-геологічних процесів на основі вимірювання змін низькочастотних електричних полів, використання відповідних високоточних геофізичних приладів і методів обробки вимірюваних сигналів.

Моніторинг осідання земної поверхні і змін рівня та характеристик підземних вод для території В'єтнаму наведено в [54].

У зв'язку з тим, що засолення вивчається у значно ширшій сфері, ніж при розробці соляних родовищ, звернемося до відповідної палітри наукових праць. Згідно огляду літературних даних, одним з перших обґрунтував і практично довів можливість оцінки мінералізації підземних вод за даними електророзвідки О. О. Огільві. Далі ці роботи були розвинені в працях інших дослідників, про що зазначено у фундаментальних монографіях [44, 45, 46, 46]. Потужні дослідження в зазначеному напрямку вели польські дослідники [47, 48, 49]. Зокрема, в роботі [47] в розділі «застосування методу електроопорового в геології та охороні середовища» наводиться класифікаційна таблиця, у якій серед задач формулюється визначення ступеня мінералізації підземних вод. В [48] ця задача розвинута, як «ідентифікація зон забруднення на підставі безпосередніх вимірів у випадку аномального зниження електричного опору, можливо спираючись на циклічні виміри в моніторинговій системі». В статті [49] наведені приклади використання методу зондувань електроопорових протягом 1981 – 2007 років на ділянці хвостосховища (збірника відходів) міднорудного родовища «Залізний Міст» із вирішенням задач картування забруднених вод і зміни

такого забруднення в часі. У [47] зазначена можливість кількісної оцінки такого забруднення за даними геофізичних методів, проте прикладів такої оцінки немає. У роботах [39, 40, 41] розглядається питання та подаються приклади ефективного картування засолення геофізичними методами, а саме методами опору та електромагнітної індукції в прибережних зонах на території Каліфорнії (США), Нігерії, Італії, при цьому в [40] зазначається добра кореляція вимірів загальної мінералізації та питомого опору. У [42] зазначається результативність комплексування методу опорів вертикальних електричних зондувань, сейсмометрії та електричної томографії для візуалізації зон засолення в карстових утвореннях. Подібних джерел у світовій літературі досить багато і перераховувати всі неможливо. Надалі зупинимось більш детально на аналізі монографій [43, 46], у яких на кількісному рівні демонструється можливість отримання кількісних характеристик водних властивостей широкого діапазону гірських порід при сумісних гідрогеологічних роботах, з одного боку, та електрометричних – з другого.

Для початку на рис. 1.1 представимо сімейство залежностей $\rho = f(M)$ для водних розчинів [43]. Такого ж типу залежності більш широкого діапазону для різних температурних режимів представлено в [46]. З розгляду рис. 1.1 випливає важливий висновок про відмінність залежностей для різного складу розчинів. Тобто, за графіками рис. 1.1 можна визначити концентрацію солей при одній умові – заздалегідь відомому хімічному складу підземних вод.

З попереднього зрозуміло, що для гірських порід, які містять мінералізовані підземні води, параметр M здійснює основний вплив на їх електричний опір.

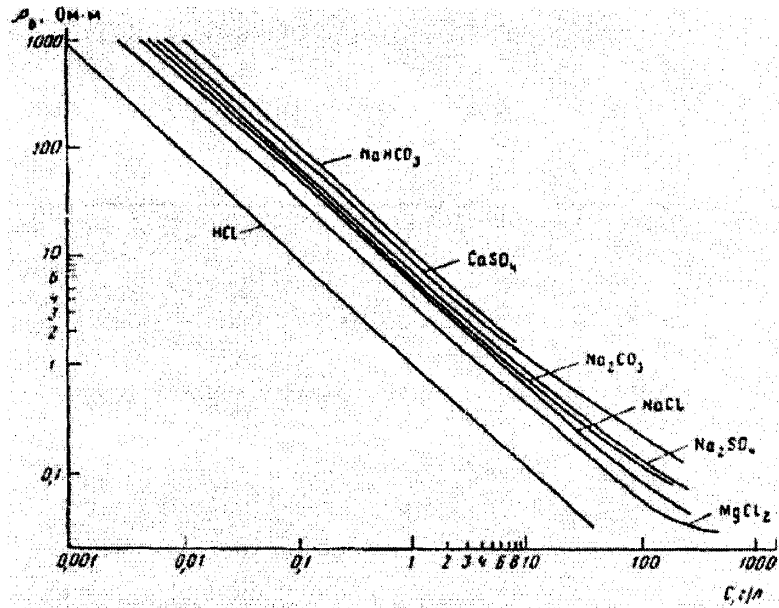


Рис. 1.1. Залежність питомого електричного опору підземних вод (ρ_e) від концентрації (C) і хімічного складу розчинених солей [43]

Тому в роботі [45] із посиланням на [43] зазначається, що в умовах гравійно-галькових і піщано-глинистих розрізів для оцінки залежності мінералізації від опору можна використовувувати графіки, наведені в цих монографіях – рис. 1.2.

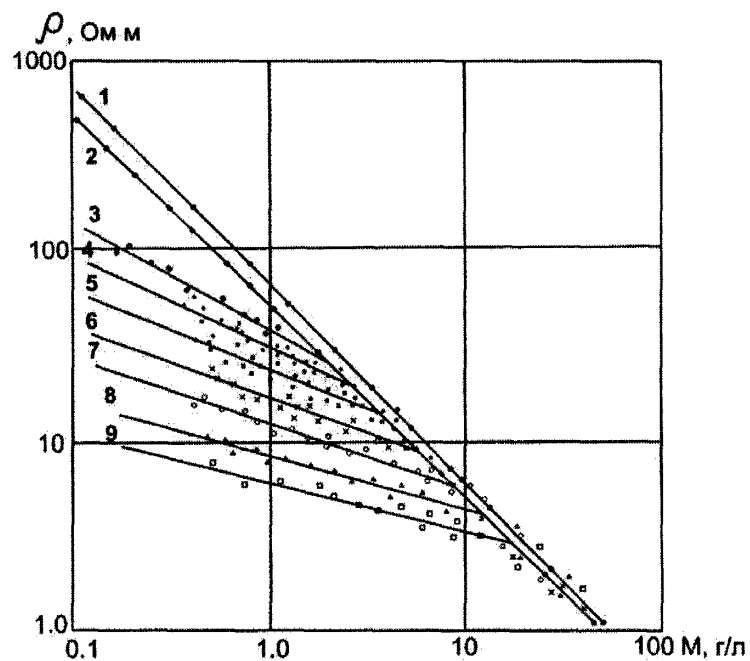


Рис. 1.2. Залежність питомого електричного опору (ρ_{en}) водонасиченої мінералізації (M)

З розгляду графіків видно, що лише при невеликих мінералізаціях ($M < 10 \frac{г}{л}$) літологія впливає на електричний опір гірських порід. При більших мінералізаціях вона надає основного впливу на їх опір. Графіки рис. 1.2 зазначають, на погляд автора дисертації, принципові залежності. Проте в [45] рекомендується користуватись ними в практиці робіт. Така рекомендація є помилковою. Справа в тому, що ці графіки отримані в лабораторних умовах, а виміри отримані резистивіметрами в імітованих свердловинах з ідеальним сортуванням гірських порід, чого в природі не буває. Без зазначення цього факту в [44] надаються кореляційні залежності $\rho = f(M)$ для різних районів колишнього Радянського Союзу і для різних літологічних складових рис. 1.3.

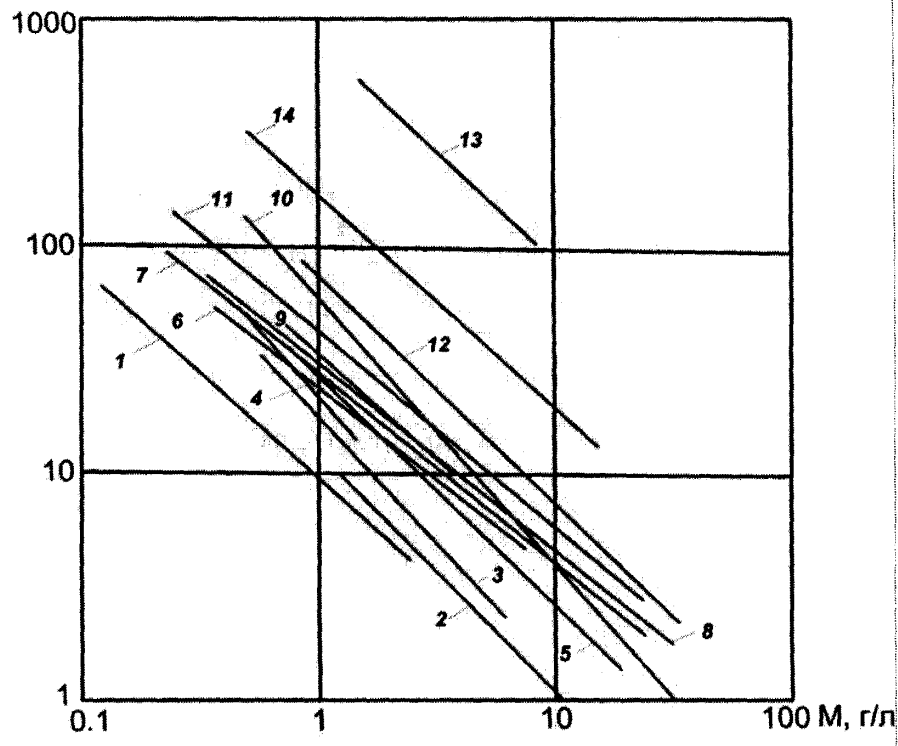


Рис. 1.3. Графіки усередненої залежності питомого електричного опору порід (ρ) від мінералізації насичених вод (M) для різних районів Радянського Союзу

Ці залежності не мають нічого спільного з графіками рис. 1.2, тому що залежності рис. 1.3 отримані за геофізичними вимірюваннями в польових умовах. Вони достатньо однотипні і в білогарифмічному масштабі можуть бути представлені в першому наближенні рівнянням сімейства прямих ліній, що перетинаються під кутом біля 45 до осей координат: де $\lg A$ – постійна величина, яка визначається літологічним складом порід.

На закінчення літературного огляду відмітимо, що в Україні, використання геофізичних методів для картування водоносних горизонтів за мінералізацією є обмеженим, принаймні за останні роки спостерігаємо нечисленні опубліковані роботи [77, 78, 79, 112, 113, 116].

1.4. Висновки до розділу

В розділі наводяться основні родовища Світу, що пов'язані з видобутком калійної та кам'яної солі. Показано, що практично на всіх родовищах існують проблеми з притоком прісних вод у шахту, провалами земної поверхні землі та забрудненням території в межах гірничовидобувних підприємств. Якщо не проводити контроль за геологічним середовищем, це може привести до техногенного землетрусу.

Наведено ефективність геофізичних методів. Практично на всіх родовищах Світу використовуються різні комплекси геофізичних методів. Основні це високоточна гравіметрія, сейсмометрія, електрометрія. Інколи ведуться моніторингові спостереження. В цілому можна зробити наступні проміжні висновки:

- 1) геофізичні методи успішно використовуються на калійних та кам'яних родовищах світу. Єдиного комплексу або методики не існує.
- 2) для кожного родовища це окремі комплекси геофізичних досліджень із своїм підходом.
- 3) доцільним слід вважати розроблення та впровадження комплексного підходу до оцінки вивчення території в межах відпрацьованих

шахтних полів геологічними, геофізичними та інженерно-геологічними методами з подальшим прогнозом провальньо-просадкової небезпеки.

4) щодо забруднення території і кожного окремого літологічного комплексу гірських порід відходами калійного виробництва слід шукати присутні для цієї території кореляційні зв'язки між геофізичними параметрами відносних горизонтів та мінералізацією підземних вод.

Розділ 2. Оцінка стану геологічного середовища Калуш-Голинського родовища калійної солі

2.1. Геологічна та тектонічна характеристика

З геологічної точки зору соляні родовища Карпатського регіону розташовані в зоні розповсюдження неогенових евапаритових відкладів у Передкарпатському та Закарпатському прогинах. Розташування родовищ та солепроявів зображено на рис. 2.1.

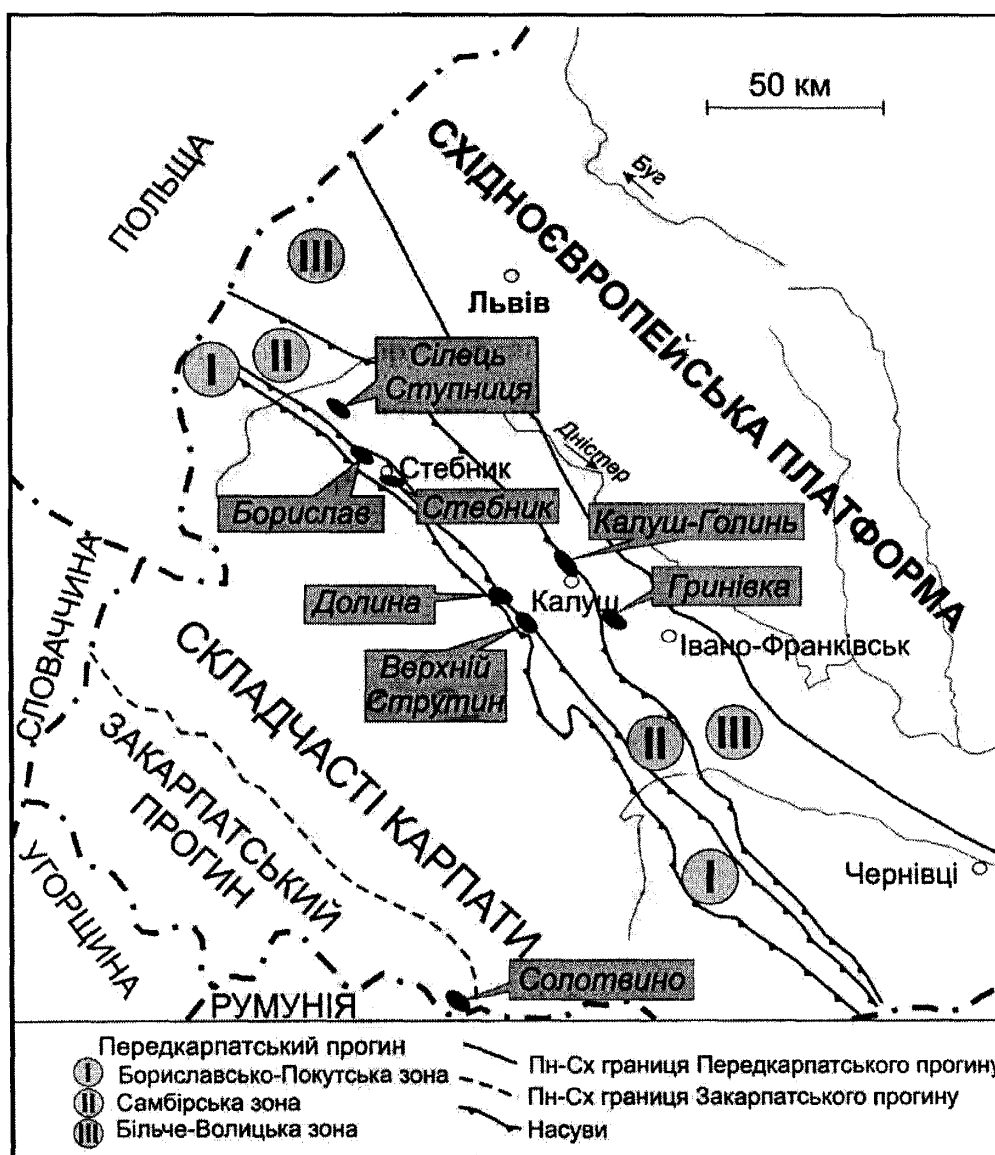


Рис. 2.1. Розташування родовищ та солепроявів в західній частині України

Початок геологічного вивчення Передкарпаття відноситься до кінця XVIII ст. і пов'язаний виявленням покладів нафти, газу, озокериту, кам'яної і калійної солей та інших корисних копалин.

У Передкарпатському крайовому прогині встановлено три геологічних формації, пов'язані з неогеновими відкладами: перша – з воротищенською світою олігоценного віку, друга – із стебницькою та балицькою світами гельвета (нижній тортон), третя – з тираською світою тортона. Соляні відклади мають субкарпатське простирання та простежується на протязі не менше 1000 км (Польща, Україна, Румунія) при ширині полоси їх розповсюдження в десятки кілометрів. Перша галогенна формація пов'язана із внутрішньою зоною (Бориславсько-Покутська зона), друга та третя - із зовнішньою зоною прогину (Самбірська та Більче-Волицька зона). В Україні в Передкарпатті розроблялись два крупних родовища калійної солі (кожне із запасами понад 100 млн. тон): Стебницьке та Калуш-Голинське. Перше відноситься до внутрішньої зони прогину, друге – до зовнішньої рис. 2.1.

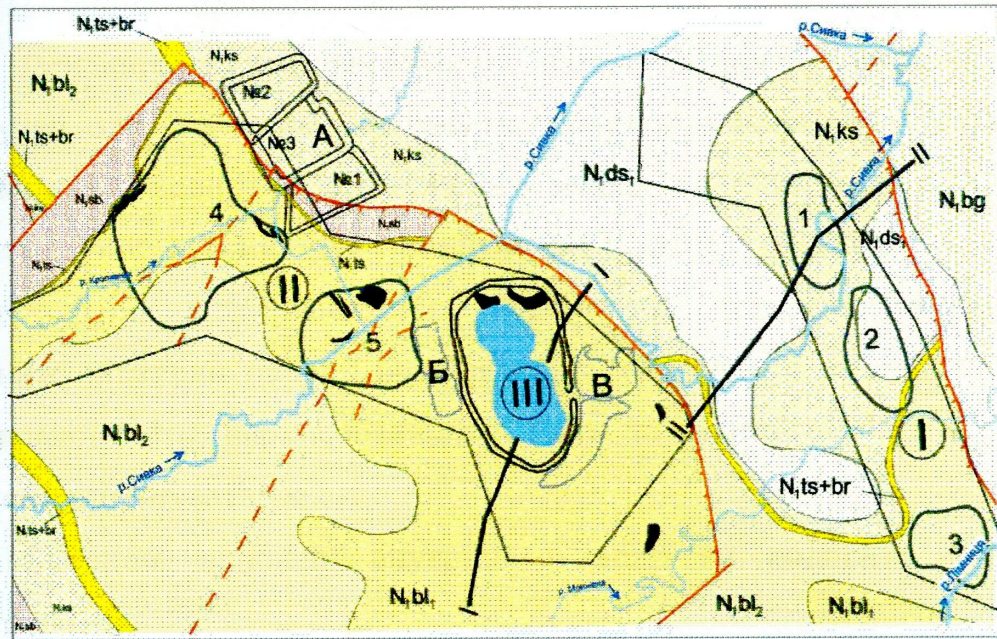
Перейдемо до опису Калуського гірничопромислового району.

З 1867 р. почав розвиватися калійний промисел у Калуші. З цього часу в літературі з'являється багато робіт, які присвячені вивченню геології і мінералогії району Калуша.

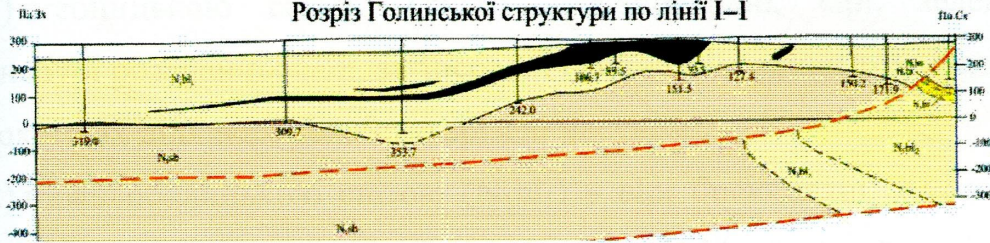
Вивченням геологічної будови рудника «Калуш», в які входять шахтні поля Північно Сільвінітове, Північно Каїнітове, Центрально Каїнітове та Хотинське займались С. М. Кореневський [55, 56], В. П. Телегин [57], Н. М. Джиноридзе [58] та інші [57, 59 - 63].

З геологічних розрізів Калуш-Голинського родовища видно, що автохтон, який представлений відкладами галицької серії (нижній сармат), перекритий аллохтоном, який починається відкладами гельвету, тортону і знову відкладами галицької серії рис. 2.2.

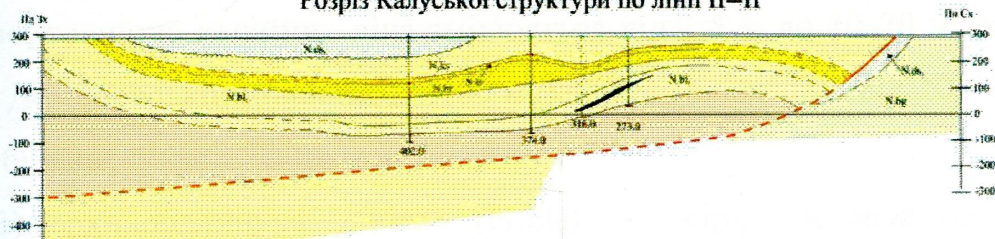
Соленосні фації приурочені до відкладів нижньої балицької (калієносною) світи, присутні тільки в аллохтоні, в автохтоні їх немає.



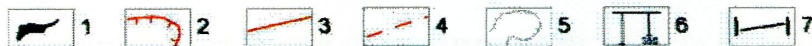
Розріз Голинської структури по лінії I-I



Розріз Калуської структури по лінії II-II



N,ds ₁	Нижньосарматський підповерх. Нижньодніпрова світа Глини вапнякові, піщанисті; промарка пісковиків, алеваліти, конгломерати.
N,bg	Верхньотюртонський підповерх. Бугське світа. Глини вапнякові, промарка пісковиків.
N,ks	Верхньотюртонський підповерх. Косівська світа. Глини з промарками пісковиків, мерселі, туфити.
N,ts	Верхньотюртонський підповерх. Тираська світа. Гітці, асфальти, рідко пластичні камяні солі.
N,br	Нижньотюртонський підповерх. Богородчанська світа. Мерселі, пісковики, глини, туфити.
N,bl ₂	Нижньотюртонський підповерх. Верхньобалгарська світа. Першварування ар.літвіє, глини, пісковиків, рідко-гранітні, камяні солі.
N,bl ₁	Нижньотюртонський підповерх. Нижньобалгарська світа. Глини, алеваліти, брекчі солоні, камяні і казіяні солі, в основі – горизонт асфальту з мерселем.
N,ab	Гельветський поверх. Сибітська світа. Аргіти з промарками пісковиків.



1 – поклади калійних солей; 2 – лінії насувів; лінії тектонічних поперечних порушень: 3 – встановлені, 4 – передбачувані; 5 – границі стратиграфічних комплексів; 6 – свердловини по розрізах; 7 – лінії геологічних розрізів; гірничі відводи рудників на геологічній схемі: I – рудника “Калуш”, II – рудника «НоваГілина»

Рис. 2.2. Схема геологічної будови Калуш-Голинського родовища за даними

ДП «Калійний завод»

Тектонічні процеси наклали свій відбиток на текстурні особливості порід. Основною рисою тектоніки є наявність довгих лінійних структур, насунутих одна на одну, які простягаються в основному у Карпатському напрямку (в Україні) – із північного заходу на південний схід. Численні поперечні порушення, що розсікають підзону, виникли у результаті горизонтальних і вертикальних переміщень при формуванні насувів. Соленосні відклади набули брекчієвидної текстури, а вміщуючі їх породи стебницької світи, верхньобалицької світи та галицької серії вирізняються сильною тріщинуватістю.

Міоценові відклади внутрішньої зони на родовищі знизу вверх представлені:

1) стебницькою світою (N_{1sb}) - різнобарвні, сірі, зеленуватосірі, червонобурі розсланцьовані, загіпсовані глини і пісковики товщиною 200-300 м, на окремих ділянках повністю зрізані насувом;

2) нижньобалицькою світою (N_{1bl_1}) – сірі брекчовані соленосні глини, піщано-глинисті брекчії, лінзи кам'яної і калійної солей, які залягають ярусно, товщина калійних лінз змінюється від 1,5 м до 10-20 м, рідше 30-40 м, на Домбровській ділянці до 100 м, глибина залягання від 10-40 м до 500-700 і більше;

3) верхньобалицька світа (N_{1bl_2}) - сірі, зеленуватосірі, часто розсланцьовані вапнисті глини, алевроліти, пісковики, прошарки кам'яної солі, товщина змінюється від декількох метрів до 400-450 метрів;

Галицька серія (N_{1gl}) – верхньотортонські і нижньотортонські відклади тираської (N_{1ts}), косівської (N_{1ks}) і нижньодашавської (N_{1ds_1}) світ, які представлені піщанистими та вапнистими глинами з прошарками пісковиків, мергелів, туфів, алевролітів, товщина досягає 400 метрів.

Далі породи представлені четвертинними та неогеновими відкладами, а також зоною вивітрювання порід соленосної товщі, яка отримала назву гіпсоглиниста «шапка». Четвертинні відклади представлені двома горизонтами це – гравійно-галькові відклади та суглинки.

2.2. Гідрогеологічні умови

У межах родовища містяться три водоносних горизонти: верховодка, гравійно-гальковий водоносний горизонт і води соляного дзеркала. Верховодка приурочена до суглинків і залягає на глибині до двох метрів; для неї характерний непостійний режим, залежний від кліматичних умов. Гравійно-гальковий водоносний горизонт має площинне поширення і є єдиним у цьому районі горизонтом питної води. Живиться він атмосферними опадами, часткове розвантаження якого іде на поновлення карстових вод по товщі гіпсо-глинистої “шапки” і соленосних відкладів [57].

Практичне значення для водопостачання мають водоносні відклади четвертинного віку. Ці відклади в районі водозаборів по берегах р. Лімниця та прилеглих площах представлені делювіальними та алювіальними утвореннями.

Алювіальні відклади складають давні тераси (разом їх шість) р. Лімниці. У межах території досліджень (між верхнім краєм планшета та р. Лімниця гідрогеологічної карти) розповсюджені породи сучасної та надзаплавних терас. За літологією це галечники, піски, супіски, суглинки з перевагою галькового матеріалу у більш молодих відкладах. Значення коефіцієнтів фільтрації K для сучасної тераси коливається в межах 5 – 457 м/добу, при середньому 155 м/добу. Для першої тераси значення K коливається в межах 20 – 30 м/добу, а для третьої тераси 7 – 10 м/добу. Придатними для пиття є прісні води четвертинних відкладів. Найбільш перспективними є алювіальні відклади сучасного та верхньочетвертинного віку, які є колекторами найбільш потужних водоносних горизонтів.

Основним для водопостачання м. Калуш є Добрівлянський водозабір. Він налічує 64 свердловини, який знаходиться в декількох кілометрах на південний захід від м. Калуш на лівому березі р. Лімниця. Експлуатується водоносний горизонт сучасних алювіальних відкладів заплави, який

простягається з заходу на схід у вигляді смуги шириною від 0,3 до 0,8 км уздовж течії р. Лімниця. Довжина ряду свердловин водозабору 3840 м. Щодо устанавленого рівня підземних вод переважають глибини 1,0 – 2,4 м. Потужність водоносної частини горизонту дорівнює 5,4 м. Водоносний горизонт має прямий гідравлічний зв'язок з рікою і водоносним горизонтом четвертинних відкладів. Граничні умови ділянки водозабору схематизуються як напівобмежений пласт з контуром постійного напору – річка, яка знаходиться на відстані від 2 – 3 до 300 м від ряду свердловин. Водозбір працює в умовах устанавленого режиму фільтрації при зниженнях рівня менше допустимого. Спостережних свердловин для відслідковування депресійної лійки і відповідно радіуса впливу роботи водозабору не існує. Спостереження за рівнями в експлуатаційних свердловинах не ведуться. Відстань від свердловини водозабору до найближчих свердловин режимної спостережної сітки сягає близько 200 м.

Специфікою спорудження водозабору є введення в дію підживлюваної траншеї довжиною 3,4 км, шириною 2,5 – 3 м і глибиною 1,5 – 2 м. У підживлювальних траншеях застосовано метод самостійної інфільтрації. Джерелом постачання води в траншею є річка Чечва до її впадання в Лімнецю. Продуктивність траншеї складає 0,5 – 0,6 м³/с. Ряд водозабірних свердловин знаходиться між підживлювальною траншеєю та Лімнецю. Середньорічний розхід Лімниці в роботі водозабору складає 23,5 м³/с на добу.

Баланс водопостачання для водозабору є таким:

10 -15 % складають природні ресурси водоносного горизонту,

30 – 35 % залучені води річки Лімниця,

50 – 55 % штучно створені запаси води що інфільтруються з підживлювальної траншеї.

Чотири кілометра нижче за течією Лімниці, також на лівому березі знаходиться напірний Хотінський водозабір, який експлуатується з 1927 року і займає на даний час невелику площу 500x200 метрів.

Водозабір розглядається як резервний для подачі технічної води.

Район досліджень належить до басейну ріки Лімниця, яка є тут основною водною артерією. Територія басейну складена неогеновими відкладами, які перекриваються четвертинними утвореннями. Водонесний горизонт живиться за рахунок інфільтрації поверхневих вод (опадів), а також транзиту підземних вод із височин, які знаходяться на північному сході від території.

Зазначені височини та їх схили покриті елювіально-делювіальнимир відкладами які утворюють малопотужний і малодобітний водонесний горизонт. Напрямок руху підземних вод до основної дрени – ріки Лімниця – контролюється напрямками пониження рельєфу. Карта рівнів побудована за даними вимірів на час літньої межени 2014 року (липень – серпень), тобто після паводку спричиненими літніми дощами (рис. 2.2).

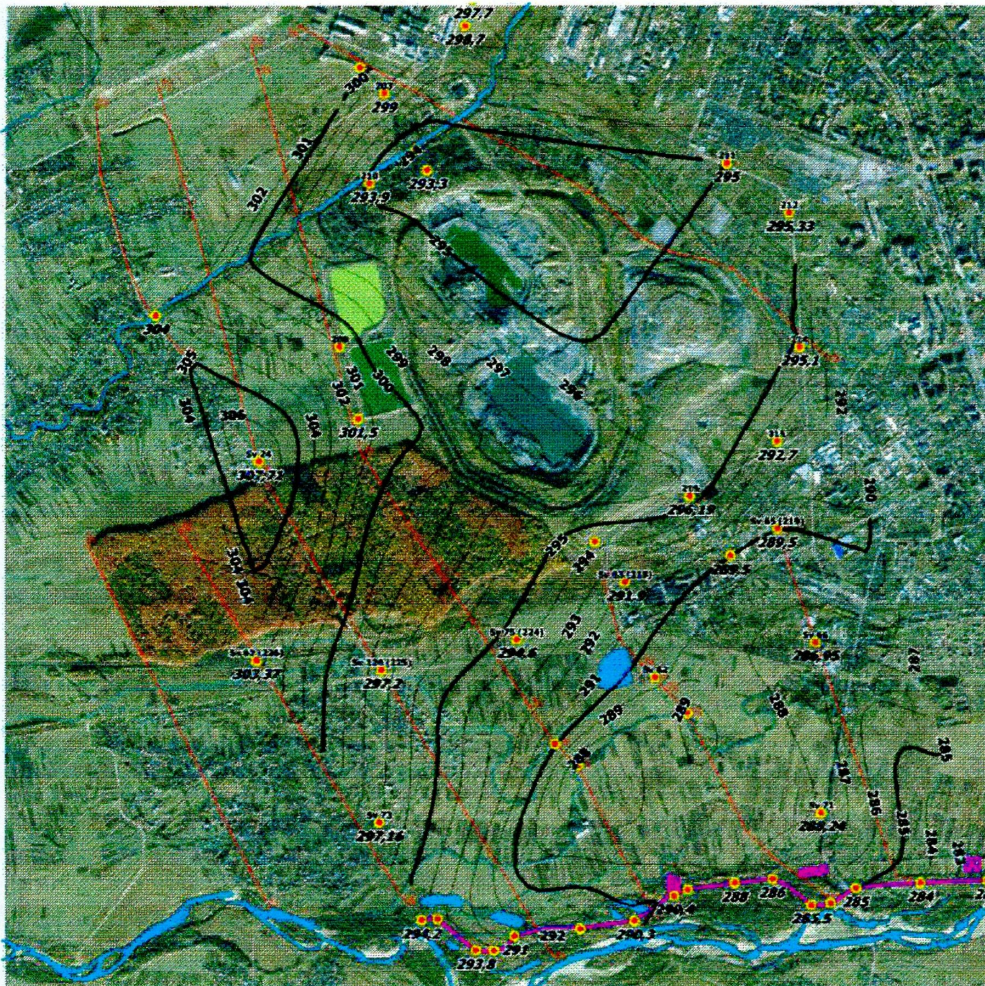


Рис. 2.2. План-схема рівнів підземних вод.

Наведемо порівняльну характеристику карти. При цьому прийmemo до уваги, що вдовж західного, південного та східного борту кар'єру проходить водозбірна траншея, яка розрізає водоносний горизонт і в часи експлуатації кар'єру виконувала задачу перехоплення транзитних підземних вод, прямуючих у кар'єр. У даний час вона замулена, заросла кущами та деревами, вода в ній стояча тому імовірно, ця траншея на даний час скоріше є бар'єром ніж дренаю. Дренаю фактично є кар'єр зі сторони його північного борту, де водозбірна траншея зруйнована, активно розвиваються карстові процеси та обвали, візуально фіксуються численні витоки в кар'єр. Регіональний потік підземний вод водоносного горизонту спрямований із північного заходу на південний схід. Кар'єр та акумулюючі ємності розділяють його на два – східний та південний. Перший прямує на схід, північніше кар'єру і далі на південний схід. Цей потік оминає Добровлянський водозабір і прямує до Хотінського водозабору. Другий південний потік оминає кар'єр з південного заходу і далі прямує схід – південний схід, поволі наближаючись до Лімниці. Потік також оминає Добрівлянський водозабір і поза ним далі імовірно буде частково розвантажуватись у Лімницю.

2.3. Аналіз наслідків впливу розробки Калуського гірничопромислового комплексу на геологічне середовище

Вивченням впливу розробки Калуського гірничопромислового комплексу на геологічне середовище займались А.М. Гайдін, В.В. Долін, І.Ю. Костів, Е.Д. Кузьменко, Я.М. Семчук, Л.Є. Шкіца, Є.О. Яковлев та інші [80, 81- 84, 115- 120].

В результаті тривалої розробки Калуського гірничопромислового комплексу в районі м. Калуш та окремих населених пунктів вже у 80 - 90 роки минулого століття була створена вкрай несприятлива екологічна ситуація. Вона проявлялась у провалах земної поверхні (Північно Каїнітове та Центрально Каїнітове шатні поля), у тому числі в межах забудованої

території, забрудненні підземних та поверхневих вод, а також у забрудненні ґрунтів на поверхні землі в зоні впливу солевідвалів, хвостосховищ і акумулюючих ємностей гірничого та переробного виробництва.

До об'єктів підвищеної екологічної небезпеки в зоні виробничої діяльності Калуського гірничопромислового району відносяться перш за все об'єкти «Калійного заводу», який працював до 1991 р., рудники «Калуш», «Голинь» і «Ново-Голинь», Домбровський кар'єр, солевідвали №1 і №4 Домбровського кар'єру, хвостосховища №1 і №2 та акумулюючі ємності.

Спеціальні спостереження за станом поверхні та зміною фізичних властивостей гірничих порід над шахтними полями з 2012 року не проводяться.

Порожнини рудників «Калуш» та «Ново-Голинь», які відробили запаси та припинили експлуатацію, не були закладені твердими матеріалами, які б підтримували в стійкому стані гірничий масив, а стали заповнюватись розсолами. Цей спосіб закладки не гарантує надійну роботу підтримуючих гірничих масивів міжкамерних ціликів, внаслідок чого відбувається просідання денної поверхні з її затопленням та утворенням провальних воронок. У місцях просідання денної поверхні відбувається засолення підземних вод за рахунок видавлення їх з видобувних камер під час просідання.

Рудник «Калуш», окрім шахтного поля Хотинь, ліквідовано розсолами Домбровського кар'єру або проведено гідрозакладку. Видобуток каїнітових і сильвінітових руд проводився камерною системою розробки на відокремлених один від одного шахтних полях: Північному сильвінітовому, Північному і Центральному каїнітових та Хотінському полях, які входять в межі гірничого відводу рудника «Калуш». Експлуатаційні характеристики відпрацьованих шахтних полів рудника «Калуш» наведено в табл. 2.1

Таблиця 2.1.

Експлуатаційні характеристики відпрацьованих рудників Калуш-Голинського родовища калійної

Рудник	Рудне поле, ділянка	Термін експлуатації	Глибина видобування руди, м	Об'єм пустот, тис. м ³	Заповнення простору		Незаповнений об'єм, тис. м ³
					спосіб	об'єм, тис. м ³	
1	2	3	4	5	6	7	8
"Калуш"	Північне сильвінітове поле	1943-1962	160-440	1890	«сухий», відходами збагачувальної фабрики, гідрозакладка	780	Дозаповнений розсолами з хвостосховища №2
		1940-1943 1956-1975	100-260	1325,5	розсоли Домбровського кар'єру і хвостосховища №2	1011	-
	Центральне кайнітове поле Хотинське сильвінітове поле	1867-1979 1961-1975	60-250 140-270	2116 948	гідрозакладка «сухий»	2116 125	- 823
"Ново-Голинь"	Східна Голинь	1966-1995	70-260	6863	розсоли Домбровського кар'єру та хвостосховища №2	12336	150-200
	Сівка-Калуська	1966-1995	70-260	5295	розсоли Домбровського кар'єру та хвостосховища №2		
"Голинь"		1930-1972	70-260	1700	Не заповнювались		1700

На шахтних полях рудника «Калуш» над відробленими покладами проходить осідання і деформація земної поверхні часто з утворенням провальних воронок. Найбільш небезпечним було раптове осідання земної поверхні в 1987 році на Північному каїнітовому полі. Зона раптового осідання земної поверхні охопила площу 0,6 га, центр мульди осідання опустився на глибину 8,5 м. Із мульди осідання були відселені жителі із 17 житлових будинків та припинено будівництво нових 43 житлових будинків, де потім почалися провальні-просадкові процеси. Крім того, в зоні впливу шахтного поля рудника "Калуш" ще знаходиться біля 300 житлових будинків. Ці явища повторювались у 1993, 1995, 1997, 2001, 2007, 2008, 2009 та 2012 рр. [75, 76, 99, 100]. Внаслідок цих процесів утворилось 16 провальних воронок об'ємом від 20-30 м³ до 1500-2900 м³. Останній провал на руднику «Калуш» зафіксовано в 2015 році.

На Північно сильвінітовому полі осідання склало 4736 мм, де утворилося озеро, що складає площу 30 га. Максимальна швидкість осідання за даними ДП «НДІ Галургія» до затоплення досягла в 1961 році 450 мм. Процес осідання земної поверхні на шахтному полі знаходиться на стадії затухання.

Північне каїнітове шахтне поле ліквідовано шляхом заливки висококонцентрованих розсолів Домбровського кар'єру із залишеним незаповненим простором у верхній частині розрізу для недопущення з'єднання високомінералізованих розчинів з алювіальним водоносним горизонтом. Це зроблено для запобігання можливого проникнення солей у водоносний горизонт, що гідравлічно пов'язаний із руслом ріки Сівка.

Процес осідання земної поверхні над шахтним полем знаходиться на початковій стадії. У межах Північно Каїнітового поля та його прилеглих частинах відбуваються провальні-просадкові процеси, які почали проявлятися на денній поверхні з вісімдесятих років і тривають по даний час. Останній провал зафіксовано в жовтні 2015 року (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Карстовий провал.

Процес деформації міжкамерних ціликів під дією ваги вищезалігаючої товщі, крім раптових провалів супроводжує плавне осідання земної поверхні над гірничим масивом відпрацьованого шахтного поля з утворення трьох мульд осідання. У зоні впливу Північно каїнітового шахтного поля знаходяться житлові будинки, а також водопровід, теплотраса, каналізація та дорога місцевого значення Калуш-Мостище.

Над Центральним каїнітовим полем зформована одна мульда осідання, спостерігаються провальні-просадкові процеси, які супроводжуються на денній поверхні провалами. Перший провал зафіксовано у 1975 році. Шахтне поле на даний час знаходиться на стадії затухання. Максимальне осідання складає 446 мм. Основною небезпекою є провальні-просадкові процеси. Менш інтенсивним є осідання земної поверхні, та як відпрацьований гірничий простір був закладений. За даними ДП «НДІ Галургія» максимальне осідання земної поверхні складе до 7 метрів.

Хотінське силівнітове поле розташовано на півдні рудника «Калуш». Основні експлуатаційні характеристики наведено в табл. 2.1. На опорних реперних профілях процес осідання земної поверхні фіксується з 1963 року, зі швидкістю 15 мм/рік, швидкість постійно зростала по всіх точках спостереження, і досягла максимального значення 211 мм/рік у 1972 році. Надалі спостерігається поступове зменшення швидкості осідання земної поверхні. У даний час продовжується стадія затухання процесу зсуву з максимальними швидкостями осідання земної поверхні 15 – 20 мм/рік, максимальне осідання – 2 870 мм (репер № 40), а максимально очікуване – 7400 мм. Між р. Лімницею та стовбуром "Хотінь" утворилась мульда осідання субмеридіонального простягання, центр якої підтоплений ґрунтовими водами.

Оскільки в центрі мульди проходить заболочування та підтоплення земної поверхні, проведено відселення мешканців з 26 будинків селища Хотінь, всього в зону впливу потрапило 109 будинків. Хоча процес зсуву над полем знаходиться в стадії затухання, однак існує небезпека прориву вод р. Лімниця у відпрацьований незаповнений простір, який призведе до катастрофічної ситуації в цьому районі [12].

Рудник «Ново-Голинь» розташований на сході міста Калуша і складений двома шахтними полями: «Східна-Голинь» і «Сівка-Калуська». Експлуатаційні характеристики рудника наведені в табл. 2.1.

Над рудником «Ново-Голинь» проходить осідання земної поверхні з площею осідання ≈ 486 га, де розміщено близько 600 житлових будинків з населенням $\approx 2,5$ тисячі осіб.

На шахтному полі «Східна-Голинь» перші зрушення земної поверхні фіксується з 1979 р. і на даний час. Процес осідання земної поверхні проходить з різними швидкостями. Утворилось 9 мульд осідання земної поверхні [75, 76]. Найглибша мульда фіксується з центром на реперах №№ 11 – 17 над пластами ЛК – 2 (гор. +90 м), ЛК – 3 верхній (гор. + 140 м), ЛК – 3 верхній (гор. +190 м), ЛК – 2 (гор. +140 м) із максимальним осіданням

356 мм. На цих реперах швидкості осідання коливаються в межах 22 мм/рік – 31 мм/рік.

На дільниці процес зсуву земної поверхні знаходиться в початковій стадії з поступовим збільшенням швидкості осідання (до 40 мм/рік) [75, 76].

На дільниці «Сівка-Калуська» осідання земної поверхні фіксується з 1989 р. із швидкістю до 11 мм/рік. Формуються дві локальні мульди. Перша мульда осідання формується на репері №175, осідання на якому складає 69 мм, швидкість осідання 6-11 мм/рік. Друга мульда осідання формується над пластом К-6 гор.+140 м і гор.+190 м з центром на репері №253, осідання складає 56 мм, швидкість осідання не перебільшує 1 – 3 мм/рік [75].

На кінець зрушення гірничого масиву слід очікувати складної за формою мульди з підтопленням 115 га поверхні. У зону мульди потрапляють 268 житлових будинків зі школою, з них 104 будинки будуть підтоплені.

Таким чином, усього по трьох рудниках налічується 21,7 млн. м³ пустот – затоплених, закладених твердим матеріалом або сухих.

Наступним небезпечним об'єктом є Домбровський кар'єр. Період експлуатації 1967 – 2003 рр. За цей час з кар'єру видобуто 35,4 млн. м³ розкритих порід і 14,7 млн. м³ калійної руди, разом 50,1 млн. м³ гірничої маси. Кар'єр самозатоплюється із середньою швидкістю приблизно 2,5 млн. м³ на рік. На даний час в кар'єрі зосереджено біля 21 млн. м³ розсолів. Абсолютна відмітка берега кар'єру біля +300 метрів, максимальна глибина від земної поверхні - +175 м в південній частині кар'єру. Абсолютна відмітка поверхні розсолів по стану на початок 2016 року – 276 м. Мінералізація розсолів – від 40 – 60 г/л у приповерхневій частині до 400 – 430 г/л у придонній.

Під час експлуатації кар'єру та рудників як допоміжні об'єкти виробництва були утворені солевідвали, хвостосховища та акумулюючі ємності.

У двох солевідвалах закладовані в основному розкривні породи кар'єру. Складаються із пісчано-глинистих порід зі значним вмістом (до 30 %) хлориду натрію [80].

У солевідвалі №1, площа якого дорівнює $0,48 \text{ км}^2$, міститься $11,3 \text{ млн. м}^3$ порід. Висота відвалу 55 м. Рекультивовано $0,035 \text{ км}^2$. У солевідвалі №4, площа якого дорівнює $0,39 \text{ км}^2$, міститься $7,4 \text{ млн. м}^3$ порід. Висота відвалу 30 м. Рекультивовано $0,341 \text{ км}^2$.

Хвостосховища є штучно спорудженими ємностями для накопичення так званих «хвостів» невикористаних високомінералізованих вод. На хвостосховищі №1, площа якого складає $0,54 \text{ км}^2$, закладовані галітові відходи об'ємом $12 - 14 \text{ млн. м}^3$. Хвостосховище частково рекультивоване шляхом покриття поверхні шаром суглинку та гіпсо-глинистої породи товщиною 1,5 м. Хвостосховище №2 площею $0,48 \text{ км}^2$ заповнено так: тверда фаза – 9 млн. м^3 , рідка $1,7 \text{ млн. м}^3$. Хвостосховище №3, залишилось у стадії будівництва і налічує $0,25 \text{ млн. м}^3$ розсолів. Борти всіх хвостосховищ піднімаються над поверхнею землі. Рівень розсолів у них вищий за рівень підземних вод. На даний час спостерігається фільтрація розсолів через тіло дамби хвостосховища, що свідчить про її нещільність і можливість руйнування. Це підтверджене результатами геофізичних досліджень, які були проведені у 2004 році ДП «Спецгеологорозвідка».

Акумуляючі ємності №1 і №2 - це аналог хвостосховищ малих розмірів із загальним вмістом розсолів $0,4 \text{ млн. м}^3$.

2.4. Висновки до розділу

Унаслідок «мокрої» закладки, тобто заповнення виробленого простору недонасиченими розсолами на більшості об'єктів рудників та поступового розмиву міжкамерних ціликів відбувається осідання земної поверхні та просадко-провальні процеси з утворенням солоних озер за рахунок розсолів, витіснених із підземних порожнин. Просідання також відбуваються над камерами рудників, які залишились сухими. На руднику «Ново-Голинь», та

«Голинь», які були введені в експлуатацію пізніше, спостерігається початкова стадія просідання. Проектне просідання на шахтному полі «Східна Голинь» має досягти 10,7 м, а на полі «Сівка-Калуська» - 7,3 м. Після просідання і провалів, які загрожують житловим і господарським спорудам, виникне проблема засолення водоносного горизонту розсолами утворених озер. Територія навколо солевідвалів, хвостосховищ та акумулюючих ємностей є в достатній мірі незахищеною від природніх опадів, які розчиняють галіти та надалі інфільтруються у водоносний горизонт. За звітними оцінками Калуського науково-дослідного інституту «Галургія» відвали під час їх розмиву утворюють понад 345 тис. м³ розсолів щороку. Борти хвостосховищ та акумулюючих ємностей фільтрують накопичені в них розсоли, які також прямують у водоносний горизонт. При стабільному рівні розсолів у хвостосховищах з урахуванням опадів та природного випаровування хвостосховища щороку втрачають біля 0,6 млн. м³ розсолів. Для хвостосховища №2 існує небезпека прориву дамби і раптового скиду в річковий басейн 1,7 млн. м³ розсолів, що було б катастрофою. Таким чином, екологічна небезпека означеної території полягає в засоленні прилеглого горизонту підземних вод, подальшому руху цих вод у природному напрямку та забрудненні річкової системи басейну р. Дністер. Окрім того, забруднення водоносного горизонту загрожує функціонуванню водозабірних споруд, які постачають питну воду в місто Калуш (70 тис. населення).

Тому актуальним є питання екологічного моніторингу території Калуського гірничопромислового району із застосуванням геофізичних методів, застосування яких потребує методологічних розробок та створення відповідних моделей.

Розділ 3. Оцінка ефективності застосування геофізичних методів для моніторингу геологічного середовища

3.1. Застосування методу ПЕМПЗ та фізико-геологічні моделі

Метод знаходить останнім часом усе більше застосування для картування малоамплітудних тектонічних порушень на шахтних полях, вирішення інженерно-геологічних і геолого-екологічних задач. Методом ПЕМПЗ можуть ефективно вирішуватись задачі, пов'язані з вивченням напруженого стану гірських порід [69, 96, 106 - 108].

У середині минулого сторіччя професор Воробйов А.А. починає розробку сучасного експрес методу дослідження ПЕМПЗ.

Сам метод ПЕМПЗ заснований на явищі генерування мінералами діелектриками електромагнітної напруги при різних ступенях його напруженості. При навантаженні гірської породи мінерали, які в переважній більшості є діелектриками, у результаті фізичних явищ на атомарному рівні починають перетворювати механічну енергію в електричну. Виявлено, що осередок подібного випромінювання проявляється в районі формування тріщини. Це було підтверджено в ряді лабораторних та польових досліджень [64]. Вперше практичні дослідження явища електромагнітних випромінювань на зсувних ділянках були проведені професором Саломатіним В. М., спільно з співробітниками Томського політехнічного інституту в Криму в 1976 р [65]. В Україні в основному застосовується порівняно простий у користуванні і недорогий прилад для оцінки інтенсивності потоку ПЕМПЗ типу РХІНДС-ПМ, який розроблений Західно-Українською геофізичною розвідувальною експедицією (ЗУГРЕ) на замовлення Українського державного інституту мінеральних ресурсів (УкрДІМР). Крім того, є прилади «Сімеіз» і «Апогей». Електромагнітні поля, джерела яких знаходяться в надрах Землі, є першочерговим об'єктом геофізичних досліджень. А.А. Воробйов, ввівши поняття "природного імпульсного електромагнітного поля Землі", розумів

під ним весь комплекс електричних розрядів, що постійно відбуваються у всіх сферах нашої планети і в космічному просторі, але, у першу чергу, мав на увазі саме ті, що генеруються в її надрах гірськими породами внаслідок наступних процесів:

- механоелектричних перетворень в іонних кристалах при пластичних деформаціях (ефект А. В. Степанова);
- виникнення плазми, яка випромінює електромагнітні й акустичні хвилі при іскрових розрядах, що супроводжують утворення тріщин;
- розриву електричних зв'язків у твердих тілах, появи та релаксації вільних зарядів;
- температурних змін мінералів і порід;
- релаксації збудженого геологічного середовища.

У результаті деформацій гірські породи знаходяться в збудженому стані, що викликає розрядні явища та варіації імпульсного електромагнітного поля [95, 102].

Інтенсивність геоелектричних процесів залежить від ряду причин: склад і властивості порід різних ярусів, ступень їх активності, потужність деформованих мас, характер деформацій. Складний напружений стан тіла викликає різне протікання механоелектричних явищ. У результаті проходить сумування сигналів, тобто накладання полів. Генерування їх здійснюється різними джерелами. Незалежно від механізму генерування, у точці прийому фіксується сумарний сигнал, величина якого з урахуванням затухання визначається формулою [66]:

$$E = \sqrt{\frac{V}{m}} \cdot \beta \cdot \frac{E_0 \cdot \lambda}{2 \cdot \pi \cdot c} \cdot \left(\frac{r}{R}\right)^3 \cdot \Delta W \quad (3.1)$$

де E_0 - амплітуда напруженості поля на границі дифундуючого шару;

λ - довжина хвилі;

R - відстань від приймача до випромінювача;

c - швидкість світла;

- ΔW - частотний діапазон прийому;
- V - випромінюючий об'єм породи;
- m - об'єм елементарного випромінювача;
- β - зона випромінювача в об'ємі породи;
- r - характерний розмір випромінювача.

Аналіз експериментальних даних наведених в [75, 76], дозволяє стверджувати що результативні параметри різних геофізичних методів, а саме Δg , ρ , T та I корелюють між собою. Метод ПЕМПЗ при цьому вигідно відрізняється простотою, мобільністю, а також дуже високою чутливістю до змін напружено-деформованого стану гірських порід.

Виконані в роботах [64, 67] дослідження та отримані результати є теоретичним обґрунтуванням і практичним доказом положень про те, що в гірських породах різного складу та властивостей на різних стадіях мікродеформацій проходить генерування електромагнітних сигналів; інтенсивність електромагнітної емісії при різних навантаженнях зростає зі збільшенням вмісту в їх складі мінералів діелектриків, міцності та пружності; перехід породи з однієї стадії напружено-деформованого стану в другу характеризується екстремумами імпульсних електромагнітних полів. Останнє зауваження є дуже важливим - воно підкреслює той факт, що для механо-електричних перетворень та імпульсного випромінювання необхідна зміна напружено-деформованого стану в часі.

Прогнозування за даними ПЕМПЗ може засновуватись на наступних положеннях:

- 1) визначення напруженого стану масиву гірських порід і прогноз умов можливого його переходу в критичний стан;
- 2) прогноз кінетики незворотних деформацій у породах і прогноз переходу їх у катастрофічну фазу розвитку;
- 3) управління процесом з метою захисту існуючих об'єктів від його руйнівної дії.

Немає сумніву, що методи, засновані на вивченні закономірностей зміни та розвитку властивостей порід, є найбільш цінними в прогнозуванні, тому що саме вони дають інформацію про явища, які передують зміщенню порід. Із застосуванням методу ПЕМПЗ здійснюється переважно якісне вирішення цих питань.

Про це свідчить багатofакторність процесів, які супроводжуються імпульсним випромінюванням. Це підтверджує і формула (3.1), яка дає можливість розуміння фізики процесу, але не може бути використана для моделювання, оскільки значення параметрів, які входять у формулу, заздалегідь невідомі, а з теоретичної точки зору можуть коливатись у значних межах. Тому надалі розглянемо з якісної точки зору, які аномалії можна отримати і як їх класифікувати для конкретних умов карстоутворення.

На першому етапі наведемо рис. 3.1, який демонструє розподіл гірничого тиску пов'язаного з гірничою виробкою.

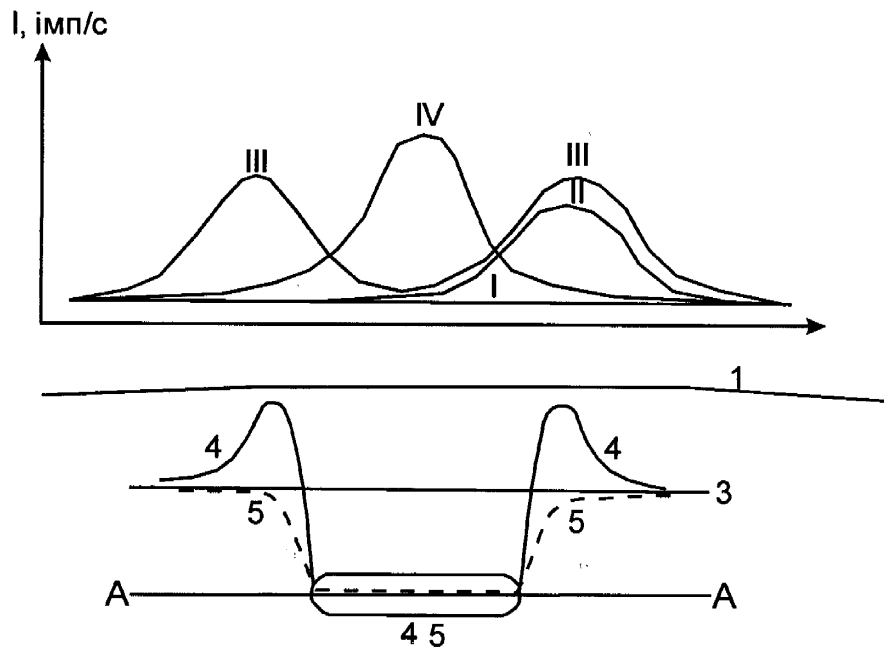


Рис. 3.1. Перерозподіл гірничого тиску в результаті проведення гірничої розробки: 1 - земна поверхня; 2 - підземна гірничая виробка; 3 - вертикальні і горизонтальні напруження в точках прямої AA до проведення розробки; 4 і 5 - відповідно вертикальні і горизонтальні напруження в точках прямої AA після проведення розробки.

До явищ, які формують та супроводжують гірничий тиск, відносять деформації, зміщення та руйнування елементів породних масивів і земної поверхні, взаємодію елементів масивів з інженерними спорудами. Отже головним збудником гірничого тиску є гравітація, додатковими збудниками, які мають різну поширеність, тривалість і силу дії, є геотектонічні процеси, а також виробнича діяльність по видобуванню корисних копалин, будівництву підземних і наземних споруд. На рис. 3.1 також наведені запропоновані автором роботи модельні криві інтенсивності ПЕМПЗ в імпульсах в секунду для різноманітних можливих ситуацій.

При статичному існуванні видобувних камер без зміни статичного тиску в часі будемо фіксувати криву I. При зміні гірничого стану за рахунок деформації будь-якої стінки камери (наприклад правої на рисунку) виникає крива II, а при деформації усіх стінок – крива III. При прогині стеліни буде мати криву IV. Зрозуміло, що цілком можливі комбінації зазначених ситуацій. Крім того, імовірними є аномалії ПЕМПЗ при розмиві засолених брекчій і відповідних деформацій у гірничому масиві.

На початковій стадії розвитку деформацій, зміщень та руйнування масивів зміни гірничого тиску за рахунок механо-електричних перетворень будуть відображатись тільки в полі ПЕМПЗ, тобто цей метод буде єдиним прогностичним. На подальших стадіях відзначається просідання земної поверхні у вигляді ізометричних мульд, які в деякій мірі мусять просторово корелювати з аномаліями ПЕМПЗ.

3.2. Застосування методу гравіметрії та фізико-геологічні моделі

Зміни поля сили тяжіння по земній поверхні залежать від зміни щільності гірських порід, що складають товщу земної кори. Розуцільнення порід обумовлюють від'ємні аномалії поля, ущільнення - додатні. Ступінь ущільнення-розуцільнення прямопропорційно впливає на інтенсивність та розміри даних аномалій [15, 22, 23].

Для природного карста чи зони його розвитку та поширення, аналогічно як і для соляної камери, характерне значне розуцільнення відносно вміщуючого середовища, оскільки щільність заповнювача (вода, повітря) порожнин набагато менша щільності порушених гірських порід: щільність каїнітової солі - $2.1 \div 2.25 \cdot 10^3$ кг/м³, мінералізованої води - $1.23 \div 1.3 \cdot 10^3$ кг/м³, повітря ≈ 0 кг/м³. (табл. 3.1)

Таблиця 3.1.

Густина гірських порід (рудник «Ново-Голинь»).

№ п/п	Порода	Вік	Межі густини за лабораторними визначеннями, 10 ³ кг/м ³	Вихідні модельні значення густини, 10 ³ кг/м ³
1	Суглинки	Q	2.0 – 2.1	2.05
2	Гравійно-галькові відклади	Q	2.0 – 2.4	2.3
3	Гіпсо-глиниста «шапка»	Q	2.2 – 2.2	2.2
4	Глинисті сланці, аргіліти	N1bl2	1.95 – 2.3	2.12
5	Глинисті сланці, аргіліти (“вторгненні”)	N1bl1	1.95 – 2.3	2.12
6	Глинисті сланці, аргіліти	N1stb	2.0 – 2.35	2.2
7	Соленосні глини та брекчії	N1bl1	1.95 – 2.3	2.12
8	Калійна сіль	N1bl1	2.1 – 2.25	2.25
9	Розсіл		1.27	1.27
10	Незаповнена гірнична виробка		0	0

Методика високоточних спостережень дозволяє досягти виявлення аномалій з точністю в $\pm 0.02 \cdot 10^{-5}$ м/с². Максимально можливий крок між точками спостережень, при якому надійно будуть виявлені та проінтерпретовані очікувані аномалії, повинен складати не більше 20 м по профілю, а між профілями відстань повинна складати не більше 40 м.

Розділювальна здатність методів високоточної гравірозвідки при побудовах детальних моделей геологічних середовищ пов'язана не тільки з точністю спостережень та з похибками первинної обробки (визначення аномалій сили тяжіння в редукції Буге). На практиці вона залежить від

ступені гравіактивності пошукових геологічних утворень та від можливостей комп'ютерних технологій, що використовуються.

При постановці оберненої задачі гравірозвідки оцінка розділювальної здатності пов'язана з визначенням мінімальної інтенсивності та розмірів очікуваних локальних аномалій поля. На основі порівняння даних параметрів аномалій з можливою точністю спостережень та можливостями комп'ютерної системи обґрунтовується метод гравірозвідки з метою виявлення та картування пошукових геологічних об'єктів.

Точність рішення прямих задач за допомогою даної комп'ютерної системи оцінюється в $\leq 0.01 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$. Точність рішення ОЗГ (середньоквадратичне відхилення модельного поля від спостереженого), як правило, вища за точність польових спостережень.

Відомості про щільність гірських порід наведені в таблиці 3.3. Визначення густин виконувались на калійному заводі, тому що є необхідними, по-перше, при розрахунках міцнісних властивостей солей і соленосних порід, по-друге, при підрахунках запасів. При аналізі таблиці слід зауважити наступне.. Прийнята модельна щільність вибрана, керуючись нашим досвідом роботи на Калуш-Голинському родовищі та знанням геологічної ситуації.

Наближення її для деяких порід до максимальної межі означає, що приймається щільність порід в корінному заляганні, до тектонічних та фаціальних змін. Мінімальне значення при розущільненні отримано в результаті лабораторних вимірювань відповідних насипних порід, тобто також обґрунтовано. Окремим шаром на моделях виділена частина пустих гірничих виробок (густина 0), а також затоплених виробок (густина розсолу $1.27 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$).

Для з'ясування можливостей високоточної гравіметрії при прогнозуванні карстоутворень, провалів, осідання земної поверхні та вивчення динаміки їх розвитку, розрахований гравітаційний ефект від них на

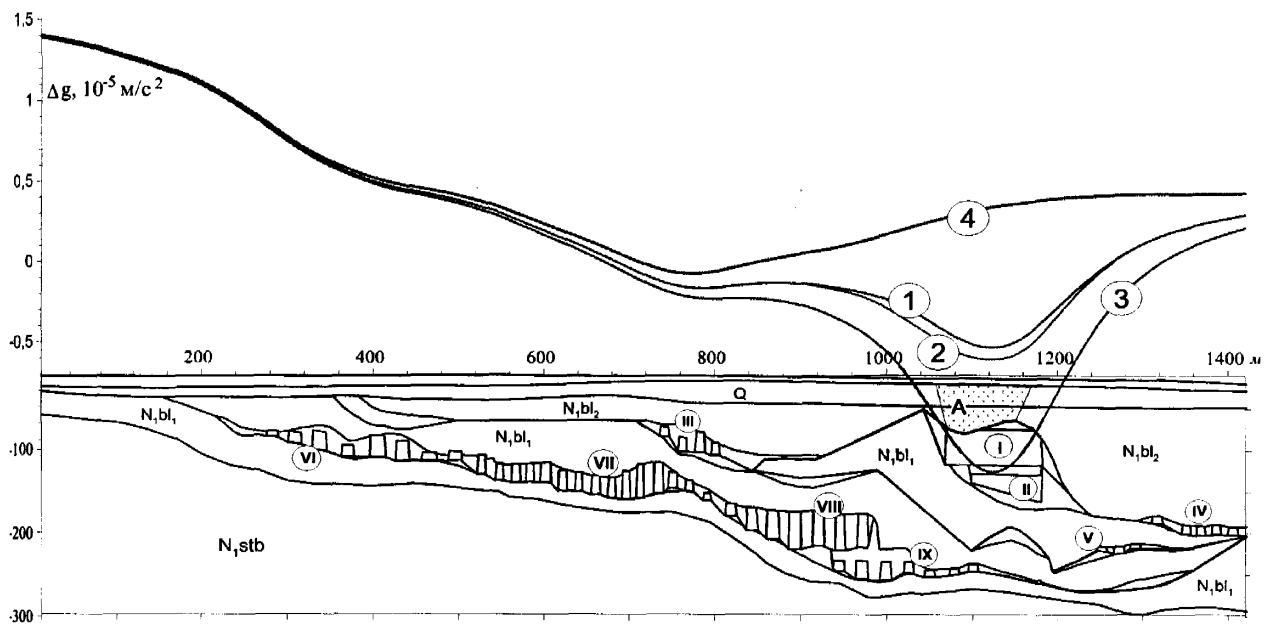
прикладі геологічного розрізу ділянки рудника «Ново-Голинь». Профіль для гравіметричного моделювання обрано по лінії реперних точок геодезичних спостережень. Геологічний розріз по профілю складається з відкладів стебницької світи, що представлені розсланцьованими глинами з прошарками гіпсу й алевроліту, які підстеляють соленосні глини, брекчії з лінзами та пласти калійних солей нижньобалицької світи; вище залягають породи верхньобалицької світи, які представлені глинами (таблиця 3.1).

Для рудного каїнітового пласта, який знаходиться у відкладах нижньобалицької світи, густина складає $2,25 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, а для гірничих виробок (камер), що заповнені пульпою і розсолами, вона становить $1,27 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$. Для зони розущільнення соленосної нижньобалицької світи, яка знаходиться в рудному пласті і вище нього, густина прийнята $2,20 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Соляні камери, локальні зміни густини розчину законсервованих гірничих виробок, а також зони розущільнення, які розвинуті в результаті порушення цілісності гірських порід над камерами, зумовлюють від'ємні локальні аномалії гравітаційного поля. Ці локальні аномалії техногенного походження в сумарному гравітаційному полі є корисною компонентою.

Для підвищення достовірності виділення із сумарного поля та інтерпретації техногенної аномальної складової виконано оцінку гравітаційного ефекту від можливих техногенних явищ, змодельованих на прикладі реального геологічного розрізу родовища калійної солі.

Аномальні гравітаційні ефекти визначено для наступних варіантів густинних моделей (рис. 3.2, табл. 3.1):



- I, II...IX – камери у пластах солі, або групи камер;
 А – зона ймовірного розуцільнення над камерами;
 1-4 – гравітаційні ефекти для низки варіантів густинного розрізу.

Рис. 3.2. Ділянка «Східна Голинь» рудника "Ново-Голинь".

Моделювання гравітаційних аномалій від впливу відпрацьованих гірничих виробок виконаних для наступних варіантів:

1) модель однорідних товщ без карстоутворень, соляні камери насичені розсолами, густина розсолів – $1,30 \cdot 10^3$ кг/м³ (рис. 3.2, крива 1);

2) модель з локальною зоною розвитку карсту над пластом солі, породи у межах карсту розуцільнені на $0,10 \cdot 10^3$ кг/м³; максимальний ефект пониження рівня гравітаційного поля (відносно модельного поля за першим варіантом) склав $-0,075 \cdot 10^{-5}$ м/с² (рис. 3.2, крива 2);

3) модель без карстоутворення зі зміненою густиною розсолів (що можливо за рахунок руйнування ціликів, прориву ґрунтових вод, тощо) на $\pm 0,2 \cdot 10^3$ кг/м³; аномальний гравітаційний ефект склав $\pm 0,05 \cdot 10^{-5}$ м/с²;

4) модель без карстоутворення зі зміненою густиною розсолів на $\pm 0,1 \cdot 10^3$ кг/м³; аномальний гравітаційний ефект – $\pm 0,025 \cdot 10^{-5}$ м/с².

Також для порівняння гравітаційних ефектів виконано моделювання для варіанту розрізу, у якому камери I і II не заповнені розсолами (рис. 3.2, крива 3) та у якому камери відсутні (рис. 3.2, крива 4).

За результатами модельних розрахунків для умов Калуш-Голинської площі досліджень осідання земної поверхні і провальо-просадкових процесів, що обумовлені камерами, а відповідно і від'ємними аномаліями інтенсивністю до $-0.2 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$, будуть відображатись в полі. Імовірні зони будуть знаходитись на рівні соляного дзеркала (рівні глибин $70 \div 90 \text{ м}$) та вище - до $-0.01 \div -0.1 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$. Розміри аномалій в плані становлять не менше $80 \div 100 \text{ м}$.

Інтенсивність та розміри розрахованих аномалій гравітаційного поля для моделей реальних змін техногенного походження по розрізу підтверджують можливість ефективного контролю екологічного стану геологічного середовища за допомогою високоточної гравірозвідки.

Моделювання аномальних ефектів виконано за допомогою комп'ютерної системи "Complex Gravity" [89, 90].

3.3. Застосування методу вертикального електричного зондування та фізико-геологічні моделі

Проведемо аналіз кривих ВЕЗ, які виконані по восьми профілях на досліджуваній ділянці «Домброво-Лімниця». Всього отримано 142 точки спостереження – це чотирихшарові криві: 69 точок ВЕЗ типу **НК**, 49 точок типу **КQ** і 24 точки типу **QQ**. Карта типів кривих зображена на рис. 3.3. При візуальному аналізі ясно, що області різних типів кривих витримані за площинним розповсюдженням.

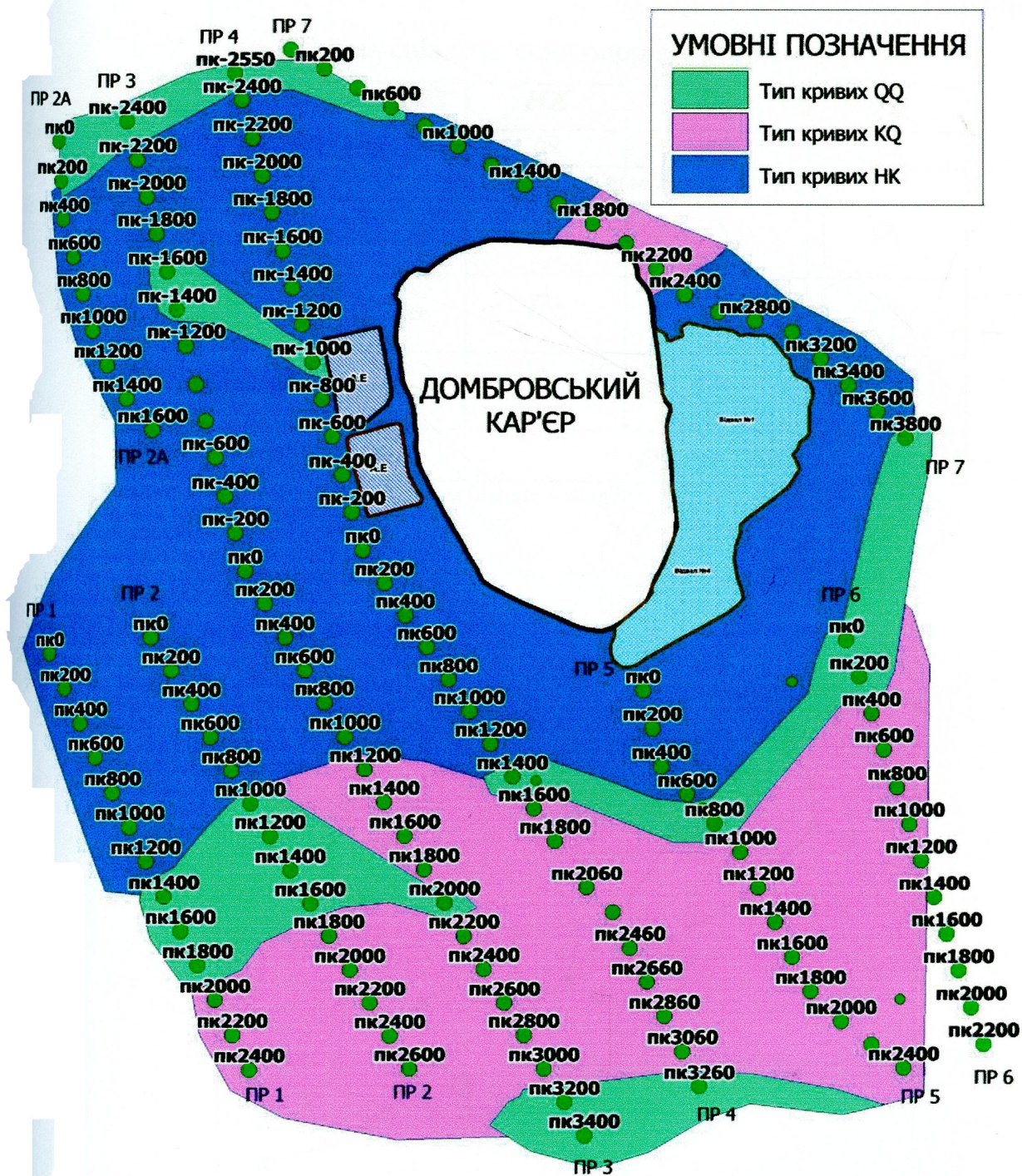


Рис. 3.3. Карта типів кривих ВЕЗ.

У таблиці 3.2 наведено схему співставлення опорів кривих ВЕЗ, а на рис. 3.4 - суміщені криві трьох типів.

Розгляд схеми табл. 3.2 та рис. 3.4 приводить до наступних висновків.

Схема співставлення опорів у розрізі.

№ горизонту	Тип кривої ВЕЗ	<i>НК</i>	<i>КQ</i>	<i>QQ</i>
		69	49	24
Співвідношення опорів				
1 – електричний горизонт		ρ_1 ∨	ρ_1 ∧	ρ_1 ∨
2 – електричний горизонт		ρ_2 ∧	ρ_2 ∨	ρ_2 ∨
3 – електричний горизонт		ρ_3 ∨	ρ_3 ∨	ρ_3 ∨
4 – електричний горизонт	$\rho_4 \rightarrow \min$			

Примітка: ∨, ∧ - відповідає знакам більше – менше

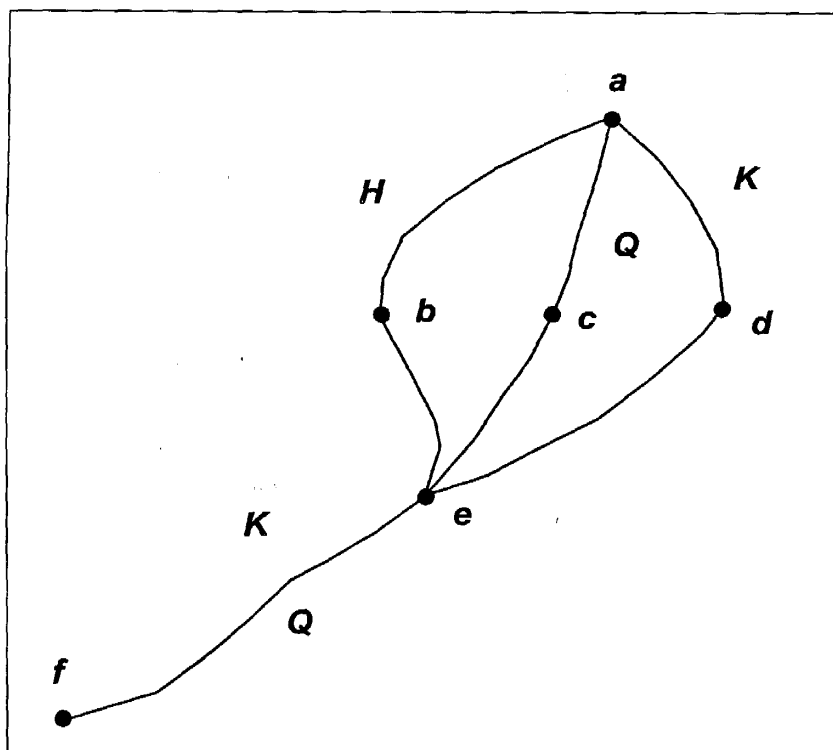


Рис. 3.4. Суміщені криві ВЕЗ різних типів, що зустрічаються на ділянці дослідження.

Для горизонту ρ_1 для всіх точок ВЕЗ відмічається витриманий опір (точка a на рис. 3.4). Розріз *НК* зустрічається у 69 точках ВЕЗ (точки a, b, e, f на рис. 3.4), а розріз *КQ* - у 49 точках (точки a, d, e, f на рис. 3.4), а розріз

QQ - 24 рази (точки a, c, e, f на рис. 3.4). Тобто горизонт ρ_2 є невитриманим за опором і можливо - за літологією.

Витриманим у будь якій точці розрізу є співвідношення $\rho_3 > \rho_4$, тобто ці горизонти є стабільними і завжди присутніми в розрізі. Більш детальні висновки можна буде зробити після кількісної інтерпретації.

Доведенням того факту, що отримані дані опору відповідають певному горизонту, є аналіз розподілу вибірок опорів та потужностей горизонтів, який полягає у побудові гістограм та перевірці відповідності фактичного закону розподілу одному з теоретичних.

З попередніх міркувань та аналізу таблиці інтерпретації зрозуміло, що треба оцінити розподіли наступних вибірок: ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 , ρ_4 як для кожного типу, так і сумісно для всіх типів. Результати статистичного аналізу наведено в узагальненій табл. 3.3 та на рис. 3.5 - 3.11.

У відповідності до табл. 3.4 усі вибірки підпорядковуються одночасно двом законам – логнормальному та нормальному, причому перевага (і суттєва) надається логнормальному закону в переважній кількості випадків. Така закономірність є тривіальною для розподілів геолого-геофізичних параметрів і свідчить про вплив не одного, а декількох факторів на формування кожного з літологічних горизонтів. Такий підхід і такий висновок у деякій мірі є формальним, про що свідчить рис. 3.5 - 3.11 та таблиці узагальненої інтерпретації табл. 3.5 - 3.7. Зокрема для типу QQ розподіли опорів і потужностей свідчать про наявність двох горизонтів, що цілком можливо для першого шару покривних порід, у якому опір може залежати від переваги наявності піщаного чи глинистого матеріалу, а головне у воложеності.

Проте середні значення опорів ρ_1 та потужності для різних типів є приблизно однаковими. Зважаючи на наявність декількох зон типу QQ (див. рис. 3.3– карта типів кривих), немає доказів необхідного розділу першого горизонту на підгоризонти.

Таблиця 3.3.

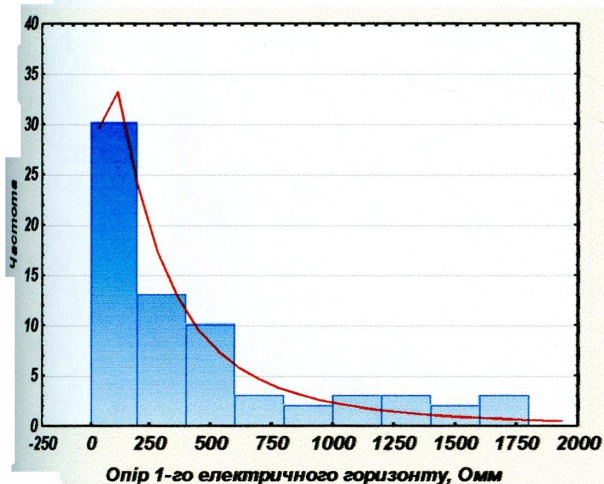
Узагальнені результати статистичного аналізу для горизонтів $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$.

Тип кривої ВЕЗ	Електричний горизонт	Закон розподілу	D-стат.	D-крит.	N	Сер. знач	-3σ	$+3\sigma$
НК	ρ_1	Логнормальний	0,085311	0.1634	69	469,6	-232,9	1172,1
		Нормальний	0,206250					
КQ	ρ_1	Логнормальний	0,115461	0.1940	49	208,5	-182,0	599,0
		Нормальний	0,199725					
QQ	ρ_1	Логнормальний	0,156838	0.2772	24	316,983	-333,7	967,7
		Нормальний	0,208766					
НК, КQ, QQ	ρ_1	Логнормальний	0,069190	0.1139	142	339,638	-194,2	873,5
		Нормальний	0,230134					
НК	ρ_2	Логнормальний	0,230110	0.1634	69	35,8	-13,6	85,3
		Нормальний	0,194679					
КQ	ρ_2	Логнормальний	0,112565	0.1940	49	499,6	-220,2	1219,5
		Нормальний	0,138962					
QQ	ρ_2	Логнормальний	0,131884	0.2772	24	111,9	-120,4	344,3
		Нормальний	0,229929					
НК, КQ, QQ	ρ_2	Логнормальний	0,132819	0.1139	142	555,3	-128,6	213,3
		Нормальний	0,259447					
НК	ρ_3	Логнормальний	0,087986	0.1634	69	76,9	3,2	150,6
		Нормальний	0,201321					
КQ	ρ_3	Логнормальний	0,163569	0.1940	49	49,8	18,7	80,9
		Нормальний	0,207069					
QQ	ρ_3	Нормальний	0,126371	0.2772	24	23,7	-22,7	70,2
		Логнормальний	0,224773					
НК, КQ, QQ	ρ_3	Логнормальний	0,158020	0.1139	142	58,5	4,5	112,6
		Нормальний	0,211463					
НК	ρ_4	Логнормальний	0,100139	0.1634	69	4,6	-1,5	10,9
		Нормальний	0,170152					
КQ	ρ_4	Логнормальний	0,146435	0.1940	49	2,4	-0,89	5,78
		Нормальний	0,282281					
QQ	ρ_4	Логнормальний	0,127028	0.2772	24	2,2	-2,2	6,8
		Нормальний	0,250955					
НК, КQ, QQ	ρ_4	Логнормальний	0,076203	0.1139	142	3,5	-1,4	8,4
		Нормальний	0,192622					

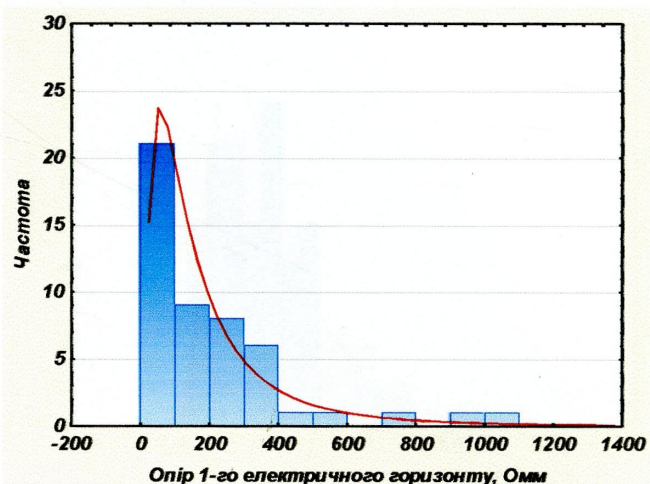
Таблиця 3.4.

Узагальнені результати статистичного аналізу для горизонтів h_1, h_2, h_3 .

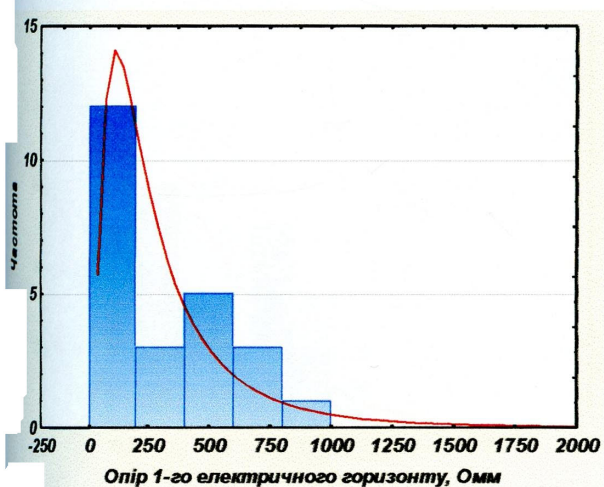
Тип кривої ВЕЗ	Електричний горизонт	Закон розподілу	D- статистика	N
НК	h_1	Логнормальний	0,120360	69
		Нормальний	0,181688	
КQ	h_1	Логнормальний	0,093459	49
		Нормальний	0,117437	
QQ	h_1	Логнормальний	0,108053	24
		Нормальний	0,152599	
НК, КQ, QQ	h_1	Логнормальний	0,090542	142
		Нормальний	0,122158	
НК	h_2	Логнормальний	0,075384	69
		Нормальний	0,146831	
КQ	h_2	Логнормальний	0,071490	49
		Нормальний	0,098094	
QQ	h_2	Логнормальний	0,142503	24
		Нормальний	0,236864	
НК, КQ, QQ	h_2	Логнормальний	0,048495	142
		Нормальний	0,115804	
НК	h_3	Логнормальний	0,065504	69
		Нормальний	0,124455	
КQ	h_3	Логнормальний	0,091974	49
		Нормальний	0,147966	
QQ	h_3	Нормальний	0,143318	24
		Логнормальний	0,222741	
НК, КQ, QQ	h_3	Логнормальний	0,058209	142
		Нормальний	0,128454	



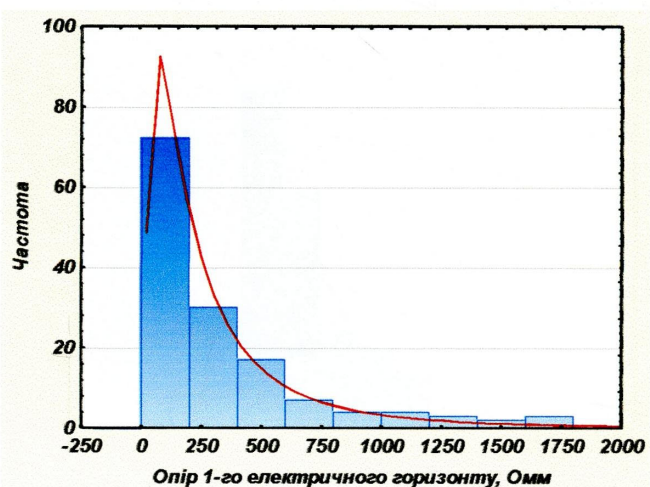
а



б



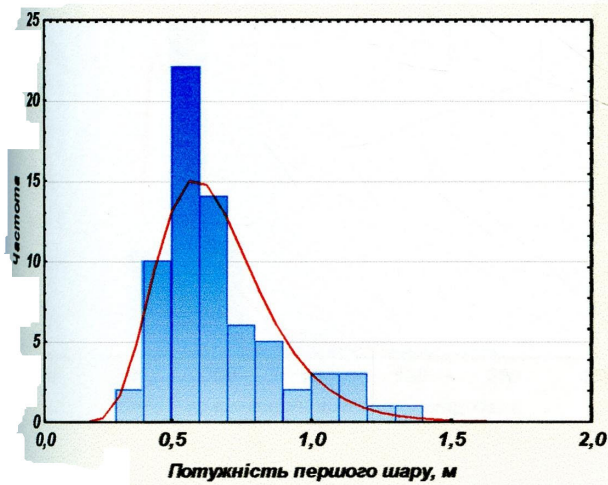
в



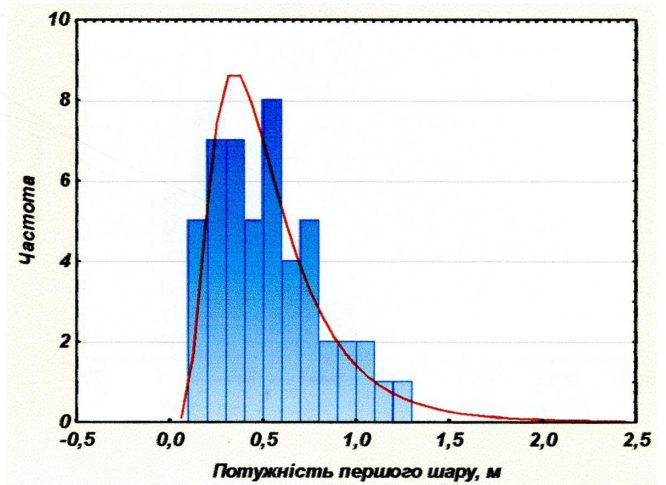
г

Рис. 3.5. Гістограми та відповідні їм теоретичні криві розподілу ρ_1 :

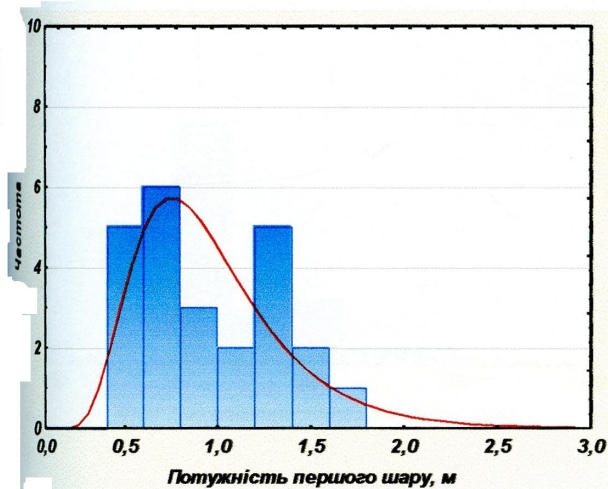
а – для типу **НК**; б – для типу **КQ**; в – для типу **QQ**; г – для типів **НК**, **КQ** і **QQ**.



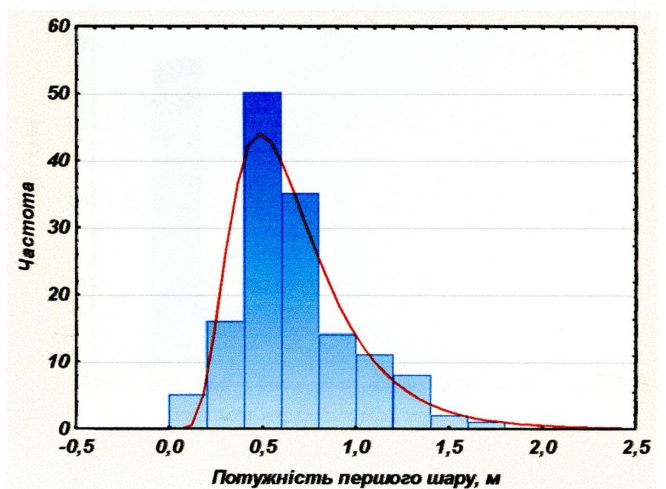
а



б



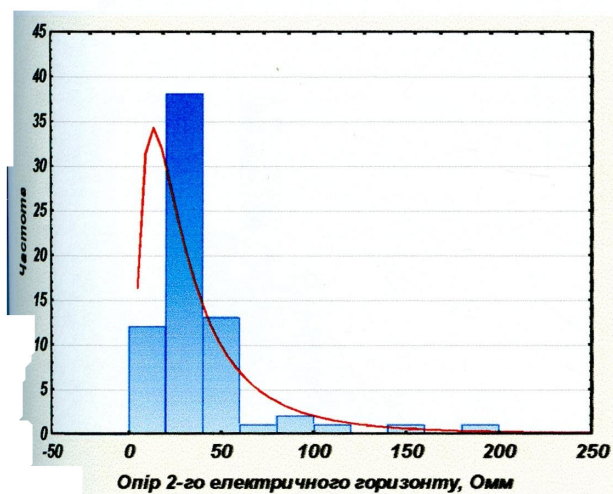
в



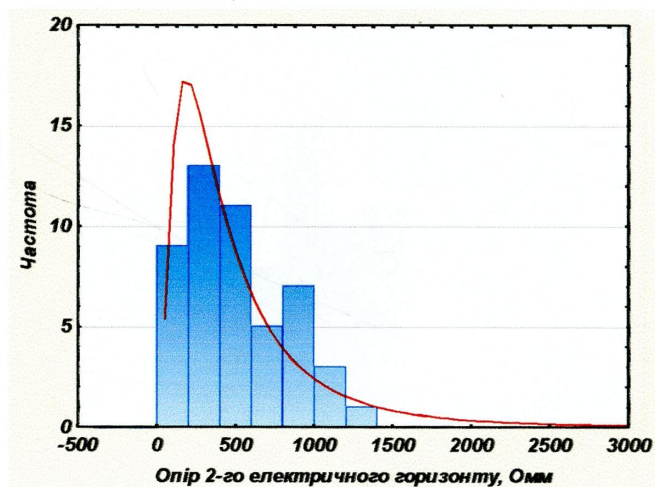
г

Рис. 3.6. Гістограми та відповідні їм теоретичні криві розподілу h_1 :

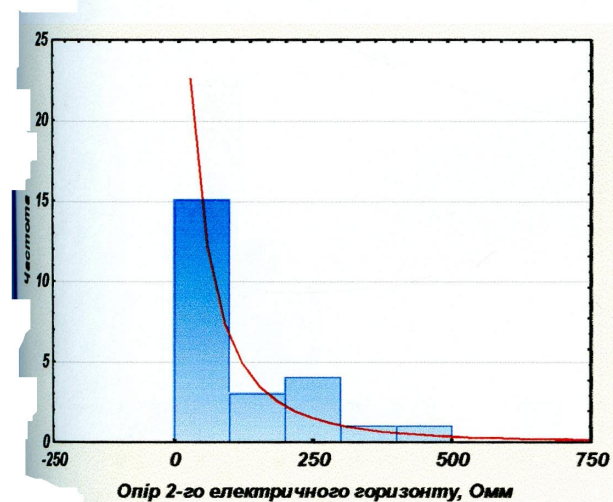
а – для типу **НК**; б – для типу **КQ**; в – для типу **QQ**; г – для типів **НК**, **КQ** і **QQ**.



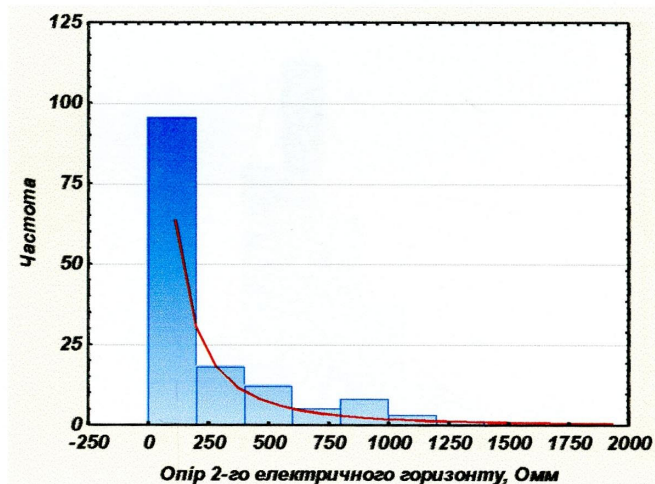
а



б



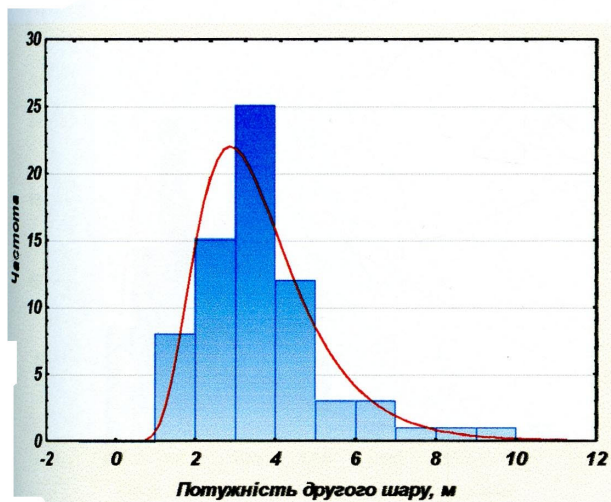
в



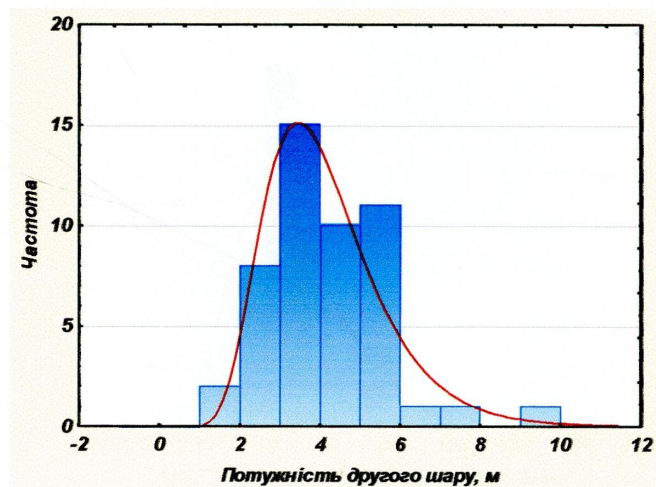
г

Рис. 3.7. Гістограми та відповідні їм теоретичні криві розподілу ρ_2 :

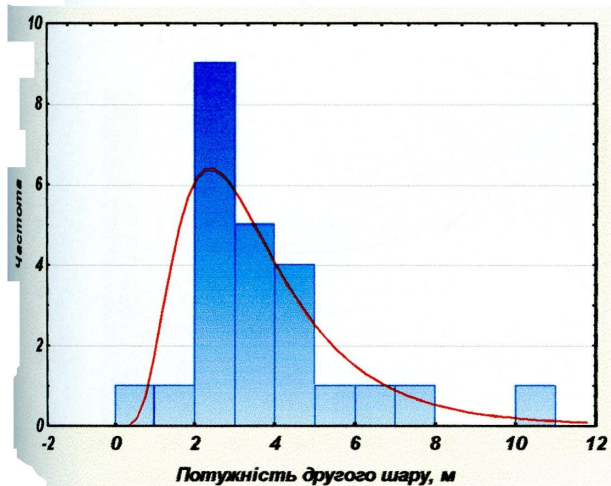
а – для типу **НК**; б – для типу **КQ**; в – для типу **QQ**; г – для типів **КК**, **КQ** і **QQ**.



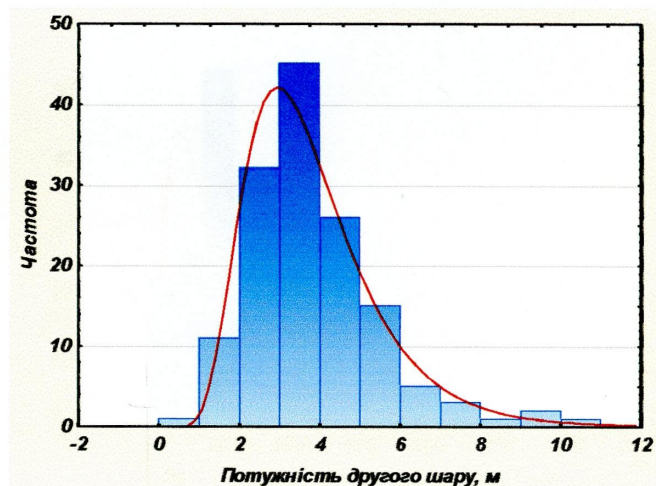
а



б



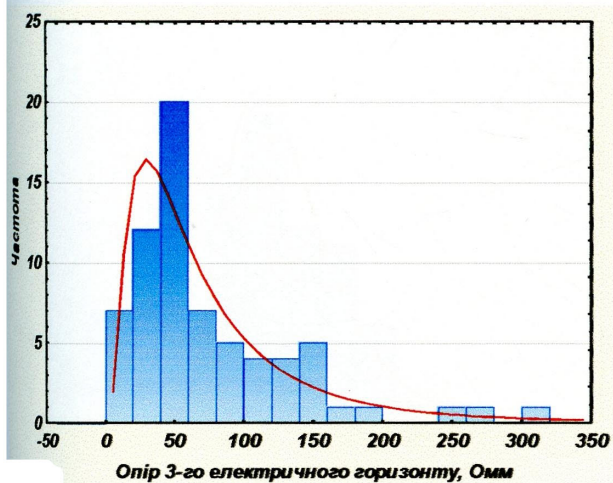
в



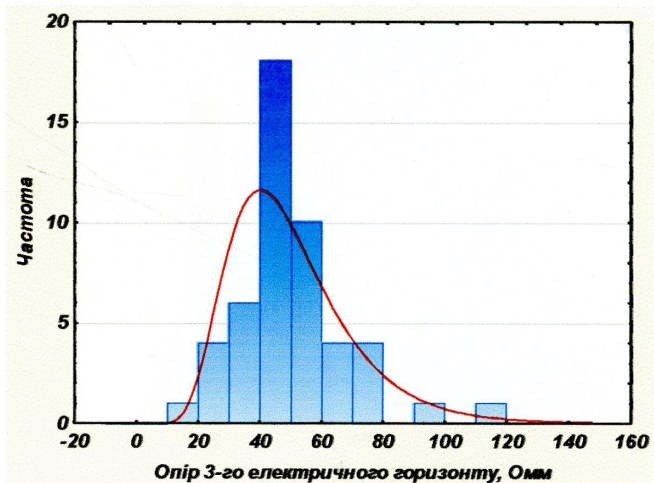
г

Рис. 3.8. Гістограми та відповідні їм теоретичні криві розподілу h_2 :

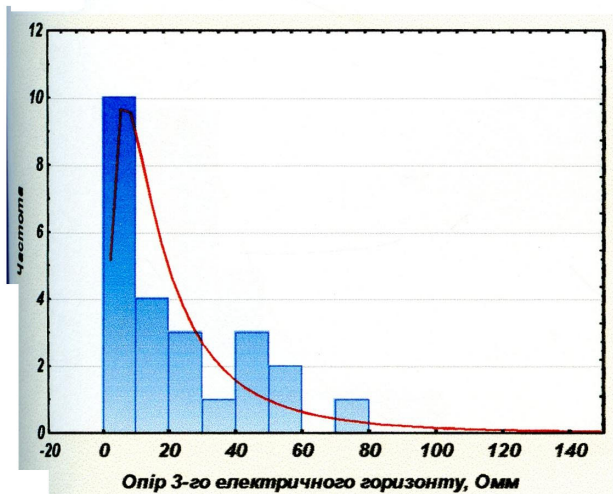
а – для типу **HK**; б – для типу **KQ**; в – для типу **QQ**; г – для типів **HK**, **KQ** і **QQ**.



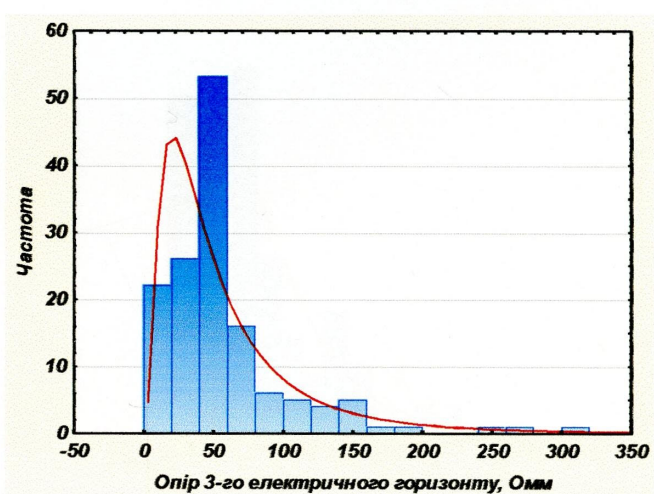
а



б



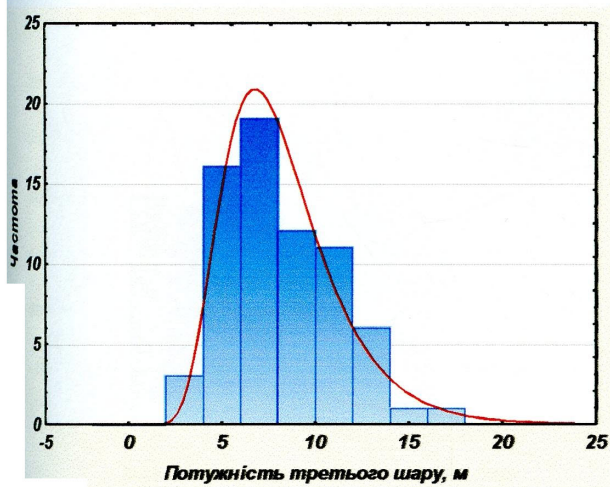
в



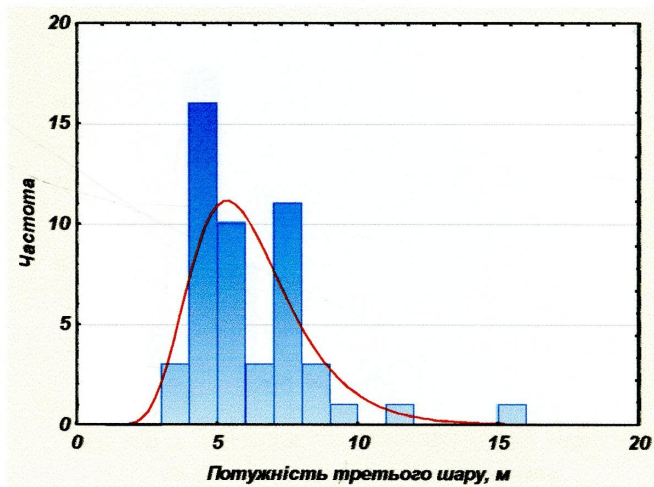
г

Рис. 3.9. Гістограми та відповідні їм теоретичні криві розподілу ρ_3 :

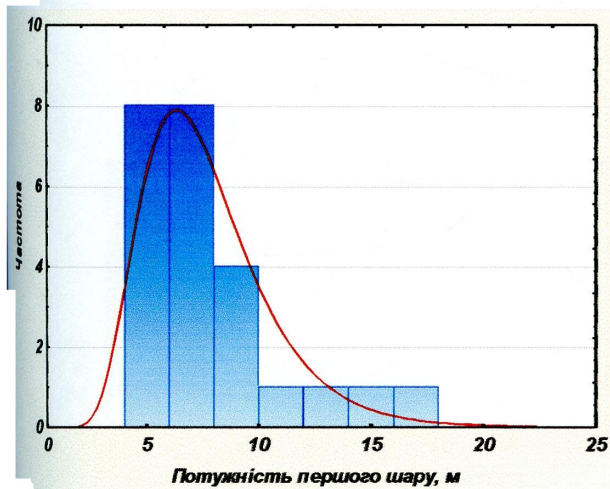
а – для типу **HK**; б – для типу **KQ**; в – для типу **QQ**; г – для типів **HK**, **KQ** і **QQ**.



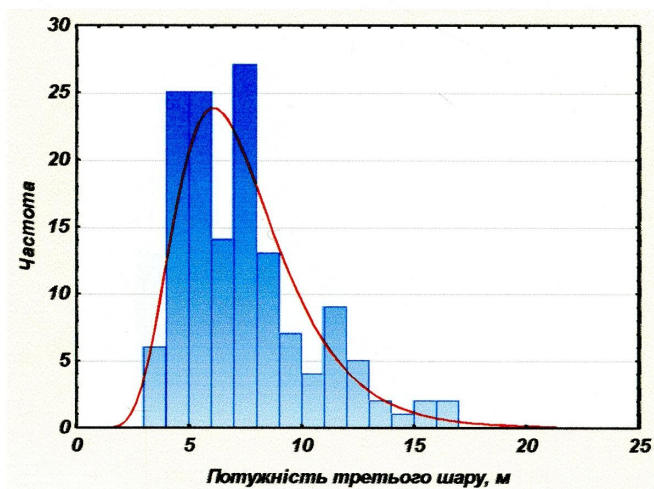
а



б



в



г

Рис. 3.10. Гістограми та відповідні їм теоретичні криві розподілу h_3 :

а – для типу **HK**; б – для типу **KQ**; в – для типу **QQ**; г – для типів **HK**, **KQ** і **QQ**.

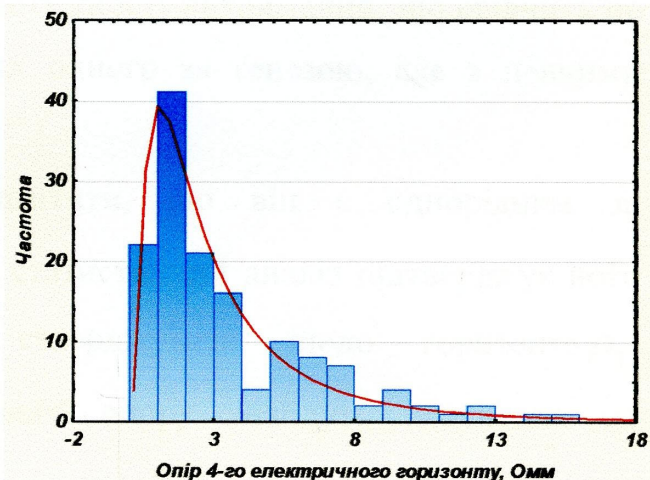
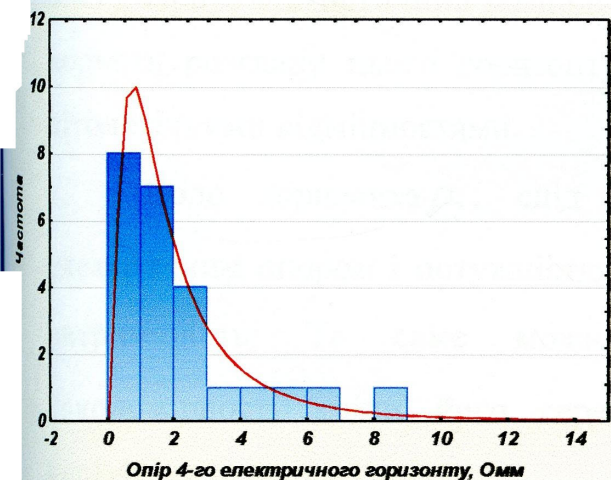
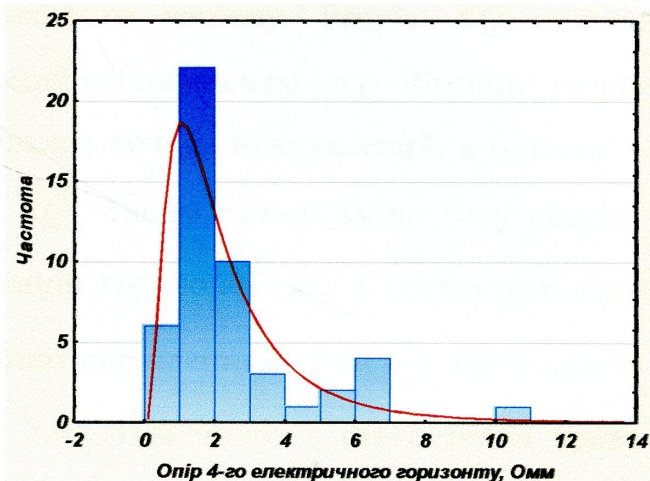
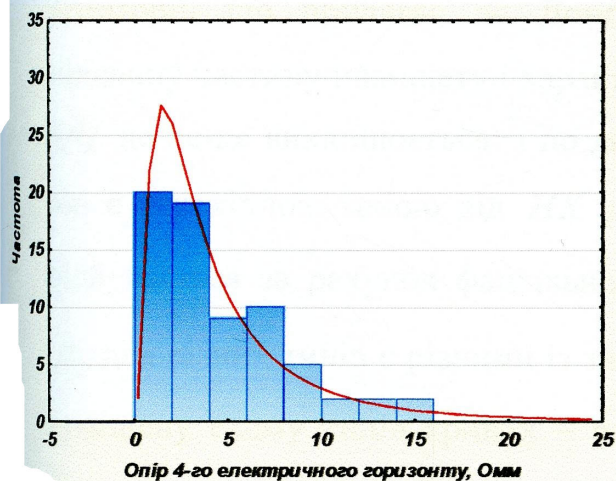


Рис. 3.11. Гістограми та відповідні їм теоретичні криві розподілу ρ_4 :

а – для типу **НК**; б – для типу **КQ**; в – для типу **QQ**; г – для типів **НК, КQ і QQ**.

Інша справа - горизонт ρ_2 . З розгляду карти типів кривих стає зрозумілим, що основними типами є *НК* та *КQ*. Розріз *НК* займає трохи більше за 50 % північної частини території дослідження і є домінуючим для території, що прилягає до Домбровського кар'єру. Розріз *КQ* займає південну частину планшету і характерний наближенням до р. Лімниці. Розріз *QQ* де-не-де виклинюється і по декількох точках невиявлений, а головне – він є перехідною зоною від *НК* до *КQ*. Таким чином зміна типу розрізу відбувається за рахунок фаціальної зміни горизонту ρ_2 . Середні значення ρ_2 для різних типів є різними із значним відхиленням один від одного (див. суміщену схему типів кривих – рис. 3.4). Тим чином і статистична крива розподілу ρ_2 для всіх типів може бути розділена на 2 або 3 окремих (рис. 3.8 г). Проте статистичний розподіл потужності витриманий, що свідчить на користь розгляду цього горизонту як одного за генезою, але з певними літологічними відмінностями.

Щодо горизонту ρ_3 , слід відмітити, що він є однорідним за електричним опором і потужністю, а статистичний аналіз підтверджує його витриманість. Те саме можна стверджувати щодо горизонту ρ_4 . Закономірності зміни його середнього опору знайдуть пояснення на наступних сторінках звіту.

Як зазначалось вище, узагальнення результатів інтерпретації (з відомості) по точках типів кривих ВЕЗ наведено в табл. 3.5 - табл. 3.7

Таблиця 3.5.

Узагальнення результатів ВЕЗ. Тип *НК*

Електричний горизонт	I електричний горизонт		II електричний горизонт		III електричний горизонт		IV електричний горизонт	
Потужність, м	0,5	3,65	0,614	8,47	1,97	16,3		
	0,74		3,57		9,13			
Позірний опір, Ом м	20,6	2295	2,03	291	1	261	0,05	34,2
	469,62		35,16		76,21		4,78	

Примітка: в чисельнику наведено мінімальне та максимальне значення, у знаменнику – середнє.

Таблиця 3.6.

Узагальнення результатів ВЕЗ. Тип **QQ**

Електричний горизонт	I електричний горизонт		II електричний горизонт		III електричний горизонт		IV електричний горизонт	
Потужність, м	0,5	2,02	0,7	9,5	1,7	23,02		
	0,7		3,4		8,4			
Позірний опір, Ом м	80	1835	34,6	560	7,21	73,9	0,165	9,55
	507,85		176,01		35,56		2,94	

Таблиця 3.7.

Узагальнення результатів ВЕЗ. Тип **KQ**

Електричний горизонт	I електричний горизонт		II електричний горизонт		III електричний горизонт		IV електричний горизонт	
Потужність, м	0,5	2,21	0,665	8,07	1,8	22,7		
	0,79		3,10		7,72			
Позірний опір, Ом м	53,9	1347	34,6	1415	1,75	442	0,245	11,6
	266,66		599,87		94,44		2,61	

Таким чином, у розрізі відмічаються наступні геоелектричні горизонти.

I геоелектричний горизонт прослідковується на всій території досліджень. Має потужність від 0,5 до 3,65 м при середньому значенні 0,74. На ділянках різних типів розрізів середня потужність витримується (**НК** - 0,74 м, **QQ** - 0,7 м, **KQ** - 0,79 м). Значення позірного опору коливається в значних межах – від 22 до 2996 Ом·м при середньому 417 Ом·м. По типах розрізів горизонт відносно стабільний по середніх опорах (**НК** - 425 Ом·м, **QQ** - 508 Ом·м, **KQ** - 264 Ом·м). Літологічно горизонт пов'язаний з поверхневими супісчаними відкладами з присутністю глини та суглинків. У північній частині території (тип **НК** та **QQ** як перехідна зона від **НК** до **KQ** на півдні) опір дещо вищий, що пов'язується з наявністю більш крупного галькового матеріалу та супісчаних порід нерідко техногенного походження (середнє значення $\rho_n = 491$ Ом·м. У південній частині ділянки (тип розрізу **KQ**) у деяких місцях переважає природній ґрунтовий покрив – більш заглинизований і уволожений (середнє значення опору 267 Ом·м) свідчить про значну диференціацію його фільтраційних властивостей. Це в

свою чергу забезпечує з урахуванням природної випарованості повну інфільтрацію опадів. Таким чином можна вважати, що на шляху до основної дрени – р. Лімниця – атмосферні опади певною мірою поглинаються та фільтруються в першій від поверхні водоносний горизонт із подальшою субгоризонтальною фільтрацією до басейну Лімниці. Звісно, що цей фактор слід урахувати при гідрогеологічному моделюванні території досліджень і балансових розрахунках кількості засолених вод, що будуть надходити в р. Лімницю.

II геоелектричний горизонт. Є другим по порядку від поверхні для всіх точок ВЕЗ, але літологічно в певній мірі відрізняється для різних типів розрізів.

Горизонт II а. Характерний для північної частини території досліджень, яка представлена розрізом типу **НК**. Це горизонт сугликів з домішками в різній кількості глинистого або пісчаного матеріалу, що визначає коливання електричного опору від 2 до 391 Ом·м при середньому значенні 35 Ом·м. Потужність невитримана – від 0,6 до 8,5 м при середньому значенні 3,6 м.

Горизонт II б. Представлений у розрізі типу **QQ**, який є перехідною зоною (полосою) від **НК** на північній частині території до **KQ** - на південній. Окрім того, горизонт **QQ** займає невеличку смугу на півдні з наближенням до р. Лімниці, смугу на півночі та декілька незначних за площею ділянок на території розповсюдження кривих типу **НК**. За потужністю практично повторює горизонт II а (від 0,7 до 9,5 м при середньому значенні 3,4), але має порівняно з ним суттєво більший електричний опір від 34,6 до 360 Ом·м при середньому 176 Ом·м. Зниження опорів спостерігається на північних незначних за площею ділянках, а в перехідній зоні від **НК** до **KQ** та на півдні опір зростає. Отже слід вважати, що на півночі літологічно це переважно супісчані породи, а в перехідній зоні та на півдні – галька з суглинистим та супісчаним наповненням.

Горизонт II в. Притаманний розрізу типу **KQ** і відрізняється від розрізу **QQ** збільшенням в цілому позірного опору, який коливається в межах від 35 до 1415 Ом·м при середньому значенні 600 Ом·м. Порівняно з перехідним горизонтом II б літологічно виокремлюється збільшення галькової фракції у зв'язку з наближенням до р. Лімниця. Горизонти II в і II б – алювіальні відклади, а горизонт II а має алювіально- делювіальне походження. Потужність горизонту II в від 0,67 до 8,1 м при середньому значенні 3.1. Слід вважати, що породи горизонтів II а, II б, II в залягають на витриманому в розрізі горизонті III і є наймолодшими серед алювіальних та алювіально-делювіальних утворень. Зміна їх літології пов'язана з їх віддалю від р. Лімниця, алювій якої ми тут спостерігаємо, а також із приналежністю різним терасам.

III геоелектричний горизонт. Це витриманий пласт алювіальних порід, який є старший за віком від горизонту II і представляє собою породи більш древньої тераси р. Лімниця. Має потужність від 1,7 до 23 м при середній 8,4 м, причому на більшості точок ВЕЗ, судячи по гістограмі розподілу потужності, остання в основному тяжіє до середньої. Електричний опір змінюється в значних межах: 1 – 261 Ом·м при середньому 76 Ом·м – для типу **НК**, 7 – 74 Ом·м при середньому 36 Ом·м – для типу **QQ**, 1,8 – 442 Ом·м при середньому 94 Ом·м – для типу **KQ**. Збільшення в цілому опору порівняно з горизонтом II а пояснюється переходом від суглинків до гальки з супісчано-суглинистим наповненням, а зменшення опору порівняно з II б, II в – обводненням галькового горизонту. Відмінність середнього опору для різних типів розрізу пояснюється обґрунтовано: **НК** - 76 Ом·м – галька з наповнювачем, але уволожена тільки нижня частина горизонту, **QQ** - 35 Ом·м – та сама галька з наповнювачем, але в горизонті вищий рівень підземних вод, **KQ** - 94 Ом·м – має перевагу гальки порівняно з наповнювачем. Крім того, на окремих ділянках території досліджень

відмічається засолення підземних вод, яке відображається значним пониженням позірнього опору.

IV геоелектричний горизонт. Характеризується дуже низькими значеннями позірнього опору – від 0,5 до 34 Ом·м при середньому значенні 3,4 Ом·м. За даними буріння, з літологічної точки зору відповідає верхньому частково розмитому шару корінних неогенових порід гіпсо-глинистої шляпи - повністю уволожених з динамічною пористістю. Породи місцями засолені, де і спостерігається аномально низькі значення позірнього електричного опору. Той факт, що основною причиною пониження опору як III – го, так і IV – го горизонтів є засолення підземних вод, підтверджує кореляційний зв'язок їх опорів (рис. 3.12).

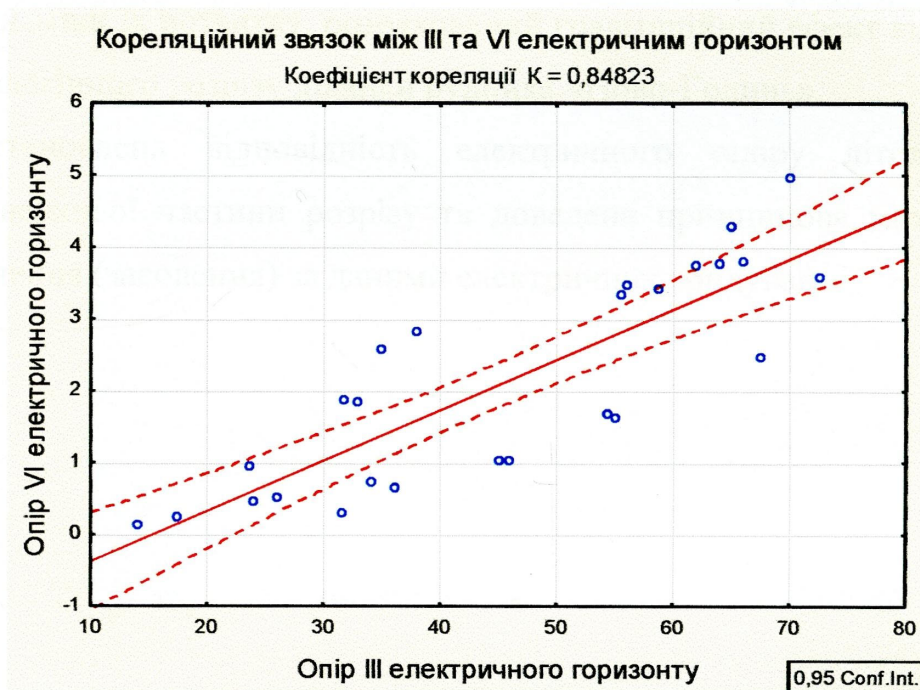


Рис. 3.12. Кореляційний зв'язок між електричними горизонтами ρ_3 та ρ_4 .

Потужність IV-го горизонту не встановлена. Проте зрозуміло, що на значних розносах АВ, коли лінії струму ВЕЗ досягнуть незмінних порід гіпсо-глинистої шляпи і далі соленосної брекчії, електричний опір порід повинен зрости, а кінцева гілка кривих ВЕЗ типа Q продовжуватись гілкою QH . Це доведено досвідом робіт зондування становлення електромагнітного поля на зазначеній території. Виміряний позірний опір, який відповідає на

кожній кривій ВЕЗ розносу $\left(\frac{AB}{2}\right)_{\max} = 50\text{м}$, будемо вважати таким, що відповідає ступеню засолення підземних вод водоносного горизонту. Справедливість такого твердження буде доведена в наступному підрозділі.

3.4. Висновки до розділу

1. Доведено, що на початковій стадії розвитку деформацій, зміщень та руйнування масивів зміни гірничого тиску за рахунок механо-електричних перетворень будуть відображатись в полі ПЕМПЗ, тобто цей метод буде прогнозним для побудови геологічних моделей.

2. Встановлено ефективність можливостей високоточної гравіметрії для прогнозування карстоутворень, провалів, осідання земної поверхні та вивчення динаміки їх розвитку, розрахований гравітаційний ефект від них на прикладі геологічного розрізу ділянки рудника «Ново-Голинь».

3. Встановлена відповідність електричного опору літологічним різновидам верхньої частини розрізу та доведена принципова можливість його забруднення (засолення) за даними електричних зондувань.

Розділ 4. Застосування геофізичних методів для моніторингу та прогнозування провальньо- просадкових проявів земної поверхні

4.1. Дослідження осідання земної поверхні методом ПЕМПЗ

При розгляді питань інтерпретації значне місце посідає питання глибинності методу, а саме, по-перше, від яких параметрів ця глибинність залежить, по-друге, чи є вона достатньою для досліджень?

У цьому контексті варто визначитись із глибинністю методу ПЕМПЗ. Вона буде залежати, з одного боку, від частотного діапазону (наприклад, 2 ÷ 50 кГц для приладів типу РХІНДС-ПМ), а з іншого – від будови та електричних властивостей верхніх шарів земної кори. Питомий опір наносів, які, як правило, складені пісчано-глинистими та суглинними відкладами, а також корінними породами, що виходять на поверхню, міняється в широких межах у залежності від їх обводненості. Довжина монохроматичної хвилі в повітрі, визначається за формулою

$$\lambda_0 = \frac{C}{f} \quad (4.1)$$

де $C=3 \cdot 10^8$ м/сек, f – частота в Гц.

Ефективна глибина проникнення магнітотелуричного поля в однорідне середовище (питомий опір постійний) згідно з [1] може бути визначена як:

$$h_{ef} = \sqrt{\frac{\rho}{\omega \mu_0}} = \sqrt{\frac{\rho}{2\pi f \mu_0}} = \sqrt{\frac{\lambda_0 \rho}{2\pi C \mu_0}} \quad (4.2)$$

де ρ - питомий опір, $\omega=2\pi f$, $\mu_0= 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнітна проникність повітря.

За аналогією, можна вважати, що випромінювання природного імпульсного електромагнітного поля, які виникли в надрах і досягли поверхні Землі, проходять той самий шлях, що й проникаючі в Землю

магнітотелуричні хвилі, тільки у зворотному напрямі. Тому, зробивши відповідні підстановки і припустивши, що питомий опір є постійним для всієї досліджуваної товщі, можна оцінити максимальну глибинність методу ПЕМПЗ

$$h_{\max} = 0,02\sqrt{\lambda_0\rho} \quad (4.3)$$

Наприклад, для обводнених піщано-глинистих відкладів із питомим опором 10 Ом при довжині монохроматичних електромагнітних хвиль у повітрі, що знаходиться в межах діапазону 6000м ÷ 150000м, максимальна глибина буде зростати від 5м до 25м. У малообводнених пісковиках і вапняках, опір яких може досягати 10000 Ом, глибинність методу буде збільшуватись із 150м до 770м для того ж діапазону хвиль.

Визначимо глибинність методу ПЕМПЗ для досліджуваної території.
1 спосіб.

Визначимо довжину монохроматичної хвилі для різних частот - $f = 2000\text{Гц}$ та $f = 50000\text{Гц}$. Зазначені частоти є граничними для приладу РХІНДС

$$\lambda_0 = \frac{C}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{2000} = 150000\text{м};$$

$$\lambda_0 = \frac{C}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{50000} = 6000\text{м}.$$

Отже, для вказаного діапазону частот довжина монохроматичної хвилі коливається від $\lambda_0 = 6000$ до $\lambda_0 = 150000$.

Ефективний опір визначається за формулою

$$\rho_{\text{ефк}} = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_{n-1}}{\frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2} + \dots + \frac{h_{n-1}}{\rho_{n-1}}} \quad (4.4)$$

Аналізуючи геологічний та геоелектричний розрізи, приходимо до наступного, що до стелі верхнього горизонту камер виділяється п'ять геоелектричних горизонтів, які наведені в таблиці 2.17.

Характеристика геоелектричних горизонтів за даними електрометрії

№п/п	Глибина залягання горизонту, м	Електричний опір горизонту, Ом·м	Порода, якою представлений горизонт
1	$h_1 = 0.6$	$\rho_1 = 218$	Ґрунтово-рослинний покрив
2	$h_2 = 11$	$\rho_2 = 29$	Суглинки
3	$h_3 = 9$	$\rho_3 = 76$	Ґравійно-гальковий горизонт
4	$h_4 = 18$	$\rho_4 = 9$	Ґіпсо-глиниста шапка
5	$h_5 = 80$	$\rho_5 = 275$	Соленосні брекчії

Визначимо ефективний опір:

$$\rho_{\text{ефк}} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5}{\frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2} + \frac{h_3}{\rho_3} + \frac{h_4}{\rho_4} + \frac{h_5}{\rho_5}} = \frac{0.6 + 11 + 9 + 18 + 80}{\frac{0.6}{218} + \frac{11}{29} + \frac{9}{76} + \frac{18}{9} + \frac{80}{275}} = 42.49 \quad \text{Ом} \cdot \text{м}$$

Розрахувавши ефективний опір та довжину монохроматичної хвилі можемо визначити глибинність методу природнього імпульсного електромагнітного поля Землі для даної території за формулою (4.3)

При $f = 2000 \text{Гц}$ максимальна глибина $h = 0.02 \cdot \sqrt{150000 \cdot 42.488} = 50.49$, при $f = 50000 \text{Гц}$ максимальна глибина $h = 0.02 \cdot \sqrt{6000 \cdot 42.488} = 10.09$

2 спосіб.

Визначимо ефективний опір за даними зондування становлення поля в ближній зоні при глибині $h = 120 \text{м}$, тобто до першого яруса гірничих виробок. Провідність гірських порід для досліджуваної території коливається від $S = 3,5 - 8,5 \text{См}$ при середньому $S = 5.5 \text{См}$.

$$\text{Звідси } \rho_{\text{еф}} = \frac{h}{S} = \frac{120}{5.5} = 21.81 \text{ при } h = 120 \text{м};$$

При глибині $h = 170 \text{м}$ (другий ярус гірничих виробок), провідність гірських порід коливається від $S = 8 - 10 \text{См}$ при середньому $S = 9 \text{См}$.

$$\text{Звідси } \rho_{\text{еф}} = \frac{h}{S} = \frac{170}{9} = 18.88 \text{ при } h = 170 \text{м};$$

При глибині $h = 220\text{м}$ третій ярус гірничих виробок, провідність гірських порід коливається від $S = 10 - 12\text{ См}$ при середньому $S = 11\text{ См}$.

$$\text{Звідси } \rho_{\text{еф}} = \frac{h}{S} = \frac{220}{11} = 20.00 \text{ при } h = 220\text{м} ;$$

Тоді за формулою (4.3) визначимо максимально ефективну глибинність, яка коливається від 30 до 33 метрів.

Наведені оцінки є наближеними і в межах порядку співпадають. Виникає питання, чи можна їх окреслити, по – перше, для більш конкретних умов, і по – друге з наведенням емпірично-функціональної залежності глибинності ПЕМПЗ від змін характеристик геологічного розрізу за електричними опорами та потужностями пластів.

Для оцінки реальних змін глибинності методу ПЕМПЗ в конкретних геологічних умовах представимо для розгляду геологічну модель, наведену в табл. 4.1. Ця модель є некоректною в тому сенсі, що глибина залягання горизонтів є неозначеною для h_4 та h_5 . Фактично маємо систему трьох рівнянь, які повинні одночасно виконуватись:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_{\text{ефк}} = \frac{H}{\frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2} + \dots + \frac{h_5}{\rho_5}} , \\ H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 , \\ H = 7.75 \cdot \sqrt{\rho_{\text{ефк}}} \end{array} \right. , \quad (4.5)$$

Остання формула системи отримана при фіксованому значенні λ формули (4.3). При цьому повинні виконуватись умови

$$\left\{ \begin{array}{l} h_4 > 0 \\ h_5 \geq 0 \end{array} \right. \quad (4.6)$$

Це пояснюється можливістю зростання чи зменшення потужності гіпсо-глинистої шляпи (h_4) при відсутності чи наявності в розрізі до певної глибини соленосної брекчії. Збільшення потужності гіпсо-глинистої шляпи призводить до зменшення потужності соленосної брекчії, задіяної у розрахунку ρ_{ef} . Загалом це міняє глибинність методу ПЕМПЗ. При цьому зрозуміло, що із зменшенням потужності гіпсо-глинистої шляпи (ГГШ) з притаманним низьким опором і відповідним збільшенням потужності соленосної брекчії з порівняно високим електричним опором значення задіяного до розрахунку ефективного опору буде зростати. Відповідно буде зростати ефективна глибина досліджень методом ПЕМПЗ.

Фактичні дані зведені в табл. 4.3. Кількісні характеристики, наведені в таблиці, слугували базою для аналізу зміни ефективної глибини досліджень ПЕМПЗ. Подалі розглянемо етапи визначення заданих геоелектричних параметрів та відповідних залежностей.

Таблиця 4.2.

Вихідні дані та глибинність методу ПЕМПЗ.

№п/п	Потужність гіпсо-глинистої шляпи $h_{ггш}, \text{м}$	Потужність соленосної брекчії $h_{cb}, \text{м}$	Ефективний опір гірських порід $\rho_{ef}, \text{Ом} \cdot \text{м}$	Глибина досліджень $H, \text{м}$
1	12	0	17,7	32,6
2	11	2,9	19,9	34,5
3	10	6	22,4	36,67
4	9	9,5	25,47	39,1
5	8	13,1	29,01	41,7
6	7	17,2	33,41	44,8
7	6	21,5	38,62	48,1
8	5	26,5	45,21	52,1
9	4	32	53,33	56,6
10	3	38,1	63,45	61,7
11	2	45	76,2	67,6

Очевидно, що першопричиною зміни глибинності методу ПЕМПЗ є зміна потужності ГГШ, що призводить до зміни еквівалентного опору, задіяного до розрахунків розрізу та відповідно ефективної глибини. Оскільки

електричний опір «шапки» значно менше опору соленосної брекчії, то величина еквівалентного опору при цьому зменшується. Відповідно при зростанні потужності соленосної брекчії зростає еквівалентний опір. Графік залежності між сумарною потужністю порід та еквівалентним електричним опором (рис.4.1а) є результатом опрацювання залежностей еквівалентного опору від потужностей окремих горизонтів.

Графіки залежностей $\rho_{екв} = f(h_i)$ є підставою для графічного втілення формул (4.4) – (4.5) щодо визначення залежності ефективної глибини ПЕМПЗ від задіяних у розрахунках потужностях ГГШ, соленосної брекчії та їх сумарної потужності (рис. 4.1б)

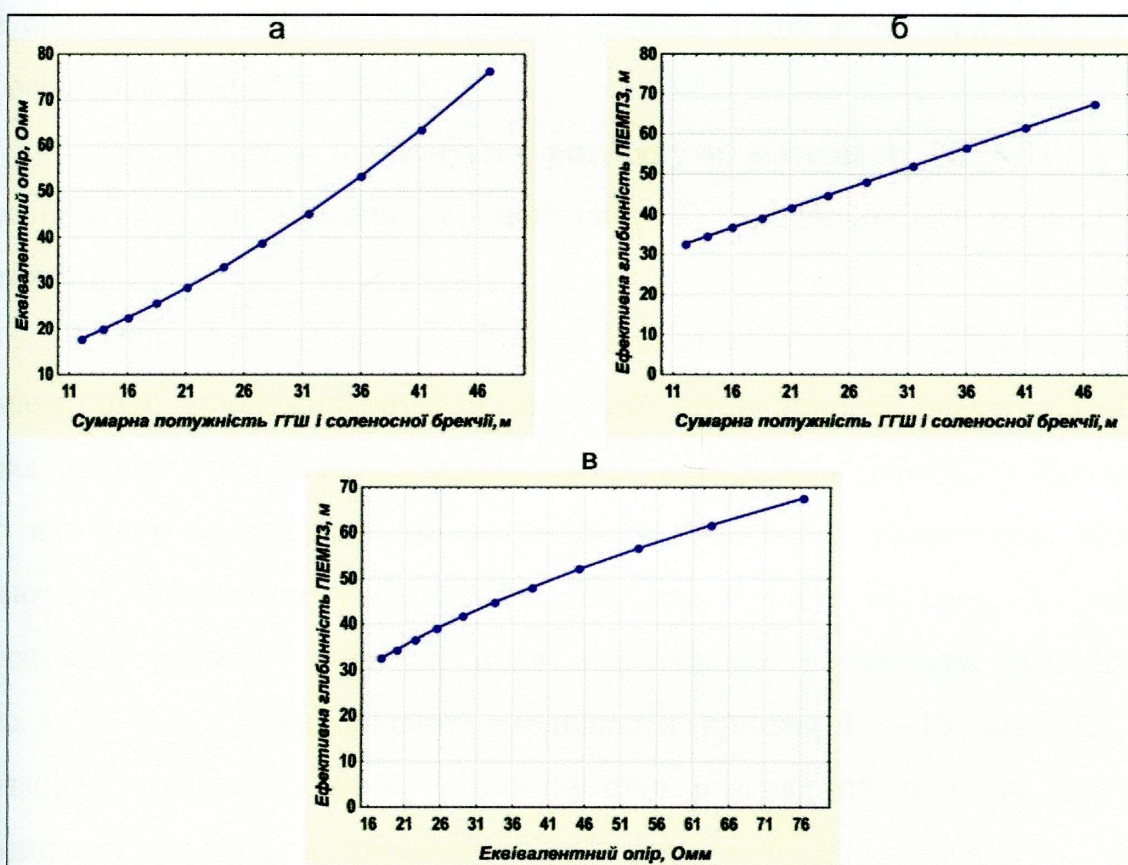


Рис. 4.1. Графіки залежності: а - еквівалентного опору від сумарної потужності гірських порід; б - ефективної глибини ПЕМПЗ від потужності гірських порід; в - ефективної глибини дослідження від еквівалентному опору розрізу.

Графік, представлений на рис. 4.1в, підсумовує функціонально-емпіричний результат залежності ефективної глибини досліджень від зміни еквівалентного опору.

Таким чином, максимальна глибинність методу ПЕМПЗ сягає 80 м. Цього достатньо для відслідковування процесів розвитку соляного карсту, розмиву та руйнування соляної брекчії та відповідно вищезалягаючих горизонтів. При цьому простежується верхній ряд видобувних камер. Вплив деформації порід на імпульсне електромагнітне поле на більших глибинах фіксується опосередковано, шляхом геологічної взаємодії нижче- і вищезалягаючих горизонтів. Геофізичні дослідження виконано на всіх шахтних полях рудників Калуш-Голинського родовища. Таким чином, накопичено значний за обсягом геофізичний матеріал. На більшості ділянок виконано метод ПЕМПЗ, а також режимні геодезичні спостереження за просіданням земної поверхні.

У подальшому пропонуємо розглянути матеріали ПЕМПЗ у такій послідовності досліджень: 1) локальні; 2) профільні; 3) площинні; 4) режимні.

Локальні елементи представлені для окремих ділянок профілів таким чином, щоб продемонструвати аномалії інтенсивності електромагнітного поля над гірничими конструкціями або їх комплексом (рис. 4.2.). Пояснення, які наведено на рисунку, не потребують додаткових коментарів, оскільки зазначені фрагменти геологічних розрізів, гірничі об'єкти, їх глибина залягання, розміри, аномалії поля в імпульсах в секунду. Аномалії на рис. 4.2.а – 4.2.г відповідають модельним кривим I – IV рис. 3.1. При наявності комплексу камер останній слід розглядати як одну значну за розмірами камеру, а аномалія відображає тоді дію сумарного ефекту. Підтвердженням є криві на рис. 4.2.д – 4.2.ж з наявністю центральної і крайових аномалій для комплексу камер. Слід вважати, що ці значні за інтенсивністю аномалії відповідають розвитку зон розуцільнення у верхній частині розрізу з подальшою активною стадією просідання.

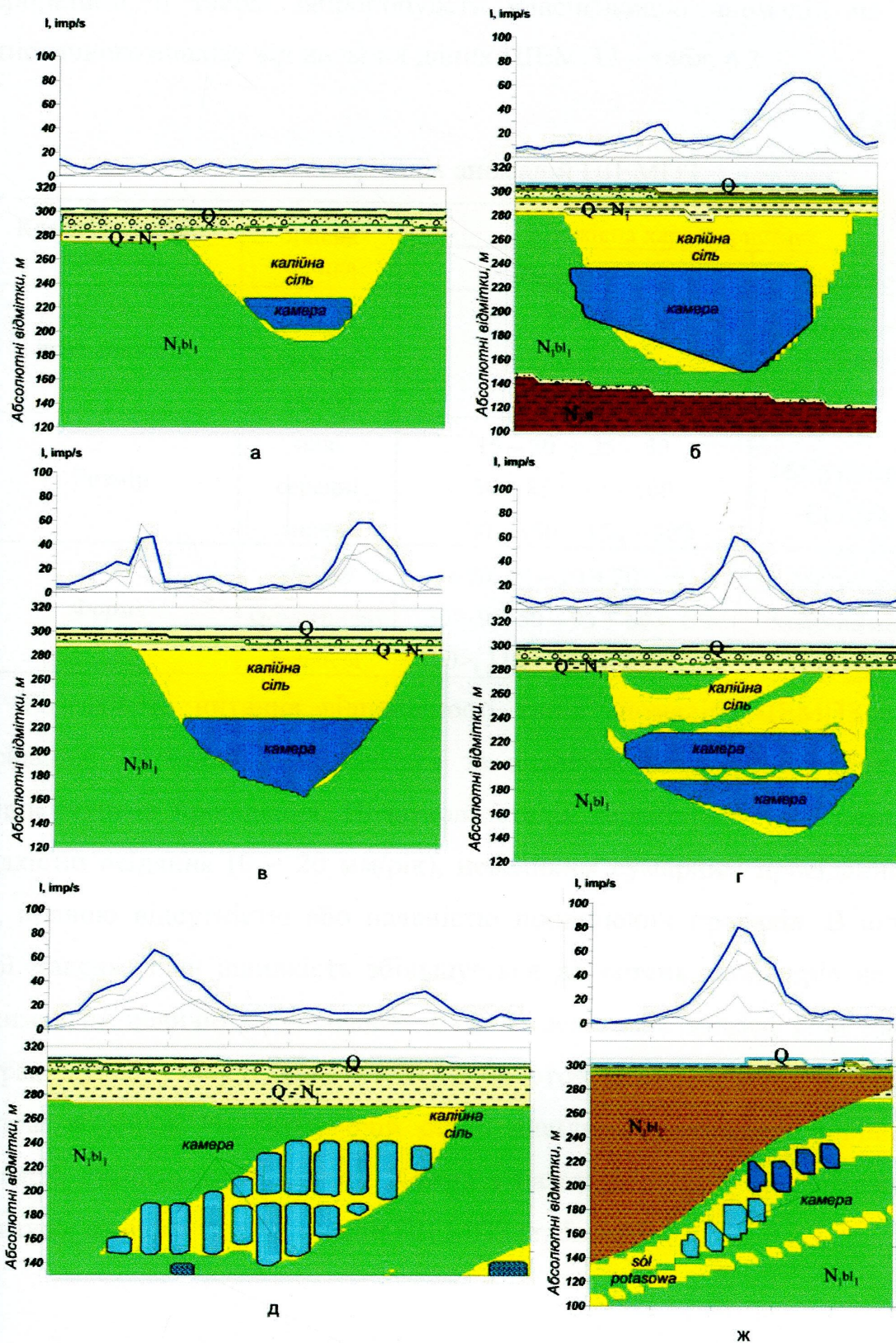


Рис. 4.2. Фрагменти геологічних моделей та відповідні криві ПЕМПЗ.

- а) одиночна камера, аномалія відсутня; б) одиночна камера, пристіночна аномалія;
 в) одиночна камера, дві пристіночні аномалії; г) одиночна камера, аномалія над стелиною;
 д) комплекс камер, краєві аномалії; ж) комплекс камер, центральна аномалія.

Аналіз рис. 4.2 дозволяє розглядати його як еталон для якісної інтерпретації, а також запропонувати класифікацію аномалій на основі статистичного аналізу від наявних даних ПЕМПЗ – табл. 4.3

Таблиця 4.3.

Класифікація аномалій ПЕМПЗ

Класифікаційний критерій	Якісна оцінка	Кількісна характеристика	
		Величина	Розмірність
Інтенсивність	малі	15-40	Імпульси в секунду (імп/с)
	середні	40-65	
	значні	65-90	
Розмір	малі	15 – 20 ÷ 25 – 50	Метр на метр (м×м)
	середні	50 – 85 ÷ 50 – 100	
	значні	100 – 150 ÷ 150 – 300	
Форма	лінійні	<50, 10 – 20 ÷ 20 – 50	Метр (м)
	ізометричні	50 – 95, 50 – 95 ÷ 60 – 100	Метр на метр (м×м)
	кільцеві	100>, 110 – 200 ÷ 150 - 300	

Розглянемо питання відповідності типів аномалій ПЕМПЗ стадіям просідання. Ці стадії визначаються за аналізом результатів геодезичних вимірів ступеня просідання. Початкова стадія характеризується незначною швидкістю осідання (0 – 20 мм/рік), невеликим сумарним просіданням (до 1 м), повною відсутністю або наявністю поодиноких провалів. В активній стадії максимальна швидкість збільшується до сотень міліметрів на рік, а максимальна величина просідання досягає декількох метрів. При цьому в центрах мульд утворюються озера, а на оточуючій території – численні карстові воронки. На затухаючій стадії швидкість просідань порівняно з активною стадією зменшується. Кожна з названих стадій супроводжується розвитком певного типу аномалій ПЕМПЗ (табл.4.4).

Таблиця 4.4.

Відповідність аномалій ІПЕМПЗ стадіям просідання на Калуш-Голинському родовищі

Рудник	Рудне поле, ділянка	Максимальна величина осідання поверхні землі, м	Максимальна швидкість осідання	Стадія осідання	Характеристика аномалій ПЕМПЗ						Інші геофізичні методи
					В плані			По опорним профілям			
					За інтенсивністю імпл/с	За розміром мх м	За формою	За інтенсивністю імпл/с	За розміром м		
«Калуш»	Хотинське сільвінітове поле	2.8	211 мм/рік	Затухання	65 – 85 значні	100х 100	За формою кільцеві, ізометричні	профілі відсутні	Гравіметрія, ВЕЗ, ЗС		
					40 – 65 середні	250х 250 та більші великі					
					40х 40						
«Ново-Голинь»	Східна Голинь	0.385	17 мм/рік	Початкова Активна	40 – 65 середні	40х 40	кільцеві, ізометричні	40 – 65 середні	Гравіметрія, ВЕЗ, ЗС		
					65 – 90 значні	95х 95 середні		65 – 90 середні, малі			
					20 – 50 малі			20 – 50 малі			
«Голинь»	Сівка-Калуська	0.255	11 мм/рік	Латентна Початкова	20 – 50 малі	до 20х 20 малі	будь-які ізометричні	20 – 50 малі	Гравіметрія, ВЕЗ, ЗС		
					40 – 65 середні			40 – 65 середні, малі			
					спостережень не було			40 – 65 середні		від 60 до 180 м середні, великі	Не застосовувались

Автором пропонується ввести ще одну, передпочаткову стадію, яку назвемо латентною, - для позначення скритого протікання процесів зміни напружено-деформованого стану гірських порід. Відмінність цієї стадії від інших полягає в тому що вона не відображається в результатах геодезичних спостережень, тобто просідання ще не відбулись, але обов'язково будуть в майбутньому на площах чи лініях латентних аномалій інтенсивності поля. У цьому сенсі метод ПЕМПЗ є прогностичним. На одному з профілів ділянки рудника «Ново-Голинь» зображено комбіновану аномалію інтенсивності поля (рис. 4.3).

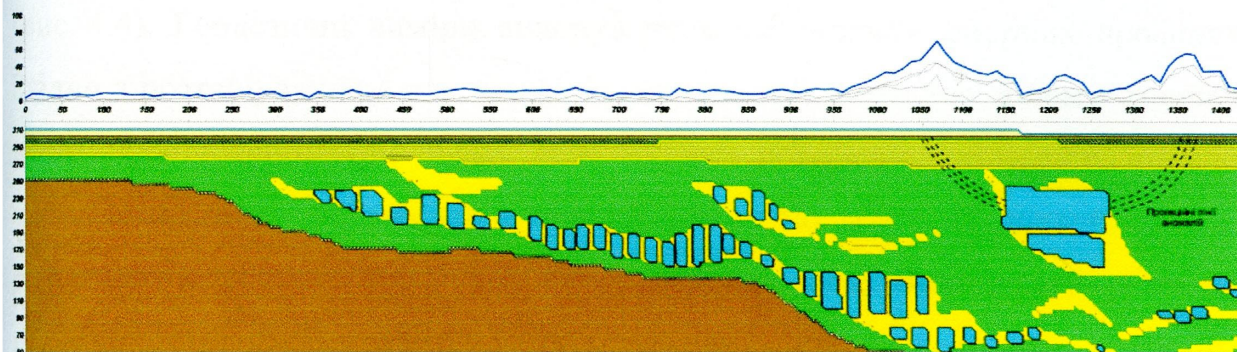


Рис. 4.3. Профільні спостереження методом ПЕМПЗ.

Як видно на профілі є декілька соляних пластів, які розроблялись системою камер або поодинокими камерами. Найдовший ряд камер відстежується від пікета 350 до 1050. Сумарний ефект механо-електричних перетворень відображено незначним підвищенням інтенсивності поля в межах пікетів 500 – 900. Незначне зниження інтенсивності на пікетах 680 – 760 пояснюється деякими зануреннями пласта, проте з пікета 770 направо по профілю поле знову дещо збільшується за рахунок короткого ряду з п'яти камер у верхньому пласті. Тобто в цьому інтервалі маємо латентну стадію деформації масиву гірських порід, яка з часом перейде в початкову стадію просідання. Над окремою системою двох значних за розмірами камер у правій частині профіля маємо суперпозицію аномалій поля. Перші дві – це крайові аномалії з центрами на пікетах 1070 і 1350, які утворено завдяки деформаціям пристінних зон. Аномалія зліва дещо більша за рахунок ще

двох нищ лежачих рядів камер. Ці аномалії за інтенсивністю відповідають активній стадії просідання. Ще одна аномалія з центром на пікеті 1220 відповідає започаткуванню активної стадії деформації стелини камери і відповідному осіданню.

Площинні дослідження методом ПЕМПЗ на ділянках шахтних полів «Хотінь», «Сівка-Калуська», «Голинь» свідчать про ефективність метода щодо картування напружено-деформованого стану. Аномалії інтенсивності електромагнітного поля або передують просіданням або узгоджуються з ним. Типовим підтвердженням є результати площинних геодезичних спостережень та спостережень ПЕМПЗ на руднику «Ново-Голинь» (рис. 4.4). Геодезичні виміри виконувались по окремих опорних профілях. Згідно з розташуванням цих профілів горизонталі рельєфа у цілому означені досить наближено. При цьому самі мульди просідань, по-перше, повинні мати ізометричну форму, що є правильним, а по друге, їх центри повинні розташовуватись по профілям, що є некоректним. Виконувати режимну геодезичну площинну зйомку за регулярною сіткою занадто дорого. Вихід з положення є в компонованні опорних геодезичних досліджень із площинною зйомкою ПЕМПЗ, яку виконано за сіткою 10×20 м. Як видно з (рис. 4.4), аномалії інтенсивності поля в регіональному плані узгоджені з мульдами просідання, тобто їх розташування є цілком логічними і поясненим із фізичної точки зору. У той же час слід вважати, що метод ПЕМПЗ деталізує і конкретизує розташування небезпечних зон, визначаючи при цьому стадію просідання.

Ефективність та достовірність методу ПЕМПЗ додатково підтверджується результатами режимних спостережень. На рис. 4.2 наведено фрагмент розрізу з рис. 4.3.

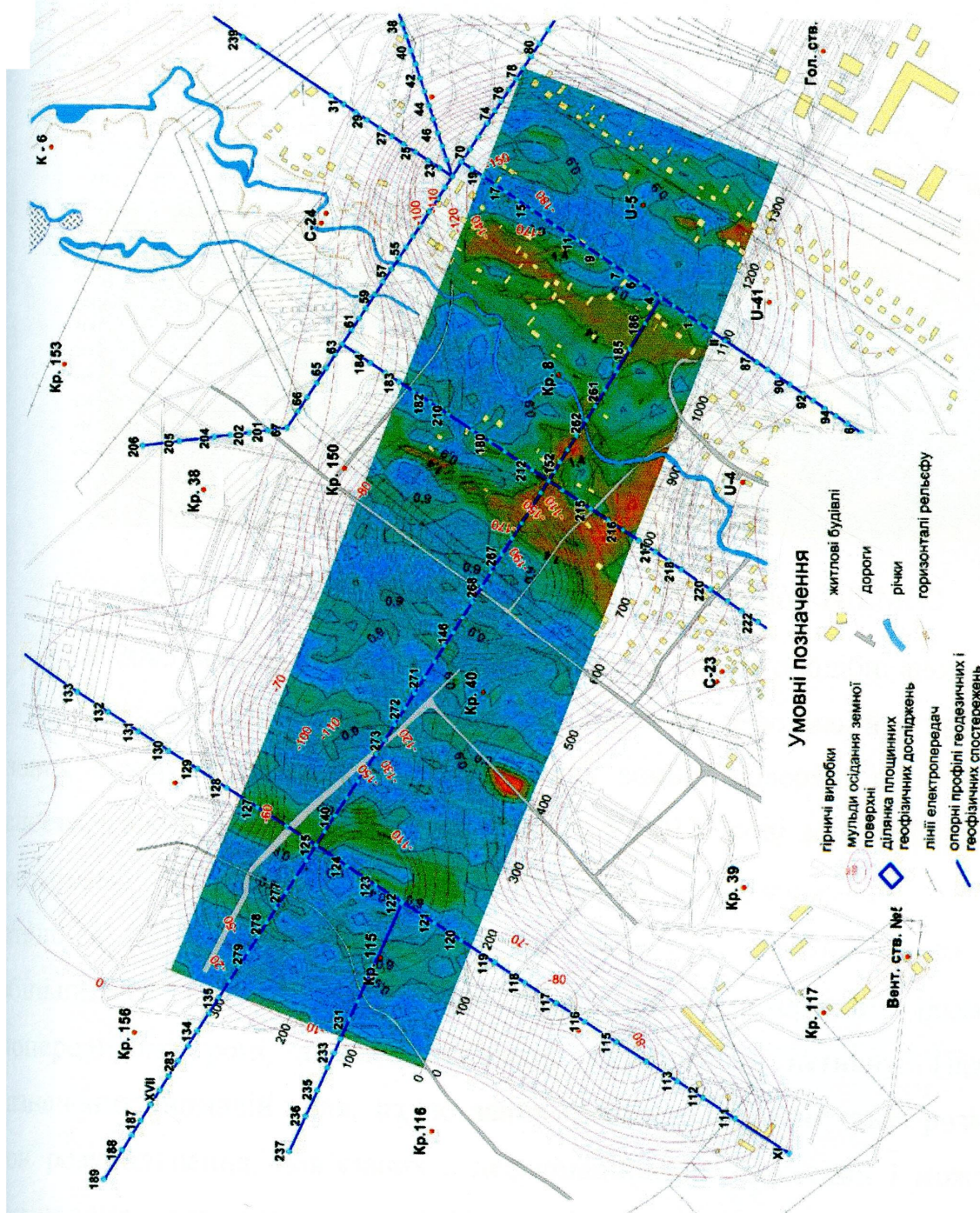


Рис. 4.4. Площинні дослідження методом ПЕМПЗ

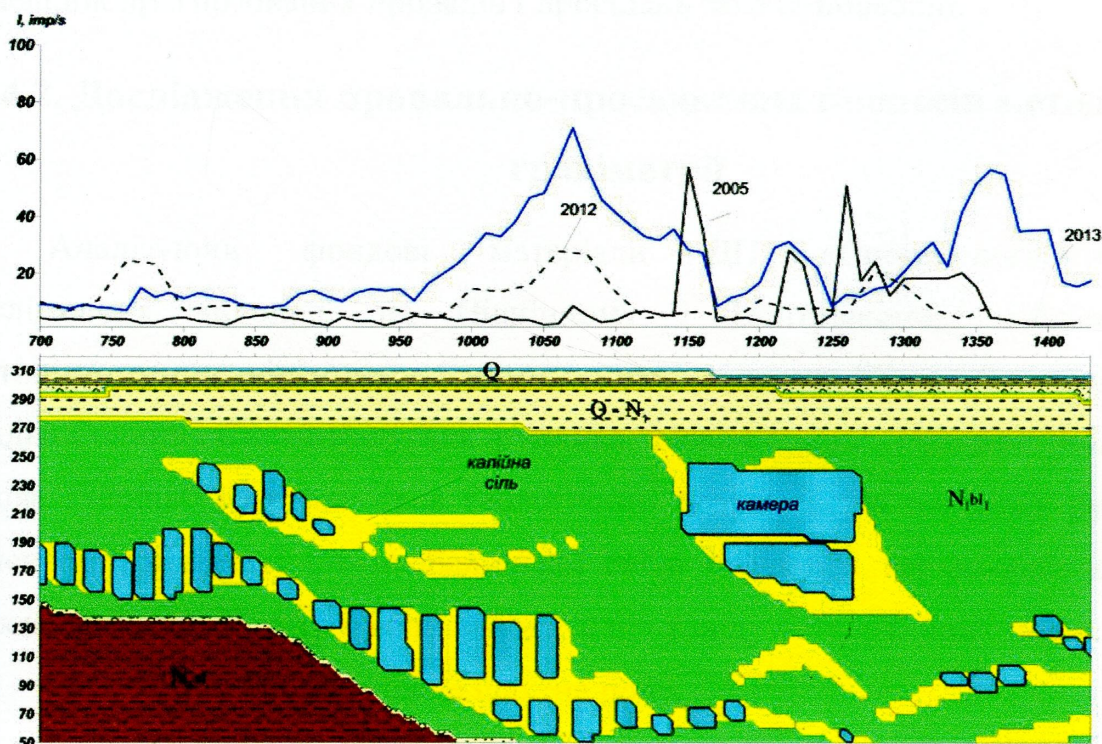


Рис. 4.5. Моніторингові спостереження методом ПЕМПС

У 2005 році над камерами спостерігались три пікоподібні аномалії в 25 - 50 імп/с, які відповідали наявності динамічних деформацій у пристінних зонах камер і над стелиною. Просідань земної поверхні при цьому не спостерігалось, тобто стадія є латентною. У 2012 році зона деформацій за розмірами розширилась і супроводжувалась просіданням на початковій стадії. У 2013 році інтенсивність аномалій електромагнітного поля значно збільшилась (до 65 імп/с) при збереженні просторового розміру у попередньому році, а стадія осідання перейшла в активну. Наявність зазначених аномалій поля, згідно даних гравіметрії, пояснюється розвитком зон розущільнення, пов'язаних з деформаційними процесами і можливо з вимиванням солі з порід при інфільтрації поверхневих вод у камери. Слід відмітити також збільшення інтенсивності поля в лівій частині профіля порівняно з фоном 2005 року, що свідчить про розвиток деформаційних процесів, зумовлених наявністю нижнього ряду камер.

Результати аналізу рис. 4.3 дають підставу розглянути проблему екологічного ризику території. При цьому вирішується питання виваженого

та диференційованого підходу щодо необхідності відселення з місцевості внаслідок прогнозованих провалів і просідань земної поверхні.

4.2. Дослідження провальньо-просадкових процесів методом гравіметрії

Аналізуючи фондові матеріали ДП «Спецгеологорозвідка», дослідження виконані на Північному і Центральному каїнітовому, Хотінському сильвінітовому шахтних полях рудника “Калуш” і дільницях Східна Голинь і Сивка-Калуська рудника “Нова Голинь”. Рудники “Калуш” і “Нова Голинь” розрізняються геологічним розрізом. На першому руднику соленосні відклади нижньобалицької світи перекриті верхньобалицькими відкладами, на другому – вони виходять під товщу четвертинних порід.

Розглянемо окремо кожне шахтне поле.

Дослідження на Північному каїнітовому полі проводились по профільних реперних лініях. Виявлено 10 глибинних зон розуцільнення, які пов’язані з від’ємними різницевиими гравітаційними аномаліями інтенсивністю до $-0,06 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$.

У праці [89, 110, 111] відмічаємо, що гірські породи розміщуються над підземними гірничими виробками, прогресують у часі. Розуцільнення в них досягає $0,06 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ на рік. Аномалії є потенційно небезпечними щодо прояву просадко-провального процесу на денній поверхні. Слід звернути увагу, що цей процес розвивається знизу вгору за рахунок обвалу склепіння відпрацьованих камер унаслідок руйнування міжкамерних ціликів.

Відмічені аномальні зони в межах шахтного поля по профілі 7 за два роки до того, спричинили до утворення провалля № 14 діаметром до 15 м і завглибшки до 30 м. На геогустинній моделі геологічного розрізу по цьому профілю між пікетами 10÷14 виділяється зона розуцільнення, розмірами до 80 м у ширину і глибину майже від денної поверхні до подошви рудного пласта, інтенсивністю до $-0,06 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ на рік. В основі провалля міститься зруйнований цілик між камерами.

На Центральному каїнітовому полі розуцільнення в часі зафіксовано у вигляді низки від'ємних різницевоїх аномалій сили тяжіння інтенсивністю від $-0,02 \cdot 10^{-5}$ до $-0,06 \cdot 10^{-5}$ м/с². Епіцентр найбільшої за площею аномалії, яка міститься в межах схилу гори в південно-західній частині ділянки досліджень і просторово тяжіє до тектонічно ослабленої зони, є небезпечним щодо можливого утворення провалу земної поверхні.

На Хотінському сільвінітовому полі, яке розміщене в межах однойменного села, різницеві від'ємні аномалії сили тяжіння незначної інтенсивності близько $-0,02 \cdot 10^{-5}$ м/с² містяться в зоні розтягу на границі мульди закономірного просідання земної поверхні над підземними виробками по опорних профілях.

Розглянемо результати досліджень для площинних ділянок, враховуючи, що площинні спостереження є більш достовірними і відображають площинні параметри зони розуцільнення рис. 4.6.

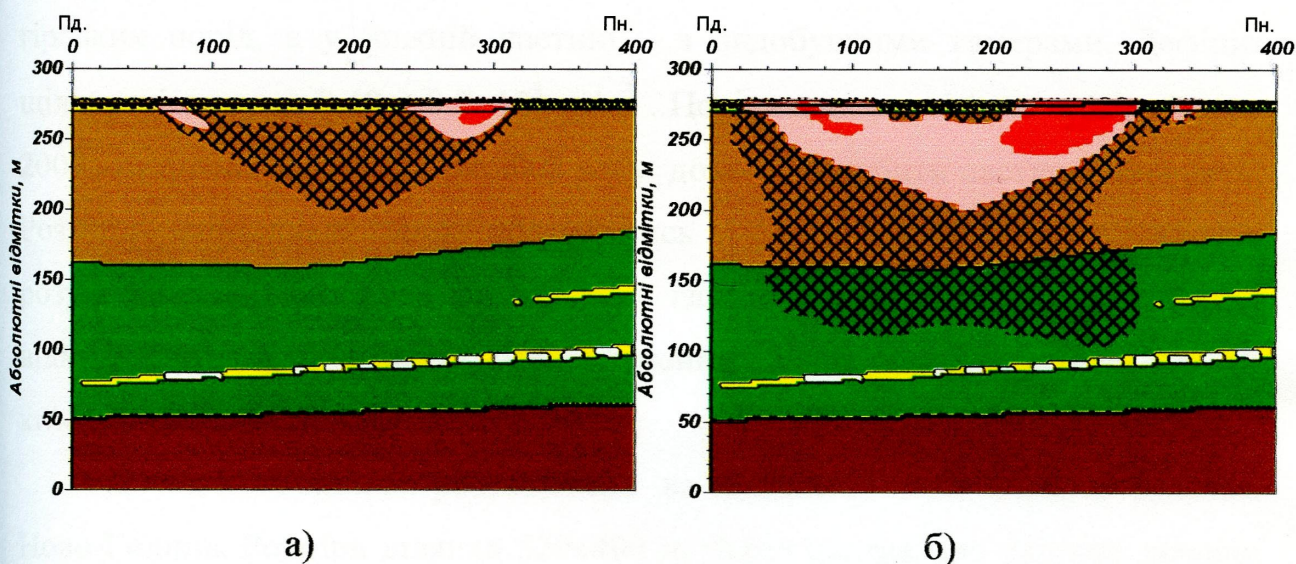


Рис. 4.6. Геолого-петрофізичні моделі на експериментальній ділянці «Хотінь»: а) – спостереження проведені в 2007 році; б) – спостереження проведені в 2008 році;

Ділянка «Хотінь» розташована на Хотінському шахтному полі рудника «Калуш». Розміри ділянки 320x400 м. Через центральну частину ділянки проходить вул. Київська. В верхній частині знаходиться вул. Декабристів, а в

нижній частині вул. Костомарова та Гоцульська. Профілі гравіметричних досліджень орієнтовані з півдня на північ (0–400м.). Геологічні розрізи представляють горизонтально-шарувате середовище

Верхня частина представлена четвертинними відкладами. На всій ділянці спостерігається потужний пласт розсланцьованих глин, аргілітів, алевролітів, пісковиків («медляра»). Пласти калійної солі не є потужними і знаходяться на глибині 140 – 200 м від денної поверхні. Вміщуючі породи це соленосні глини, брекчії, кам'яна сіль. Камери пусті, заливка не проводилась.

В верхній частині розрізу (абсолютна відмітка +270, +260, +250) виділяють дві чіткі аномалії (рис. 4.6.а), які простежуються на глибину +200. Дослідження 2008 року показали, що аномальні зона підтвердились і збільшились за розмірами, досягнувши абсолютної відмітки +100 (рис. 4.6.б). Аномалія охоплює породи соляної «шляпи» та майже доходить до пластів калійної солі.

Зони розуцільнення в верхній частині розрізу пов'язані з інфільтрацією гірських порід, а у нижній частині – з видобувними камерами. Дефіцит щільності складає $0,40 - 0,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Порівняння розрізів та зрізів зйомок 2007 і розрізів і зрізів зйомок 2008 року дозволяє зробити наступні висновки. Розміри аномальної зони збільшились і значно збільшилась ступінь розуцільнення, особливо на великих глибинах. Зокрема, на абсолютній відмітці 200 - 210 м рівень розуцільнення збільшився від $0,15$ до $0,4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Ділянка «Голинь» розташована на Східному полі Голинь, рудника Ново-Голинь. Розміри ділянки 520x400 м. Через центральну частину ділянки проходить вул. Л.Українки. Профілі гравіметричних досліджень орієнтовані з південного-заходу на північний-схід (0–400м.). Геологічні розрізи представляють горизонтально-шарувате середовище (рис. 4.7).

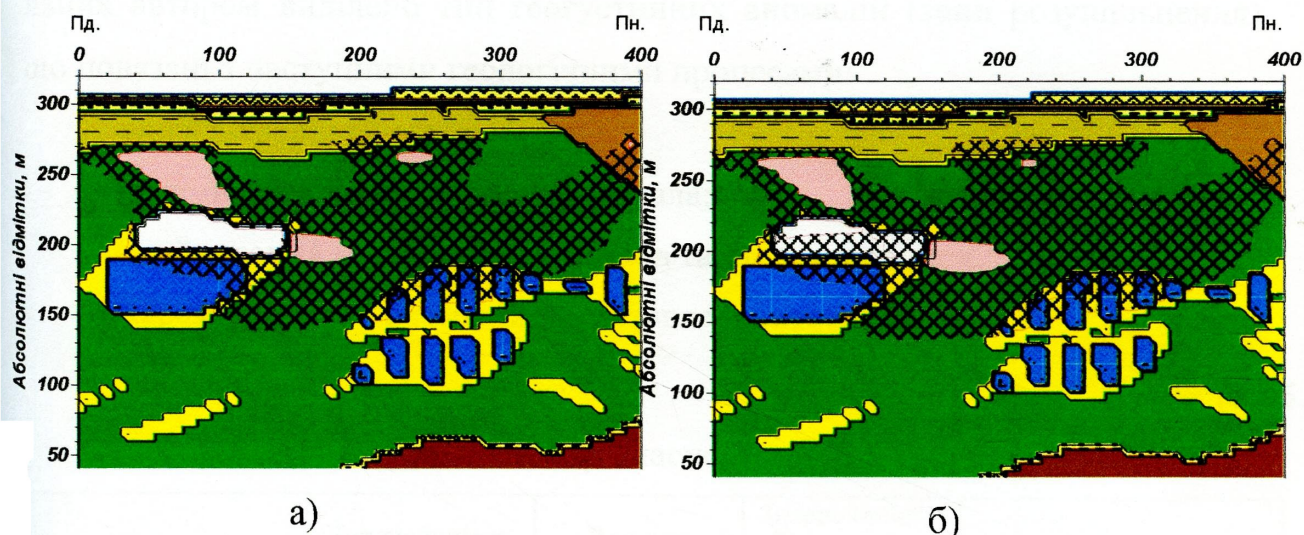


Рис. 4.7. Геолого-петрофізичні моделі на експериментальній ділянці «Голінь»: а) – спостереження проведені в 2007 році; б) – спостереження проведені в 2008 році;

На всій ділянці спостерігається пласт гіпсо-глинистої «шапки». Пласти калійної солі є потужними і залягають у вигляді лінз на глибині 80 – 240 м від денної поверхні. Вміщуючі породи - це соленосні глини, брекчії, кам'яна сіль. Камери залиті розсолами Домбровського кар'єру.

Результати обробки по ділянці «Голінь» представлені у двох варіантах: перший – зйомка 2007 року, другий – 2008 року. Відповідно розподіл щільності по профілях (розрізах) представлено на рис. 4.7.а (зйомка 2007 року) та на рис. 4.7.б (зйомка 2008 року).

Аномалії розущільнення порід спостерігаються на глибині +200 - +270 м (по абсолютній відмітці). Дані аномалії розущільнення розташовані на початку всіх профілів, далі збільшуються за розмірами і в кінці ділянки досліджень знову зменшуються. Інтерпретація гравіметричної зйомки на даній ділянці досліджень у 2007 та 2008 роках показала, що інтенсивність аномалій дещо збільшилась. Це означає, що процес карстоутворення продовжується.

Проаналізувавши вище викладене, можна виділити класифікацію геогустинних аномалій. За результатами інтерпретації геолого-геофізичних

даних автором виділено тип геогустинних аномалій (зони розуцільнення), що пов'язані з наступними геологічними процесами:

- інфільтрація гірських порід;
- розмив поверхні соляного дзеркала;
- руйнування міжкамерних ціликів та стелини камери.

Характеристики аномалій представлено в табл. 4.5.

Таблиця 4.5.

Геологічне тлумачення та класифікація зон розуцільнення

Приуроченість зони (розуцільнення)	Інтенсивність розуцільнення, 10^3 кг/м^3	Розміри гравітаційних аномалій, м^2	Інтенсивність гравітаційних аномалій 10^{-5} м/с^2	Природа явища
Пов'язані з камерою	0.1 – 0.4	50 ÷ 200 x 50 ÷ 200	0 ÷ –0.2	Розробка камер та порушення цілісності масиву
Пов'язані з соляним дзеркалом	0.15 – 0.45	25 ÷ 150 x 25 ÷ 150	0 ÷ –0.1	Розмив поверхні соляного дзеркала
Пов'язані з верхньою частиною розрізу	0.05 – 0.35	≤ 50 × 50	0 ÷ –0.05	Інфільтрація гірських порід

З часом при збільшенні інтенсивності розуцільнення і зростанні розмірів цих зон можливе з'єднання їх та, в результаті утворення провалів. Прикладом є Стебницьке родовище калійної солі (рис. 4.8).

Враховуючи, що роботи виконані в режимі моніторингу, автором запропоновано визначати максимально можливу ступінь осідання земної поверхні за рахунок процесів руйнації (розуцільнення) гірських масивів над шахтними полями за даними режимних гравіметричних спостережень.

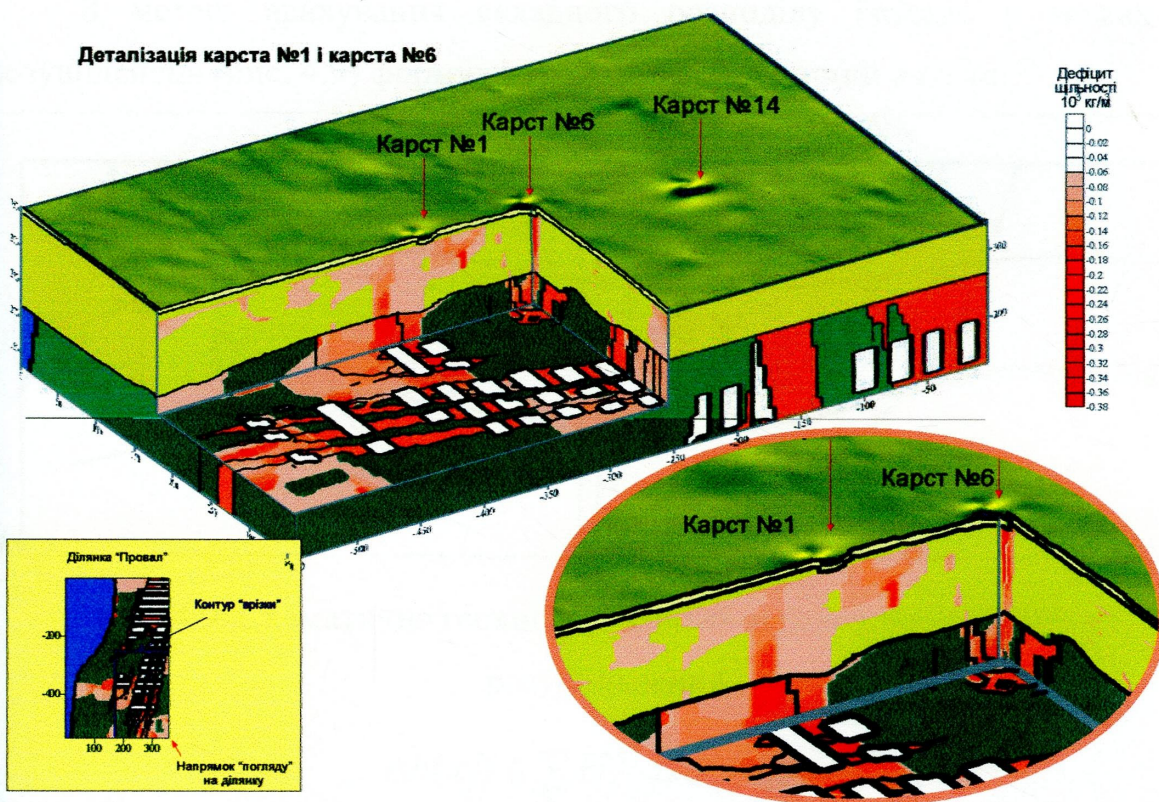


Рис. 4.8. 3Д геогустинна модель Стебницького родовища калійної солі.

Максимальне осідання земної поверхні, що зумовлене розуцільненням у межах певної однорідної товщі, можна визначити так:

$$\Delta h_j \leq \left(\frac{h_{\text{мод}} \cdot (\sigma_{\text{мод}} - \sigma_{\text{роз}})}{\sigma_{\text{мод}}} \right)_j, \quad (4.7)$$

де $h_{\text{мод}}$ - потужність товщі; $\sigma_{\text{мод}}$ - початкова густина товщі;
 $\sigma_{\text{роз}}$ - густина товщі після розуцільнення; j – довільна точка по профілю.

Для середовища з n границями та усередненими по глибині значеннями густини порід у межах пластів до та після розуцільнення формула набуде наступного вигляду:

$$\Delta h_{\Sigma j} \leq \left(\sum_{i=1}^n \frac{h_{\text{мод}i} \cdot (\sigma_{\text{мод}i} - \sigma_{\text{роз}i})}{\sigma_{\text{мод}i}} \right)_j, \quad (4.8)$$

де n - кількість пластів; i – порядковий номер пласта.

З метою врахування складного розподілу ізодегс у межах зон розущільнення (рис. 4.9) формули приймають наступний вигляд:

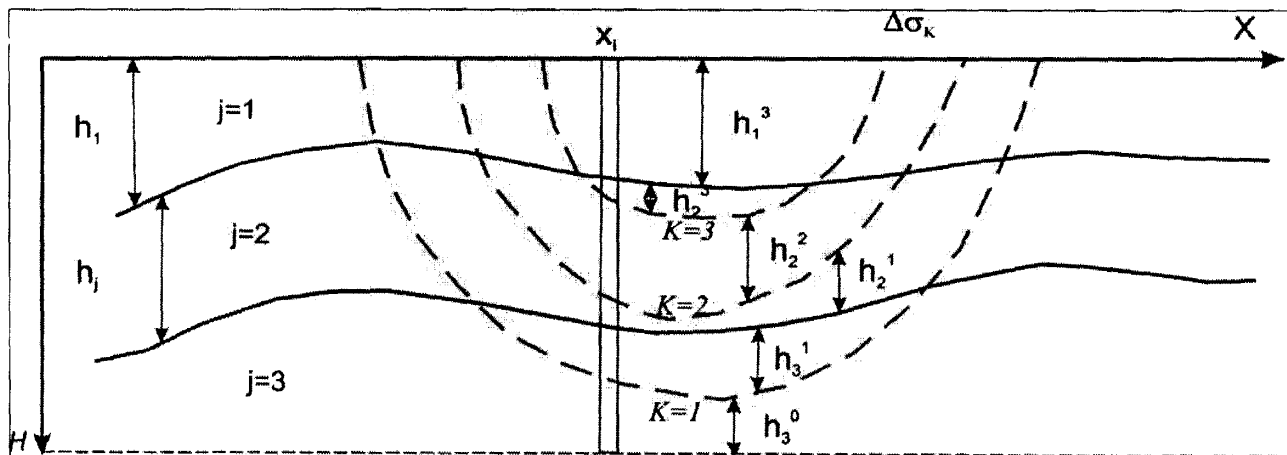


Рис. 4.9. Схематична геологічна модель середовища та ізодегс розущільнення.

$$\Delta h(x_i) \leq \sum_k H_i^k \cdot \Delta \sigma_k(x_i), \quad (4.9)$$

$$H_i^k = \sum_j \left(\frac{h_j^k}{\sigma_j} \right)_i \quad (4.10)$$

де

k – індекс ізодегс розущільнення; j – індекс товщі;
 x_i – довільна точка по профілю X.

Якщо зазначити $(\Delta \sigma_{k-1} - \Delta \sigma_k) \rightarrow 0$, тобто крок (перетин), ізодегс прямує до нуля, та прийняти до уваги однорідність товщі в моделі до розущільнення, то:

$$\Delta h(x_i) \leq \sum_j \frac{1}{\sigma} \cdot \int_{h_{j-1}}^{h_j} \Delta \sigma_i(h) dh, \quad (4.11)$$

де $h_{j-1} \div h_j$ - товщина j -го пласта; $\Delta \sigma_i(h)$ - розподіл розущільнення по осі Z у межах j -го пласта; σ_j - початкова модельна густина j -го пласта;

x_i - координата i -тої точки по профілю;

що впливає з рівнянь (4.9) та (4.10).

Результатом інтерпретації гравіметричних спостережень (рішення оберненої задачі гравірознавства) є розподіл густин по геологічному розрізу, який представлено по одному з профілів ділянки «Голинь» у двох варіантах: перший – зйомка 2007 року, другий – 2008 року (рис. 4.10).

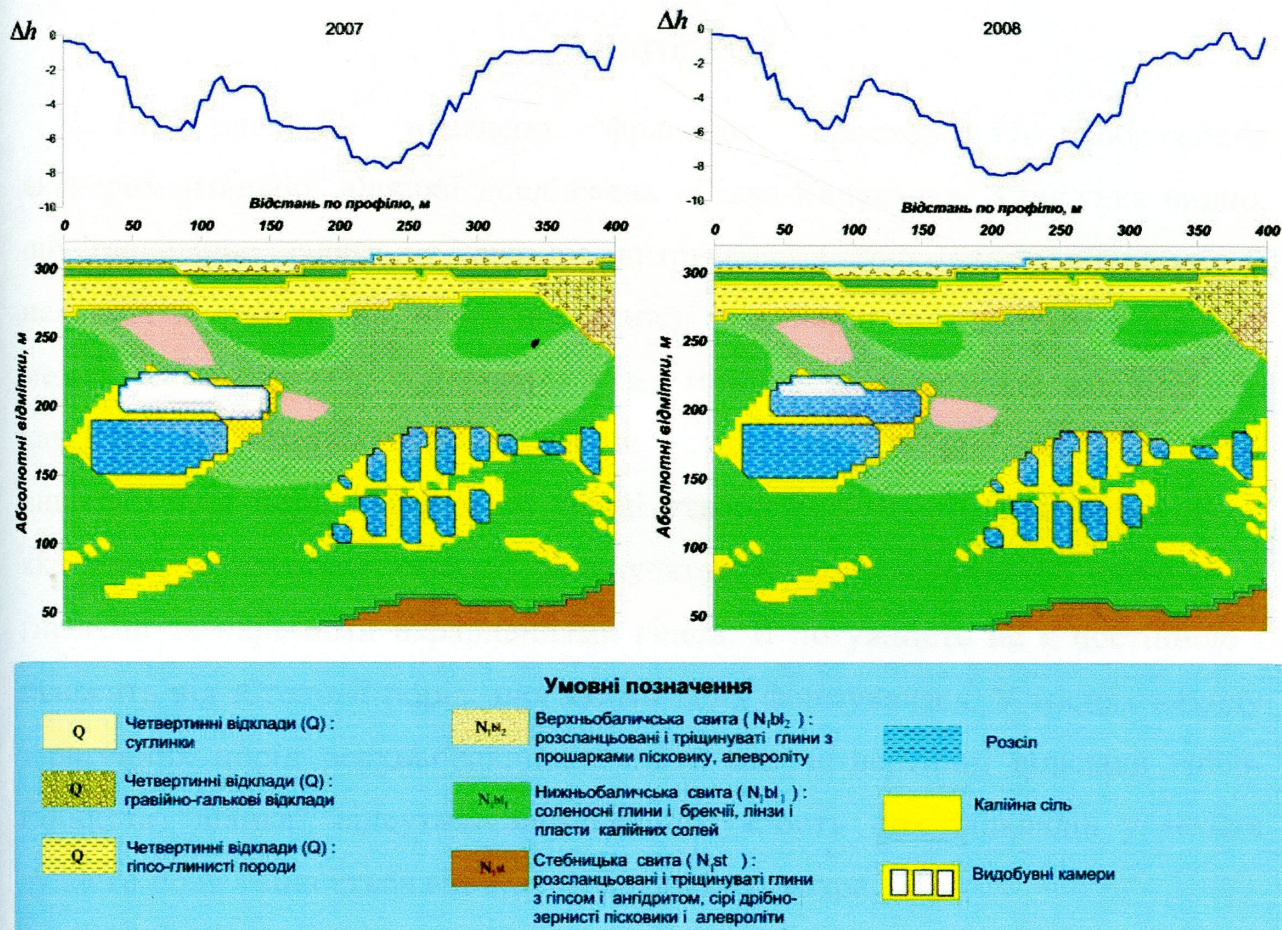


Рис. 4.10. Шахтне поле Східна Голинь, рудник «Ново-Голинь». Геолого-петрофізичні моделі

Розуцільнення порід спостерігаються на глибинах +200÷+270 м (по абсолютних відмітках). Розміри даних зон розуцільнення збільшуються у напрямку до центральної частини профілю досліджень. Інтенсивність розуцільнення за даними гравіметричної зйомки 2008 р. порівняно з 2007 р. збільшилась. Отже, процес карстоутворення продовжується.

Результати розрахунку осідання земної поверхні за розуцільненнями по розрізу, які отримано за даними інтерпретації гравіметричних матеріалів, представлено на рис. 4.8 графіками над розрізом. Максимальне осідання до

6,2 м слід очікувати над пластами калійних солей. Вище зазначено, що за матеріалами ДП «Галургія», прогнозується максимальне осідання до 19 м.

4.3. Визначення зон розмиву гірських порід та прогнозування провалів та просідань земної поверхні електричними методами

На рис. 4.11 наведено фрагмент просторового зображення експериментальної ділянки досліджень «Сівка-Калуська». З рисунка видно, що геологічне залягання границь витримане з точки зору обов'язкової наявності 5 – ти шарів, проте потужності цих шарів коливаються в значних межах. Останній шар соленосних глин може включати лінзи калійної або кам'яної солі потужністю до 60 м і протяжністю до 300 м. У зоні вивітрювання порід соленосної товщі утворилась гіпсо-глиниста «шапка», яка характеризується сірими, зеленуватосірими пластичними глинами з гніздами та окремими вкрапленнями гіпсів. Її потужність не є постійною і залежить від літології порід, над якими вона формувалась. У місцях виходу теригенних порід верхньобалицької світи під четвертинні відклади гіпсо-глиниста «шапка» відсутня. Загальна потужність цих відкладів у межах рудного поля змінюється від 0.5 – 1.0 м до 21.0 метра.

Породи гіпсо-глинистої «шапки» перекриті четвертинними гравійно-гальковими відкладами та суглинками. Потужність перших складає 3 – 20 м, а других 2 – 8 м. Гравійно-галькові відклади мають площинне розповсюдження і є основним водоносним горизонтом району. Рух підземних вод у водоносному горизонті має напрям загального нахилу калуської рівнини з заходу на схід. Живлення горизонту відбувається переважно за рахунок атмосферних опадів. Прісні води гравійно-галькових відкладів використовують для питного водопостачання навколишніх сіл.

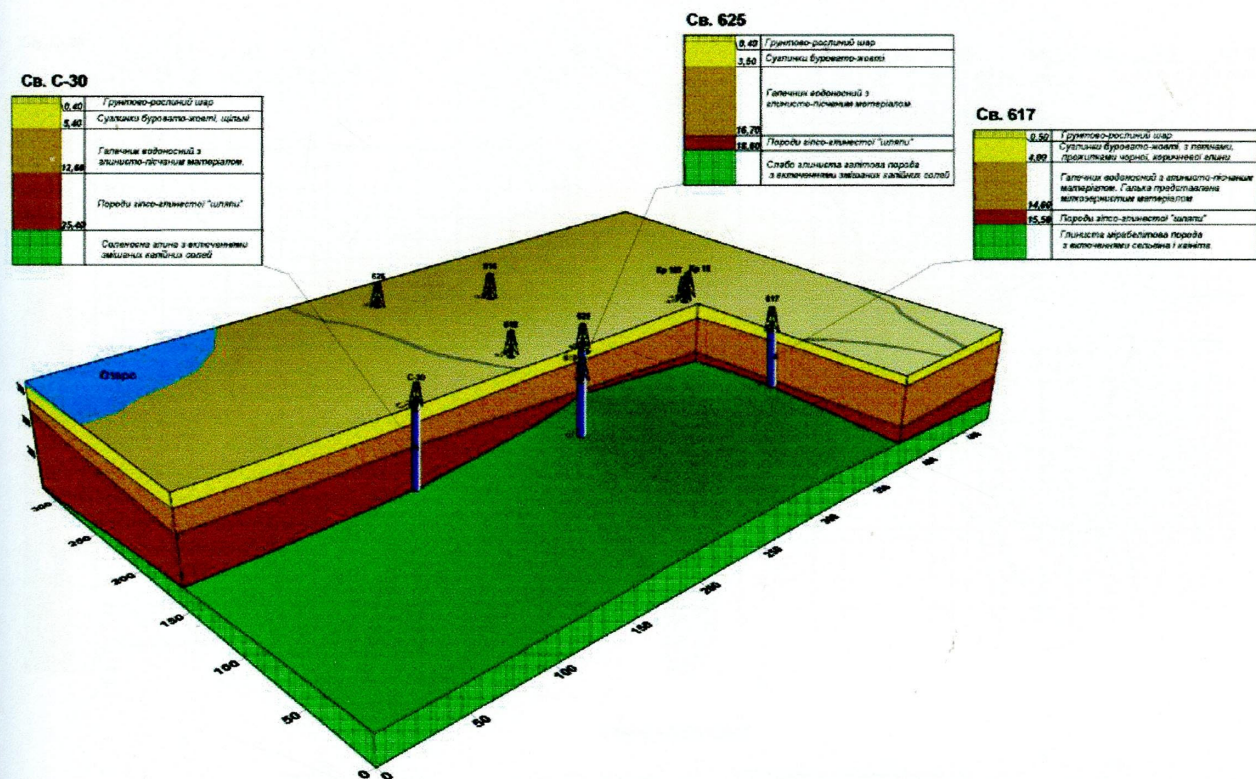


Рис. 4.11. Геологічна модель ділянки Сівка-Калуська Калуш-Голінського родовища калійної солі.

Електричну характеристику зазначеного геологічного розрізу за даними електрометрії наведено на рис.4.12. Виходячи із чисельних характеристик електричних опорів, розріз є достатньо диференційованим для застосування електрометричних методів зондування з метою його картування. На цьому ж рисунку зображено модельні криві для методів ВЕЗ і ЗС, які підтверджують їх яскраву відповідність розрізу, що дає підстави для припущення щодо достатньої роздільної здатності методів для геолого-геофізичної інтерпретації розрізу.

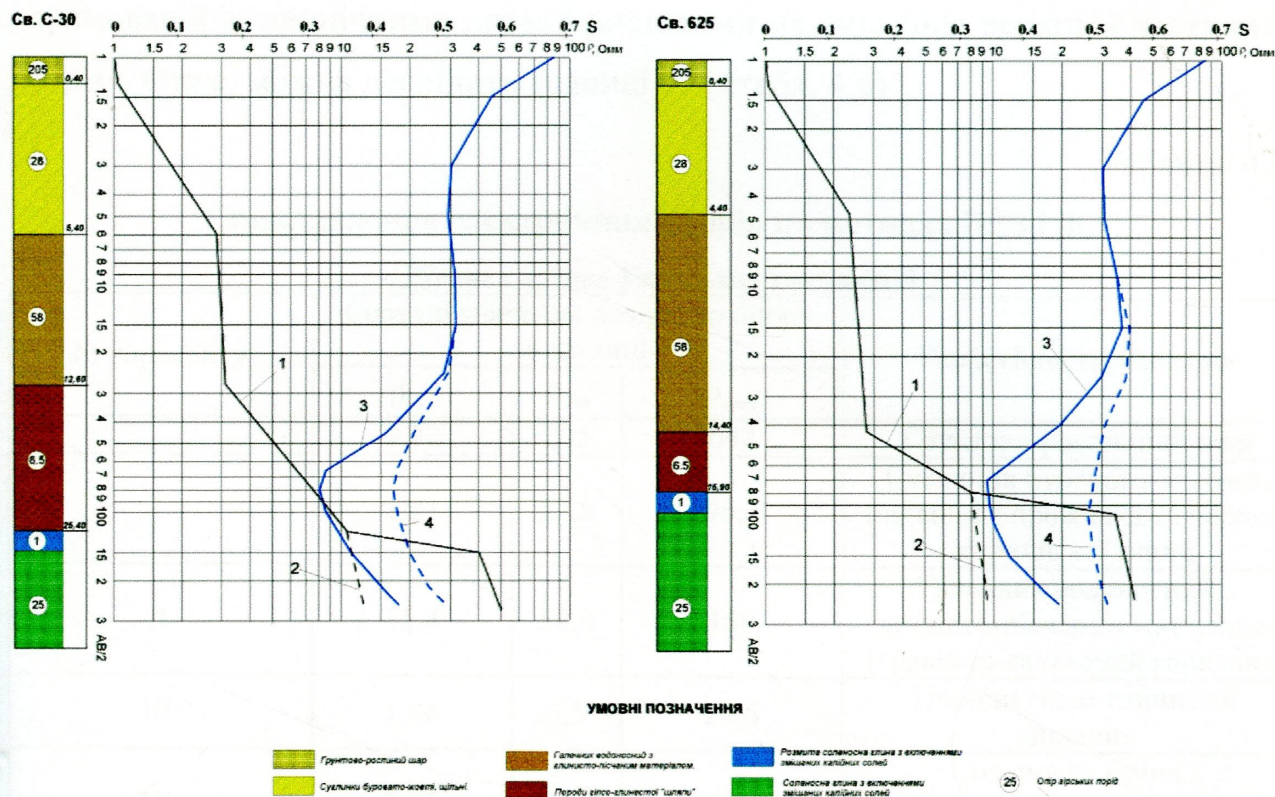


Рис. 4.12. Геологічний розріз і модельні криві для методів ВЕЗ і ЗС

Для опорів кожного шару оцінений їх розподіл. Підпорядкованість кожної вибірки певному закону свідчить про статистичну однорідність шарів щодо їх електричних характеристик і про можливість виявленої інтерпретації.

Проте, очевидно що реальні криві ВЕЗ і ЗС не можуть відповідати модельним з наступних причин: 1) обмеження методу ВЕЗ по глибинності; 2) втрата в методі ЗС верхньої частини розрізу за рахунок інерційності метода; 3) невідповідність реальних розрізів модельним. Проаналізуємо зазначені причини по запропонованій черговості.

Обмеження методу ВЕЗ пов'язано з технічними перешкодами в реалізації максимальних розносів. Досвід підказує, що реальний максимальний рознос $AB/2=150$ м, тоді в залежності від розрізу можна досягти реальних глибин 40 – 60 м. Згідно з рис. 4.10-4.11, метод ВЕЗ може відбити границі 1,2,3.

Щодо методу ЗС, то навіть при використанні апаратури «Стадія», спрямованій за технічними характеристиками на вивчення верхньої частини розрізу. Отже, можна дослідити границі 3, 4 (табл. 4.6).

Таблиця 4.6.

Співставлення електричних опорів по методах ВЕЗ і ЗС

Ділянка «Сівка-Калуська» метод ВЕЗ

№ горизонту	Середні значення позірною опору по ділянці			Геологічне тлумачення
	$\rho_{\text{мін}}$	$\rho_{\text{сер}}$	$\rho_{\text{макс}}$	
	2,82	205	648	Грунтово-рослинний шар
I	1,21	27,8	96,3	Суглинок буровато-жовтий, щільний з прожилками чорної, коричневої глини
II	15,4	58,0	150	Галечник водоносний з глинисто-пісчанним матеріалом (гравійно-гальковий горизонт)
III	1,06	6,5	24,6	Породи гіпсо-глинистої «шляпи»
IV	3,07	25,45	124	Соленосна глина з включеннями змішаних калійних солей

Ділянка «Сівка-Калуська» метод ЗС

№ горизонту	Середні значення позірною опору по ділянці			Геологічне тлумачення
	$\rho_{\text{мін}}$	$\rho_{\text{сер}}$	$\rho_{\text{макс}}$	
	-	-	-	Грунтово-рослинний шар
I	-	-	-	Суглинок буровато-жовтий, щільний з прожилками чорної, коричневої глини
II	-	-	-	Галечник водоносний з глинисто-пісчанним матеріалом (гравійно-гальковий горизонт)
III	2,9	8,9	41	Породи гіпсо-глинистої «шляпи»
IV a	0,1	0,71	7,3	Соленосна глина з включеннями змішаних калійних солей (розмиті)
IV б	5,7	73,4	550	Соленосна глина з включеннями змішаних калійних солей

Єдина границя, яка дає можливість узгодити методи по результатах інтерпретації, є границя 3, тобто границя між гравійно-гальковим водоносним горизонтом та породами гіпсо-глинистої «шляпи». Порівняння

даних ВЕЗ і ЗС з даними буріння по зазначеній границі свідчить про наявність систематичних помилок у визначенні глибини як для ВЕЗ, так і для ЗС (табл. 4.7).

Таблиця 4.7.

Порівняння даних ВЕЗ і ЗС з даними буріння.

Ділянка "Сівка-Калуська" метод ВЕЗ, профіль 11

№ ПК	Суглинок	Гравійно-гальковий горизонт	Гіпсоглиниста "шляпа"	№ ПК	Суглинок	Гравійно-гальковий горизонт	Гіпсоглиниста "шляпа"
Глибина залягання геологічних границь за даними ВЕЗ, м				Глибина залягання геологічних границь за даними буріння (св.), м			
ПК 0	2,3	13,9	47	ПК 0	6	15,1	24,5
ПК 40	2,49	18,58	94,8	ПК 40	6,6	18,1	27,5
ПК 80	3,44	21,7	60,6	ПК 80	7,3	15,3	26,3
ПК 120	3,33	24,71	67,21	ПК 120	7	16,2	27,1
ПК 160	3,76	12,96	45,56	ПК 160	7,1	14,8	24,1
ПК 200	5,23	14,56	44,76	ПК 200	7,5	15,2	22,7
ПК 240	3,63	12,57	53,57	ПК 240	6,8	14	23,2
ПК 280	4,7	13,79	55,19	ПК 280	6,5	14,2	20,3
ПК 320	2,64	13,14	53,2	ПК 320	6,2	13,9	20

Ділянка "Сівка-Калуська" метод ЗС, профіль 11

№ ПК	Гіпсоглиниста "шляпа"	Соленосна глина (розмита)		№ ПК	Гіпсоглиниста "шляпа"	Соленосна глина (розмита)	
Глибина залягання геологічних границь за даними ЗС, м				Глибина залягання геологічних границь за даними буріння (св.), м			
ПК 0	29	35		ПК 0	24,5	24,5	
ПК 40	33	35		ПК 40	27,5	27,5	
ПК 80	32	33		ПК 80	26,3	26,3	
ПК 120	33	34		ПК 120	27,1	27,1	
ПК 160	31	33		ПК 160	24,1	24,1	
ПК 200	30	34		ПК 200	22,7	22,7	
ПК 240	31	33		ПК 240	23,2	23,2	
ПК 280	30	32		ПК 280	20,3	20,3	
ПК 320	31	34		ПК 320	20	20	

Тоді для переходу від «геофізичних» глибин до реальних слід побудувати регресійну залежність по геологічних та геофізичних границях (границі відбиті методами ВЕЗ та ЗС) (рис. 4 13-4.14).

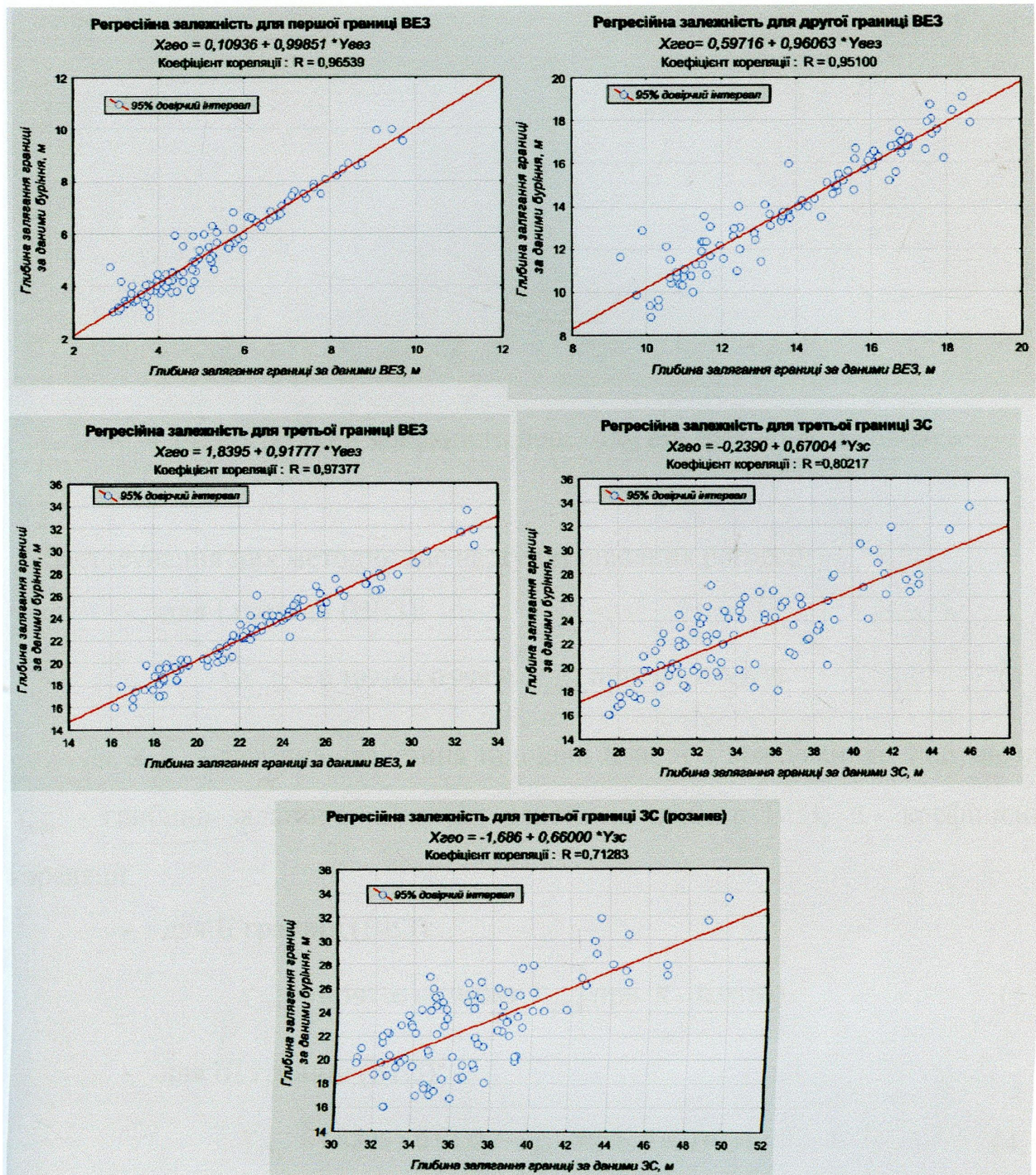


Рис. 4.13. Регресійна залежність по геологічних та геофізичних границях (границі відбиті методами ВЕЗ та ЗС)

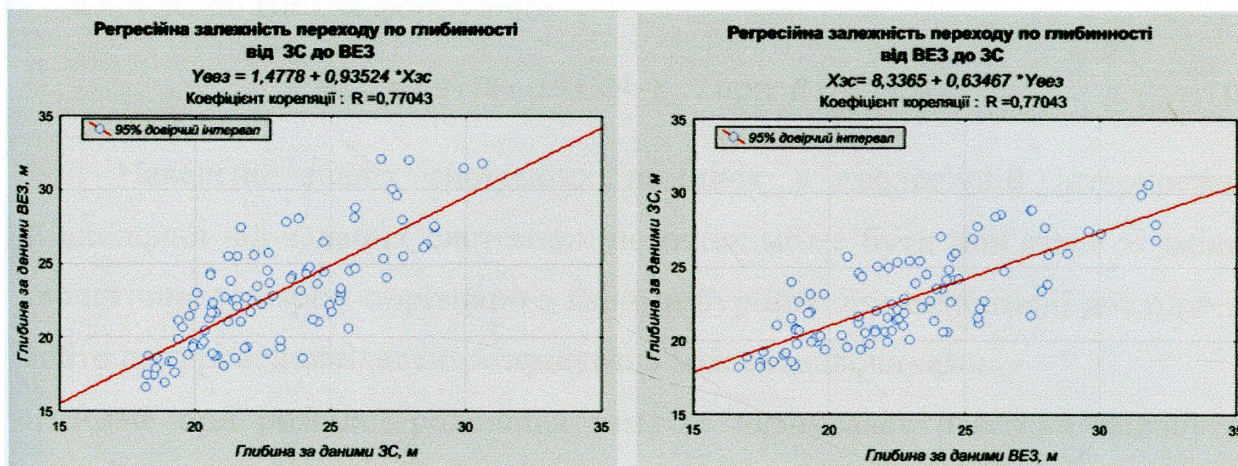


Рис. 4.14. Регресійна залежність переходу від ВЕЗ до ЗС і навпаки

Застосування цих методик дає наступні рівняння регресії:

- для I границі (ВЕЗ):

$$X_{ГЕО} = 0.10936 + 0.99851 \cdot Y_{ВЕЗ}, \text{ при } R = 0.96539 \quad (4.12)$$

де $X_{ГЕО}$ - глибина залягання підшви пласта з врахуванням поправки;
 $Y_{ВЕЗ}$ - глибина залягання підшви пласта за даними ВЕЗ; R - коефіцієнт кореляції.

- для II границі (ВЕЗ):

$$X_{ГЕО} = 0.59716 + 0.96063 \cdot Y_{ВЕЗ}, \text{ при } R = 0.95100 \quad (4.13)$$

- для III границі (ВЕЗ):

$$X_{ГЕО} = 1.8395 + 0.91777 \cdot Y_{ВЕЗ}, \text{ при } R = 0.97377 \quad (4.14)$$

- для III границі (ЗС)

$$X_{ГЕО} = -0.2390 + 0.67004 \cdot Y_{ЗС}, \text{ при } R = 0.80217 \quad (4.15)$$

- для III границі з розмивом поверхні (ЗС)

$$X_{ГЕО} = -1.686 + 0.66000 \cdot Y_{ЗС}, \text{ при } R = 0.71283 \quad (4.16)$$

Перехід по глибинності від ВЕЗ до ЗС відбувається за формулою:

$$X_{ЗС} = 8.3365 + 0.63467 \cdot Y_{ВЕЗ}, \text{ при } R = 0.77043 \quad (4.17)$$

а від ЗС до ВЕЗ за формулою:

$$X_{ВЕЗ} = 1.4778 + 0.93524 \cdot Y_{ЗС}, \text{ при } R = 0.77043 \quad (4.18)$$

Наведено аналіз системних помилок в геологічній інтерпретації. Відхилення від заданих системних помилок може бути пов'язане зі зміною геологічного розрізу порівняно з даними буріння при деталізації досліджень, тобто при проведенні електрондувань між свердловинами.

Адже при розвідці родовища там, де планувався шахтний видобуток, буріння виконувалось за максимально можливою рідкою сіткою з тим, щоб уникнути порушення соляного дзеркала ціликів і запобігти гідравлічному зв'язку вище і нижчележачих горизонтів. Тому застосування методів електричних зондувань виглядає обґрунтованим, поскільки використання формул (4.12 – 4.18) дозволяє виконувати кількісну інтерпретацію та отримувати вірогідні результати.

З точки зору картування карсту і прогнозу карстопровальної небезпеки перед електророзвідкою були поставлені задачі, які в принципі неможливо вирішити за допомогою буріння: 1) оцінка ступеня розмиву соляного дзеркала за час експлуатації родовища; 2) диференціація порід надсольової брекчії (див. рис. 4.12), як пласта із здібностями обвалу та текучості; 3) виявлення ділянок розвитку підземного карсту; 4) визначення ділянок напружено-деформованого стану, пов'язаних із зонами карстоутворення.

Розмив покрівлі соляних пластів або «соляного дзеркала» уперше був відмічений під час експлуатаційного буріння на Стебницькому родовищі. Розміри розмиву були такими значними, що останній відображався в полі сили тяжіння при гравіметричних дослідженнях. На Калуш-Голинському родовищі зазначений розмив був уперше виявлений за електрометричними даними під час геофізичних досліджень. Розмита зона, ймовірно, частково заповнюється виваленим з верхнього шару уламковим матеріалом, а частково розсолами. Електричний опір її становить приблизно 1 Ом. На рис. 4.12 зображено модельні криві ВЕЗ і ЗС для розрізів двох свердловин, зазначених

на рис. 4.11. Шар розмиву «соляного дзеркала» відображається впевненим мінімумом на кривих ВЕЗ і субгоризонтальною гілкою, майже паралельною вісі провідності на кривих ЗС.

З урахуванням системних помилок за вищезначеною методикою при інтерпретації комплексу ВЕЗ – ЗС було виявлено, що розмив соляного дзеркала має площинний характер і повинен ураховуватись при прогнозуванні просідання денної поверхні (рис. 4.15 - 4.16).

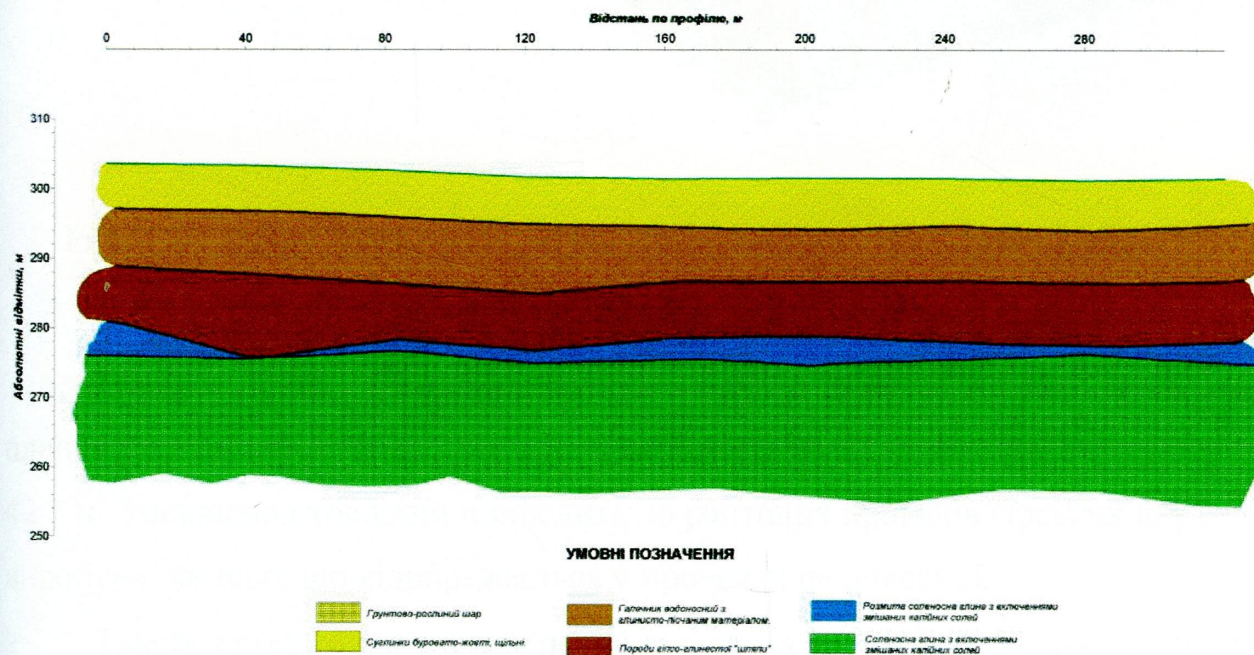


Рис. 4.15. Геоелектричний розріз з виділенням розмиву соляного дзеркала

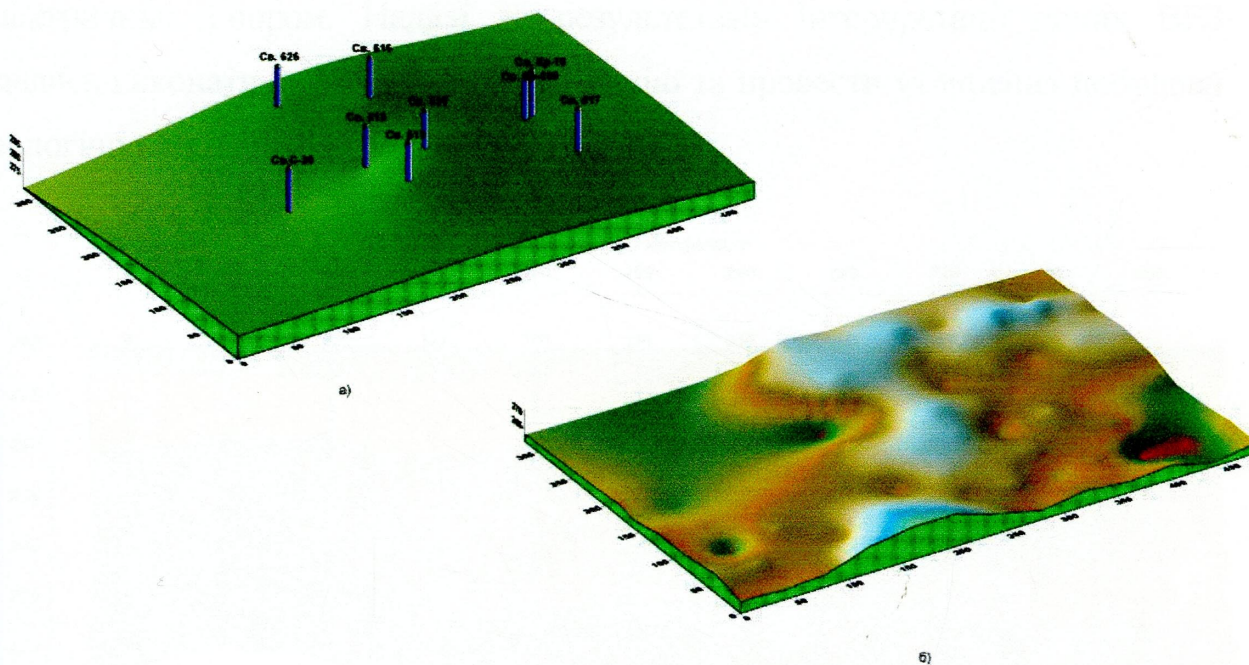


Рис. 4.16. Порівняння поверхні соляного дзеркала за даними буріння і методами електрометрії (ВЕЗ і ЗС)

Максимальний розмив соляного дзеркала досягає до 5.3 м, тобто планова товщина соляних порід над камерами складає 48 м, а фактична – 42.7 м. Зменшення товщини приводить до раптових провалів гірських порід у видобувні камери, що відображається у провалах на поверхні.

Також актуальною є задача диференціації порід надсольової брекчії, яка виникла із наступних міркувань. Під час обґрунтування та розроблення технології заливки розсолами видобувних камер було виявлено, що одна із компонент верхньобалицьких утворень в брекчії складається із текучих глин із коефіцієнтом внутрішнього тертя $C=1,2$ в сухому стані і $C=0$ у зволоженому. Тому ці породи при зволоженні можуть «текти» у гірничі виробки та карстові порожнини, що знов таки супроводжуються просіданням та провалами денної поверхні. Проте однозначності в здійсненні прогнозованих просідань не відмічалось. Це дозволяє висунути гіпотезу про літологічну неоднорідність глинистих порід, а саме присутність в них пісчаної фракції, що робить породи зцементованими і міцними. Природно,

що така неоднорідність повинна відобразитись у диференціації порід за електричним опором. Надалі за результатами інтерпретації даних ВЕЗ вдалось виконати зазначену диференціацію та провести уточнення побудови геологічного розрізу.

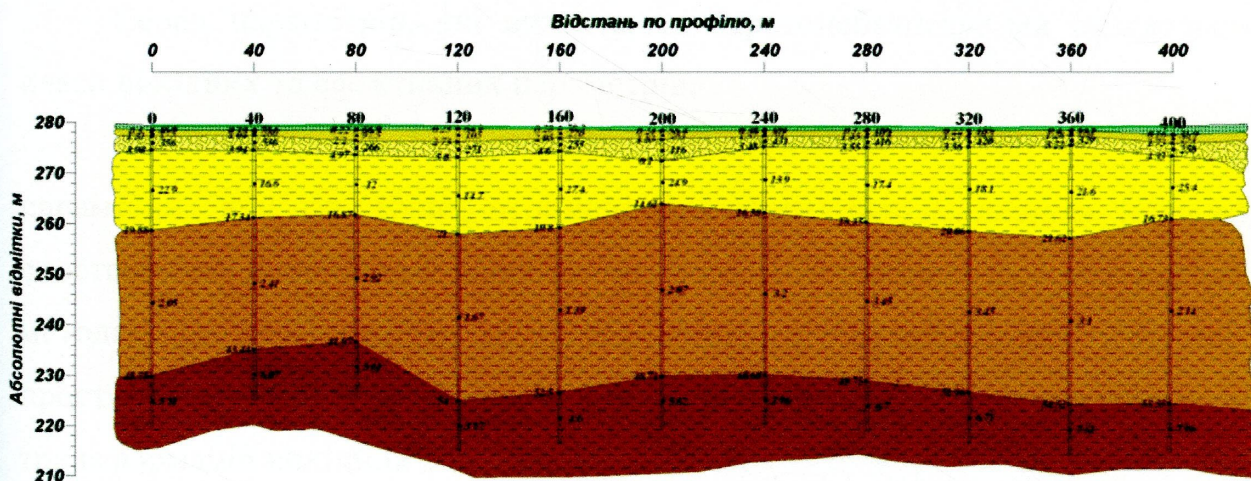


Рис. 4.17. Геоелектричний розріз по ділянці «Хотинь»

На рис. 4.17 наведено геоелектричний розріз по одному з профілів по ділянці «Хотинь» виділяємо три витриманих у межах «мидляри» пласти з електричними опорами відповідно 19.5, 2.5, 5.8 Ом м.

Ці пласти узгоджуються з результатами дослідження карсту. Підкреслимо, що спочатку диференціація мидляри була здійснена за даними геофізики, а потім знайдено підтвердження цьому при аналізі фондових матеріалів.

4.4. Комплексний підхід до прогнозування провальньо-просадкових проявів геофізичними методами

Задача комплексного підходу карстових процесів сформована при вивченні ступеня розмиву соляних порід у межах Північного борту Домбровського кареру – у зв'язку з вивченням проблеми прориву вод річки Сівка в кар'єр, а також на окремих ділянках шахтних полів. При цьому очікується оцінка ймовірності небезпеки. Така задача раніше ставилась і вирішувалась при дослідженні зсувів [102, 104, 105]. Для прогнозування

карстопровальних явищ вона розглядається вперше. Комплекс методів дослідження включає ВЕЗ, ПЕП, ПЕМПЗ і виконувався для аналізу динаміки явища в два етапи у різні роки.

4.4.1 Класифікація геофізичних параметрів та вибір ефективних параметрів

Серед параметрів, які визначають карстонебезпеку, ми розглядаємо класи вихідних та ефективних параметрів.

До класу простих вихідних параметрів відносимо всі можливі параметри, які, по-перше, отримані безпосередньо за даними польових спостережень, первинної обробки чи кількісної інтерпретації по окремих методах. До складових вихідних параметрів відносимо ті, що отримані з простих шляхом деяких простих арифметичних перетворень чи трансформацій вихідних даних.

До класу ефективних параметрів відносимо ті параметри, які з фізичної точки зору, а також за результатами статистичної обробки виявились найбільш ефективними для прогнозу карстонебезпеки та прийняті до інтегральної кількісної комплексної інтерпретації. При обґрунтуванні ефективних параметрів витримується принцип представлення в комплексній інтерпретації незалежних параметрів (один параметр від одного методу) для того, щоб не надавати окремому методу чи параметру вагової переваги при формуванні функції комплексного показника. Ефективні параметри не повинні бути комплексними, тобто складатись з комбінацій простих параметрів, які самі по собі можуть відігравати роль ефективних.

Отже, до групи вихідних параметрів належать:

- питомий електричний опір ρ_i ;
- напруженість електромагнітного поля Землі (I_X, I_Y, I_Z);
- прискорення сили тяжіння Δg
- провідність гірських порід;

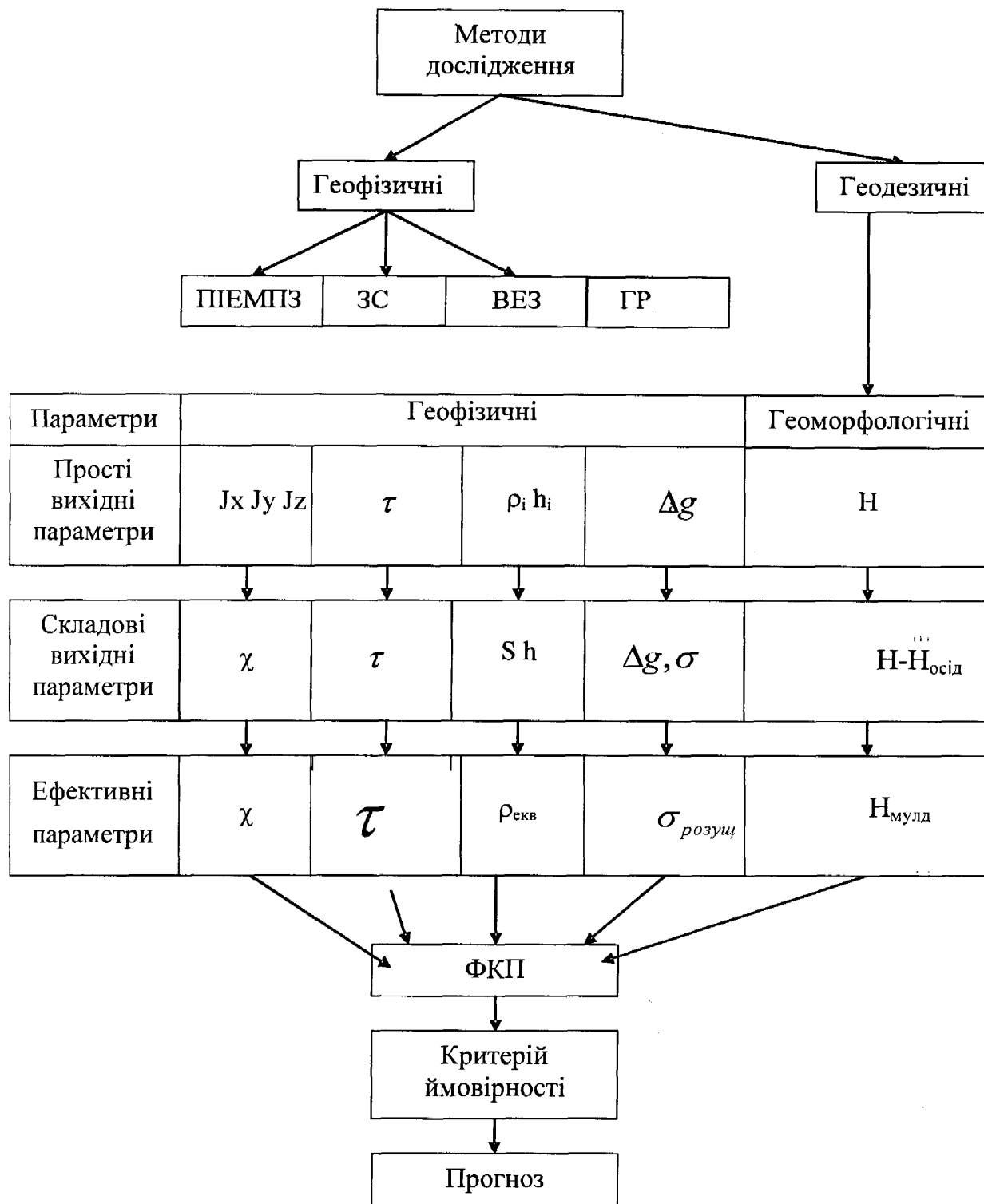
До ефективних параметрів відносимо:

- еквівалентний опір $\rho_{екв}$ порід ГГШ;
- дефіцит щільності гірських порід;
- потужність шару ГГШ (за даними буріння);
- коефіцієнт анізотропії електромагнітного поля χ ;
- повний вектор напруження електромагнітного поля T ;
- провідність гірських порід τ .

Стандартним шляхом комплексної інтерпретації вважається зображення аномалій, отриманих за різними методами, на одній карті з подальшим візуальним співставленням їх, тобто виявлення діленням, де ці аномалії співпадають. Цей шлях будемо розглядати на першому етапі комплексної інтерпретації. Він дає позитивний результат при наявності виразних аномалій, пов'язаних з шуканим геологічним ефектом, в даному випадку осіданням, але не дозволяє надати кількісну характеристику

При виконанні комплексної інтерпретації передбачається використання наявної геологічної, геоморфологічної, геодезичної та геофізичної інформації, яка визначає провальну-просадкову небезпеку на локальному рівні та може бути виражена кількісно. Методика комплексної інтерпретації базується на використанні інтегрального способу розрахунку функції комплексного показника з подальшим прогнозом провальну-просадкової небезпеки на основі аналізу розподілу характеристик критерію імовірності. Запропонована схема інтерпретації зображена на рис. рис. 4.18

Етапність підготовки та інтерпретації даних, що пропонується, наступна. Попередня обробка передбачає процедури приведення даних до опорної сітки, нормування та згладжування. Етапи підготовки до інтерпретації наступні: 1) підготовка каталогу вихідних даних в структурі комп'ютерних файлів; 2) розрахунок потужності гіпсо-глинистої «шапки» ГГШ; 3) обчислення ефективних параметрів за даними геофізичних методів; 4) бланкування ділянки досліджень у відповідності до фактичної сітки спостережень; 5) регуляризація основних параметрів на квадратну сітку.



Позначення: J_x, J_y, J_z – інтенсивності ПЕМПЗ за різної орієнтації антени; ρ_i, h_i – опір і потужність за даними інтерпретації ВЕЗ; τ – провідність гірських порід; H – абсолютна відмітка денної поверхні; χ – коефіцієнт анізотропії (за даними ПЕМПЗ); $H_{\text{мулд}}$ – мульди осідання; $\sigma_{\text{розущ}}$ розущільнення гірських порід; Δg – спостережене гравітаційне поле; ФКП - функція комплексного показника

Рис. 4.18. Узагальнена схема комплексної інтерпретації геофізичних даних

Етапи кінцевої обробки та інтерпретації: 1) визначення законів статистичного розподілу параметрів та коректування останніх; 2) кореляційно-регресійний аналіз вихідних і розрахункових параметрів; 3) визначення (підтвердження) ефективних параметрів, узгоджених із провальнo-просадковими процесами; 4) розрахунок функції комплексного показника; 5) оцінка «внеску» методів (параметрів) у формування ФКП; 6) розрахунок критерію ймовірності провальнo-просадкових процесів; 7) визначення довірчої нижньої границі критерію ймовірності та виділення аномальних зон, які відповідають цим процесам; 8) трансформування розподілу критерію ймовірності провальнo-просадкової небезпеки у тривимірну модель.

Кореляційні зв'язки ефективних параметрів в основному відповідають їх фізичній змістовності щодо відображення карстонебезпеки на якісному рівні, тобто за знаками кореляції.

Проте ці зв'язки (коефіцієнти парної кореляції) у більшості не є істотними. Це свідчить про слабкий рівень корисного сигналу, тобто сигналу на фоні сигналів-завад. Ці сигнали-завади є наслідком структурно-геологічної неоднорідності масивів гірських порід, що підлягають дослідженням. Єдиним виходом в даній ситуації є застосування інтегрованої кількісної комплексної інтерпретації.

При комплексній інтерпретації використаний інтегральний метод розрахунку функції комплексного показника, запропонований вперше Вахромєєвим Г.С. для пошуків і розвідки рудних родовищ [105].

Ідея реалізації ФКП полягає в тому, що інформація по кожному методу містить в собі як корисний сигнал, так і сигнал-заваду. Корисний сигнал має регулярний характер зміни для всіх методів, що є функцією карстонебезпеки, в той час, коли сигнал-завада розподіляється випадково. При розрахунку ФКП корисний сигнал однозначно сумується, а сигнал-завада взаємно знищується.

Послідовність розрахунків така. Спочатку за даними кожного методу підраховується контрастність аномалії сигналу за формулою

$$\gamma_{ij} = \frac{A_{ij} - \bar{A}_j}{\sigma_j}, \quad (4.19)$$

де A_{ij} – значення (амплітуда) сигналу в i -й точці по j -му методу;

\bar{A}_j – середнє значення параметра по j -му методу на ділянці досліджень;

σ_j – середньоквадратичне відхилення.

$$\bar{A}_j = \frac{\sum A_{ij}}{n}; \quad (4.20)$$

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_{ij} - \bar{A}_j)^2}{n-1}}, \quad (4.21)$$

де n – кількість значень параметра на ділянці досліджень.

Оскільки значення контрастності параметрів γ_{ij} нормувались по середньоквадратичному відхиленню і відповідно безрозмірні, то їх можна представити в інтегральній формі, а саме у вигляді суми ФКП в кожній точці вимірювань:

$$\theta_i = \sum_{j=1}^p \gamma_{ij} - \sum_{j=1}^k \gamma_{im}, \quad (4.22)$$

де p та k – кількість параметрів (методів), які дають відповідно додатній та від'ємний ефект над аномальним об'єктом.

Таким чином, обчислення функції комплексного показника передбачає таку послідовність операцій: розрахунок контрастності аномалій сигналу по кожному окремому методу на ділянці досліджень; нормування контрастностей за середньоквадратичним відхиленням; інтегральне представлення нормованих контрастностей.

Нами запропонована оцінка кількісного зв'язку величини ФКП θ із карстнебезпекою оцінюється нами за допомогою ймовірнісного критерію, який в даному випадку названий критерієм імовірності карсту:

$$\sigma = \frac{\theta_i}{\sigma_\theta}, \quad (4.23)$$

де σ_θ - сигмова межа, що враховує дисперсію параметрів.

4.4.2. Попередній статистичний аналіз

Статистичний аналіз геолого-геофізичних параметрів при підготовці до інтерпретації виконувався в наступній послідовності:

- визначення закону розподілу параметра за допомогою критерію Колмогорова-Смірнова. Цей критерій рекомендується літературою з статистики [105]. Коли вибірка даних має значний об'єм – сотні та тисячі вимірювань. При визначенні закону розподілу розраховані так звана D – статистика для кількох законів, яким може відповідати вибірка, а також критичне значення D – статистики. Якщо значення D – статистики менше критичного значення, закон приймається. Визначення закону розподілу необхідно для вибору алгоритму розрахунку ФКП. Якщо закон розподілу має інший характер, алгоритм відповідно корегується.

- визначення трисигмових меж. «Сигма» в даному випадку – середньоквадратичне відхилення випадкової величини. (далі на рисунках позначаються літерою «S»). Якщо значення спостережених параметрів виходять за межі (-3S; +3S), вони вважаються малоімовірними. Якщо це поодинокі значення то вони не брались до уваги при подальшій обробці. Якщо це групові значення (кілька значень по профілю), то їм присвоювались чисельні значення рівня $\pm 3S$.

Процедура фільтрації та регуляризації (з етапами інтерполяції та екстраполяції) на квадратну сітку виконувались після корегування вихідних даних згідно з визначенням трисигмовихми межами. По завершенню

регуляризації проводиться процес оцінки закону розподілу та відбраковки чи обмеження параметрів згідно інтервалів потрібного середньоквадратичного відхилення.

Після статистичної обробки від кожного методу брався один ефективний параметр, завдяки чому було сформовано ФКП.

4.4.3 Кореляційно-регресійний аналіз. Розрахунок ФКП для північного борту кар'єру.

Кореляційно-регресійний аналіз вихідних і розрахункових параметрів полягає у пошуку кореляційних парних зв'язків між окремими параметрами. Розраховуються парні коефіцієнти кореляції для окремих груп вхідних даних і будуються матриці і графіки парних залежностей між вхідними параметрами.

Наведемо процедуру аналізу первинних матеріалів, яка привела до виділення з масиву вихідних параметрів тих, які можуть розглядатись як ефективні при прогнозі провальності-просадкової небезпеки.

В табл. 4.6 наведена матриця парних коефіцієнтів кореляції між вхідними для ділянки «Північний борт Домбровського кар'єра»

Таблиця 4.8.

Парна кореляція ефективних параметрів з ФКП для ділянки «Північний борт Домбровського кар'єра» (I - етап)

	h	ρ	Uзал.	Iz	ФКП
h	1	0,43	-0,33	0,36	0,63
ρ	0,43	1	0,01	0,40	-0,13
Uзал.	-0,33	0,01	1	-0,04	-0,60
Iz	0,36	0,40	-0,04	1	0,44
ФКП	0,63	-0,13	-0,60	0,44	1

Умовні позначення: ФКП – функція комплексного показника; h – товщина шару ГГШ; Im - напруженість природного електромагнітного поля Землі, (напряг Iz); $\Delta U_{\text{зал}}$ – залишкові значення природних потенціалів; ρ - опір ГГШ.

Таблиця 4.9.

Парна кореляція ефективних параметрів з ФКП для ділянки «Північний борт Домбровського кар'єра» (II - етап)

	h	ρ	Uзал.	Iz	ФКП		внесок
h	1	-0,01	-0,10	0,04	0,60	0,60	31,41
ρ	-0,01	1	-0,29	0,02	-0,37	0,37	19,37
Uзал.	-0,10	-0,29	1	0,02	-0,42	0,42	21,99
Iz	0,04	0,02	0,02	1	0,52	0,52	27,23
ФКП	0,60	-0,37	-0,42	0,52	1	1,91	100

Таблиця 4.10.

Парна кореляція ефективних параметрів з ФКП для ділянки Хотинь – 2007

	Δg	τ	ρ_{\min}	χ	ФКП		внесок
Δg	1,00	-0,13	0,18	-0,26	-0,31	0,31	20,95
τ	-0,13	1,00	-0,31	-0,01	0,40	0,4	27,03
ρ_{\min}	0,18	-0,31	1,00	-0,08	-0,52	0,52	35,14
χ	-0,26	-0,01	-0,08	1,00	0,25	□□□□	16,89
ФКП	-0,31	0,40	-0,52	0,25	1,00	□□□□	100,00

Умовні позначення: **ФКП** – функція комплексного показника; Δg – відносне прискорення сили тяжіння, $\times 10^{-5}$ м/с² χ – коефіцієнт анізотропії; τ – провідність гірських порід; ρ – опір ГГШ.

Таблиця 4.11.

Парна кореляція ефективних параметрів з ФКП для ділянки Хотинь – 2008

	Δg	τ	ρ_{\min}	χ	ФКП		внесок
Δg	1,00	-0,07	0,13	-0,12	-0,32	0,32	23,36
τ	-0,07	1,00	-0,31	0,13	0,40	0,4	29,20
ρ_{\min}	0,13	-0,21	1,00	-0,16	-0,32	0,32	23,36
χ	-0,12	0,13	-0,16	1,00	0,33	□□□□	24,09
ФКП	-0,12	0,40	-0,52	0,23	1,00	□□□□	100,00

Таблиця 4.12.

Парна кореляція ефективних параметрів з ФКП для ділянки Голинь – 2007

	Δg	τ	ρ_{\min}	χ	ФКП		внесок
Δg	1,00	-0,11	0,24	-0,15	-0,53	0,53	28,80
τ	-0,11	1,00	0,21	0,08	0,41	0,41	22,28
ρ_{\min}	0,24	0,21	1,00	-0,16	-0,46	0,46	25,00
χ	-0,15	0,08	-0,16	1,00	0,44	□□□□	23,91
ФКП	-0,53	0,41	-0,46	0,44	1,00	□□□□	100,00

Таблиця 4.13.

Парна кореляція ефективних параметрів з ФКП для ділянки Голинь – 2008

	Δg	τ	ρ_{min}	χ	$\Phi КП$	внесок	
Δg	1,00	-0,11	0,24	-0,17	-0,57	0,57	30,65
τ	-0,11	1,00	0,21	0,08	0,40	0,4	21,51
ρ_{min}	0,24	0,21	1,00	-0,16	-0,44	0,44	23,66
χ	-0,17	0,08	-0,16	1,00	0,45	0,45	24,19
$\Phi КП$	-0,57	0,40	-0,44	0,45	1,00	1,86	100,00

Аналізуючи матеріали ділянки «Північний борт Домбровського кар'єра» (перший етап спостережень) відмічається дві аномалії при критерії імовірності, який перевищує 0.7.

Аномалія №1. Аномалія знаходиться на південно-західному краю планшета. Значення P перевищує 0.7. Аномалія витягується нижнім краєм до дороги, узгоджується з усіма ефективними параметрами і пов'язується з карстовим провалом, який утворився. Провал знаходиться поряд з аномалією – на південь від неї.

Аномалія №2 розташована в південно-східній частині планшета. Значення $P > 0.6$. Аномалія узгоджується з параметрами h , $U_{ал}$, I_z . В цій частині карстових провалі не виявлено.

Другий етап (проведено через рік) з метою простеження зон деформацій які супроводжуються карстовим процесом з поступленням прісних вод в Домбровський кар'єр. Результати комплексної інтегрованої інтерпретації по другому етапу наведені на (рис. 4.19).

На ділянці відмічається дві аномалії при критерії імовірності, який перевищує 0.75.

Аномалія №1. Аномалія знаходиться на південно-західному краю планшета. Значення P перевищує 0.75. Аномалія витягується нижнім краєм до дороги, узгоджується з усіма ефективними параметрами і пов'язується з карстовим провалом, який утворився. Провал знаходиться поряд з аномалією – на південь від неї.

Аномалія №2 розташована в південно-східній частині планшета. Значення $P > 0.6$. Аномалія узгоджується з параметрами h , $U_{ал}$, I_z . В цій частині карстових провалі не виявлено.

Порівняльний аналіз режимних геофізичних спостережень (літо 2009 р., весна 2010 р.). Порівняння карт показує, що рівень розвитку аномалій в основному зберігається - біля 100 – 120 м від борта кар'єру на північ. Дещо змінилась конфігурація аномалій. Пояснення тут наступне: по-перше – роботи виконувались в різних погодних умовах, перший етап літом 2009 р., другий етап весна 2010 р. рис. 4.19. Тому аномальний рівень по всіх параметрах дещо зменшився; по-друге – візуально спостерігаються провали в борту кар'єру та відколи скибок (на відстані 20 – 30 м), що веде до зміни напруженого стану, а саме розвантаження, у зв'язку з чим перегрупування аномалій ПЕМПЗ.

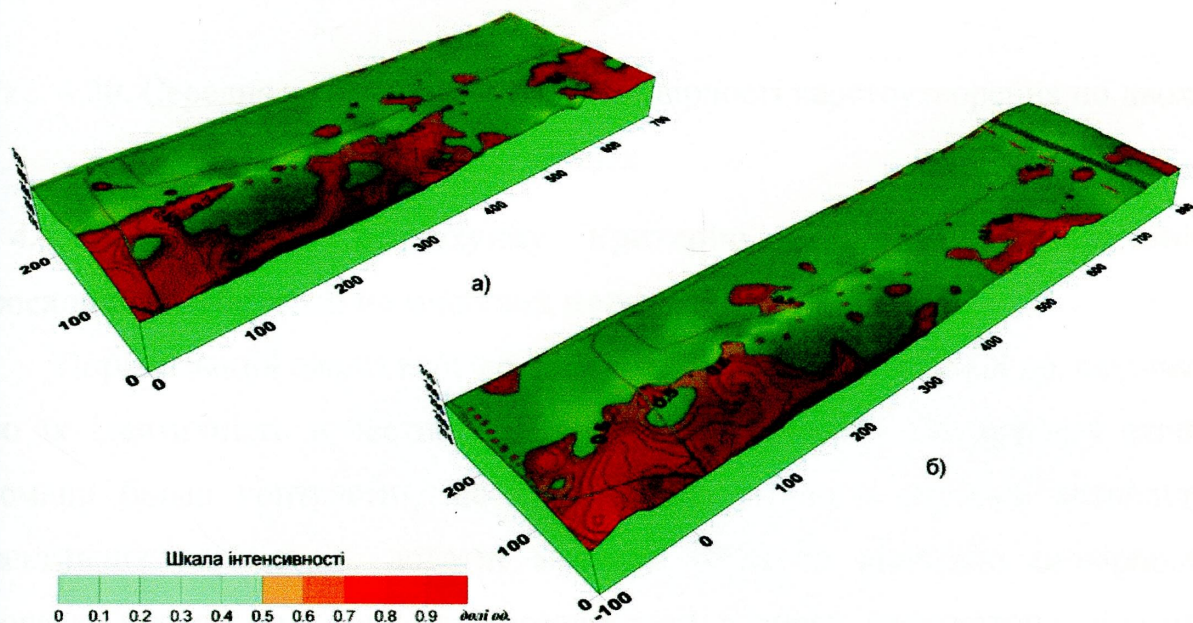


Рис. 4.19. Просторове зображення критерію ймовірності карстоутворення,
а) 2009 р. б) 2010 р.

Тому результативною слід приймати карту, отриману як середні по двох етапах (рис.4.20). Аналіз цієї карти однозначно стверджує, що породи усієї прибортової частини кар'єру з північної сторони є ураженими

карстовими процесами, просіданнями та зрушеннями. Ця відстань складає до 120 м.

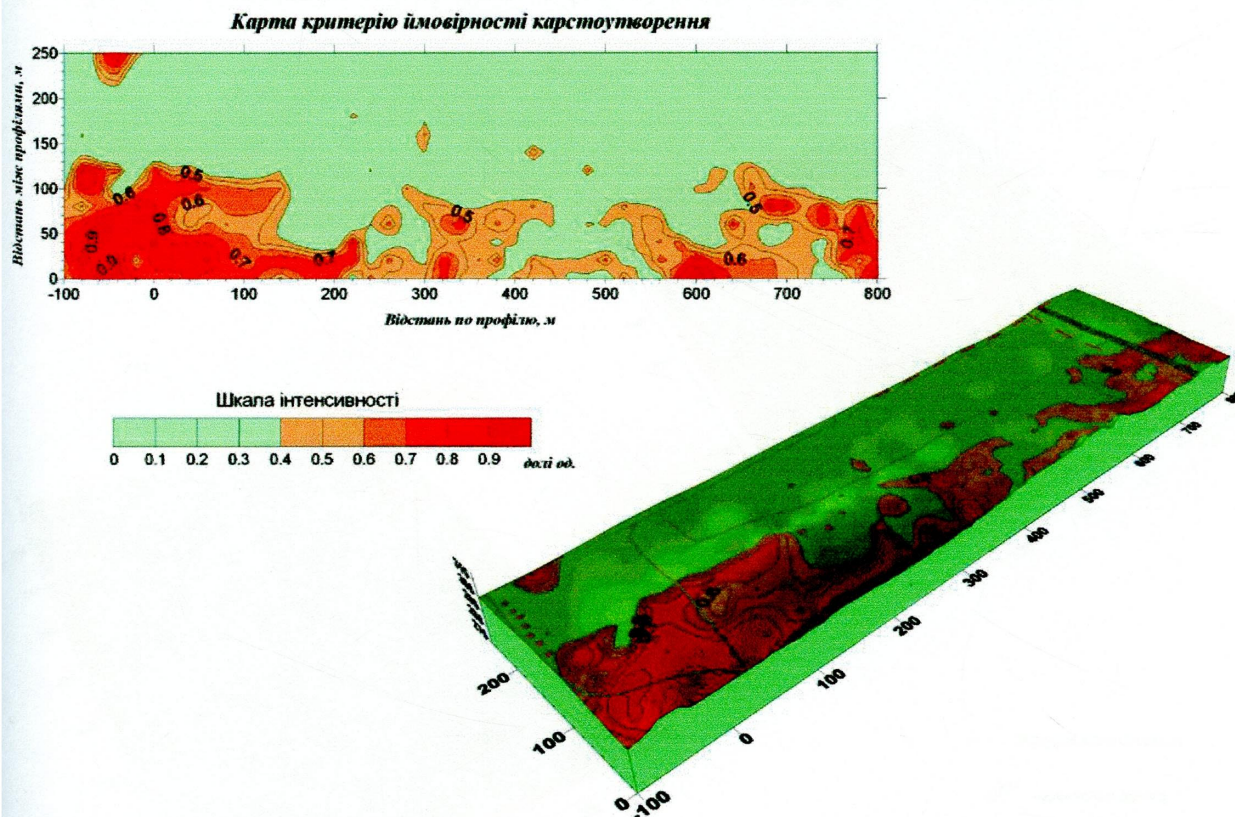


Рис. 4.20. Середні значення критерію ймовірності карстоутворення по двох етапах

4.4.4 Результати розрахунку критерію ймовірності провальньо-просадкової небезпеки на шахтних полях.

Порівняльний аналіз карт по ділянці «Хотінь» 2007 та 2008 рр. свідчить про їх ідентичність в частині розташування аномалій. По другому етапу аномалії більш контрастні, що є логічним. Згідно з картами розподілу ефективних параметрів, додатні аномалії ФКП та критерію ймовірності просадко-провальних процесів зосередженні в зонах формування відомих мульд осідання. На ділянці «Хотінь» виявлено три аномалії із значною ймовірністю, що перевищує 0.6 (а подекуди і 0.9), які підтвердились при режимних спостереженнях в 2008 році (рис. 4.21). Аналізуючи дані кореляції ефективних параметрів з ФКП, для ділянки «Хотінь» бачимо підтвердження очікуваних знаків кореляції, наприклад, параметри $\Delta g(-0,53)$ в 2007 р. та Δg

(-0,57) в 2008 р. і ρ_{\min} (-0,46) та (-0,44), як і слід було чекати. Параметри τ , і χ корелюють з додатнім знаком τ (0.40) та (0.41), χ (0.44) та (0,45).

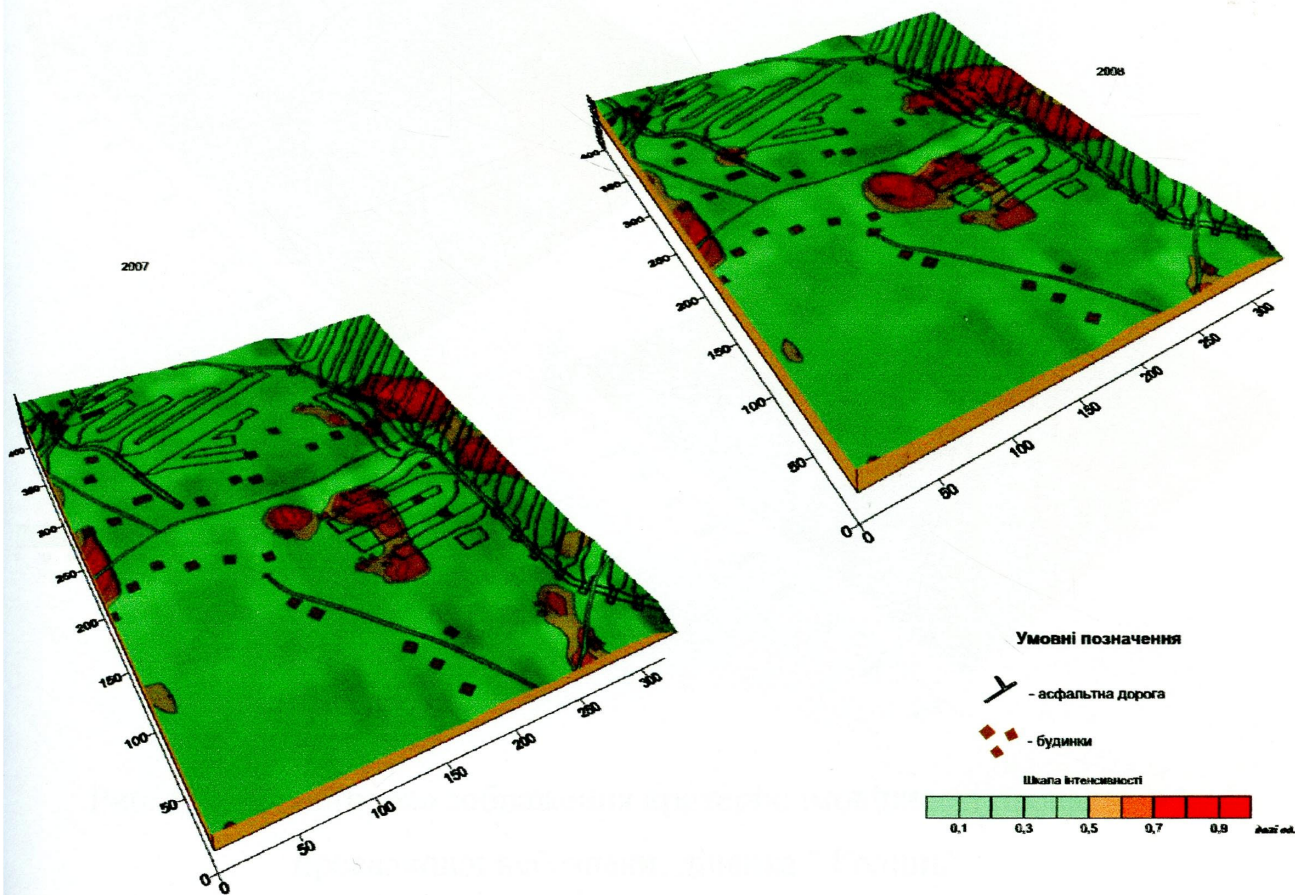


Рис. 4.21. Просторове зображення критерію імовірності провальнопросадкової небезпеки, ділянка " Хотінь"

Аномальні зони знаходяться в наступних межах:

I зона – профілі ПР 12 – 17, ПК170 – 370, ПК0 – 60;

II зона – профілі ПР 7 – 12, ПК110 – 220;

III зона – профілі ПР 1 – 3, ПК 180 – 250;

Критерій імовірності аномальних зон перевищує $P > 0.7$. Аномалії однозначно узгоджені з мульдами просідання та відображені в параметрах $\Delta g, \tau, \chi, \rho$. В межах аномалій знаходиться 8 будинків.

На ділянці «Голинь» виділена територія аномальних зон в східній частині ділянки (рис.4.22).

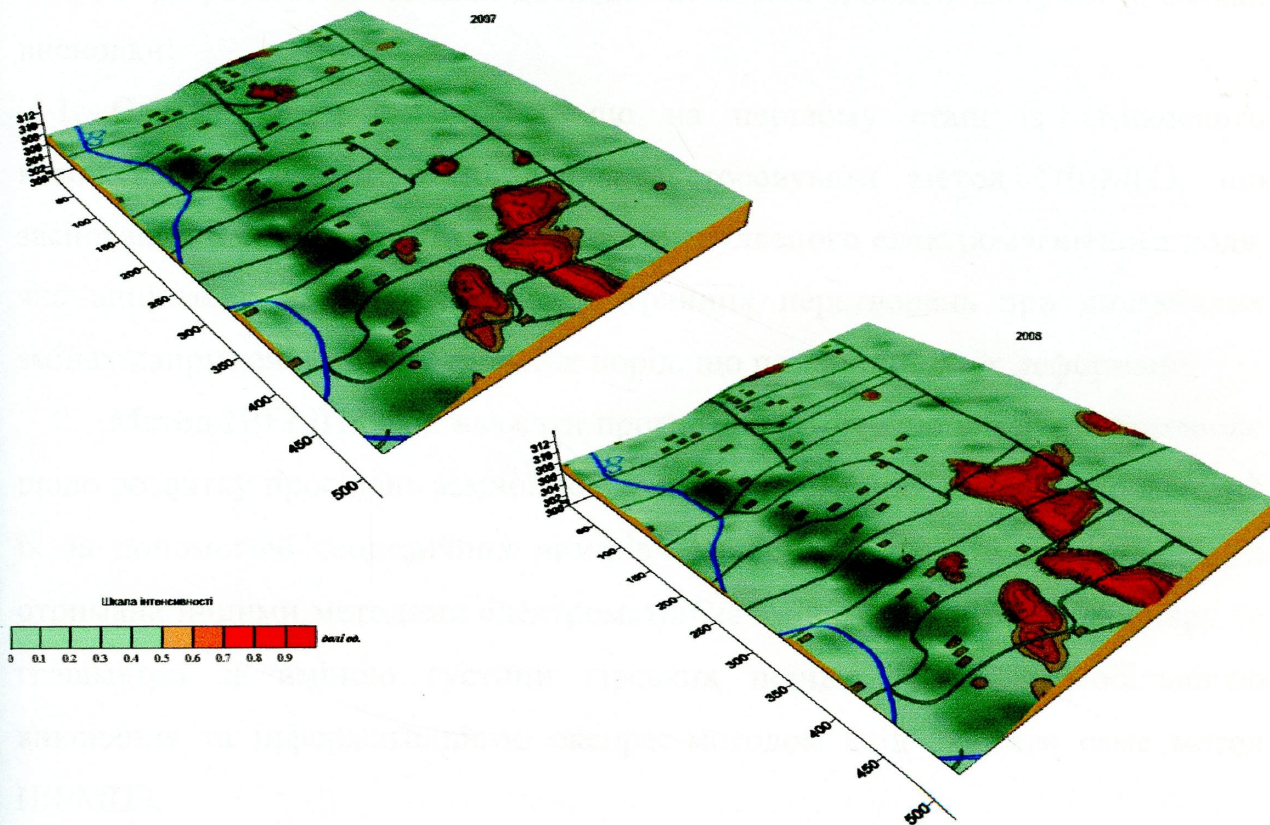


Рис. 4.22. Просторове зображення критерію імовірності провальньо-просадкової небезпеки, ділянка " Голинь"

Таких аномальних зон є чотири, вони розташовані в наступних межах:

- I зона – профілі ПР 16 – 22, ПК200 – 320;
- II зона – профілі ПР 23 – 27, ПК160 – 200;
- III зона – профілі ПР 23 – 26, ПК 120 – 160;
- VI зона – профілі ПР 1 – 2, ПК 220 – 260.

Рівень аномалії $P = 0.5-0.9$. В межах аномальних зон знаходиться 4 забудови.

4.5. Висновки до розділу

У результаті виконаних досліджень можна зробити наступні проміжні висновки:

1. Слід вважати доведеним, що на першому етапі із зазначеного комплексу геофізики є доцільним застосовувати метод ПЕМПЗ, що заснований на реєстрації інтенсивності імпульсного електромагнітного поля, яке виникає в наслідок механоелектричних перетворень при динамічних змінах напруженого стану гірських порід, що приводять до їх деформації.

2. Метод ПЕМПЗ слід вважати прогностичним, тому що він дає інформацію щодо розвитку просідань земної поверхні та провальних явищ ще до фіксації їх за допомогою геодезичних вимірів. Аналогічно інформація може бути отримана іншими методами електрометрії за змінами електричного опору та гравіметрії за зміною густини гірських порід. Проте за мобільністю виконання та інформативністю експрес-методом слід вважати саме метод ПЕМПЗ.

3. В роботі вперше сформовані класифікаційні характеристики аномалій ПЕМПЗ у відповідності до ступеня еколого-геологічного ризику, узгодженому із причинами та характеристиками деформаційних процесів, сформовані критерії якісної інтерпретації для прикладів конкретних геологічних ситуацій, а також продемонстровано ефективність методу для Калуш-Голинського родовища.

4. Наукові здобутки автора в частині застосування гравіметричних та електричних методів визначається досягненням наступних результатів на рівні прогнозування карстових явищ та виявлення причин їх розвитку:

- картування провальних-просадкових процесів на відпрацьованих шахтних полях рудників «Калуш», та «Ново-Голинь» методом гравіметрії в режимі моніторингу та оцінка динаміки розвитку цих процесів в наслідок розчинення прикамерних ціликів;

- виявлення зон розмиву гірських порід у межах гірничих виробок соляного дзеркала електричними методами і прогнозування провалів та просідань на поверхні землі;

- побудова просторових моделей провальньо-просадкових процесів – на кількісному ймовірнісному рівні з урахування комплексного показника, геофізичних факторів розвитку карсту.

Отримані результати дозволяють обґрунтовано підходити до питання переселення мешканців з небезпечних територій.

5. Інтенсивний розвиток провалів в прибортовій північній частині кар'єру спровокований трьома причинами.

Перша (природна) - неочікувана аномально низька потужність ГГШ на території досліджень (до 1,5 м), тобто відсутність надійного захисту від розмиву солі водами в гравійно-гальковому горизонті.

Друга - наявність штучного русла р.Сівка, з якого відбувається інфільтрація в ГГШ.

Третя - порушення ГГШ при ліквідації дренажної траншеї для розширення кар'єру. Карстові процеси розвиваються від борту кар'єру на північ і загрожують досягненню русла р. Сівка з подальшим провалом її в кар'єр.

Розділ 5. Геофізичний моніторинг та оцінка забруднення підземних вод Калуш-Голинського гірничопромислового району

5.1. Наукові засади визначення мінералізації підземних вод методами геофізики. Зв'язок електричного опору та мінералізації

З метою оцінки динаміки засолення підземних вод були розглянуті результати аналізу проб води, відібраних в окремих спостережних свердловинах території Калуського гірничого району. Опробування проводилось у спостережних пунктах №№ 61, 62, 63, 64, 65, 66, розміщених в районі північної частини Домбровського кар'єру та відвалу №4. Для свердловин №№ 61, 62, 63, 64, 65 опробування проводилось у 4 етапи – 7.09.07р., 24.12.07р., 16.04.08р. і 8.07.08р., для свердловини № 66 – 7.09.07р., 24.12.07р. і 8.07.08р. На кожному етапі для кожного спостережного пункту проби відбирались окремо для двох різних інтервалів глибин: 1-ий – 1,8-3,0м і 2-ий – 5-10м.

Для оцінки динаміки засолення підземних вод досліджуваної території за отриманими результатами аналізу проб води розраховано показник мінералізації води, який характеризує концентрацію розчинених у воді твердих неорганічних (мінеральних) речовин. Характер і ступінь мінералізації може змінюватись під впливом господарської діяльності [1]. Мінералізацію води обчислюють як сумарний зміст виявлених унаслідок хімічного аналізу мінеральних речовин. Такий вміст виражають у вигляді суми іонів у грамах на 1л (дм³) води. Мінералізацію обчислено за сумою головних іонів – катіонів (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) та аніонів (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) (табл. 5.1-5.2).

Таблиця 5.1.

Мінералізація води (М), обчислена за результатами аналізу проб для окремих спостережних свердловин на глибині (Н) 1,8-3,0 м

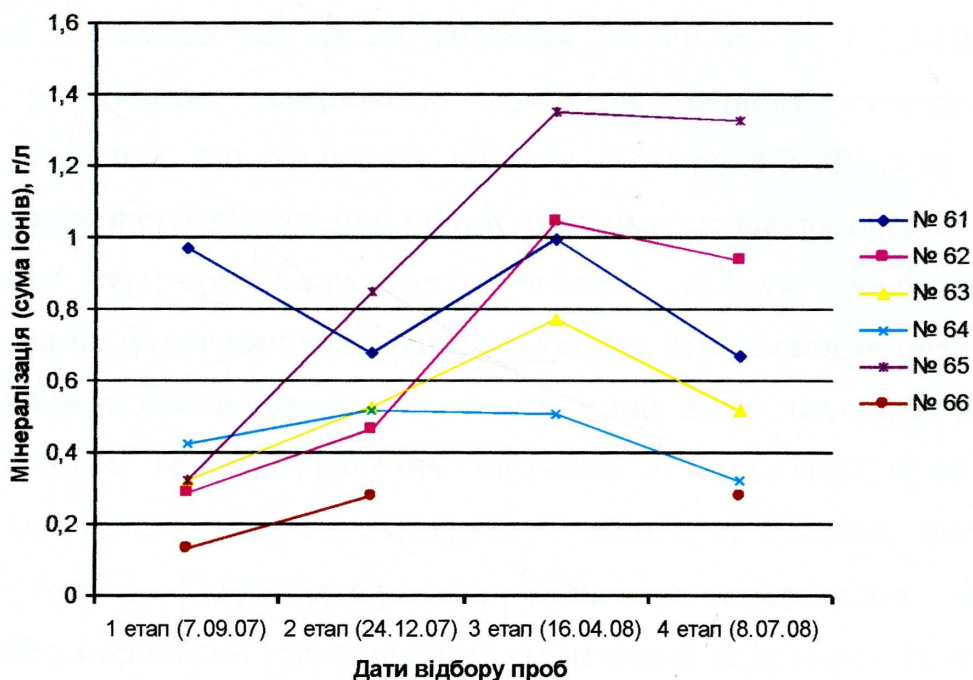
№ пункту	Координати		М	Н1_1,	М	Н2_1,	М	Н3_1,	М	Н4_1,
	Х, м	У, м	(1 етап (7.09.07р.)), г/л	м	(2 етап (24.12.07р.)), г/л	м	(3 етап (16.04.08р.)), г/л	м	(4 етап (8.07.08р.)), г/л	м
61	2 921,40	1 223,56	0,972	2,72	0,68	2,1	0,994	2	0,668	3
62	5 261,36	1 137,26	0,286	2,8	0,461	2	1,042	2	0,935	2
63	5 144,56	1 703,54	0,322	2	0,525	1,8	0,77	2	0,515	2
64	5 697,88	1 831,84	0,426	3	0,517	2	0,506	3	0,323	2,1
65	6 029,15	1 982,50	0,322	1,9	0,85	1,8	1,349	2	1,326	2
66	6 202,81	1 234,16	0,132	2,6	0,277	2,36	-	-	0,276	2,5

Таблиця 5.2.

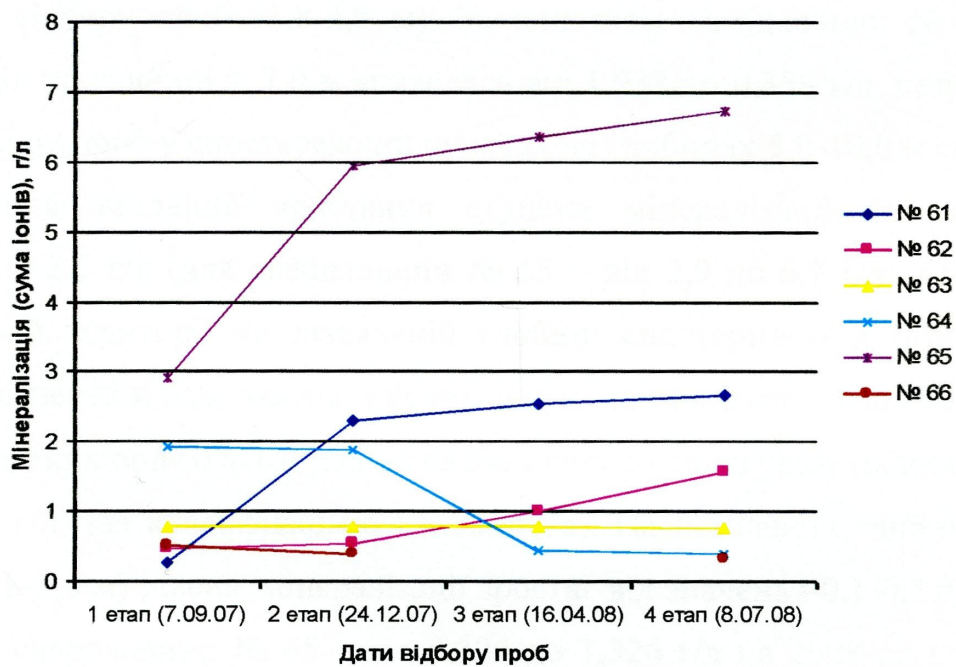
Мінералізація води (М), обчислена за результатами аналізу проб для окремих спостережних свердловин на глибині (Н) 5,0-10,0 м

№ пункту	Координати		М	Н1_2,	М	Н2_2,	М	Н3_2,	М	Н4_2,
	Х, м	У, м	(1 етап (7.09.07р.)), г/л	м	(2 етап (24.12.07р.)), г/л	м	(3 етап (16.04.08р.)), г/л	м	(4 етап (8.07.08р.)), г/л	м
61	2 921,40	1 223,56	0,271	7,72	2,295	10	2,536	9,6	2,663	9
62	5 261,36	1 137,26	0,456	6,3	0,529	5	1,013	5,3	1,554	5
63	5 144,56	1 703,54	0,778	8	0,774	7	0,793	7	0,764	7
64	5 697,88	1 831,84	1,938	7	1,883	6,5	0,44	6	0,388	7
65	6 029,15	1 982,50	2,913	7,6	5,939	7,6	6,37	9	6,739	8
66	6 202,81	1 234,16	0,519	7,3	0,381	7,3	-	-	0,32	8

Динаміка змін протягом спостережного періоду мінералізації вод у спостережних свердловинах на 1-му та 2-му інтервалах глибин відображена на відповідних графіках (рис. 5.1).



а)



б)

Рис. 5.1. Динаміка змін мінералізації вод у свердловинах по глибині:
 а) 1,8 - 3,0 м протягом періоду спостережень б) 5-10 м протягом періоду
 спостережень

Аналіз побудованих графіків свідчить про підвищення рівня мінералізації підземних вод як на глибинах 1,8-3,0 м, так і 5,0-10,0 м у більшості розглянутих свердловин протягом періоду спостережень. Необхідно відмітити, що результати аналізів 4 етапу (8.07.08р.) не можна розглядати як репрезентативні при оцінці динаміки засолення підземних вод досліджуваної території Калуського гірничого району (особливо для підземних вод на незначних глибинах), у зв'язку з інтенсивними опадами та значним підйомом рівнів поверхневих та підземних вод у липні 2008р. Саме цим пояснюється те, що значення загальної мінералізації проб води, відібраних на 4 етапі для першого інтервалу глибин є, як правило, нижчими, а для другого – характеризуються меншими приростами значень мінералізації, у порівнянні з відповідними значеннями на попередніх етапах.

Побудовані графіки свідчать, що ступінь мінералізації підземних вод більш інтенсивно зростає на глибинах 5,0-10,0 м, у порівнянні з верхнім інтервалом відбору проб (1,8-3,0 м). За винятком свердловини № 64, де мінералізація на глибині $\approx 7,0$ м знизилась від 1,938 до 0,338 г/л, результати аналізу відбору проб у спостережних пунктах на глибинах 5,0-10,0 м свідчать про існування тенденції зростання ступеня мінералізації від значень 0,3-0,7 до 1,5-2,5 г/л (для свердловини № 65 – від 2,9 до 6,7 г/л). Отже, на досліджуваній території на зазначеній глибині спостерігається інтенсивне засолення підземних вод, заміна прісних м'яких (з концентрацією <0.5 г/л) і прісних жорстких вод (0,5-1,0 г/л) на слабо і сильно солонуваті (відповідно 1-3 г/л і 3-10 г/л) (за класифікацією І.К.Зайцева). На незначних глибинах від поверхні (1,8-3,0 м) рівень мінералізації зростає від значень $\approx 0,1-0,3$ до $\approx 0,3-0,9$ г/л (для свердловини № 65 – від 0,322 до 1,326 г/л на 2008 рік). Тобто, прісні м'які води поступово змінюються на жорсткі і слабо солонуваті. Таке підвищення мінералізації підземних вод робить їх непридатними для господарсько-побутових потреб населення.

За результатами лабораторних випробувань проб води відібраних зі свердловин у 2012 році, найбільше значення загальної мінералізації

відмічалось у свердловинах (№ 1А, 65 140 г/м³), а найменше (прісні води) – у свердловинах №71, 24 (0,29 г/м³) табл. 5.3.

Таблиця 5.3.

Зміна електричного опору в залежності від мінералізації підземних вод.

№ п/п	№ пункту	∑ солей	Електричний опір	Електричний опір (контрольні заміри)
1	св. 24	0,290	4,270	4,720
2	св. 61	2,990	1,810	1,900
3	св. 62	0,630	4,000	4,100
4	св. 63	14,790	0,520	0,200
5	св. 64	2,590	0,330	2,890
6	св. 65	104,373	≈0,1	≈0,1
7	св. 66	12,090	0,230	0,380
8	св. 69	1,270	0,998	0,900
9	св. 70	0,520	1,720	1,560
10	св. 71	0,160	8,00	7,310
11	св. 73	14,130	0,420	0,420
12	св. 75	5,000	1,090	1,090
13	св. 1А	38,500	≈0,1	≈0,1
14	св. 74	0,400	4,610	4,840
15	св. 68	0,600	4,250	4,190

Проте наявність по обмеженій кількості свердловин на площі близько 15 км² - це вочевидь замало для побудови достовірних карт. За даними табл. 5.3 та інформації щодо місця знаходження свердловин, винесеній на карту рівнів підземних вод рис. 2.2, неможливо відтворити достовірну площинну модель засолення та пов'язати її реальними джерелами.

Як зазначалося раніше, відомим методом побудови детальних карт мінералізації є визначення кореляційних зв'язків між мінералізацією, встановленою за лабораторними випробуваннями води по окремих свердловинах, та геофізичними параметрами, визначеними біля гирла відповідних свердловин (емпіричні кореляційні залежності).

Такі кореляційні залежності були встановлені за двома методами – вертикальних електричних зондувань (ВЕЗ) та становленням електромагнітного поля (ЗС). У першому методі при різних розносах живильної лінії вимірюється сила струму в ній, а також різниця напруг у вимірювальній лінії (відома в геофізиці установка Шлюмберже). За цими даними будується графік залежності позірною електричного опору від довжини живильних ліній. Зазначена довжина є геометричним аналогом глибини H досліджень за приблизною залежністю $H \approx \frac{1}{4} \times AB$, де AB – відстань між живильними електродами.

Співвідношення електричних опорів горизонтів визначаються як $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4$.

Для горизонту ρ_1 для всіх кривих ВЕЗ фіксується витриманий електричний опір – у середньому $4700 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Очевидно, що ρ_1 – це приповерхневий горизонт сучасних геологічних утворень. Інша справа – горизонт ρ_2 . На його опір впливає наявність подріблених делювіальних фракцій, тому його опір змінюється від 2 до $290 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ – по мірі подрібнення делювію. Горизонт ρ_3 – це шар гіпсо-глинистої шляпи та верхів соленосної брекчії, який є витриманий за літологічним складом. Четвертій від поверхні горизонт характеризується дуже низькими значеннями позірною опору – від 0,05 до $34 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, при середньому $3,4 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Таким чином, при витриманому за глибиною в цілому геоелектричному розрізі, ступеню засолення відповідає електричний опір четвертого горизонту. Чим більша мінералізація, тим менший електричний опір. Результати лабораторних випробувань поряд із результатами геофізичних досліджень зведені в представлену раніше табл. 5.3. Графіки кореляційної залежності зображені на рис. 5.2. Рівняння, встановлене за емпіричними даними має вигляд у варіанті лінійного масштабу координат $M = a\rho^2 + b\rho + c$; у варіанті білогарифмічного масштабу – $\lg M = \lg \rho + f$.

Графік залежності питомого електричного опору від мінералізації

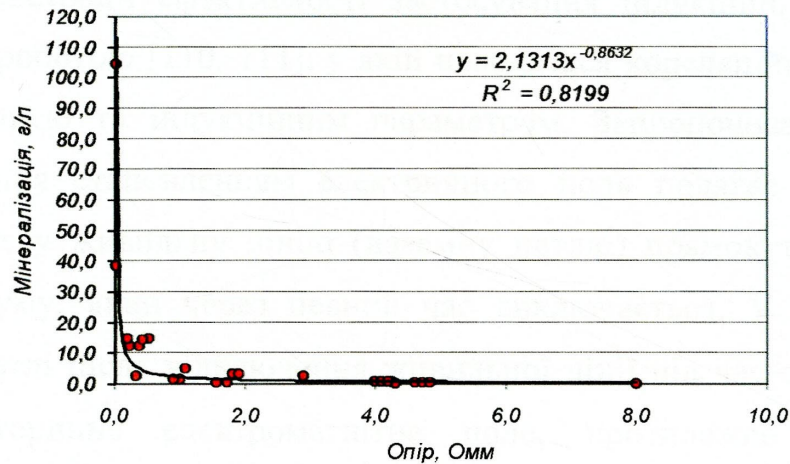


Рис. 5.2. Графік залежності питомого електричного опору від мінералізації

У білогарифмічному масштабі зв'язок досить тісний, коефіцієнт кореляції дорівнює $K=0,81$. Отже, отримана залежність може бути використана для побудови карти мінералізації підземних вод за даними електричних зондувань на постійному струмі. Графік в координатах ρ – M винесено на рис. 5.3. Вихідні дані у (табл. 5.3).

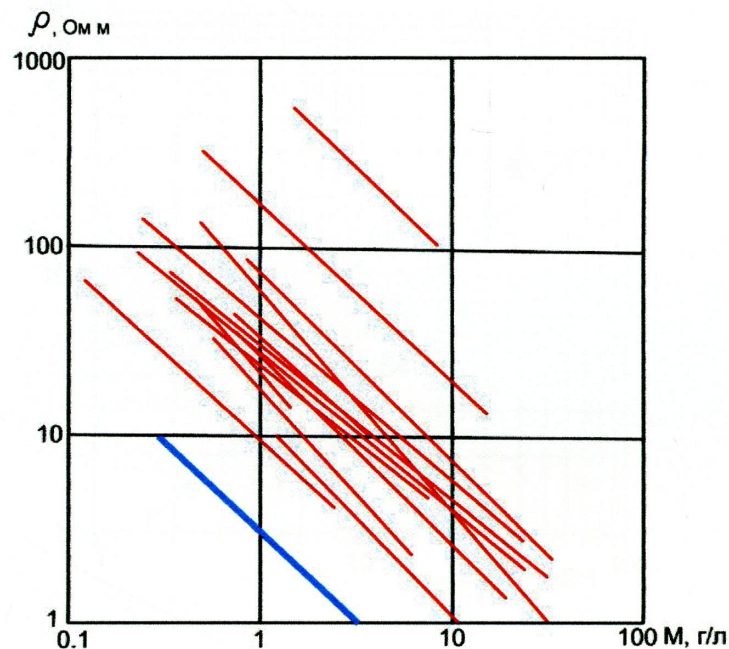


Рис. 5.3. Графіки усередненої залежності питомого електричного опору порід (ρ) від мінералізації насичених вод (M) різних районів і Калуш-Голинського родовища

Паралельність його графікам для інших геологічних районів свідчить про достовірність отриманих даних.

Для демонстрації ефективності застосування індукційних зондувань скористаємося роботою [110, 111], у якій наводяться кореляційні залежності між мінералізацією та індукційним параметром. Запропонований в [110] метод зондування становленням електричного поля полягає в тому, що генератор подає у живильну лінію (наземну петлю) прямокутний імпульс постійного струму, який через певний час виключається. У приймальній незаземленій петлі після відключення живильної лінії під час спаду струму індукується вторинне електромагнітне поле, протилежне за знаком первинному. Протяжність у часі індукційного ефекту та відповідно його величина залежить від електричного опору гірських порід і є для нього обернено пропорційною. Чим більша мінералізація підземних вод, тим менший електричний опір і більший індукційний ефект.

На рис. 5.4 винесено графік кореляційної залежності між індукційним параметром та мінералізацією по шести свердловинах. Крива відповідає рівнянню $\lg M = \lg B + f$.

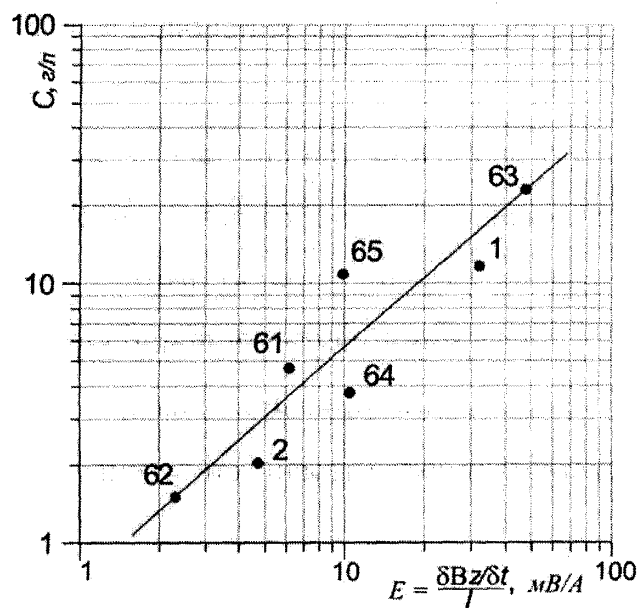


Рис. 5.4. Залежність індукованого сигналу E для $t=6$ мкс від мінералізації вод C у гравійно-галькових відкладах

Коефіцієнт кореляції – 0.62. Порівняємо кореляційні графіки рис. 5.4, 5.5

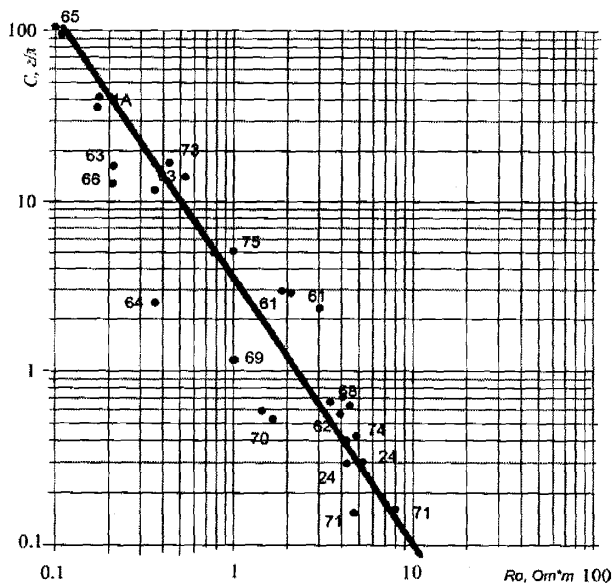


Рис. 5.5. Залежність електричного опору від мінералізації С.

Якщо їх сумістити на одному бланку з білогарифмічними координатами, то їх взаєморозташування буде близьким до перпендикулярного. Отже, поперше, таку перпендикулярність слід вважати критерієм достовірності параметричних результатів, а по-друге, можна стверджувати однакову інформативність методів, тим більше, що тіснота кореляційних зв'язків емпіричних даними є досить високою, тобто коефіцієнти кореляції є близьким один до одного.

При вирішенні питання, якому методу віддати перевагу, треба брати до уваги можливість отримання додаткової інформації. Диференціацію розрізу за електричним опором краще виконувати методом ВЕЗ, проте метод ЗС є більш ефективним при картуванні низькоомних пластів навіть незначної потужності. Глибиність ВЕЗ пов'язана з лінійним розносом, а ЗС – з розмірами петлі. Крім того, є питання ціни, яка є різною для різних умов реалізації методів. Усі ці фактори слід приймати до уваги.

5.2. Інформативність карт засолення, побудованих за даними методу ЗС.

До розгляду представляються карти засолення водоносного горизонту (рис. 5.6), побудовані за розподілом індукованого електромагнітного сигналу з подальшим перерахунком у мінералізацію за наведеною на рис. 5.4 залежністю.

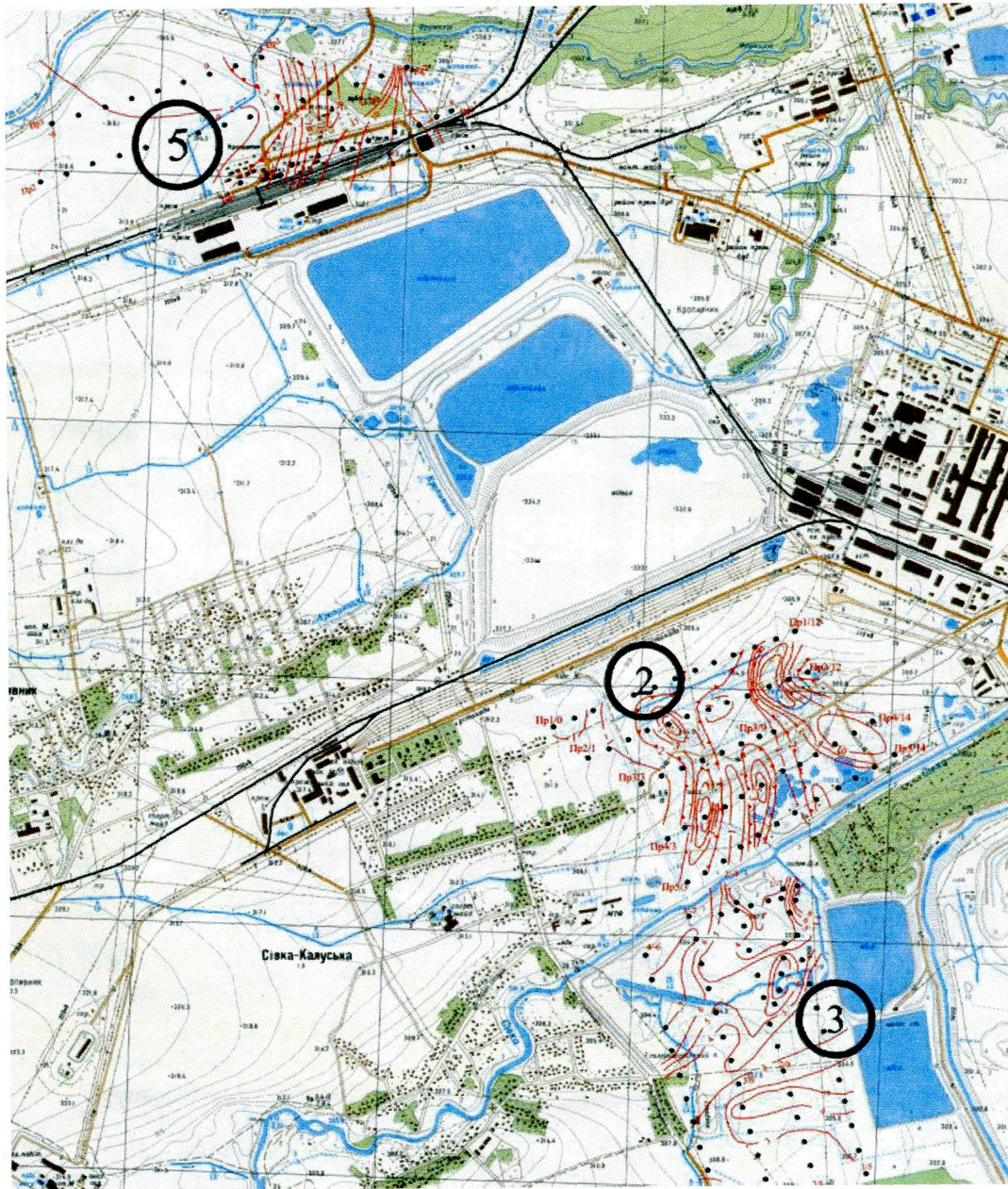


Рис. 5.6. Карта засолення за даними ЗС (за даними «Спецгеологорозвідки»)

Карти по відношенню до загальної площі досліджень носять фрагментальний характер, тому що виміри виконувалися переважно поблизу потенціальних джерел засолення. Послідовний аналіз карт свідчить про наступне.

На території, прилеглій до солевідвалів, спостерігається засолення у східному, південно-східному та південному напрямках [110]. Розсоли, що зтікають із солевідвалів, утворились за рахунок розчинення солей солевідвалів природними опадами. Максимальне значення засолення сягає від 50 г/л на сході до 80 г/л на півдні при відстані ореолів значного засолення від солевідвалів 300 м на сході та 700 м півдні. Далі на південний схід, тобто по регіональному напрямку руху підземних вод, засолення швидко знижується і на відстані перших кілометрів від солевідвалів має значення 1-2 г/м³.

Слід вважати, що таке значне зменшення засолення на порівняно невеликій площі свідчить про обмежену кількість розсолів, що утворюються за рахунок солевідвалів і відповідно про швидке розбавлення їх інфільтраційними та транзитними водами.

Територіальне розташування зон різкого аномального ступеня засолення від хвостосховища №1 у напрямку р. Сівки. Аномальні зони видовжені в плані за зниженням рельєфу та розповсюджені у східному та північному напрямку.

Концентрація максимального засолення на відстані перших сотень метрів від хвостосховища пояснюється тим, що географічна зйомка проводилась із відтермінуванням часу геофізичних вимірювань від часу витоків із хвостосховища. Це є зрозумілим, поясненим, тому інших причин шукати не треба.

Щодо акумулюючих ємностей, слід зазначити, що набуття забруднення в західному напрямку від цих об'єктів утворене як комбіноване: безпосередньо біля ємностей – унаслідок витоків із них, а далі на сході це

засолення зміщується із засоленням від південного потоку від хвостосховища, який стає тут домінуючим.

Засолення, яке оточує хвостосховище №1, на час зйомки сконцентроване навколо нього і має тенденцію до пересування як у східному так і в південному напрямку.

На ділянці «Пійло» (за назвою селища, що тут знаходиться) виявлено декілька осередків засолення з мінералізацією від 10г/л та загальною площею біля 2 км².

Розподіл засолення в цілому дозволяє встановити його напрямок як південно-східний.

Той факт, що солевідвали, хвостосховища та акумулюючі ємності не є повністю рекультивованими і відповідно не є герметичними, зазначений у попередній частині тексту. Візуальне спостереження зазначених об'єктів свідчить про наявність відкладів солей по бортах цих об'єктів і на їх схилах, а також про наявність значних витоків.

Індукційні електромагнітні зондування підтвердили факт засолення підземних вод від зазначених об'єктів, при цьому визначені конкретні ділянки забруднення та його ступінь.

5.3. Інформативність карт засолення за даними методу ВЕЗ.

Геофізичні дослідження методом електричних зондувань виконані на значній території у 2012 та 2013 роках (відповідно на 6 профілях та близько 5 км²) [13].

На рис. 5.7 винесено напрямки руху засолених підземних вод з урахуванням аномальних років і відповідно аномальних витоків розсолів крізь борти хвостосховищ і акумулюючих ємностей, а також стікання розсолів із солевідвалів, з подальшою інфільтрацією забруднених вод у водоносний горизонт.

Саме завдяки картам засолення рис. 5.8, 5.9 пояснюється аномалія з піком аномалії до 35 г/дм³ приблизно в 1000 м на південний захід від

південного борту кар'єра. Ця аномалія є на картах і 2012 і 2013 року, крім того, вона підтверджена високою мінералізацією в пробах із двох свердловин, які знаходяться в межах аномалії (15 г/дм³ – 35 г/дм³ у 2012р. та у 2013р.)

Виходячи з аналізу карти рівнів підземних вод, аномалія не може пов'язуватись з акумулюючими ємностями або солевідвалами.

Якщо звернутись до архівних матеріалів (дані ДП «Калійний завод», НДІ «Галургія»), то буде визначено що у 2007-2008рр. рівень високомінералізованих відходів у хвостовищі №2 піднявся до абсолютної відмітки 327м (на 17 м вище поверхні землі), що було всього на 1 м нижче верха дамби хвостосховища.

Складність аналізу карт полягає в тому, що ландшафт території є спотвореним за рахунок штучних об'єктів, тобто кар'єру, солевідвалів, хвостосховищ та акумулюючих ємностей. Зрозуміло, що ці споруди значно змінюють конфігурацію пезоізогіпс. Проте необхідних вимірів немає і відповідно немає відтворення реальної карти. Тому під час аналізу та надання об'єктивних висновків слід приймати до уваги що пезоізогіпси які проведені через ділянки означених споруд є віртуальними. З урахуванням цього фактору, нами показані стрілками напрямки ухилу рельєфу та руху підземних вод. Стрілки напрямків наведені як субперпендикулярні до ізоліній абсолютних відміток рельєфу та рівнів підземних вод. При цьому враховані гідрогеологічні карти, гідрогеологічні розрізи, а також карта водозабору з абсолютними відмітками об'єктів рис. 5.7.

Візуальні спостереження на той час свідчили про інтенсивні витоки, а геофізичні дослідження підтвердили наявність численних проникних зон у дамбі на різних абсолютних відмітках.

У цей ж час спостерігався підвищений виток із хвостовища №1. Тому слід вважати, що потужні витоки із сховищ, які відбулись у зазначених 2007-2008 роках, інфільтрувались у водоносний горизонт і спричинили значне локальне підняття рівнів у ньому.

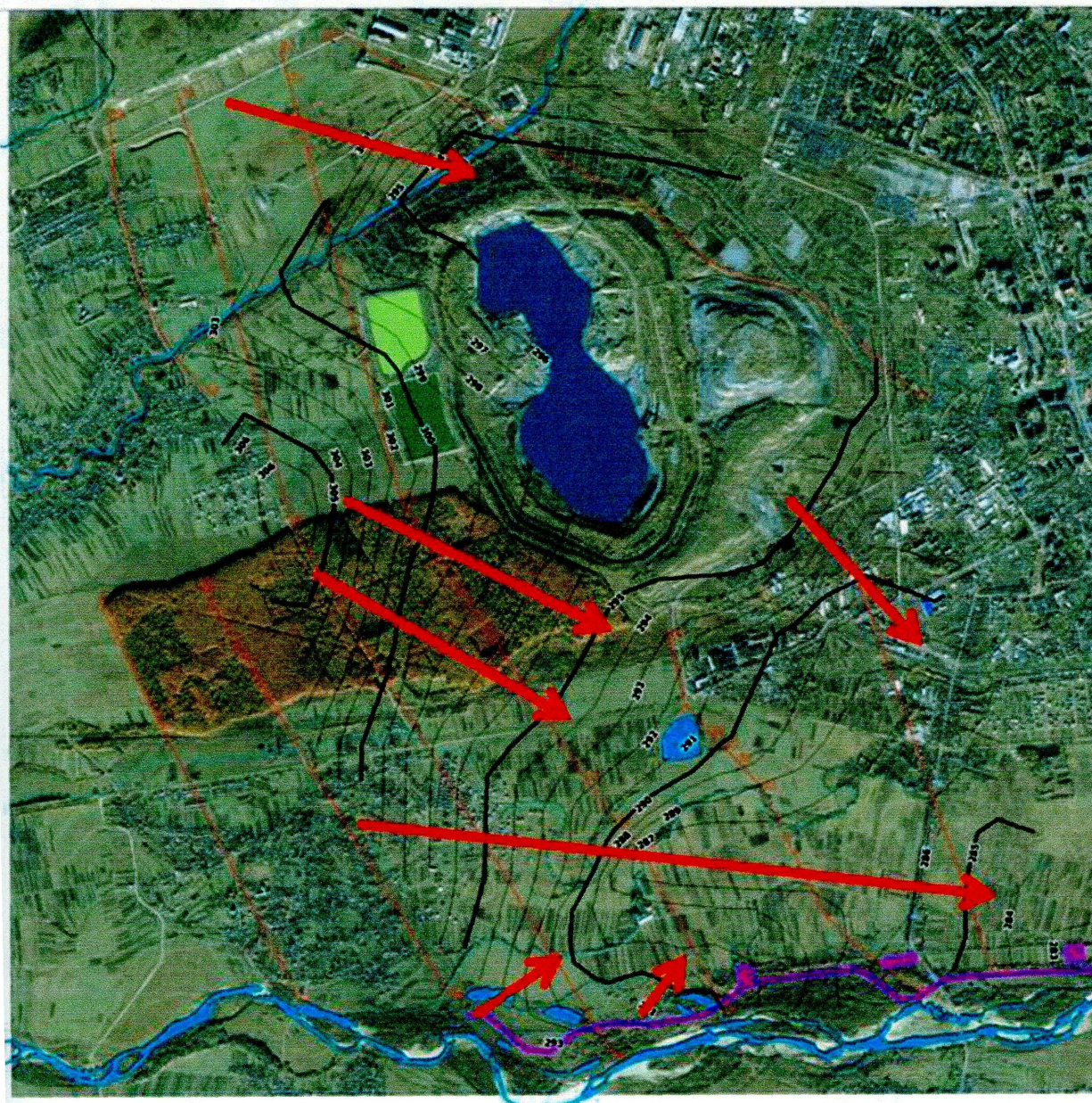


Рис. 5.7. Схема напрямку руху підземних вод.

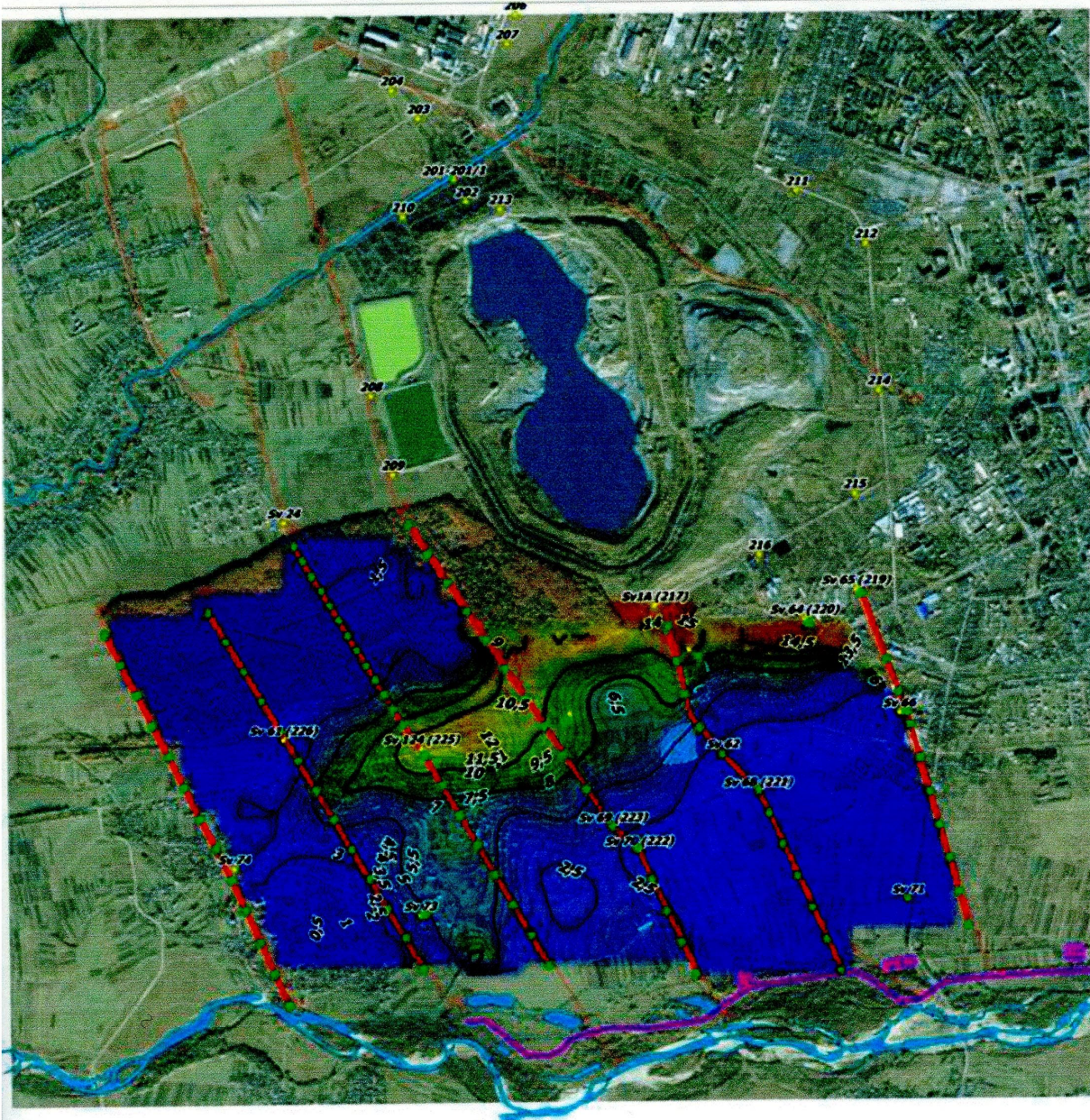


Рис. 5.8. План-схема засоления водоносного горизонта за данными ВЕЗ (2012)

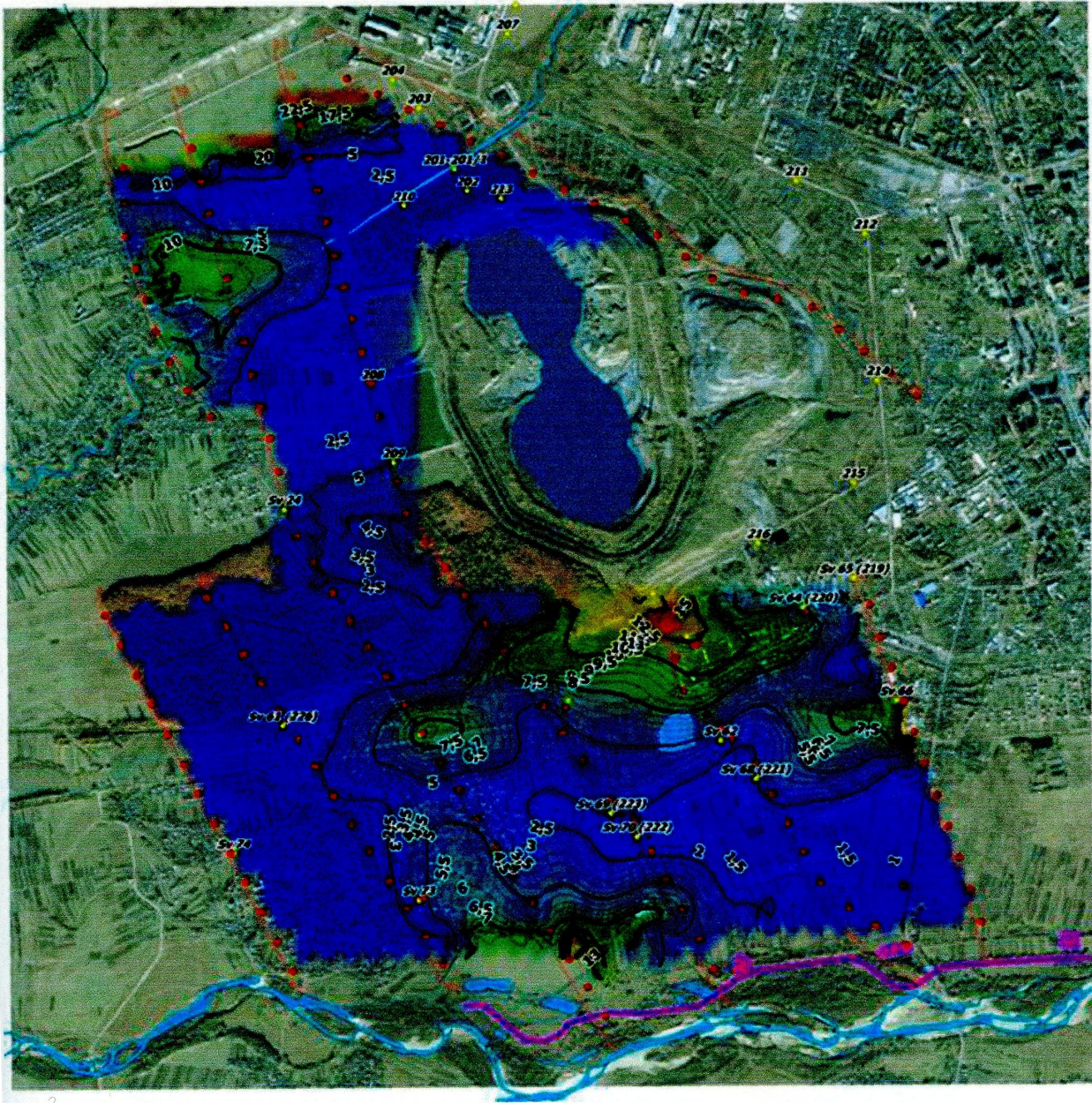


Рис. 5.9. План-схема засоления водоносного горизонта за данными ВЕЗ (2013)

Подальший транзит забруднених ґрунтових вод відбувався у південному – південно-східному напрямку – у відповідності до регіонального напрямку падіння рельєфу.

На картах рельєфу та засолення у західній частині планшета зазначений такий шлях як можливий. Відстань транзиту від хвостосховища №2 до аномалії засолення в напрямку р. Лімниці біля 3 км. Швидкість пересування фронту засолення (підрахована далі) дозволяє пройти такий шлях за 4 роки, що відповідає реальним параметрам.

Починаючи з кінця 2008р , рівень у хвостовищі у зв'язку з відкачкою розсолів у шахти різко впав і живлення водоносного горизонту значно зменшилась. Тому аномалія, що розглядається, на роки електрометричної зйомки (2012-2013 роки) не мала зв'язку з локальним засоленням біля дамб хвостосховищ. Ця аномалія повинна була б пересуватись з часом на південний схід і поступово зменшуватись за величиною у відповідності до зменшення мінералізації підземних вод за рахунок інфільтрації природних опадів. Що і спостерігалось.

Ще один шлях до забруднення території по напрямку до Лімниці згідно з картами засолення рис. 5.8, 5.9 – це від акумулюючих ємностей і по смузі між цими ємностями та західним бортом кар'єру. Мінералізація ґрунтових вод на південь і південний схід від цих джерел складає біля 5 г/л. Цей факт ще раз опосередковано підтверджує непричетність акумулюючих ємностей до створення потужної аномалії, яка за нашими припущеннями рухалась від хвостосховищ, тому її мінералізація значно вища – 12 г/дм³ у 2012 році.

Згідно з останніми картами засолення фронт забруднених вод у цілому прямує на південний схід з компонентами відповідно південного та східного напрямку. Із порівняння карт 2012 та 2013 років це пересування стає очевидним, при цьому у 2013 році фронт майже впритул наблизився до водозабору. Постає питання, а яка швидкість пересування фронту забруднення? Для відповіді слід вивчити відмінності в розташуванні цих фронтів на картах засолення різних років. Співставимо два характерних

елементи, а саме положення південних фронтів засолених вод. Відстань між ними – 200м.

Можна знайти й інші ідентичні характерні елементи на картах, і відстань між ними в південному напрямку та сама. Отже, швидкість переміщення фронту, а відповідно й аномалій забруднення в південному напрямку, тобто в напрямку до Лімниці, на території між Домбровським кар'єром та річкою оцінюється у 200 метрів на рік. Для визначення швидкості в східному напрямку побудуємо карту різниць засолення 2013 і 2012 років рис. 5.10. Аналіз карти дозволяє стверджувати, що мінералізація підземних вод дійсно зростає на протязі року як на південь, так і на схід, тобто забруднена зона пересувається в зазначених напрямках.

Конфігурація ізоліній дозволяє порахувати швидкість пересування потоку води на схід. Зазначена швидкість – це є відстань між центром аномалії, оконтуреного ізолінією (-5 г/дм) та нульовою ізолінією на схід від неї або між цією ж нульовою ізолінією та центром аномалії з контуром(+5 г/дм), що далі на сході. Простим вимірюванням отримуємо 1000м, тобто швидкість є 1000 метрів на рік. Ця величина є орієнтовною, тому що мінералізація мала б спадати (зменшуватись) по напрямку руху підземних вод у зв'язку з інфільтрацією. Якщо брати на сході за границю річного пересування ізолінію 4 або 5 (згідно з наближеними розрахунками величини інфільтрації), то отримаємо швидкість 700-800м/рік. Зразу ж відмітимо, що зменшення величини основної аномалії на заході при відсутності її зв'язку з джерелом забруднення та одночасове її збільшення на сході – у напрямку руху, свідчить про тенденцію до самоочищення західної частини території. Разом з тим зменшується екологічне навантаження на сході – у зв'язку зі згаданою інфільтрацією.



Рис. 5.10. План-схема різниць засолення 2012 і 2013 років.

Проведемо незалежний контроль оцінки швидкості пересування забруднених вод у східному напрямку. Для цього використовуємо карту рівнів підземних вод рис. 5.7. Згідно з цією картою, на ділянці, що розглядається (між кар'єром і Лімницею), ухил поверхні води у водоносному горизонті складає $I = 0,006$. Значення коефіцієнта фільтрації у відповідності до даних відкачок 2013 року нам відомо – у середньому $k = 30 \text{ м/добу}$. Коефіцієнт водовіддачі для неоднорідної породи, представленою галькою та піском (породи відповідної алювіальної тераси), за літературними даними, оцінюється величиною $\eta = 0.1$

$$\text{Рахуємо: } L = \frac{k \cdot I}{\eta} \cdot 365 \approx 650 \text{ м/рік}$$

Таким чином, результати розрахунків за різними методами узгоджуються (у середньому 750 м/рік за геофізичними даними та 650 м/рік - за гідрогеологічними). Для подальших досліджень будемо вважати цю величину – швидкість пересування потоку підземних вод у східному напрямку – такою, що дорівнює 700 м/рік .

При таких швидкостях уже давно повинні бути засолені грантові води в районі дії водозабірних споруд. Проте, за даними регулярних аналізів санітарно-епідеміологічної служби питна вода з водозабору відповідає кондиційним вимогам. Чому вона не забруднюється? Відповідь на питання дає аналіз карти рівнів підземних вод. Справа в тому, що для ефективної роботи водозабору штучно створена підживлювальна траншея, яка отримує воду з річки Чечви, і рівень води в ній вищий за рівень підступаючих із півночі засолених вод. Тому названа траншея є, по-перше, бар'єрною для солоних вод, а по-друге, її води відтісняють розсоли водоносного горизонту, розбавляючи їх і спрямовуючи вздовж Лімниці на схід. Зазначене відображено на відповідних картах рис. 5.7 стрілками напряму руху ґрунтових вод у районі водозабору на північний схід.

Тому можна стверджувати, при існуючій гідрогеологічній ситуації Добровлянському водозабору міста Калуша забруднення не загрожує. Проте при зміні такої ситуації (підйом рівнів забруднених ґрунтових вод при несприятливих природних або техногенних умовах) перспектива такого забруднення стає реальною. Отже обов'язковим є виконання технічних рішень щодо рекультивації джерел забруднення та ліквідації загрози підйому рівня розсолів у Домбровському кар'єрі з подальшими спрямуванням їх у водоносний горизонт.

Питання припустимого забруднення річки Лімниці, а надалі й трансграничного Дністра, відстань до якого біля 30 км, розсолами з водоносного горизонту, а тим більше з кар'єру, на даний час лишається відкритим, а подальший геофізичний моніторинг є необхідним.

5.4. Висновки до розділу

1. Автором роботи встановлено залежність електричного опору водонасичених гірських порід від ступеня мінералізації підземних вод. Зазначену залежність встановлено за результатами співставлення результатів свердловинного опробування підземних вод та електрометричних вимірювань, зображено графічно та занотовано у вигляді емпіричної формули $M = 2.042 \cdot \rho^{-0.8626}$.

2. За результатами інтерпретації ВЕЗ з урахуванням формули переходу від електричного опору до мінералізації побудовано карту ступеня мінералізації підземних вод у межах території дослідження.

3. Аналіз отриманих карти засолення дозволяє стверджувати наступне:

- територія, де горизонт підземних вод заражений розсолами і має підвищену мінералізацію (більше 1 г/л), складає ≈ 65 га, тобто 52 % території досліджень. У межах засолення знаходяться значна кількість помешкань с. Пійло;

- основним джерелом засолення є солевідвали, вторинними джерелами – акумулюючи ємності та хвостосховища;

- площа засолення з часом зростає, при цьому південна границя ореолу засолення зміщується в сторону р. Лімниця;
- швидкість розповсюдження забруднених підземних вод є визначеною, що поряд з відомою площею засолення дає можливість прогнозувати забруднення басейну річки Лімниця.

Висновки

Теоретичні та експериментальні дослідження, що виконані автором, дозволяють зробити такі висновки.

1. У даний час питання прогнозування провальних-просадкових процесів, деформації земної поверхні землі та забруднення територій, що пов'язані з відпрацьованими шахтними полями, є актуальними. Оптимальним слід вважати комплексний підхід до вирішення зазначених задач із використанням інженерно-геологічних, топо-геодезичних і геофізичних даних.

2. Автором запропоновано та здійснено моніторинг ділянок шахтних полів Калуш-Голинського родовища із застосуванням геофізичних методів. Показано, що першочерговим методом досліджень має бути метод ПЕМПЗ. У роботі вперше сформовані класифікаційні характеристики аномалій ПЕМПЗ, які узгоджені із причинами та характеристиками деформаційних процесів, сформовані критерії якісної інтерпретації для прикладів конкретних геологічних ситуацій, а також продемонстровано ефективність методу для прогнозу розвитку просідань на стадії експрес-інформації. Карти аномалій ПЕМПЗ побудовані для ділянок, на яких означені аномальні зони.

3. При інтерпретації гравіметричних даних встановлено та запропоновано класифікацію геогустинних аномалій у їх зв'язку з геологічною будовою, наявністю камер та розвитку соляного карсту. Моделювання геогустинних розрізів та відповідних гравіметричних полів є підґрунтям для інтерпретації даних гравіметрії, результати якої дозволили встановити зони розущільнення, означити їх розвиток у часі і таким чином стверджувати, що гравіметрія є надійним методом детального прогнозу карстопровальних явищ. Достовірність методів гравіметрії та ПЕМПЗ підтверджено встановленням кореляції між геофізичними та геодезичними даними.

4. У роботі обґрунтована комплексна інтерпретаційна модель методів ВЕЗ та ЗС та побудовано узагальнений електричний розріз для окремих шахтних полів Калуш-Голинського родовища з урахуванням розвитку карстових процесів. Це дало можливість корегування геологічних розрізів у частині уточнення літологічного складу гірських порід окремих шарів, що дозволило зазначити можливість окреслення площі розповсюдження текучих глин і встановлення ступеня розмиву соляного дзеркала незалежно від наповнення камер, тобто отримати незалежні дані щодо просідання та провалів.

5. Автором запропоновано використати відомий для вирішення геолого-геофізичних задач підхід – розрахунок функції комплексного показника – для просторового картування підземних карстових форм. При цьому використані нові фізичні передумови для комплексу застосованих методів. Як результат отримано карти розподілу критерію імовірності розвитку карсту на північному борті Домбровського кар'єру. Встановлено, що загроза прориву річкових вод у кар'єр є реальною. За результатами геофізичних досліджень отримані вихідні дані для проектних рішень.

6. Відбір проб води з окремих спостережних свердловин та їх аналіз дають підстави стверджувати наявність засолення ґрунтових вод. У дисертації доведено наявність тісних кореляційних зв'язків між засоленням та електричними параметрами. Записане рівняння регресії дозволило за результатами площинних геофізичних досліджень скласти детальну карту ступеня засолення та визначити основні забруднювачі. За отриманими даними щодо напрямку і швидкості пересування фронту засолення та відповідними розрахунками зроблено висновок про відсутність на даний час небезпеки водотокам басейну р. Дністер.

Література

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2005 р. – К.: ДП “Агентство “Чорнобильінформ”, 2006. – 242 с.
2. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2006 р. – К.: ДП “Агентство “Чорнобильінформ”, 2007. – 236 с.
3. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2007 р. – К.: ДП “Агентство “Чорнобильінформ”, 2008. – 230 с.
4. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2008 р. – К.: ДП “Агентство “Чорнобильінформ”, 2009. – 230 с.
5. Стан розвитку природно-техногенного карсту на Стебницькому калійному родовищі (за геофізичними даними) / С.М. Багрій, В.А Бучинський, Р.П. Денисюк, М.В. Штогрин // Науковий вісник Національної гірничої академії України. – 2002. - №4. – С. 93 – 94.
6. Кузьменко Э.Д. К вопросу картирования соляного карста в Закарпатье / Э.Д. Кузьменко, С.М. Багрій, Н.В. Штогрин // Науковий вісник Національної гірничої академії України. – 2003. - №6. – С. 82 – 87.
7. Комплекс геофізичних методів прогнозування розвитку соляного карсту в Передкарпатті / Е.Д. Кузьменко, С.М. Багрій, О.П. Вдовина, М.В. Штогрин, В.А Бучинський // Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Серія “Геологія”. – Випуск 26 - 27. – С. 43 – 50.
8. Ефективність комплексного підходу при геофізичному вивченні карстових процесів над відпрацьованими шахтними полями родовищ кам’яної та калійної солі / Е.Д. Кузьменко, С.М. Багрій, О.П. Вдовина, І.Є. Хмара, Б.Т. Бараненко // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. –№4(25).– С. 41 – 49.
9. Багрій С.М. Оцінка можливості прориву річки Сівка в Домбровський кар’єр Калуш-Голинського родовища калійної солі / С.М Багрій // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2009. –№43(22).– С. 44 – 52.

10. Багрій С.М. Про необхідність комплексування геофізичних методів при дослідженні природно-техногенного карсту (на прикладі соляних родовищ Передкарпаття) / С.М. Багрій // Геодинаміка. – 2011. – № 2 (11). – С. 24-26.
11. Кузьменко Е.Д. Про доцільність дослідження карсту на родовищах калійної та кам'яної солі електричними методами / Е.Д. Кузьменко, С.М. Багрій // Геодинаміка. – 2011. – № 2 (11). – С. 134-137.
12. Багрій С.М. Гравіметричний моніторинг стану геологічного середовища в межах Калуш-Голинського родовища калійної солі // С.М. Багрій, О.П. Вдовина, С.Г. Анікеев / Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2012. – № 2. – С.118-127.
13. Багрій С. М. До питання оцінки забруднення підземних вод геофізичними методами / Багрій С. М., Кузьменко Е. Д. // Геодинаміка. - №2(15) / 2013. – С. 93-96.
14. Особливості геодезичного моніторингу та прогнозування геотехногенної динаміки на шахтних полях калійних родовищ // К.О. Бурак, Е.Д. Кузьменко, С. М. Багрій, М.Я. Гринішак, Г.Г. Мельниченко, В.П. Михайлишин, В.М. Ковтун / Вісник геодезії та картографії. - 2014. - № 5. - С. 12-18.
15. Багрій С.М. Оцінка ступеня просідання земної поверхні на шахтних полях Калуського гірничо-промислового району за даними високоточної гравіметрії / Багрій С.М., Кузьменко Е.Д., Анікеев С.Г // Сборник научных трудов SWorld : Научный мир, г. Иваново – 2016. – Том 13. – Выпуск №1(42). – С. 40 – 48 (база РИНЦ Science Index).
16. Кузьменко Е.Д. Попередній прогноз карстових процесів за даними геофізичних досліджень на Калуш-Голинському родовищі калійної солі / Е.Д. Кузьменко, С.М. Багрій, О.П. Вдовина // Матеріали V міжнар. наук. конф. «Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища, 7 – 9 жовтня 2004 року, м. Київ. – К.:ВПЦ «Київський університет». - 2004. – С. 93 – 94.

17. Кузьменко Е.Д. Ефективність комплексного підходу при вивченні карстових процесів на соляних родовищах / Е.Д Кузьменко, С.М Багрій, О.П. Вдовина // Матеріали Всеукраїнської наук. конф. «Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища», м. Київ, 21-24 вересня 2006 р. – К., 2006. – С. 282 – 284.
18. Кузьменко Е.Д. Сучасні інформаційні технології дослідження карсту геофізичними методами (на прикладі Стебницького родовища калійної солі) / Е.Д Кузьменко, С.М Багрій // Можливості супутникових технологій у сприянні вирішення проблем Львівщини: матеріали наради 11 червня 2009 р. – Львів, 2009. – С. 23 – 24.
19. Кузьменко Е.Д. Ефективність методів електрометрії при дослідженні карсту на родовищах солі Прикарпаття / Е.Д Кузьменко, С.М Багрій // Матеріали ІХ Міжнародної наук. конф «Моніторинг геологічних процесів», м. Київ, 14-17 жовтня 2009 р. – К., 2009. – С. 110 – 111.
20. Кузьменко Е.Д. Загроза прориву річкових вод у Домбровський кар'єр Калуш-Голинського родовища калійної солі – реальність чи фантазія? / Е.Д Кузьменко, С.М Багрій // Матеріали ІХ Міжнародної наук. конф «Моніторинг геологічних процесів», м. Київ, 14-17 жовтня 2009 р. – К., 2009 – С. 145 – 147.
21. Кузьменко Е.Д. Геолого-геофізична характеристика Калуш-Голинського родовища калійної солі /Е.Д Кузьменко, С.М Багрій // Міжнародна наук. конф. «Геофізичні дослідження та моделювання фізичних полів Землі» м. Львів – Чинадієво, Закарпатська обл., 16 – 18 вересня 2010 р. ЛНУ імені Івана Франка, 2010. – С.145 – 150.
22. Багрій С.М. Гравіметричний моніторинг у межах Калуш-Голинського родовища калійних солей / С.М. Багрій, С.Г. Анікеев // Матеріали доповідей науково-практичної конф. «Нафтогазова геофізика – інноваційні технології» 25-29 квітня 2011 р., м. Івано-Франківськ.– м. Івано-Франківськ, 2011. – С. 17 – 20.
23. Багрій С. М. Про методику високоточного гравіметричного моніторингу та підвищення його інформативності щодо змін у будові геологічного

- середовища / С.М. Багрій, С. Г. Анікеєв // Друга міжнародна наук. конф. «Геофізичні дослідження та моделювання фізичних полів Землі» м. Львів – Чинадієво, Закарпатська обл., 20- 22 вересня 2012 р., ЛНУ імені Івана Франка, – 2012. – С.41 – 46.
24. Кузьменко Е.Д. Еколого-геологічний моніторинг по території Калуського гірничопромислового району – плани та реалії / Е.Д. Кузьменко, С.М. Багрій // Матеріали доповідей XII Міжнародної конференції. «Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти» [Електронний ресурс], 13-16 травня 2013 р. – м. Київ: Всеукраїнська асоціація геоінформатики., 1 електрон.опт. диск (CD-ROM), 12 см. (наукометрична база Scopus).
25. Багрій С.М. Особливості застосування методу природного імпульсного електромагнітного поля Землі для прогнозу стійкості масиву гірських порід / С.М. Багрій, Е.Д. Кузьменко // XVIII Міжнародний науково-технічний симпозиум «Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS і GIS - технології», 10 – 15 вересня 2013 р., Алушта (Крим, Україна): Збірник матеріалів. – В.: Львівська політехніка, 2013. – С. 173 – 175.
26. Багрій С.М. Просторове моделювання та прогнозування екологічної ситуації при наповненні Домбровського кар'єру / С.М. Багрій, Н.В. Гурська, Л.І. Давибіда, Е.Д. Кузьменко, І.В. Фіцак // Матеріали доповідей XIV Міжнародної конференції. «Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти» [Електронний ресурс], 11-14 травня 2015 р. – м. Київ: Всеукраїнська асоціація геоінформатики., 1 електрон.опт. диск (CD-ROM), 12 см. (наукометрична база Scopus).
27. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького // Донецьк : Донбас, 2004.
28. Гірничий енциклопедичний словник : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького// Д. : Східний видавничий дім, 2004. — Т. 3. — 752 с.
29. Prugger F. F., Prugger A. F. Water problems in Saskatchewan potash mining what can be learned from them. Cim Bulletin, V. 84, № 945, 1991, P. 58- 66.

30. R.E. Mann Environmental Monitoring System (GEMS). Action Plan for Phase 1. SCOPE, rep. 3, Toronto, 1973. – 130 p.
31. Ю. А. Израэль Глобальная система наблюдений. Прогноз и оценка изменения состояния окружающей природной среды. Основы мониторинга // Метрология и гидрогеология. – 1974. – № 7. – С. 3 – 8.
32. Ю. А. Израэль и др. Осуществление в СССР системы мониторинга загрязнения природной среды // Л.:Гидрометсиздат – 1978. – 118 с.
33. Ю. А. Израэль Экология и контроль состояния природной среды // Л.:Гидрометеиздат – 1979. – 375 с.
34. И.П. Герасимов Научные основы современного мониторинга окружающей среды // Известия АН СССР. Сер. геогр. – 1975. – № 3. – С. 13 – 25.
35. Эколого-гидрогеологический мониторинг территорий загрязнения геологической среды лёгкими нефтепродуктами // Н. С. Огняник, Н. К. Парамонова, А. Л. Брикс / К:LAT&K. – 2013. – 254 с.
36. D. J. Gendzwill, D. Stead Rock mass characterization around Saskatchewan potash mine openings using geophysical techniques: a review / Canadian Geotechnical Journal. – 1992. - 29(4). - 666-674 p.
37. Белкин В.В. Эколого-геологические проблемы комплексного освоения недр Верхнекамского соленосного бассейна // Комплексное освоение и сохранение недр Земли / материалы международной научно-технической конференции, Екатеринбург, 2009: Сб. трудов.- Магнитогорск: МГТУ. -2009. - С. 142-144.
38. Панков В. І. Соляні родовища Передкарпаття і Світу та особливості розвитку і активізації карсту на ділянках їхнього видобування / Національна академія природоохоронного та курортного будівництва: Строительство и техногенная безопасность. Вип. 37, 2011. – С. 97 - 108.
39. Sappa G. Seawater Intrusion and Salinization Processes Assesment in a Multistrata Coastal Aquifer in Italy / G. Sappa and M. Coviello // Journal of Water Resource and Protection, Vol. 4 No. 11, 2012, pp. 954-967.

40. Oyedele K. F Total Dissolved Solids (TDS) Mapping In Groundwater Using Geophysical Method / New York Science Journal. – 2009. - 2(3). – p. 21-31
41. Jansen, John R. Geophysical Methods to Map Brackish and Saline Water in Aquifers / Proceedings of the 2011 Georgia Water Resources Conference, April 11, 12, and 13, 2011, Athens, Georgia.
42. Integrated geophysical methods for imaging saline karst aquifers. A case study of Stylos, Chania, Greece / H. Hamdan, G. Kritikakis, N. Andronikidis, N. Economou, E. Manoutsoglou and A. Vafidis // Journal of the Balkan Geophysical Society. - Vol 13. - No 1. - February 2010. - pp. 1 – 8.
43. Методи геофизики в гидрогеологии и инженерной геологии. – Москва: Недра, 1985. – 184 с.
44. Мельконовицкий И. М. Методика геофизических исследований при поисках и разведке месторождений пресных вод // И. М. Мельконовицкий, В. А. Ряполова, М. А. Хордикайнен / Москва: Недра, 1982. – 249 с.
45. Ляховицкий Ф. М., Инженерная геофизика // Ф. М. Ляховицкий, В. К. Хмелевской, З. Г. Яценко / Москва: Недра, 1989. – 252 с.
46. Кобранова В.Н. Физические свойства горных пород (Петрофизика). – Москва: Гостоптехиздат, 1962. – 491 с.
47. Białostocki R. Ocena przydatności banku danych elektrooporowych do rozpoznania i monitorowania środowiska geologicznego // R. Białostocki, S. Szczypta, Z. Żuk. / Biuletyn Informacyjny GEOFIZYKA PBG Warszawa. - N 1/2006 (3). - 62 – 77 S.
48. Białostocki R. Badania geoelektryczne-elektrooporowe. Stan aktualny i możliwości wykorzystania wyników // R. Białostocki, J. Farbisz / Biuletyn Informacyjny GEOFIZYKA PBG Warszawa. - N 1/2007 (5). - 28 – 41 S.
49. Białostocki R. Badania geofizyczne dla potrzeb rozpoznawania i monitorowania geozagrożeń // R. Białostocki, J. Farbisz, G. Pacanowski / Biuletyn Informacyjny GEOFIZYKA PBG Warszawa N1 /2008 (7) 54-61 S.
50. Paine, J. G., Buckley, S. M., Collins, E. W., and Wilson, C. R., 2012, Assessing collapse risk in evaporite sinkhole-prone areas using

microgravimetry and radar interferometry: Journal of Environmental and Engineering Geophysics. - v. 17. - no. 2. - 75-87 p.

51. Белкин В.В. Мониторинг геологической среды Верхнекамского соленосного бассейна / Пермск. гос. техн. ун-т, ОАО «Уралкалий». Пермь-Березники, 2004, 252 с.
52. Белкин В.В. Мониторинг геологической среды Верхнекамского соленосного бассейна / Пермск. гос. техн. ун-т., Березниковский филиал. 2-е изд., Березники, 2006, 252 с.
53. Богданов М.И., Калинин В.В., Модин И.Н. Применение высокоточных низкочастотных электроразведочных комплексов для ведения длительного мониторинга опасных инженерно-геологических процессов // Инженерные изыскания. – 2013. – № 10-11. – с. 110–115
54. Фи Х. Т. Прогноз оседания земной поверхности в результате извлечения подземных вод в городе Ханой (Вьетнам) / Фи Хонг Тхинь, Л. А. Строкова // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – № 1. – Том 323. – С.161-167.
55. С. М. Корневский К. стратиграфии Калушской свиты Калуш-Голынского района // Л:Тр ВНИИГа. – выпуск XXXII. – 1956. – 60 – 70 с.
56. С. М. Корневский, К. Б Донченко Геология и условия формирования калийных месторождений Советского Предкарпатья // Л:Тр. ВСЕГЕИ. – т.99. – 1963.
57. Подсчет запасов калийных солей Центрального поля Калушского рудника [отчет // В. П. Телегин, М. А. Буньков и др.]. – КФ ВНИИГа. – Калуш. – 1964. – 130 с.
58. Выявление закономерностей пространственного размещения калийных пластов и изменчивости их минерального состава в Калуш-Голыньском и Стебникском калийных месторождениях [отчет, тема 17 – 90 // Н. М. Джиноридзе]. – ВНИИГ. – Ленинград. – 1976. – 348 с.
59. А. Е. Ходьков Гидрогеологический условия соляных месторождений Прикарпатья // Сб. Материалы по гидрогеологии и геологической роли подземных вод / Л: Ленинградский университет. – 1971. – 50 – 69 с.

60. А. Н. Андреичев Разработка калийных месторождений // М.Недра. – 1969.
61. А. А. Иванов, Воронова Н. Л. Галогенные формации // М.Недра. – 1972.
62. Зильбер Шмидт В. Г. Технология подземной разработки калийных руд // Зильбер Шмидт В. Г., К.Г. Сипопальников Г.Д., Полянина Г.Д. / М.Недра. – 1977.
63. К.А. Горбунова Техногенное воздействие на геологическую среду Пермской области / К.А. Горбунова, Н.Г. Максимович, В.Н. Андрейчук // Пермь, 1990.- 44 с.
64. Воробьев А.А. Равновесие и преобразование видов энергии в недрах / А.А. Воробьев. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1980. – 211 с.
65. Саломатин В.Н. Оползни Крыма / Методы изучения оползней / И.Ф. Ерыш, В.Н. Саломатин // Симферополь: Апостроф, 2Ч, 1999.–175 с.
66. Саломатин В.Н. Закономерности геологических процессов и явлений, их связь с импульсной электромагнитной эмиссией.: дис. д-ра геол.-минерал. наук : 04.00.07. - Симферополь. - 1988. – 412 с.
67. Саломатин В.Н. Методические рекомендации по изучению напряженного состояния пород методом регистрации естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) / В. Н. Саломатин, Ш. Р. Матов, Л. А. Защинский // Симферополь : КИПКС, КОСНИО, 1991. — 88 с.
68. Воробьев А.А. Физические условия залегания вещества в земных недрах. - Томск: Изд-во Томского политехн. ин-та, 1971. -Ч. 1. - 270 с.
69. Чебан В.Д. Комплекс геофізичних методів прогнозування зсувів на прикладі Закарпаття: дис. канд. геол. наук: 04.00.22. / Чебан Василь Дмитрович. – Івано-Франківськ: ІФНГУНГ, 2002. – 183 с.
70. Метод анализа спонтанной электромагнитной эмиссии Земли: физические предпосылки, элементы теории, полевой эксперимент / В. Н. Шуман, В. П. Коболев, В. И. Старостенко, И. Б. Буркинский, Н. П. Лойко, И. Г. Захаров, Д. А. Яцюта // Геофизический журнал. - 2012. - Т. 34, № 4. - С. 40-61.

71. Кузьменко Е.Д., Анікеєв С.Г., Штогрин М.В. Особливості інтерпретації гравіметричних даних методом деталізації при картуванні карстових утворень // Геологія і геохімія георучих копалин, - Львів: ІГГК НАНУ України, 1996. №3-4 (96-97). - С.178-183.
72. Особливості інтерпретації гравіметричних даних методом деталізації при картуванні карстових утворень. / Кузьменко Е.Д., Анікеєв С.Г., Штогрин М.В. - Геологія і геохімія горючих копалин, - Львів: ІГГК НАНУ України, 1996. №3-4 (96-97). - С.178-183.
73. Инженерно-геологический мониторинг калийных месторождений Предкарпатья (геофизические методы) / Кузьменко Э.Д., Аникеев С.Г., Вдовина Е.П. и др. // Модели и алгоритмы многоуровенного управления эколого-экономическими системами .:Ин-т кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины. Киев, 1997. С.62-68.
74. Анікеєв С.Г., Кузьменко Е.Д. Про методику комп'ютерної 2D/3D інтерпретації гравіметричних матеріалів, засновану на послідовності еквівалентних моделей геологічних середовищ // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Випуск 36 (Том 1). – Івано – Франківськ: Держ. техн. ун - т нафти і газу. – 1999. – С. 45 – 53.
75. Проведення моніторингових спостережень над шахтними полями Калуш-Голинського родовища калійних солей [Звіт про науково-дослідну роботу/ Хмара І.Є., Кузьменко Е.Д., Багрій С.М., та ін.]. № ДР 0108U007562, Інв. №0309U00296 – Калуш: ДП “НДІ Галургії”, 2008. – 103 с.
76. Продовження моніторингових спостережень над шахтними полями Калуш-Голинського родовища калійних солей у 2009 році [Звіт про науково-дослідну роботу/ Хмара І.Є., Кузьменко Е.Д., Багрій С.М., та ін.]. № ДР 0109U004372, Інв. №0110U001042 – Калуш: ДП “НДІ Галургії”, 2008. – 86 с.
77. Онищук І. І. Розробка технології мікрогеофізичних досліджень процесів підтоплення ґрунтів (на прикладі Лісостепу Придністров'я та Київського

- Полісся). Дис. канд. геол. Наук – Київ: Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, 2005. – 207 с.
78. Онищук В., Рева М., Онищук Д. Екогеофізичні дослідження техногенного забруднення в районі складу мінеральних добрив.// Вісн. Київського університету Геологія – 2010. - №51. – с. 21-23.
79. Дослідження техногенного забруднення довкілля геофізичними методами // І. І. Онищук, М. В. Рева, О. П. Нікітін, В. І. Онищук/ Вісн. Київського університету Геологія – 2006. - №38.-39 – с. 93-96.
80. Крижанівський Є.І. Техногенна ситуація в районі Калуського промислового вузла / Є.І. Крижанівський, Е.Д. Кузьменко, Н.В. Палійчук [та ін.] // Науковий вісник Івано–Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2008. – №2(18).– С. 5 – 11.
81. Шкіца Л.Є. Екологічна безпека гірничопромислових комплексів західного регіону України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук / Л.Є Шкіца – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2006. – 36 с.
82. Малишевська О.С. Науково-технічні методи і засоби зменшення техногенного навантаження на довкілля в районі затоплення калійних шахт (на прикладі рудника “Калуш”): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / О.С. Малишевська – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2006. – 20 с.
83. Камаєва І.О. Екологічна безпека гірничо-хімічних виробництв в умовах аеротехногенного забруднення довкілля (на прикладі Калуського промислового району): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / І.О. Камаєва – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2009. – 18 с.
84. Манюк О.Р. Науково-практичні засади захисту довкілля від забруднення високомінералізованими розсолами (на прикладі Калуш-Голинському родовищі калійних солей): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геол. наук / О.Р. Манюк – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2009. – 19 с.

85. Гиодман А.Г. Обнаружение карста и сопряжённых с ним суффозионных процессов в условиях Москвы и Московского региона методом сейсморазведки / А.Г. Гиодман, В.П. Голосов, Б.А. Гранит [та ін.] // Геофизика. – 2009. – №6. – С. 20 – 23.
86. Анікеєв С.Г. Особливості гравітаційного моніторингу на прикладі вирішення задач контролю експлуатації сірчаних родовищ / С.Г. Анікеєв, Е.Д. Кузьменко, О.В. Станкін // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. –1995. – Вип. 32. – С. 39–49.
87. Тривимірне картування карстових утворень на родовищах калійної солі за даними гравірозвідки / Е.Д. Кузьменко, С.Г. Анікеєв, М.В. Штогрин, [та ін.] // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Розвідувальна і промислова геологія. – 1996. – Вип. 33. – С. 101–108.
88. Кузьменко Е.Д. Особливості інтерпретації гравіметричних даних методом деталізації при картуванні карстових утворень / Е.Д. Кузьменко, С.Г. Анікеєв, М.В. Штогрин // Геологія і геохімія горючих копалин. – 1996. – № 3-4. –С. 178–183.
89. Анікеєв С.Г. Геофізичний моніторинг стану геологічного середовища в процесі ліквідації калійного рудника “Нова Голинь” / С.Г. Анікеєв, О.Д. Шуровський // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – 2009. – С. 202–208.
90. Анікеєв С.Г., Кузьменко Е.Д. Про методіку комп’ютерної 2D/3D інтерпретації гравіметричних матеріалів, засновану на послідовності еквівалентних моделей геологічних середовищ // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Випуск 36 (Том 1). – Івано – Франківськ: Держ. техн. ун - т нафти і газу. – 1999. – С. 45 – 53.
91. Левашов С.П. Оперативное обследование и мониторинг участков развития карстовых процессов геофизическими методами / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин, Ю.М. Пищаный, Д.Н. Божежа // Геоінформатика. — 2008. — № 4. — С. 63 – 68.
92. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики / А.А. Огильви. — М.: Недра, 1990. — 501 с.

93. Ковальчук С.П. Поставь свой дом правильно, (практика геофизического метода ЕИЭМПЗ). – Одесса: Черноморце, 2003. – 112 с.
94. Геология и геохимия природных горючих газов: Справочник /В.И. Ермаков, Л.М. Зорькин, В.А. Скоробогатов, В.И. Старосельский. – М.: Недра, 1990. – 315 с.
95. Равновесие и преобразование видов энергии в недрах/ А. А.Воробьев. - Томск: Изд. Томского ун-та, 1980. – 211 с.
96. Метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі. Деякі аспекти застосування / В. Д. Чебан //Геофизический журнал, 2001. – Том 23, № 4.- С. 112-121.
97. Особенности проявления естественного импульсного электромагнитного излучения на оползневом склоне/ Н. Р. Хархалис // Геофизический журнал, 1994. – Том 16, № 4 – с. 58 –61.
98. Электроразведка методом естественного электрического поля/ А. С. Семенов. – М.: Недра, 1980. –446 с.
99. Прогнозування деформацій земної поверхні над відпрацьованими шахтними полями рудника “Ново – Голинь”//Кузьменко Е.Д., та інші / Звіт з науково–дослідної роботи. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ – 2005.
100. Проведення спеціальних моніторингових досліджень над шахтними полями відпрацьованих калійних рудників з метою недопущення загострення техногенної-екологічної ситуації Калужькому регіоні//Хмара І.М., Кузьменко Е. Д. / Звіт з науково–дослідної роботи. – Калуш: ДНДІ «Галургія» – 2006.
101. Сапужак Я. С., Шамотко В. И., Кравченко А. П. Геоэлектрические модели и методы исследования структур запада Украины. – К.: “Наукова думка”, 1990. – 186с.
102. Воробьев А. А. Равновесие и преобразование видов энергии в недрах. - издательство Томского университета, Томск – 1980. – 210с.
103. О. М. Адаменко, Г. И. Рудько Основы экологической геологии. Науч. Издание по заказу Ин-та экологического мониторинга АН ТКУ, 1995,- 210с.

104. Еколого-геофізичні дослідження в Західному регіоні України з метою простеження розвитку природного і техногенного карсту та супутніх процесів: Звіт по НДР/№ дер. реєстрації 0199U001186, - м. Івано-Франківськ, 2002 р. – 209с.
105. Вахромеев Г. С. Основы методологии комплексирования геофизических исследований при поисках рудных месторождений. - М: Недра, 1978. – 152с.
106. Шкіца Л.Є., Саломатін М.В. Механоелектричні перетворення в твердих тілах із дефектною структурою та можливе рішення за їх допомогою геолого-екологічних задач // Науковий вісник ІФНТУНГ.-2003.-№1(5).- с.96-98.
107. Шкица Л.Е., Саломатин М.В. Оценка устойчивости территории в районах разработки калийных и серных месторождений в Предкарпатье//Горный журнал.-2005.-№5.-с.64-65.
108. Шкица Л., Саломатин М. Эколого-геофизические исследования в районах разработок открытым способом калийных и серных месторождений в Предкарпатье//14-th International Scientific and technical Conference, Zakorpane 11-13 june 2003.-P.72
109. Шамотко В.І., Кузьменко Е.Д., Анікеєв С.Г. Комплекс геофізичних досліджень в межах підроблених шахтних полів рудника "Ново-Голинь". Звіт в двох томах. Львів - Івано-Франківськ, 1996, том 1 (текст), 65 с.
110. Шуровський О. Д., Анікеєв С. Г., Шамотко В. І. та ін. Геофізичний моніторинг екологічно небезпечних геологічних процесів в агломерації м. Калуша// Мінеральні ресурси України, №2, 2012 – С. 31-38
111. Шуровский О. Д., Аникеев С. Г., Шамотко В. И., Дешиця С. А. Геофизический мониторинг геологической среды для решения экологических проблем в пределах агломерации г. Калуша// Горный журнал – Москва, – 2013.- №12 – С. 99-104.
112. Тяпкин О.К. Геофизические методы решения геоэлектрических задач: Днепропетровськ: «Монолит». – 2006. – 295 с.

113. Вижва С.А. Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів. – Київ: Обрій, 2004. – 236 с.
114. Шапарь А.Г., Тяпкин О.К. Применение геофизических методов при решении задач техногенной безопасности // Геофизический журнал. – 2001. – Т.23, №5. – С.81 – 91.
115. Семчук Я.М. Наукові та методичні основи охорони навколишнього середовища в районах розробки калійних родовищ (на прикладі Передкарпаття): Автореф. дис. доктора технічних наук: 11.00.11 / Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу. - Івано-Франківськ, 1995. - 46 с.
116. Семчук Я.М. Екологічна ситуація в районах розробки та переробки полі мінеральних калійних руд Прикарпаття / Семчук Я.М., Малишевська О.С., Книгініцька Л.П. // Экотехнологии и ресурсосбережение.– 2004.– №4.– С.25 -34
117. Адаменко О.М. Екологічна геологія / О.М. Адаменко, Г.І. Рудько. – К.: Манускрипт, 1998. – 348 с.
118. Адаменко О.М. Основы экологической геологии / О.М. Адаменко, Г.И. Рудько.– К.: Манускрипт, 1995. – 211 с.
119. Гайдін А.М. Сульфатний карст та його техногенна активізація (на прикладі Карпатського регіону України) / А.М. Гайдін, Г.І. Рудько.– Київ: Товариство «Знання» України, 1998. – 76 с.
120. Шкіца Л.Є. Екологічна безпека гірничопромислових комплексів західного регіону України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук / Л.Є Шкіца – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2006. – 36 с.



Додаток А

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Директор ДДГМП "Полімінерал"
 Яковлев М.П.
 14 березня 2003 р.

А К Т

впровадження результатів науково-дослідних робіт на
 Стебницькому Державному гірничо-хімічному
 підприємстві "Полімінерал".

На протязі 1992 – 2003 років за замовленням Стебницького ДДГМП "Полімінерал" співробітниками Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, проводились геофізичні дослідження та підготовлені звіти на зазначених ділянках за наступними темами:

1. Геофізичні роботи методами гравірозвідки і радіохвильового просвічування на ділянках Стебницького родовища калійної солі (1993 р., автори: Кузьменко Е.Д., Вдовіна О.П., Штогрин М.В та інші);
2. Геофізичні роботи методами гравірозвідки в районі ствола "Східний" та радіохвильового просвічування в районі карсту №2 Стебницького калійного родовища (1994 р., автори: Кузьменко Е.Д., Вдовіна О.П., Штогрин М.В. та інші);
3. Геофізичний моніторинг карстонебезпечних зон на західній ділянці прориву надсолевих вод в рудник №2 (1995 р., автори: Кузьменко Е.Д., Станкін О.В., Штогрин М.В. та інші);
4. Проведення геофізичного моніторингу карстонебезпечних зон на західній та південно-східній ділянках прориву надсолевих вод в рудник №2 (2003 р., автори: Кузьменко Е.Д., Штогрин М.В., Вдовіна О.П., Багрії С.М. Денисюк Р.П.);
5. Просторове картування природно-техногенного карсту на ділянці в районі рудника №1 Стебницького ДДГМП "Полімінерал" (2003 р., автори: Кузьменко Е.Д., Штогрин М.В., Вдовіна О.П., Штогрин М.В., Багрії С.М.).

Всі звіти розглянуті на науково-технічних нарадах ДГХП "Полімінерал" і дістали позитивну оцінку.

Впровадження результатів геолого-геофізичних досліджень в межах гірничого відводу Стебницького родовища калійної солі полягало у використанні отриманих результатів для проектування та здійснення технічних рішень, спрямованих на забезпечення роботи рудників:

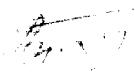
- 1) частковий перенос ділянки водоводу на Дрогобич;
- 2) визначення зон розвитку карсту в районі озера "Болонія";
- 3) перехват пластових вод, які постунали в видобувні камери;
- 4) спорудження захисних перемичок в гірничих виробках та коректування напрямку гірничих робіт по видобутку калійної солі.

В цілому зазначені роботи ІФНУМГ сприяли зменшенню аварій на рудниках, обереженню ландшафту, визначення небезпечних ділянок автомагістралі Львів - Трускавець.

Важливими слід вважати висновки про відсутність небезпек роботи рудника для курорта Трускавець.

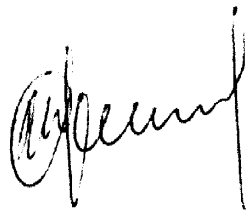
Під час перебування в ДГХП "Полімінерал" урядової комісії на чолі з прем'єр-міністром Р. Пустовойтенко (2000 р.) матеріали наукового колективу професора Кузьменко Е.Д. представлялись комісії і відіграли важливу роль при визначенні катастрофічної ситуації, що склалась на руднику. Близько в чому завдяки наданим геофізичним матеріалам позитивно вирішено питання щодо подальших природоохоронних заходів на підприємстві.

Головний геолог
ДГХП "Полімінерал"



В.А. Бузинський

Головний ІТБ
ДГХП "Полімінерал"



Й.І. Драховський

Додаток Б

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директор

ДГХП “Полімінерал”

М. І. Яковлев

17 липня 2002 року



АКТ

впровадження науково-дослідних робіт по темі
 “Еколого-геофізичні дослідження в Західному регіоні України з метою
 простеження розвитку природного і техногенного
 карсту та супутніх процесів”
 на площі Стебницького калійного родовища
 (науковий керівник теми професор Кузьменко Е.Д.
 виконавці: Штогрин М.В., Лущик А.В., Швирло М.І., Лущик О.А.,
 Багрій С.М., Вдовіна О.П., Штогрин Л.В.)

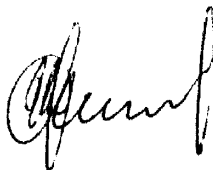
1. В 1998-2002 рр. на об'єктах ДГХП “Полімінерал” (м. Стебник, Львівської обл.) впроваджена методика геофізичного дослідження та прогнозу соляного карсту, що розроблена згідно із зазначеним вище звітом з науково-дослідної роботи.
2. Методика досліджень передбачає комплексування геофізичних і геохімічних методів (гравіметрія, метод природнього імпульсного електромагнітного поля Землі, вертикальні електричні зондування, радіохвильове просвічування, газогеохімічна зйомка), обґрунтування площ та сітки спостережень, моделювання геофізичних полів та варіантів інтерпретації, пошук засобів використання апріорної геологічної інформації, розробку алгоритмів і програм інтерпретації, розробку способів представлення кінцевих результатів у вигляді тривимірного розподілу петрофізичних параметрів (в першу чергу - щільності).

3. Польові спостереження виконано на Трускавецько-Стебницькій площі по регіональних профілях і ділянках деталізації в 1998 та 2000 рр. Дослідження велись на глибину до 260 метрів.

4. В результаті робіт виявлено і геометризовано зони розущільнення в соляній брекчії та пластах калійної солі як результат розвитку природного і техногенного карсту. Основними з цих зон є розущільнення в місцях видобутку, в районі ділянок залізниці Львів-Трускавець, автомагістралі Львів-Трускавець. Режимні роботи показали динаміку розвитку карсту на ділянках, які спостерігались в різні роки.

5. Вірогідність моделей розвитку карсту, що представлені для ДГХП “Полімінерал”, визначається адекватністю цих моделей геологічній будові, гідрогеологічній ситуації, результатам геодезичних спостережень, а також підтвердженням прогнозу авторів звіту щодо місць просідання денної поверхні та провалів на ній, а також прориву пластових вод в гірничі виробки.

6. Із врахуванням висновків і рекомендацій авторів звіту відповідні служби ДГХП “Полімінерал” намітили та частково реалізували низку природоохоронних заходів: ліквідація рудника №2, перехоплення та зарегулювання витоків на верхніх горизонтах рудника, порядок закладки видобувних камер, геодезичні спостереження в районі аномальних ділянок, визначення небезпечної для сільськогосподарської діяльності та забудови частини території Трускавецько-Стебницької площі, перенос високовольтної ЛЕП, тощо.

Начальник ВТВ ДГХП “Полімінерал”  Й. П. Драновський

Головний геолог ДГХП “Полімінерал”  В. А. Бучинський

Додаток В

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ДНД «Галургія»

Н. Кошик Костів І. Ю.

24 лютого 2006 р.

А К Т

на впровадження результатів науково-дослідних робіт
«Проведення спеціальних моніторингових досліджень над шахтними полями
відпрацьованих калійних рудників з метою недопущення загострення
техногенно-екологічної ситуації в Калуському регіоні»

Під час робіт за темою «Прогнозування деформацій земної поверхні над відпрацьованими шахтними полями рудника «Ново-Голинь» за результатами геофізичних досліджень 1995 – 2004 рр.», (автори Кузьменко Е. Д., Вдовина О. П., Багрій С. М., та інші) виявлені зони розущільнення гірських порід, в межах яких знаходяться села Сівка-Калуська та частково Кропивник. Для деталізації зазначених зон та контролю за просіданням земної поверхні над шахтними полями рудника «Ново-Голинь» та висновків стосовно еколого-геологічної безпеки виконано роботи за темою: «Проведення спеціальних моніторингових досліджень над шахтними полями відпрацьованих калійних рудників з метою недопущення загострення техногенно-екологічної ситуації в Калуському регіоні».

Розділ «Геофізичні дослідження на шахтному полі рудника «Ново-Голинь» з метою виявлення карстонебезпечних зон» виконано наступним колективом авторів (Кузьменко Е. Д., Вдовина О. П., Багрій С. М., та інші).

Аналіз зазначених матеріалів дозволяє зробити наступні висновки:

1. Літолого-стратиграфічний розріз та фаціальні зони.

В цілому геофізичні дані підтверджують геологічний розріз, встановлений в попередні роки за результатами суто геологічних досліджень, тобто даних буріння та гірничих робіт. Проте є суттєва відмінність, яка полягає в наступному. За даними буріння поверхня «соляного дзеркала» як літологічний контакт знаходиться на глибинах 20-25 м. На геофізичних розрізах ця поверхня не відбивається, а відбивається покрівля пласта підвищеного електричного опору на глибинах 32-43 м. Це означає, що частина пласта верхньобалицьких засолених порід, яка знаходиться під четвертинними утвореннями, еродована (можливо розмита) характеризується високою водопроникністю, співвимірною з водопроникністю четвертинних утворень. Таким чином покрівля водоупору знаходиться на 12-18 м нижче, ніж вважалось досі. Фільтраційні властивості пласта та його щільність змінюються по латералі.

2. Зони розсолів.

Перша від поверхні зона розсолів спостерігається над покрівлею водоупору в верхньобалицьких породах, тобто на глибинах приблизно 30-40

м, і має потужність в основному 2-3 м, яка збільшується до 11 м в місцях, де покрівля водоупору понижується, а породи відповідно розмиті (вилуговані).

Друга зона розсолів починається з глибини, яка відповідає рівню заливки камер на час досліджень. Цей рівень однозначно виділяється різким підвищенням електричної провідності. Слід відмітити, що для значної частини розрізу гірських порід проникнення в них розсолів не відмічається, тобто ці породи є водоупорами, в які на час досліджень розсоли не інфільтрувались.

3. Зона розвитку карстових процесів та просідання масиву гірських порід.

Зазначені зони виділяються в першу чергу на геогустинних розрізах і співставляються із зонами розущільнення.

Слід вважати із фізичних міркувань, що значні за розмірами зони розущільнення, які тяжіють до масиву гірських порід, що примикають зверху до стелін камер, пов'язуються з об'ємним просіданням порід, яке розвивається знизу вгору.

Субвертикальні зони розущільнення, які починаються з денної поверхні, або із зони розсолотворення над «соляним дзеркалом» та продовжуються на значну глибину, слід пов'язувати із соляним карстом. Ці карстові форми є передвісниками утворення карстових лійок і провалів на денній поверхні.

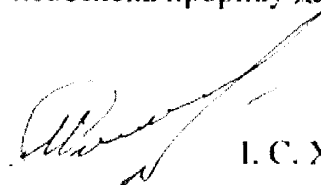
4. Зони підвищеної механічної напруженості гірських порід.

Ці зони виділяються за даними методу ШЕМПЗ і з фізичної точки зору можуть відповідати як зонам підвищеної фільтрації за рахунок додаткового гідравлічного тиску та утворення відповідної електричної напруженості, так і зонам додаткових механічних зусиль, наприклад, сил зсуву гірських порід при їх просіданні. Це свідчить про активність процесів карстоутворення та просідання і про подальший їх розвиток.

Отримані матеріали використані при плануванні наступних природоохоронних заходів.

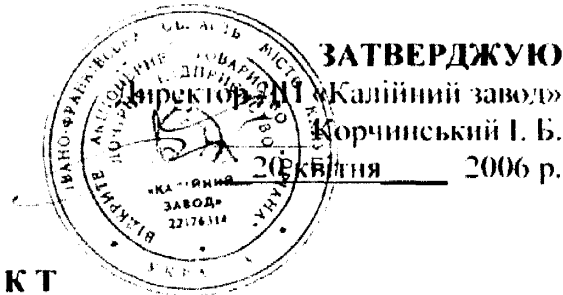
- простеження деформації масиву гірських порід, просідання денної поверхні та карстоутворення на поверхні топо-геодезичними методами;
- простеження ступеня засолення підземних вод водоносного горизонту зони активного водообміну та розповсюдження ореолу засолення;
- дослідження карстових процесів – простеження зміни фізичного стану масиву гірських порід з точки зору розущільнення, втрати міцності, схильності до розвитку карстопровальних явищ та в'яснення причин цих змін;
- проведення контролю за хвостосховищем №2, дамби якого не є стійкими і фільтрують розсоли, за рахунок чого збільшується ареал засолення підземних вод. Крім того, є небезпека прориву дамби.

Зав. гірничою лабораторією



I. С. Хмара

Додаток Д



на впровадження результатів науково-дослідних робіт по темі
 Прогнозування деформацій земної поверхні над відпрацьованими шахтними
 полями рудника «Ново-Голінь» за результатами геофізичних досліджень
 1995 – 2004 рр.

На протязі 1966 – 1996 рр. здійснювався видобуток калійної солі на
 Калуш-Голінському родовищі. В даний час експлуатація припинена і
 здійснюється ліквідація рудників.

Своїм листом Калуська міська державна адміністрація звернулася до
 Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу з
 проханням визначити за результатами аналізу геологічних, гірничих і
 геофізичних даних ступінь розвитку природно-техногенного карету та
 оцінити небезпеку просідань та провалів денної поверхні в районі рудника
 калійних солей «Ново-Голінь», ліквідація якого здійснюється шляхом
 заповнення видобувних камер розсолами Домбровського кар'єру.

З метою дистанційного контролю стану розчинення соляних порід і
 розвитку техногенного соляного карету за рахунок фільтрації підземних вод і
 виносу солі, а також оцінки розущільнення гірських порід при їх просіданні в
 межах території рудника «Ново-Голінь» виконано геофізичні роботи по
 окремих профілях електромагнітними та гравіметричними методами.

Дана науково-дослідна робота виконувалась працівниками кафедри
 геотехногенної безпеки та геоінформатики (Кузьменко Е. Д., Вдовина О. П.,
 Багрій С. М.), під керівництвом професора Кузьменка Е. Д. Звітні матеріали
 передані на підприємство ДП «Калійний завод» з наступними висновками.

1. Аналіз результатів геофізичних робіт дозволив виявити окремі зони
 розущільнення гірських порід, які тяжіють до центральних частин двох
 ділянок рудника («Голінь» та «Сівка-Калуська») і пов'язуються з розвитком
 техногенних каретових процесів. Аномальні зони розущільнення знаходяться
 на території, де відмічено просідання денної поверхні.

2. В межах території геофізичних досліджень, де наявні окремі аномалії
 розущільнення гірських порід, каретові процеси можуть привести до
 пошкодження окремих будинків, але не є катастрофічними.

3. Подальше затоплення рудника «Ново-Голінь» приведе до активізації
 в соляних глинах та брекчіях і в породах калійної солі каретових процесів, а
 також до ослаблення механічної стійкості гірських порід. Розвиток таких
 процесів може спричинити аварійну ситуацію, яка призведе до втрати
 великої кількості житлового фонду в селах Кропивник і Сівка-Калуська та

забруднення підземного водоносного горизонту. Найбільшої активізації розвитку зсуву гірських порід слід очікувати, з початком активної стадії просідання. (2008-2010 рр.).

4. З метою прогнозування карстопровальних процесів та забруднення питних підземних вод району м. Калуш і навколишніх населених пунктів необхідне проведення подальших комплексних геофізичних та еколого-гідрогеологічних досліджень. Результати цих досліджень дозволять визначити і задіяти запобіжні заходи для забезпечення безпеки населення та збереження матеріальних цінностей.

Отримані матеріали використані при плануванні наступних природоохоронних заходів.

1 Проведення інструментальних спостережень для отримання даних про осідання земної поверхні;

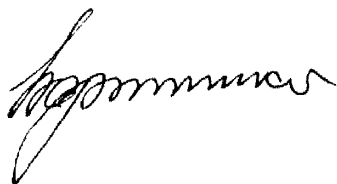
2 Проведення інструментальних спостережень для отримання даних про характер прояву гірничого тиску навколо виробок;

3 Буріння спостережених свердловин;

4 Корегування графіка заповнення видобувних камер рудника «Ново-Голинь»;

5 Прийняття мір по збереженню життєдіяльності населення.

Головний геолог



Б. Т. Бараненко