



Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Навчально-науковий інститут «Інститут геології»
Кафедра геофізики

**Кваліфікаційна робота магістра
спеціальність 103 – Науки про Землю
освітня програма «Геофізика»**

**Тема: «Аналіз ефективності комплексних геофізичних досліджень
при проектуванні гідроелектростанції «Сенже» (республіка
Екваторіальна Гвінея)»**

Виконав

магістрант кафедри геофізики
2-го року навчання
КУЗНЕЦОВ ОЛЕКСІЙ ІГОРОВИЧ

Науковий керівник

кандидат фіз.- мат. наук, доцент
РЕВА МИКОЛА ВАСИЛЬОВИЧ

Робота рекомендується до захисту (протокол № 15 засідання кафедри геофізики
від 4 травня 2022 р.)

В. о. завідувача кафедри

доктор геол. наук, доцент
ШАБАТУРА ОЛЕКСАНДР ВІКТОРОВИЧ

Київ – 2022

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП.....	6
1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ РАЙОНУ БУДІВНИЦТВА ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ "СЕНЖЕ"	10
1.1. Геоморфологічна характеристика району будівництва ГЕС.....	12
1.2. Четвертинні відклади та кора вивітрювання території досліджень.....	19
1.3. Характеристика геологічних утворень кристалічного фундаменту.....	21
1.3.1. Стратифіковані утворення	22
1.3.2. Нестратифіковані утворення.....	24
1.4. Особливості геологічної будови району розташування основних споруд ГЕС "Сенже"	26
2. МЕТОДИКА ТА АПАРАТУРА ПОЛЬОВИХ ГЕОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	30
2.1. Обґрунтування комплексу геофізичних методів досліджень.....	30
2.2. Сейсмічні та сейсмоакустичні методи.....	34
2.2.1. Кореляційний метод заломлених хвиль.....	34
2.2.2. Свердловинні сейсмічні методи досліджень.....	35
2.3. Методи наземної електрометрії.....	39
3. ОБРОБКА ТА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ДАНИХ ГЕОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	42
3.1. Обробка та інтерпретація даних сейсморозвідувальних досліджень.....	42
3.2. Обробка та інтерпретація даних електророзвідувальних досліджень.....	48
3.2.1. Якісна інтерпретація експериментальних даних.....	48
3.2.2. Кількісна інтерпретація даних електричних зондувань.....	52
4. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	58
4.1. Результати свердловинних геофізичних досліджень.....	58
4.1.1. Результати ВСП та міжсвердловинного прозвучування.....	59
4.1.2. Результати міжсвердловинної томографії.....	67
4.2. Результати наземних електрометричних досліджень.....	70
4.2. 1. Аналіз карт-зрізів уявного опору.....	70
4.2.2. Аналіз схематичних карт.....	73
4.2.3. Характеристика геофізичних розрізів.....	76
ВИСНОВКИ.....	88
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	93

ГРАФІЧНІ ДОДАТКИ	96
Додаток А. КАРТИ-ЗРІЗИ УЯВНОГО ОПОРУ	96
Рис. А.1 - Карта-зріз уявного опору для розносу АВ=12 м.....	97
Рис. А.2 - Карта-зріз уявного опору для розносу АВ=20 м.....	98
Рис. А.3 - Карта-зріз уявного опору для розносу АВ=40 м.....	99
Рис. А.4 - Карта-зріз уявного опору для розносу АВ=80 м.....	100
Рис. А.5 - Карта-зріз уявного опору для розносу АВ=130 м.....	101
Додаток Б. СХЕМАТИЧНІ КАРТИ	102
Рис. Б.1 - Карта ізогіпс покрівлі куристалічних порід.....	103
Рис. Б.2 - Карта ізопахіт покривних відкладів.....	104
Рис. Б.3 - Карта питомого електричного опору кристалічних порід.....	105
Додаток В. ГЕОФІЗИЧНІ РОЗРІЗИ	106
Рис. В.1 - Умовні позначення для розрізів за даними електрометрії.....	107
Рис. В.2 - Умовні позначення для розрізів за даними сейсморозвідки....	108
Рис. В.3 - Умовні позначення для колонок свердловин.....	109
Рис. В.4 - Вертикальний розріз уявного опору й геоелектричний розріз уздовж профілю 20, сейсмічні розрізи профілів 20, 21.....	110
Рис. В.5 - Вертикальний розріз уявного опору й геоелектричний розріз уздовж профілю 21, сейсмічний розріз профілю 22.....	111
Рис. В.6 - Вертикальний розріз уявного опору й геоелектричний розріз уздовж профілю 22.....	112
Рис. В.7 - Вертикальний розріз уявного опору й геоелектричний розріз уздовж профілю 23.....	113
Рис. В.8 - Вертикальний розріз уявного опору й геоелектричний розріз уздовж профілю 24.....	114
Рис. В.9 - Вертикальний розріз уявного опору й геоелектричний розріз уздовж профілю 25.....	115
Рис. В.10- Вертикальний розріз уявного опору й геоелектричний розріз уздовж профілю 26.....	116
Рис. В.11- Вертикальний розріз уявного опору й геоелектричний розріз уздовж профілю 27.....	117
Рис. В.12- Вертикальний розріз уявного опору й геоелектричний розріз уздовж профілю 28, сейсмічний розріз для профілю 25.....	118
Рис. В.13- Вертикальний розріз уявного опору й геоелектричний розріз уздовж профілю 30.....	119
Рис. В.14- Вертикальний розріз уявного опору й геоелектричний розріз уздовж профілю 37.....	120
Рис. В.15- Вертикальний розріз уявного опору й геоелектричний розріз уздовж профілю 38.....	121
Рис. В.16- Вертикальний розріз уявного опору й геоелектричний розріз уздовж профілю 39.....	122

Рис. В.17- Вертикальний розріз уявного опору й геоелектричний розріз уздовж профілю 40.....	123
Рис. В.18- Вертикальний розріз уявного опору й геоелектричний розріз уздовж профілю 41.....	124
Рис. В.19- Вертикальний розріз уявного опору й геоелектричний розріз уздовж профілю 46.....	125

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

Скорочення	Роз'яснення
АВ	Позначення лінії живлення
ВЕЗ	Вертикальне електричне зондування
ВСП	Вертикальне сейсмічне профілювання
ГЕС	Гідроелектростанція
ГРС	Грунтово-рослинний шар
ДЗ	Дипольне зондування
І	Сила струму
ІГЕ	Інженерно-геологічний елемент
К	Коефіцієнт установки
КМЗХ	Кореляційний метод заломлених хвиль
MN	Позначення вимірювальної лінії
МСТ	Міжсвердловинна сейсмічна томографія
МСП	Міжсвердловинне прозвучування
Ом·м	Омметр
См	Сименс
СЕП	Симетричне електричне профілювання
ПЕО	Питомий електричний опір
ЕОМ	Електронно-обчислювальна машина
ЕП	Електричне профілювання
ρ_y	Позначення уявного електричного опору
V_p	Позначення швидкості поширення поздовжніх пружних хвиль
V_s	Позначення швидкості поширення поперечних пружних хвиль

ВСТУП

Актуальність. При проектуванні інженерних споруд надзвичайно важливе значення мають геологічні умови, у яких будуть знаходитися проєктовані інженерні об'єкти. На сучасному етапі у процесі вивчення геологічних умов будівництва проєктованих інженерних споруд провідна роль належить геофізичним методам. Особливо відповідальне значення мають інженерно-геофізичні вишукування при проектуванні таких важливих споруд, як гідроелектростанції. Для вивчення геологічних і технологічних умов їх будівництва в різних геологічних і гідрогеологічних умовах може застосовуватися різний комплекс геофізичних методів. Відтак дослідження ефективності застосовуваного комплексу і встановлення його раціонального різновиду для конкретних геолого-гідрогеологічних умов є завданням достатньо актуальним.

Мета роботи. Дослідження ефективності застосовуваного комплексу геофізичних методів, що включає свердловинні сейсмоакустичні та наземні сейсмічні й електрометричні геофізичні дослідження, для вивчення умов будівництва проєктованої на річці Веле в Екваторіальній Гвінеї гідроелектростанції «Сенже». Для виконання досліджень використані матеріали, отримані в межах важливої ділянки «Дериваційний канал-гребля».

Об'єкт дослідження. Геологічне середовище в межах ділянки «Дериваційний канал - гребля» на території проєктованого будівництва гідроелектростанції «Сенже» на річці Веле в республіці Екваторіальна Гвінея.

Предмет дослідження. Електричні та сейсмоакустичні поля, створювані штучними джерелами і вимірювані на поверхні землі та у свердловинах й ефективність їх використання для дослідження геологічних розрізів при вивченні умов будівництва гідротехнічних споруд у межах ділянки «Дериваційний канал - гребля» території проєктованої ГЕС «Сенже» в республіці Екваторіальна Гвінея.

Методи дослідження. Методами експериментальних геофізичних досліджень є геофізичні дослідження у свердловинах (вертикальне сейсмічне профілювання (ВСП), міжсвердловинне прозвучування (МСП), міжсвердловинна сейсмічна томографія (МСТ)), наземні сейсмічні (кореляційний метод заломлених хвиль (КМЗХ)) та електрометричні (вертикальне електричне зондування (ВЕЗ), симетричне електричне профілювання (СЕР)) дослідження, а також методики якісної і кількісної інтерпретації експериментальних даних, що отримуються за результатами виконуваних цими методами польових робіт. Теоретичні дослідження засновані на використанні основних положень електродинаміки й відповідних модельних кількісних розрахунках, заснованих на розроблених алгоритмах розв'язків прямих задач.

Які вирішуються в роботі завдання. Проаналізувати наявні дані про геологічні та геоморфологічні умови розташування території будівництва проекрованої ГЕС «Сенже»; виконати аналіз особливостей методики різних геофізичних методів, що складають комплекс інженерно-геофізичних вишукувань; проаналізувати методичні принципи інтерпретації експериментальних даних різних геофізичних методів і їх комплексного аналізу; виконати інтерпретацію експериментальних даних і зробити висновок про просторову характеристику покрівлі кристалічних порід, їх ступінь тріщинуватості і механічну стійкість на території ділянки «Дериваційний канал-гребля»; розробити рекомендації щодо вдосконалення електрометричних досліджень при інженерно-геофізичних вишукуваннях на стадії проектування гідротехнічних споруд.

Наукова новизна. 1. Отримана просторова характеристика залягання поверхні кристалічного фундаменту на території ділянки «Дериваційний канал-гребля», як несучої основи для будівництва основних споруд проекрованої ГЕС «Сенже». 2. Виконано районування території ділянки «Дериваційний канал-гребля» за ступенем тріщинуватості кристалічної основи та її механічної стійкості. 3.

Реалізована методика обробки експериментальних даних в методі ВЕЗ з попередньою поліноміальною апроксимацією експериментальних кривих і їх диференціальною трансформацією з визначенням інтервальних ефективних опорів.

4. Рекомендовано для підвищення ефективності електрометричних досліджень ввести в комплекс геофізичних методів електротомографічні системи спостережень, як такі, що можуть суттєво підвищити як продуктивність польових електрометричних досліджень, так і деталльність отримуваних результатів та якість результатів інтерпретації експериментальних даних.

Практичне значення. 1. Результати комплексних інженерно-геофізичних досліджень можуть бути використані для обґрунтованого інженерного проектування будівництва інженерно-технічних об'єктів у межах ділянки «Дериваційний канал-гребля» гідроелектростанції «Сенже» на річці Веле (Екваторіальна Гвінея). Застосована в межах ділянки методика якісного аналізу кривих ВЕЗ, що передбачає їх попередню поліноміальну апроксимацію та диференціальну трансформацію, може бути рекомендована для застосування в умовах підвищеної горизонтальної неоднорідності розрізу. Для підвищення ефективності інженерно-геофізичних вишукувань рекомендується застосування електротомографічних спостережень, як таких, що дозволяють підвищити продуктивність польових електророзвідувальних робіт і якість результатів їх інтерпретації в умовах неоднорідних геоелектричних розрізів.

Особистий внесок автора. При виконанні роботи автором використані матеріали Українського інституту «Енергоатом», зібрані автором під час проходження в цьому інституті переддипломної практики, а також кафедри геофізики Навчально-наукового інституту «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Особистий внесок автора полягає в систематизації та узагальненні значної кількості зібраних інформативних матеріалів, в переобробці експериментальних даних та відповідних

результативних побудовах і їх аналізі, в запропонованій і практично реалізованій попередній поліноміальній апроксимації кривих електричних зондувань, яка обґрунтована й довела свою ефективність в умовах слабкоконтрастних геоелектричних розрізів з досить неоднорідною верхньою частиною, у формуванні висновків і рекомендацій.

Структура й обсяг роботи. Робота виконана на 124 аркушах: розділів - 4; таблиць 3, рисунків 34, додатків 3 з кількістю рисунків 27, кількість використаних джерел – 42.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ РАЙОНУ БУДІВНИЦТВА ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ «СЕНЖЕ»

Територія проектного будівництва ГЕС "Сендже" знаходиться в межах Екваторіальної (Західної) Африки в республіці Екваторіальна Гвінея. Екваторіальна Гвінея на півночі межує з Камеруном, на півдні та сході - з Габоном, на заході омивається водами Гвінейської затоки (рис. 1.1).



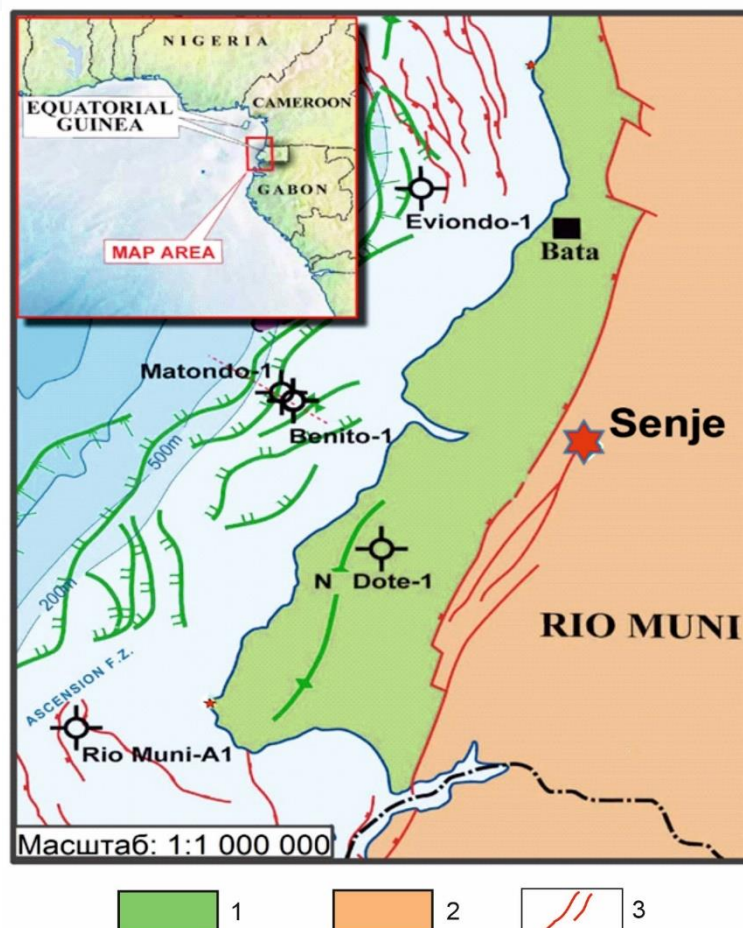
Рис. 1.1 – Географічне місце розташування ГЕС «Сенже» в республіці Екваторіальна Гвінея

Майбутня ГЕС Сендже - гідроелектростанція, що буде зводитися в материковому регіоні Екваторіальної Гвінеї на річці Веле, яка бере початок в Габоні і, проходячи через Екваторіальну Гвінею, впадає у Гвінейську затоку. Майданчик для будівництва ГЕС розташований за 30 км південніше від столиці континентального регіону міста Бата і за 20 км на схід від розташованого в гирлі

річки Веле містечка Мбіні (рис. 1.1).

В геологічному відношенні територія майбутнього будівництва ГЕС "Сендже" знаходиться в межах західної околиці обширної Африканської платформи, складеної із сильно метаморфізованих порід верхньоархейського віку, представлених гнейсами, амфіболітами, кристалічними сланцями, інтрузіями і дайками діабазів.

У 1999 році фахівцями британської фірми RPS Energy проведені великомасштабні пошукові геологічні (у т.ч. бурові) та геофізичні дослідження (м-би 1:100 000 та 1:50 000) шельфу та берегової зони Екваторіальної Гвінеї у зв'язку з нафтогазоносністю, у результаті яких була уточнена та доповнена інформація про будову земної кори, стратиграфію, тектоніку району досліджень (рис.1.2).



**Рис. 1.2. - Тектоніка шельфової зони Екваторіальної Гвінеї
(за даними RPS Energy):**

1 – рифт «Беніто»; 2 – кристалічний щит, 3 – Приокеанічний розлом

Відповідно до тектонічної схеми, представленої на рис. 1.2, територія району досліджень знаходиться в зоні зчленування рифту «Беніто» і розлому північ-північно-східного (у північній частині - субмеридіонального) простягання (Приокеанічного розлому), що відокремлює мобільні структури приокеанічної низовини від структур кристалічного щита.

1.1. Геоморфологічна характеристика району будівництва ГЕС

Територія Екваторіальної Гвінеї, особливо її континентальна частина, в геоморфологічному відношенні є недостатньо вивченим районом Африки. Наявні літературні джерела не містять інформації про середньо і великомасштабні геоморфологічні дослідження, що проводилися, на території республіки.

У морфоскульптурному відношенні район будівництва ГЕС розташований на межі крайових акумулятивних приокеанічних низовин, формування яких відбувалося в умовах чергувань субаеральних та субаквальних умов рельєфоутворення внаслідок змін тектонічного режиму, і низовинних та висотних рівнин і дрібногор'я, що формувалися в континентальних умовах з переважанням тектонічних піднять (Петров, 2007).

У морфоскульптурному відношенні район будівництва ГЕС знаходиться в зоні гумідних (постійно вологих) тропіків. В умовах тропічного клімату та рослинності переважає хімічне вивітрювання, що сприяє утворенню латеритних кір. Вологий клімат та високі середньорічні температури є сприятливими факторами для розвитку флювіальної морфоскульптури.

Велика кількість опадів створює умови для розвитку площової ерозії та тропічної соліфлюкції. При цьому дощові води стікають суцільним шаром, рівномірно дреноючи схили. Процеси лінійної ерозії розвинені досить слабо, хоча їх інтенсивність може посилюватися при знищенні деревно-рослинного шару.

Територія району будівництва ГЕС «Сендже» відноситься до морфоскульптур низьких цокольних рівнин Африканського щита. З південного сходу, сходу і північного сходу до неї прилягають морфоскульптури піднесених цокольних рівнин і дрібногір'я, а на заході досліджувана територія обмежується областю крайових

аккумулятивних низовин, різко відрізняється за морфолого-морфометричними показниками, а також генетичними типами рельєфоутворювальних відкладів. Рельєф території характеризується прямими взаємозв'язками з геологічною і тектонічною структурою, чому сприяє незначна потужність чохла осадових відкладів (на схилах долин і в руслах річок спостерігаються виходи кристалічних порід фундаменту), а також зв'язок більшості форм рельєфу з тектонічними порушеннями.

Як згадувалося вище, територія дослідження знаходиться в зоні перетину двох великих розломів (розломних зон) – грабена «Беніто», що має північно-східний напрямок, та приокеанічної зони розломів, що має північно-північно-східний напрямок. Впливом цих і ряду дрібніших розломів пояснюється дрібноблокова будова території, значна розчленованість рельєфу, диференціація ухилів земної поверхні, поширення генетичних типів і потужностей рельєфоутворювальних відкладів.

Дуже важливим завданням є визначення впливу розломів на геоморфогенез території, що насамперед залежить від правильної діагностики зон їх динамічного впливу. Визначення параметрів великих розривних порушень можливе шляхом аналізу схем лінеаментів, складених за результатами дешифрування топографічних планшетів. На рис. 1.3 наведена віддешифрована тривимірна модель рельєфа району будівництва основних споруд ГЕС Сенже, створена на основі матеріалів топографічної зйомки масштабу 1:10 000. Ілюстративна побудова свідчить про достатньо детальну виразність приокеанічного розлому, поблизу якого знаходиться район проекрованої ГЕС.

У рельєфі розлом утворює систему відносно вузьких долин-грабенів, що характеризуються вирівняним рельєфом, потужним чохлам пухких елювіально-делювіальних відкладів і зоною дезінтеграції материнських порід. Для долин характерна система локальних понижень у рельєфі, з якими пов'язані процеси заболочування, у яких утворилися відклади древнього алювію, про що свідчать проведені на території робіт розчистки.

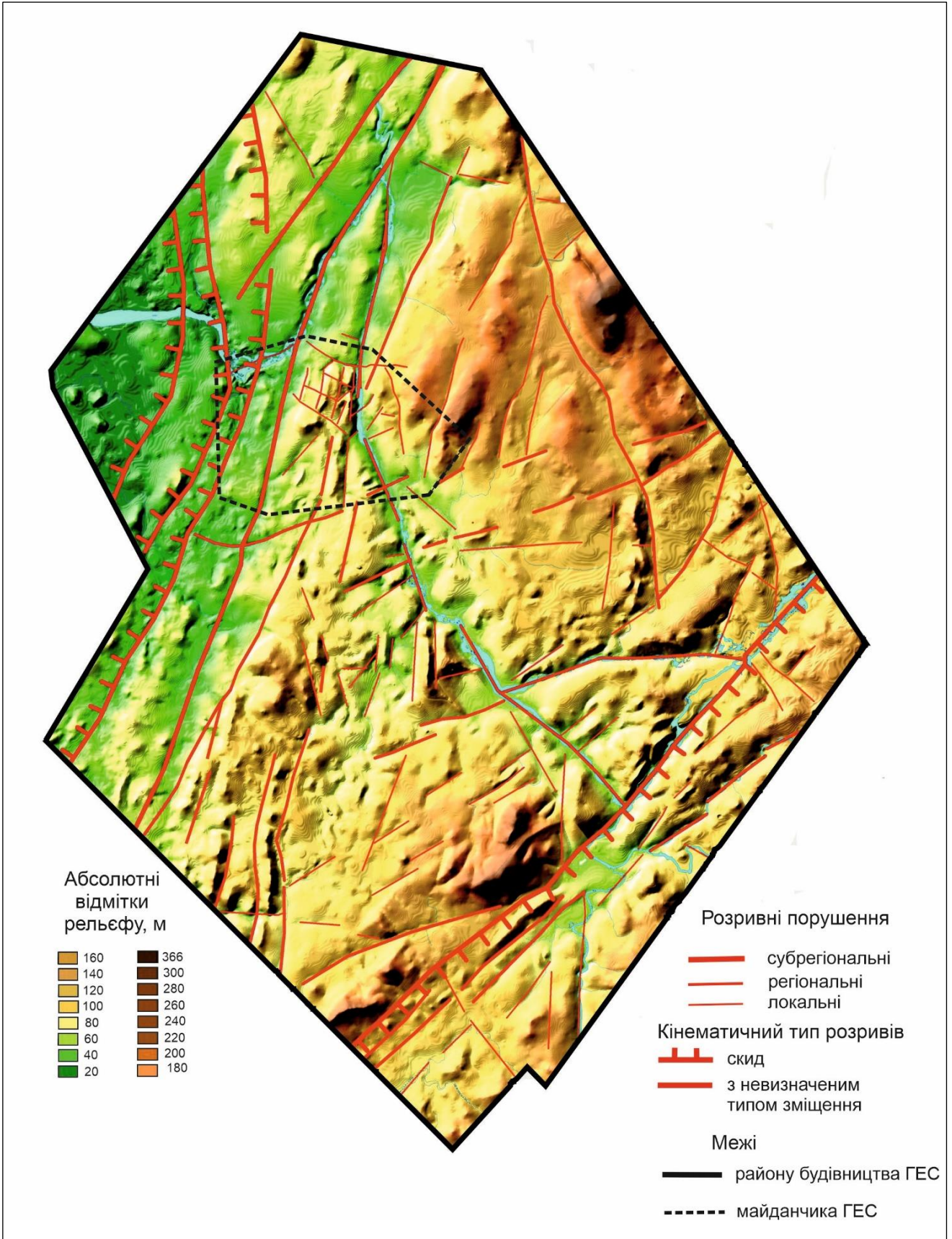


Рис. 1.3 – Схема розломної тектоніки району розташування ГЕС, створена за результатами дешифрування тривимірної моделі рельєфу м-ба 1: 10000

Приокеанічна зона розломів знаходить відображення і в морфометричних показниках, зокрема у зменшенні вертикальної розчленованості рельєфу на захід у напрямку крайових акумулятивних низовин (рис. 1.3, 1.4), де її значення не перевищують 10 м/га. У цьому напрямі відбувається зменшення також крутості схилів (до 5° - 6°) (рис. 1.4).

Рельєф району ГЕС характеризується вираженою ярусністю. Найбільш чітко в межах району будівництва ГЕС виділяються субгоризонтальні або слабкопохилі гіпсометричні рівні 20-30, 31-45, 50-70, 71-90, 91-105 і >110 м (рис. 1.4), що відносяться, ймовірно, до пліоценової поверхні вирівнювання (*Борисевич, Тимофеев, Олейников, 1973*).

Район розташування ГЕС «Сендже» характеризується досить складною комбінацією площових і лінійних морфоскульптур, утворених у результаті взаємодії різноспрямованих розломів грабену «Беніто», приокеанічної зони розломів і ряду дрібніших (локальних) тектонічних порушень, що розділяють територію на ряд виражених горстів та орієнтованих, відповідно до напрямів основних розломів, грабенів, яким відповідають зниження у рельєфі (рис. 1.3).

Морфоскульптурна будова території ускладнена наявністю систем лінійно орієнтованих, згідно з основними напрямками тріщинуватості, куполоподібних піднять, утворення яких пов'язане з інтрузіями дайок діабазів, з часом відпрепарованих процесами денудації. Вершинні поверхні дайок представлені у вигляді субгоризонтальних поверхонь шириною від 1 до 50 м, складених елювіальними відкладами, представленими латеритними суглинками із включенням уламків діабазів різного ступеня вивітрілості. В окремих випадках на поверхні дайок наявні брили діабазів діаметром 1-5 м. Схили дайок складені делювіальними відкладами із включеннями уламкового матеріалу. Потужність делювіальних відкладів залежить від крутості і протяжності схилів, наявності паралельних дайкам розломів (грабенів). В ряді випадків у межах грабенів з інтрузіями гранодіоритів пов'язані субгоризонтальні поверхні.

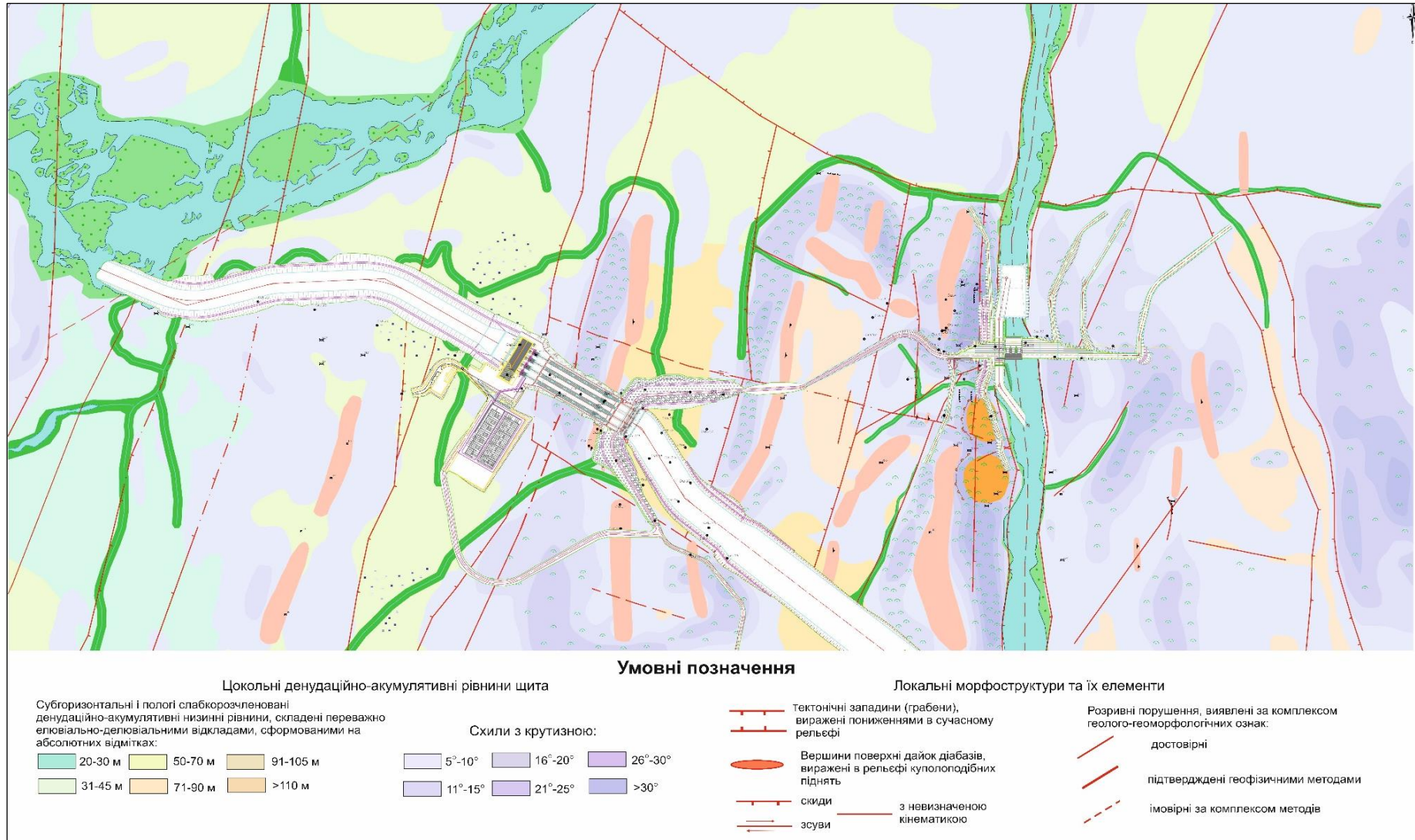


Рис. 1.4 – Геоморфологічна карта ділянки «Дериваційний канал-гребля»
Масштаб 1:2500

Схили, що розділяють горстові височини і западини-грабени, характеризуються значними ухилами, що часто перевищують 30°. Такі схили характерні для лівого берега р. Веле у місцях наявних горстів, складених інтрузіями гранодіоритів. Нерідко такі схили характеризуються наявністю тектонічних (рис. 1.5,а) та денудаційно-тектонічних (рис. 1.5,б) уступів.



Рис.1.5 - Уступы тектонічного (а) й структурно-денудаційного (б) походження

Кліматичні умови Екваторіальної Гвінеї сприяють широкому розвитку форм флювіальної морфоскульптури. Особливістю річкових долин досліджуваної території є велика кількість порогів і водоспадів. Порожистість характерна як для відносно великих, так і дрібних річок і струмків. Поздовжній профіль практично всіх водотоків, включаючи р. Веле, має східчастий характер. При цьому спостерігається часте чергування спокійних і порожистих ділянок.

Долини водотоків переважно пов'язані із послабленими зонами корінних порід – зонами тріщинуватості та глибинними розломами. Поперечний профіль річкових долин, зокрема і р. Веле, коритоподібний, що свідчить про переважання бокової ерозії над глибинною. Про слабкість глибинної ерозії свідчить також і мала глибинність більшості притоків р. Веле. У місцях виходу кристалічних порід на

поверхню і за умови відсутності в них тріщин річка розтікається по їх поверхні (рис.1.6)



Рис. 1.6 – "Розтікання" струмка по поверхні кристалічних порід

Основним типом рельєфоутворювальних відкладів району будівництва ГЕС є елювіальні відклади, представлені каоліновими та латеритними кораами вивітрювання, що перекриваються на схилах шаром делювіальних суглинків. Потужність латеритного покриву на відносно вирівняних поверхнях може перевищувати 8 м. Найголовнішою особливістю будови латеритного покриву є поступова зміна моноліту корінної породи на псевдоуламкову зону дезінтеграції, зернистість або уламковість якої зменшується вгору з поступовою глинізацією, утратою спадковості складу вихідної породи, перетворенням мінерального і механічного складу.

Геоморфологічні дослідження свідчать, що практично повсюдно на схилах, крутість яких перевищує 20° , проявляються процеси тропічної соліфлюкції (повільного сповзання елювіально-делювіальних відкладів униз по схилу) та формування мікрозсувів. Результатом цих процесів є дрібна східчастість на схилах. Знищення рослинного покриву на схилах водосховища в комплексі з періодичною

зміною рівня водосховища сприятиме активізації зсувних та соліфлюкційних процесів.

1.2. Четвертинні утворення та кора вивітрювання території досліджень

У межах району і майданчика будівництва ГЕС верхня частина розрізу представлена шаром пухких елювіально-делювіальних латеритних суглинків, що утворюють ряд закономірно розташованих шарів.

Під елювієм розуміються продукти вивітрювання, що не зазнали механічного зміщення, з характерною присутністю в них реліктових структур і текстур, що є, поряд з поступовим переходом у материнські породи, його найважливішими діагностичними ознаками.

Фізико-географічні умови досліджуваної території (відсутність значних температурних коливань, високі середньомісячні температури, що перевищують протягом року + 20°C, достатня кількість опадів) сприяють переважанню хімічного та біохімічного вивітрювання, процесів латеритизації та утворенню гіпергенної кори.

Слід зазначити, що в умовах теплого і вологого клімату вивітрювання і дезінтеграція материнських порід проявляються не у формі механічних розколів і розтріскування монолітів, а є результатом складних фізико-хімічних реакцій з видозміною і розчиненням мінералів, тобто. є різновидом хімічного вивітрювання або особливим типом гідратаційного вивітрювання. Відтак, гіпергенне вивітрювання охоплює всю різноманітність комплексних змін вихідних (корінних) порід, включаючи метасоматоз, епігенез і т. ін.

Тривалі процеси гіпергенного вивітрювання призвели до видозміни корінних кристалічних порід (гнейсів, діабазів, кристалосланців) зі створенням закономірно побудованого профілю кори вивітрювання. Як зазначено вище найголовнішою особливістю будови кори вивітрювання в районі розташування ГЕС на р. Веле є поступова зміна моноліту корінної породи на псевдоуламкову зону дезінтеграції,

зернистість або уламковість якої поступово зменшується вгору з поступовою глинізацією, втратою наслідування складу вихідної породи, перетворенням мінерального та механічного складу. В результаті відбувається повне заміщення породоутворювальних мінералів на глинисті, конкретні види яких визначені фаціальними умовами. Новостворена зона глинізації зазвичай мономіктового складу зветься *литомаржа*.

Сумарна потужність гіпергенного елювію в межах району будівництва ГЕС змінюється від 0 см – виходи корінних порід (діабазів, гранодіоритів, кристалосланців), до перших десятків метрів (зниження-грабени).

Процеси площового змиву, денудації і тропічної соліфлюкції, що інтенсивно протікають на крутих схилах, сприяють виносу мілкозему, з відносним збагаченням його великими частинками уламків нижніх горизонтів кори вивітрювання кристалічних порід та гравітаційному зміщенню вниз по схилу. Це призводить до утворення потужних горизонтів, що характеризуються порушеною шаруватістю, наявністю псевдоуламкових скупчень на схилах.

Процеси латеритного перетворення материнських порід призводять до утворення закономірно побудованого профілю латеритної кори вивітрювання. Зведений розріз елювіально-делювіальних відкладів району ГЕС можна представити в такому вигляді:

1. Ґрунтово-рослинний шар (ГРШ). Представлений гумусованим суглинком, коричневого, темно-коричневого кольору, пластичним, вологим з включенням коренів рослин, гравійного матеріалу і конкрецій альвіолярного фериту діаметром до 2 см. Петрографічний склад гравійного матеріалу змінюється в залежності від складу материнських порід і положення розрізу в рельєфі. Переважають уламки кварцу, діабазів, кристалосланців, гнейсів, мілонітів різного ступеня вивітрілості. На схилових і незаліснених ділянках ґрунтово-рослинний шар може перекриватися шаром гравійного матеріалу (фериту) потужністю 1-2 см. У межах знижених

заболочених ділянок ГРШ представлений вологим, пластичним алеврито-глинистим суглинком темно-сірого кольору.

2. Елювіально-делювіальний горизонт (літомарж). Суглинок оранжево-коричневий, оранжево-жовтий, вологий, пластичний з домішками гравійного матеріалу й уламків корінних порід різного ступеня вивітрілості. Залежно від складу підстильних відкладів та положення в рельєфі склад, крупність та відсотковий вміст кристалічних включень може змінюватися. В окремих випадках у складі елювіально-делювіальних суглинків можна виділити 2-3 підгоризонти, що відрізняються за густиною, крупністю та процентним вмістом гравійного матеріалу. Контакт із ПРШ поступовий, часто нечітко виражений. Потужність елювіально-делювіального горизонту змінюється в межах від 0 до 20 м, у підніжжях схилів дайок діабазів у складі делювія часто виділяється шар сапроліту - вивітрілих діабазів потужністю до декількох метрів, підстильний каолінізованим суглинком.

3. Верхня частина кори вивітрювання кристалічних порід (сапроліту). Шар вивітрілого, повністю хімічно зміненого елювію корінних порід, що зберіг текстуру материнської породи. Щільний вологий горизонт червоного, бордово-червоного, темно-бордового кольору, що складається з окремих брил й уламків кори вивітрювання. Міжбрилові порожнечі заповнені пластичним вологим суглинком жовто-оранжевого, оранжево-коричневого кольору.

4. Зона дезінтеграції кристалічних порід. Шар складений кам'янистим уламковим елювієм корінних порід строкатого забарвлення (забарвлення змінюється залежно від ступеня вивітрілості корінних порід). Тріщини заповнені щербнистим, глинистим матеріалом. Потужність шару за даними буріння становить від 0 до 20 м.

1.3. Характеристика геологічних утворень кристалічного фундаменту

Район досліджень знаходиться в складних геолого-тектонічних умовах, приурочений до зони сполучення двох великих тектонічних структур літосфери:

субмеридіонального розлому, що відокремлює мезо-кайнозойські відклади приокеанічної низовини від утворень кристалічного фундаменту архейського віку, та блоковою зоною розломів грабену «Беніто». Останній вплинув на комплекс метаморфічних порід, що складають територію досліджень. Тектонічні процеси, які відбувалися у верхньоархейський час у межах рифту, впливали на вже сформований середньоархейський комплекс.

Поширені повсюдно на території майбутнього будівництва ГЕС Сенже корінні кристалічні породи відносяться до стратифікованого й нестратифікованого класу.

1.3.1. Стратифіковані утворення

Найбільш давні породи представлені товщею гнейсів з пачками кристалічних сланців архейського віку середнього складу й виділяються у вигляді смуг північно-східного та субмеридіонального напрямку (рис. 1.7). Крім цього, у підлеглий кількості зустрічаються амфіболіти.

Гнейси амфібол-біотитові, біотит-амфіболіві (Ar_2mb_2) найбільш розповсюджені на території проектового будівництва ГЕС (рис.1.7). Вони представлені темно-сірими до світло-сірих, дрібнозернистими, чітко сланцевими, часто мілонітованими породами. Сланцюватість пов'язана із чергуванням орієнтованих прошарків збагачених біотитом і зернами польового шпату й кварцу.

На території досліджень гнейси зустрічаються скрізь у вигляді відслонень на дрібних водотоках та їх схилах і рідше – на височинах. Основний напрямок їх сланцюватості – 0-30° північ-північний схід (ППС), падіння – 270-300° захід-північний-захід (ЗПЗ).

Кристалічні сланці (Ar_2mb_2) плагіоклаз-біотитові з амфіболом, сірі, темно-сірі, дрібно-тонкозернисті, тонкосмугасті, міцні з чітко вираженою сланцюватістю. Зустрічаються в північній та південно-західній частині району робіт у вигляді окремих невеликих витягнутих у субмеридіональному напрямку тіл. Вони згідно залягають серед гнейсів, мають тоншу смугастість, малу кількість польових шпатів та вищу міцність. У делювіальних розвалах і корінних виходах ці породи представлені великими брилами і суцільними виходами без видимої смугастості,

чим відрізняються від гнейсів. Іноді у породі зустрічаються малопотужні прожилки кварц-польовошпатових порід.

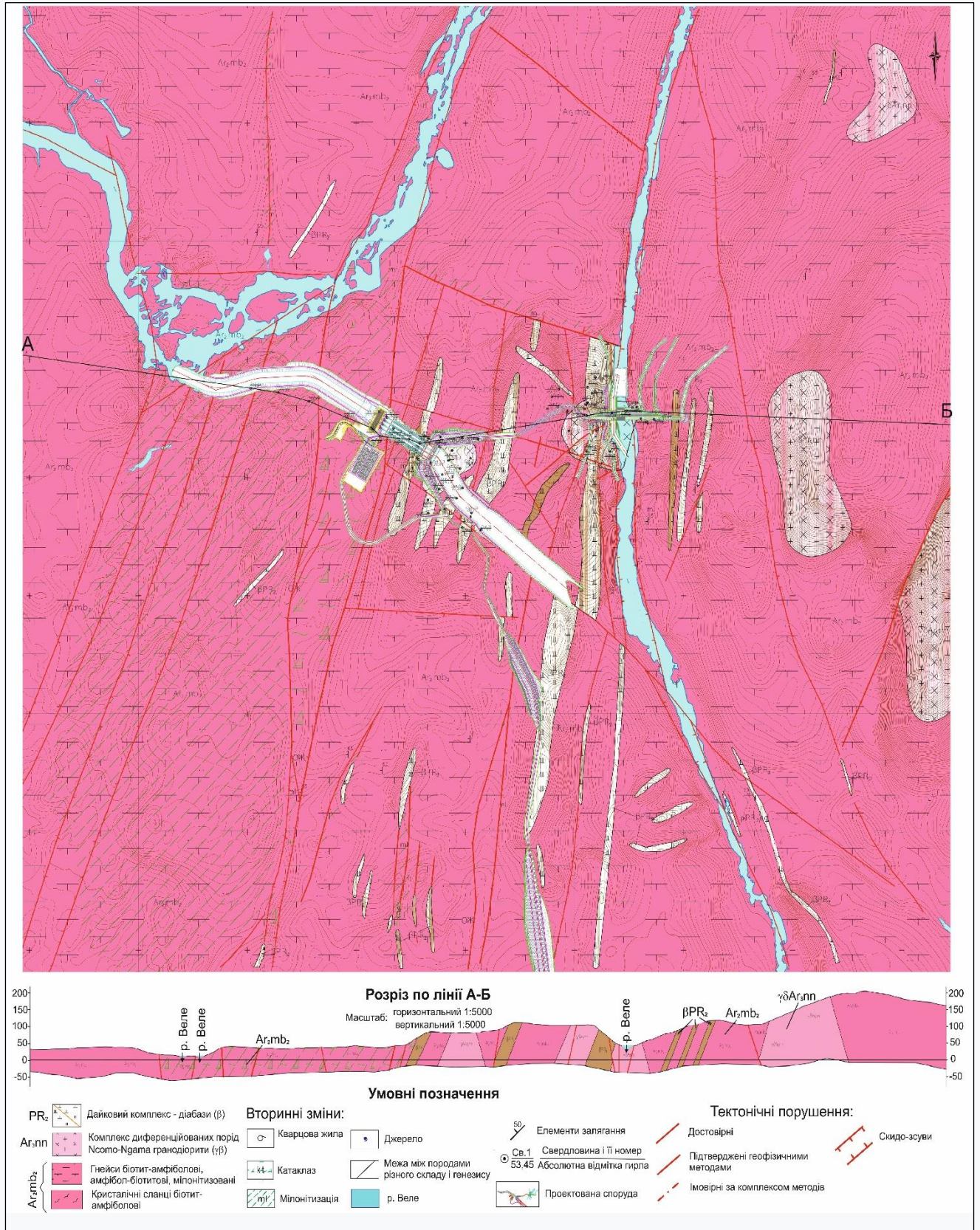


Рис. 1.7 – Геолого-тектонічна карта району будівництва ГЕС Сенже

Конгломерато-брекчії поліміктові на площі дослідження мають обмежене розповсюдження і приурочені до долини р. Веле. Утворилися під час тектонічної активізації зони розломів грабену «Беніто» при змішуванні, у процесі поховання та цементації, різноокатаного та грубоуламкового матеріалу різного складу і походження: гнейсів, мілонітів, діабазів, гранодіоритів, кварцу. Залягають незгідно на підстильних породах, видима потужність не перевищує перших метрів.

Амфіболіти (Ar_2mb_2) на території досліджень мало розповсюджені. Вони переважно пов'язані із гнейсами й присутні серед останніх у вигляді невеликих ксенолітів, дайок, рідко у вигляді штокоподібного тіла. Інколи тіла амфіболітів зустрічаються в безпосередній близькості від дайок діабазів, де представлені невеликими брилами.

Макроскопічно амфіболіти – це дрібно- й середньо- до крупнозернистої темно-сіра із зеленуватим відтінком порода масивної текстури. У породі спостерігається наявність шістуватих агрегатів амфіболу. Часто по свіжому сколу амфіболіти мають скляний блиск.

Характер контактів амфіболітів із гнейсами невизначений.

1.3.2. Нестратифіковані утворення

Мають значне розповсюдження на ділянці робіт та представлені інтрузивними породами пізнього архею й верхнього протерозою. Вищезазначені утворення представлені гранодіоритами серії N_{сото}-N_{qаmа}, кварц-польовошпатовими породами, жильним кварцем комплексу Edumsok та діабазами дайкового комплексу.

Гранодіорити ($\gamma\delta Ar_3np$) в межах ділянки робіт мають широке розповсюдження, зафіксовані переважно в його північній та північно-східній частині. Зафіксовані тіла мають квазіізометричну форму, витягнуті в субмеридіональному та північно-східному напрямку і мають розміри від перших сотень до 1200-2000 м. Відслонення гранодіоритів виявляються виходами на

крутих схилах височин або такими ж корінними виходами чи елювіально-делювіальними брилами в притоках р. Веле.

Гранодіорити представлені породами сірого забарвлення, середньозернистої структури, масивної, рідше нечітко смугастої текстури. Породи міцні, тріщинуваті. Орієнтування тріщин різноманітне, їх кути падіння 65-85°, рідше – вертикальні. По тріщинах відзначаються чорні нальоти гідроксидів заліза і кірки зеленого хлориту, епідоту. Серед гранодіоритів зустрічаються жили порід кварц-польовошпатового складу.

Кварц-польовошпатові пегматитоподібні породи ($\rho PR_2 ed$) на території робіт зустрічаються досить рідко. Вони згідно залягають серед гнейсів у вигляді жил потужністю від 0,1 до 0,5 м. Контакти із вміщувальними породами чіткі. Для порід характерна практично повна відсутність темнокольорових мінералів, а часто і пегматоїдного вигляду, чому вони мають назву кварц-польовошпатові породи.

Основна маса порід представлена світло-сірим польовим шпатом. Кварц переважно білий, сіруватий, «молочний», іноді голубуватий, присутній у вигляді ізометричних зерен. Структура породи середньо- й крупнозерниста, текстура масивна, рідше пегматитоподібна.

Діабази (βPR_2) дайкового комплексу на ділянці робіт присутні переважно в межах тектонічних зон субмеридіонального і північно-східного напрямку. Вони залягають згідно серед гнейсів, відпрепаровані в рельєфі відслонюються в межах осьових частин витягнутих пагорбів, часто дайки діабазів приурочені до центральних частин масивів гранодіоритів. Представлені у вигляді корінних виходів та елювіально-делювіальними розвалами. Товщина дайок від перших метрів до десятків метрів. Падіння дайок згідне із сланцюватістю гнейсів, кути падіння складають 65-80°.

Діабази представлені породою темно-сірого, сірого забарвлення, дрібнозернистої до прихованої зернистої структури і масивної текстури. Порода

тріщинувата, напрямок тріщин зазвичай збігається з простяганням дайки. По тріщинах у породі спостерігаються нальоти гідроокислів заліза бурого і темно-сірого забарвлення, кальциту, епідоту. Діабази є найбільш монолітними утвореннями, які менш за інших піддаються процесам вивітрювання.

Сієніти ($\Psi\xi PR_2ms$) комплексу Musumi на дослідженій території мають незначне розповсюдження, представлені дайками з видимою потужністю від перших метрів до 10-20 м у вигляді елювіально-делювіальних розвалів. Чітких контактів із вміщувальними породами не зафіксовано. Передбачуване падіння згідне із вміщувальними породами на захід під кутом до 70-80 градусів.

Сієніти представлені породою сірого, світло-сірого кольору, середньо- й крупнозернистої структури, масивної текстури, по тріщинах лимонітизованою, з вивітрілою поверхнею, ніздрюватою.

1.4. Особливості геологічної будови району розташування основних споруд ГЕС «Сенже»

Особливість майданчика розташування проектного створу полягала у суттєвій морфологічній та геологічній відмінності правого та лівого берегів р. Веле. Так лівий берег на р. Веле крутіше з кутами схилу від 30 до 40°. Він складений масивом гранодіоритів і великою дайкою діабазів, яка за середньої видимої потужності до 100 м має протяжність близько 1000 м з півдня на північ (рис. 1.7). Падіння тіла дайки визначено як західне з кутами 60 - 70° до горизонту. Іноді діабази дайки утворюють у крутому схилі своєрідні "уступи" пов'язані, очевидно, зі зміщенням окремих блоків по вертикальним і субвертикальним тріщинам (рис. 1.8).

Макроскопічно діабази представлені породою темно-сірого й сірого забарвлення, дрібнозернистої до приховано-зернистої структури та масивної текстури. Іноді порода має дрібно-середньозернисту структуру, чому набуває вигляду габро-діабазу. У середній частині дайки спостерігається тектонічне порушення північно-хідного напрямку та шириною у перші метри. Розлом добре

проглядається в урізі води лівого берега, у самому руслі, фіксується у свердловинах №41, 42 і представлений зоною сильно зім'ятих, змінених, подрібнених діабазів і гнейсів, гранодіоритів. У південно-західній частині розлом утворює невелику долину (русло струмка) і обрізає малопотужні дайки діабазів субмеридіонального напрямку. Діабази по всій протяжності тріщинуваті до сильно тріщинуватих.

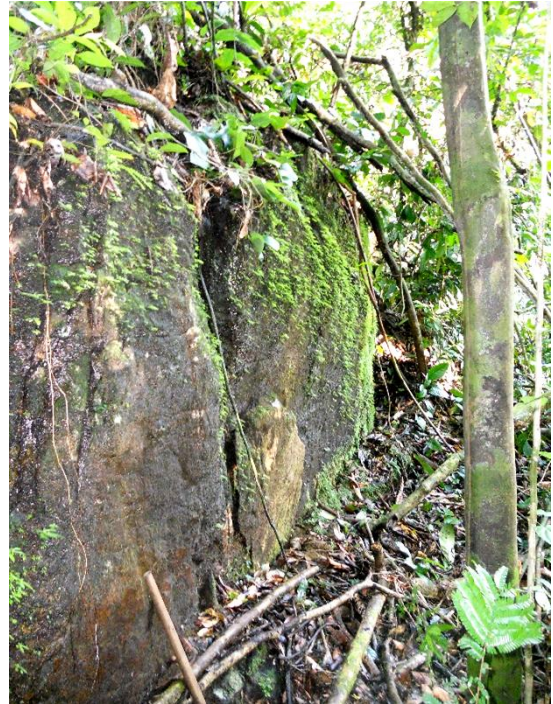


Рис. 1.8 - Уступоподібні виходи діабазів на денну поверхню на лівому березі р. Веле

Правий берег є більш пологим, представлений потужною пачкою гнейсів амфібол-біотитових, дрібнозернистих, тонкосланцюватих, катаклазованих, мілонітизованих, тріщинуватих до сильно тріщинуватих. Часто породи переходять у катаклазити та мілоніти (рис. 1.9).

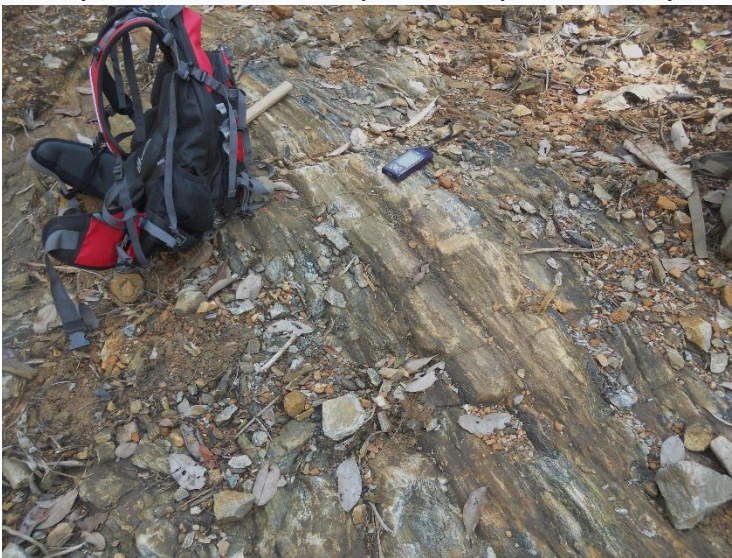


Рис. 1.9 - Відслонення мілонітів на правому березі р. Веле

Орієнтування сланцюватості (гнейсуватості) у породах має, загалом, субмеридіональний напрямок. Сланцюватість, переважно, паралельна руслу річки і, відповідно, тектонічному порушенню того ж напрямку. Кути падіння сланцюватості складають від 50° до 80° . У зоні вивітрювання гнейси і мілоніти

розбиті системою тріщин, по площинах яких вивітрювання відбувається інтенсивніше. В результаті цього в міжтріщинному просторі утворюється шар

каолінізованого суглинку, який служить своєрідним "мастилом" для руху дрібних блоків порід у бік русла.

Геологічна будова ділянки, що передбачає розміщення водоприймача, каналу подачі води в машинний зал і території подальшого скидання води в річку Веле мало чим відрізняється від описаного вище. Майже вся площа проектних будівель складена гнейсами дрібнозернистими, мілонітизованими, тріщинуватими, сильно тріщинуватими, мілонітами і серією дайок діабазів субмеридіонального простягання. Тіла двох основних дайок чітко виділяються в рельєфі. Видима потужність крайньої західної дайки (свердловини №№19, 19а, 19б, 28) становить близько 30 м, а східної (свердловини 17, 17а, 18, 33, 35), що розташована між західною та дайкою лівого борту р. Веле, не менше 40м з окремими роздувами до 70м. Тіла дайок круто падають у західному напрямку під кутом понад 70° до горизонту. Крім описаних дайок діабазів на площі водозбору зустрінуті дрібніші тіла порід основного складу. Простягання таких тіл також субмеридіональне, рідше північно-західне. Видима потужність дайок від 5 м до 20 м, рідше – 30 м. Діабази як на денній поверхні, так і на глибині (кern свердловин), сильно тріщинуваті, у верхній частині розрізу змінені. Орієнтація тріщин найрізноманітніша.

Між західною та східною дайками у свердловинах №№29,30 та 32 зустрінуті породи середньо-кислого складу. За польовим визначенням це гранодіорити амфібол-біотитові сірі, середньозернисті, нечіткосмугасті, міцні, тріщинуваті. Тріщини в гранодіоритах мають різний напрямок. Тіло гранодіоритів витягнуте у північному напрямку



Рис. 1.10 – Майданчик для розташування машинного залу

має орієнтовні розміри 200 x 100м.

Майданчик для розташування машинного залу має рівну поверхню (рис.1.10). Загалом – це зниження в рельєфі, для якого характерна заболоченість і відсутність відслонень гірських порід.

У західній частині низини з півдня на північ протікає безіменний струмок шириною до 5 м. При проходженні технічних каналів зафіксована наявність гальки кристалічних порід і вторинних каолінів білого забарвлення, що свідчить про наявність палеодолини субмеридіонального простягання. Кристалічні породи майданчика (свердловини №№20, 25, 27) представлені виключно милонітами, що говорить про потужну тектонічну зону субмеридіонального напрямку. Ширина зони за результатами буріння та геофізичними даними становить не менше 300 м. Свердловини №№ 26, 23, 22, розташовані на захід від майданчика також розкрили милоніти і подібні до них породи, що підтверджує наявність потужної тектонічної зони. Відтак, канал для стоку води в р. Веле проходить по тектонічній зоні північно-східного, субмеридіонального простягання.

2. МЕТОДИКА ТА АПАРАТУРА ПОЛЬОВИХ ГЕОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Обґрунтування комплексу методів геофізичних досліджень

Обґрунтуванням для застосування методів інженерної геофізики при вирішенні інженерно-геологічних завдань є наявність зв'язків між властивостями і станом досліджуваного геологічного середовища з електричним опором та полями пружних хвиль цього середовища.

Варто зазначити, що масиви скельних порід у приповерхневій частині (до 100м) досліджуваного розрізу є дуже складно побудованими геологічними середовищами, які характеризуються різкою просторовою мінливістю фізичних властивостей, недостатньою чіткістю і витриманістю меж поділу ділянок з різними властивостями, суттєвою неоднорідністю порід. Для геологічного розрізу району робіт характерна складна геологічна будова: комплекс метаморфічних порід розбитий великою кількістю розломів і пов'язаних з ними зон тріщинуватості, по яких сталося впровадження інтрузій (два цикли).

З поверхні скельний масив перекритий чохлам елювіально-делювіальних відкладів (кора вивітрювання), який характеризується різною товщиною, складною будовою як за складом, так і за властивостями порід. На досліджуваній території кристалічні породи, що складають основу (фундамент) розрізу, є опорним геоелектричним горизонтом високого опору. Вони представлені діабазами, гнейсами, діоритами, гранодіоритами, кристалосланцями.

Загалом кристалічні породи, мають високий питомий електричний опір, який змінюється від 780 до 50000 Ом·м. Монолітні та слаботріщинуваті кристалічні породи характеризуються питомими електричними опорами, що перевищують 8000 Ом·м. Питомий електричний опір тріщинуватих кристалічних порід фундаменту залежить від багатьох факторів: ступеня тріщинуватості та вивітрілості, стану тріщин, їх обводненості, мінералізації підземних вод. Згідно з матеріалами виконаних параметричних досліджень, електричний опір інтенсивно тріщинуватих вивітрілих кристалічних порід змінюється від 780 до 2000 Ом·м, тріщинуватих кристалічних порід – від 2000 до 5000 Ом·м, слабо тріщинуватих кристалічних порід – від 5 000 до 8 000 Ом·м.

Скельний масив є блоковим середовищем, що складається з різних за величиною і формою блоків порід з істотно різними пружними властивостями, а отже, і характеризуються різним середнім рівнем швидкостей поздовжніх V_p і поперечних V_s хвиль.

Блоки масиву з підвищеними значеннями V_p (більше 5000 м/с) і V_s (більше 2000 м/с), як правило, відокремлюються один від одного оточуючими їх зонами порід зі зниженими величинами швидкостей пружних хвиль, які приурочені до тектонічних порушень і зон тріщинуватості

Поблизу поверхні проявляється ефект загального та вибіркового зменшення величин V_p (менше 4000 м/с) та V_s (менше 1500 м/с) під дією факторів поверхневого вивітрювання та розвантаження. Оскільки ці фактори найбільше змінюють властивості масиву біля поверхні, їх дія поступово згасає із глибиною, то вздовж поверхні масиву утворюється зона в цілому градієнтних змін швидкостей поздовжніх і поперечних пружних хвиль.

Потужність і структура цієї зони істотно залежать від багатьох факторів, найважливішими з яких, мабуть, є склад, структура і фізико-механічні властивості порід, що складають досліджуваний масив, його напружений стан, вік, поверхневий рельєф, кліматичні умови, наявність покривних четвертинних відкладів, їх обводненість тощо. Нижня межа зазначеної зони є основною сейсмогеологічною межею в поверхневих частинах скельних масивів і, як правило, відносно чітко виділяється за наземними сейсморозвідувальними роботами.

Скельні породи перекриті товщею елювіально-делювіальних відкладів, які утворюють поверхневу товщу порід з відносно низькими значеннями V_p (менше 1000 м/с) та V_s (менше 500 м/с).

Відтак, ураховуючи конкретні інженерно-геологічні умови, диференціацію порід геологічного розрізу за фізичними властивостями, для вивчення геологічної будови території розміщення споруд ГЕС був обраний комплекс геофізичних методів, який включав наземні електрометричні та наземні і свердловинні сейсмоакустичні геофізичні дослідження.

До комплексу виконаних геофізичних робіт в районі майбутнього будівництва гідроелектростанції «Сенже» і, зокрема, ділянки «Дериваційний канал-гребля» входили:

- наземні методи досліджень (сейсморозвідка – кореляційний метод заломлених хвиль (КМЗХ) та електророзвідка – методи вертикального електричного зондування (ВЕЗ) та симетричного електропрофілювання (СЕП));

- свердловинні методи досліджень: вертикальне сейсмічне профілювання (ВСП), міжсвердловинне сейсмічне прозвучування (МСП) та метод сейсмічної томографії (МСТ).

В магістерській роботі ми зупинимося на аналізі результатів наземних електрометричних робіт методом ВЕЗ по 16 профілях (ПР 20-24, 25-28, 30, 37-41, 46) та 4 сейсмічних профілях (ПР 20,21, 22, 25) , розташованих на лівому березі р. Веле та результатах міжсвердловинного просвічування й сейсмотомографії по 6 парах свердловин (201-202, 201-203, 202-203, 36-19Б, 41-40, 41-42), розташованих також на лівобережжі р. Веле.

Для геологічного тлумачення результатів наземних геофізичних досліджень по ділянці «Дериваційний канал-гребля» використані також матеріали 28 пробурених свердловин із глибинами від 8 до 70 м, що знаходяться поблизу профілів і деякі безпосередньо на них.

При побудові схематичних карт ділянки досліджень використані також дані виконаних раніше експериментальних досліджень. Схема розташування профілів геофізичних досліджень і точок на них, а також геологічних свердловин і виробок представлена на рис. 2.1.

Задача наземних електрометричних робіт і полягала в розчленування верхньої частини розрізу на окремі шари на основі їх відмінності за питомим електричним опором, картуванні поверхні збережених кристалічних порід і виявленні ділянок кристалічних порід з підвищеною порушеністю процесами вивітрювання. Сейсмічні наземні дослідження виконані в обмеженому варіанті в комплексі з електрометричними, доповнюючи і затверджуючи дані масових електрометричних досліджень. Свердловинні сейсмоакустичні роботи спрямовані на визначення швидкостей поширення поздовжніх та поперечних пружних хвиль у кристалічних породах як для забезпечення інтерпретаційного процесу наземних сейсмічних досліджень, так і визначення на цій основі міцнісних параметрів кристалічних масивів та їх ступеня однорідності.

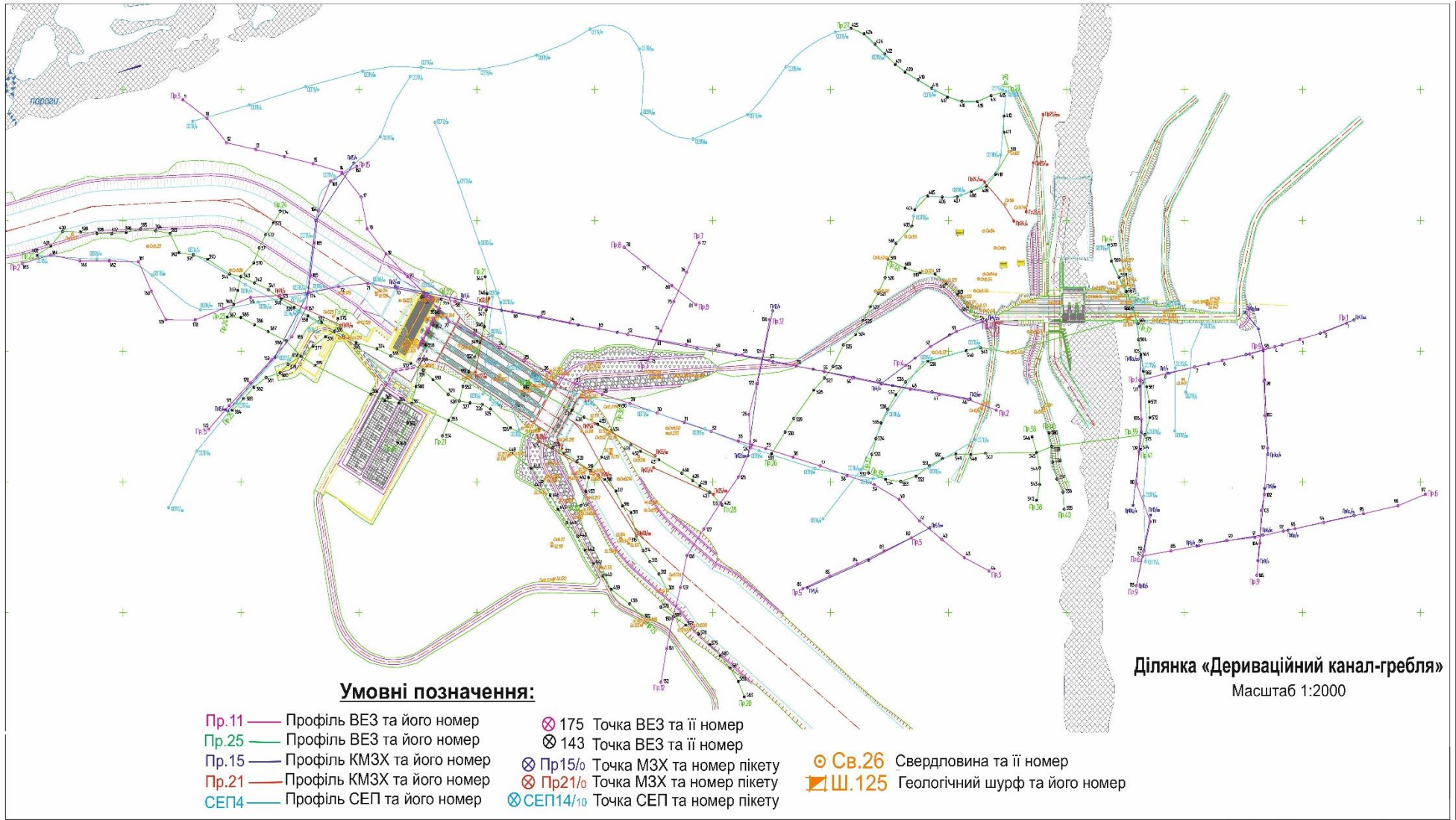


Рис. 2.1 – Схема розташування профілів і точок геофізичних досліджень та геологічних свердловин і виробок

2.2. Сейсмічні та сейсмоакустичні методи

2.2.1. Кореляційний метод заломлених хвиль

Сейсморозвідувальні дослідження кореляційним методом заломлених хвиль (Сейсмічні та сейсмоакустичні методи виконані з метою простежування глибини залягання покрівлі кристалічних порід і виділення в ній тріщинуватих і інтенсивно тріщинуватих зон.

Дослідження виконані за методикою безперервного профілювання за системою зустрічно-наганяльних годографів (фрагмент схеми спостережень методом КМЗХ представлений на рис. 2.2).

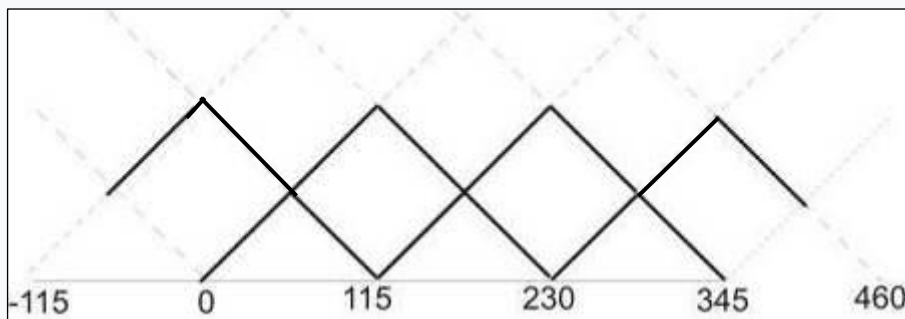


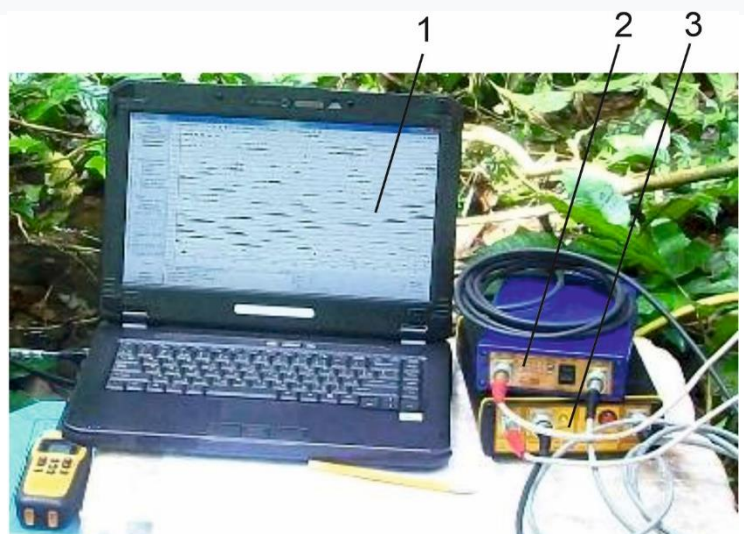
Рис. 2.2 - Схема спостережень у методі КМЗХ

Враховуючи необхідність вивчення розрізу на глибину до 20 метрів, довжина інтервалу простежування заломленої хвилі становила 115-230 м. Кожна стоянка сейсмоприймачів відпрацьовувалася з 4 пунктів збудження, відстань між сейсмоприймачами складала 3-5 м.

Збудження пружних коливань здійснювалося ударним способом за допомогою кувалди. Реєстрація хвильової картини виконана цифрою сеймостанцією "Лакколіт Х-МЗ" (рис. 2.3).

Рис. 2.3 – Цифрова сейсморозвідувальна станція «Лакколіт Х-МЗ»:

1 – блок управління та візуалізації; 2 – блок живлення; 3 – блок реєстрації



2.2.2. Свердловинні сейсмічні методи досліджень

Вертикальне сейсмічне профілювання (ВСП), міжскважинне сейсмічне прозвучування (МСП) та міжскважинна сейсмічна томографія (МСТ) виконані апаратурою німецьких фірм Geotomographie GmbH та DMT GmbH & Co. KG, до комплексу якої входять (рис. 2.3):

а) пульт керування (RCU); б) високовольтний блок живлення випромінювачів пружних хвиль (IPG 1005); в) джерела Р-хвиль (SBS-42); г) джерело S-хвиль (BIS-SH); д) сейсмоприймачі Р-хвиль; е) сейсмоприймач S-хвиль з магнітним компасом та пневматичним притиском; ж) 24-канальна цифрова сеймостанція SUMMIT X Stream Pro.

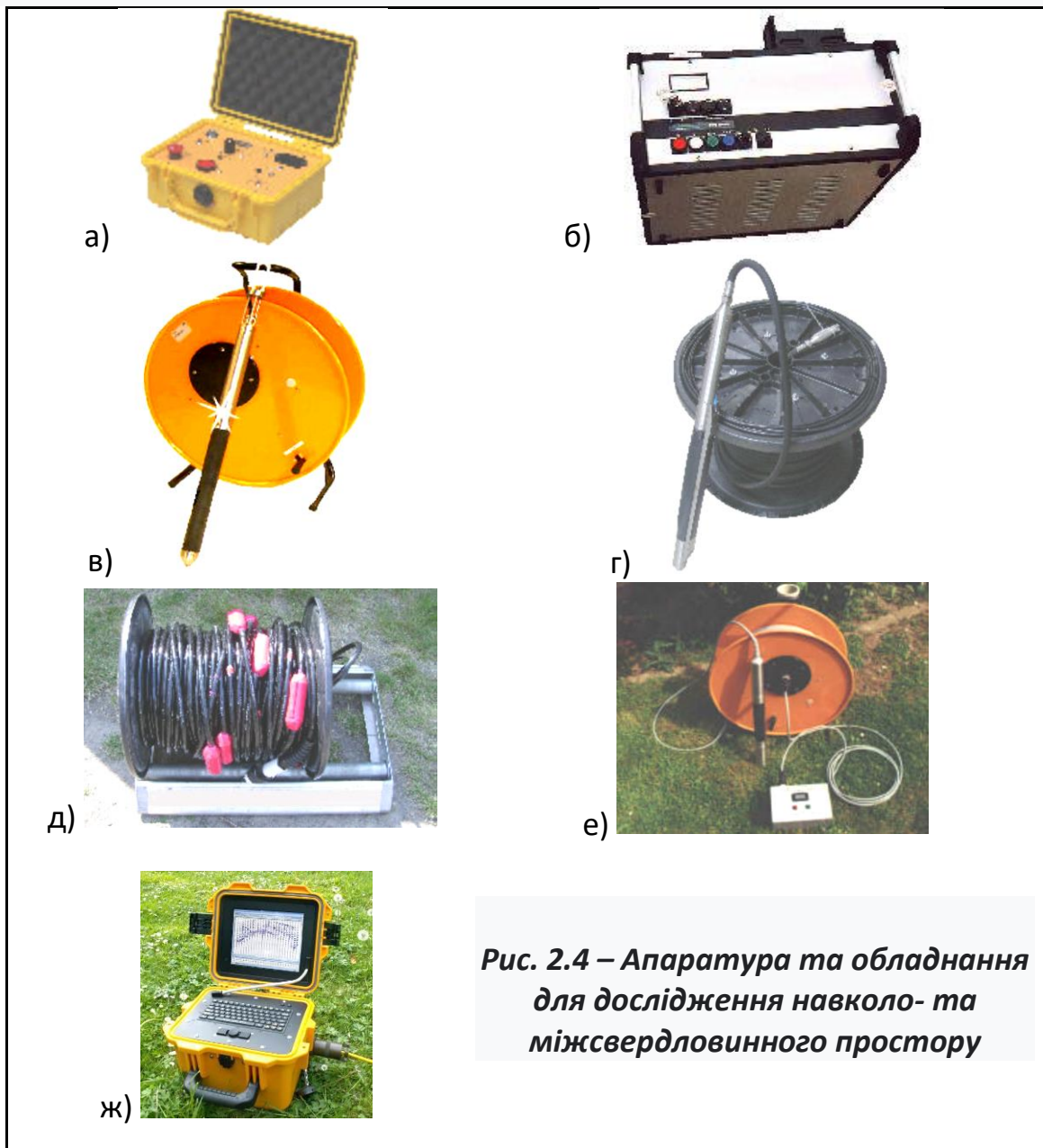


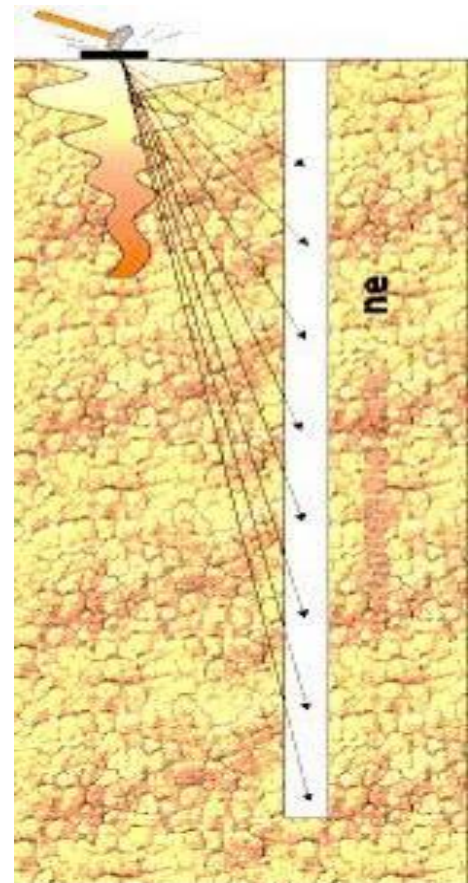
Рис. 2.4 – Апаратура та обладнання для дослідження навколо- та міжсвердловинного простору

Сейсмоакустичні дослідження у свердловинах виконані для детального вивчення швидкісних характеристик ґрунтів навколосвердловинного, а також ґрунтів міжсвердловинного простору з метою уточнення літологічного розчленовування розрізу та розрахунку деформаційних та міцнісних властивостей ґрунтів у масиві.

Дослідження ВСП, МСП та МСТ виконані у свердловинах діаметром 112÷132 мм, спеціально обладнаних і заповнених водою.

Вертикальне сейсмічне профілювання проведено за стандартною схемою прозвучування: денна поверхня – свердловина (рис.2.5). За свердловинного приймача використовувався спеціальний 3-х компонентний сейсмоприймач, який дозволяє реєструвати одну вертикальну (Z) і дві горизонтальні (X, Y) складові пружних коливань. Реєстрація сейсмічного сигналу здійснювалася 24-канальною цифровою сеймостанцією SUMMIT X Stream Pro в режимі накопичення сейсмічного сигналу на відкритому каналі з часовим кроком дискретизації сигналу 0,125÷0.25 мс.

**Рис. 2.5 – Схема спостережень
у методі ВСП**



Міжсвердловинне сейсмічне прозвучування (МСП) здійснювалося за схемою горизонтального прозвучування, при синхронному переміщенні джерела та приймача пружних хвиль одночасно з кроком 1 м по глибині (рис. 2.6).

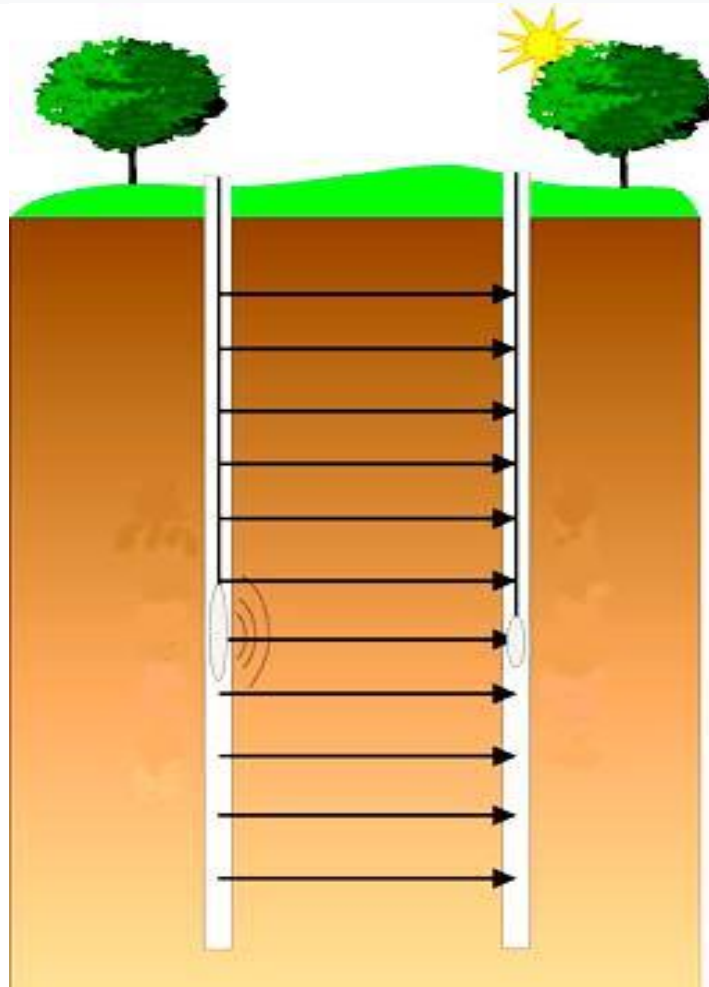


Рис. 2.6 – Схема спостережень у методі МСП

Реєстрація сейсмічного сигналу здійснювалася 24-канальною цифровою сейсмостанцією SUMMIT X Stream Pro в режимі накопичення сейсмічного сигналу на відкритому каналі з часовим кроком дискретизації сигналу $0,0625 \div 0.25$ мс.

Для збудження пружних коливань використовувалися 2 джерела: "SBS-42" – для збудження поздовжніх хвиль (P-хвиль); "BIS-SH" – для збудження поперечних хвиль (S-хвиль).

Методика міжсвердловинної сейсмічної томографії полягала в збудженні пружних коливань в одній свердловині та їх реєстрації в іншій. З метою досягнення

максимальної густоти ліній прозвучування і більш повного за кутовими координатами покриття ними досліджуваної області (одне з важливих критеріїв якості розв'язання томографічної задачі) була використана зустрічна віялова система спостережень (рис. 2.7). Практично дана система реалізується послідовним переміщенням джерела вздовж усього досліджуваного інтервалу глибин (від вибою до гирла свердловин) із заданим кроком (крок приймання) при фіксованому положенні гірлянди з 12 приймачів пружних коливань. Такі спостереження повторювалися для різних положень гірлянди фіксованих приймачів, які переміщувалися стовбуром свердловин з обраним кроком збудження. В результаті зареєстрована серія вертикальних хвильових полів, яка відповідає сітці променів, що рівномірно покривають досліджуваний міжсвердловинний простір.

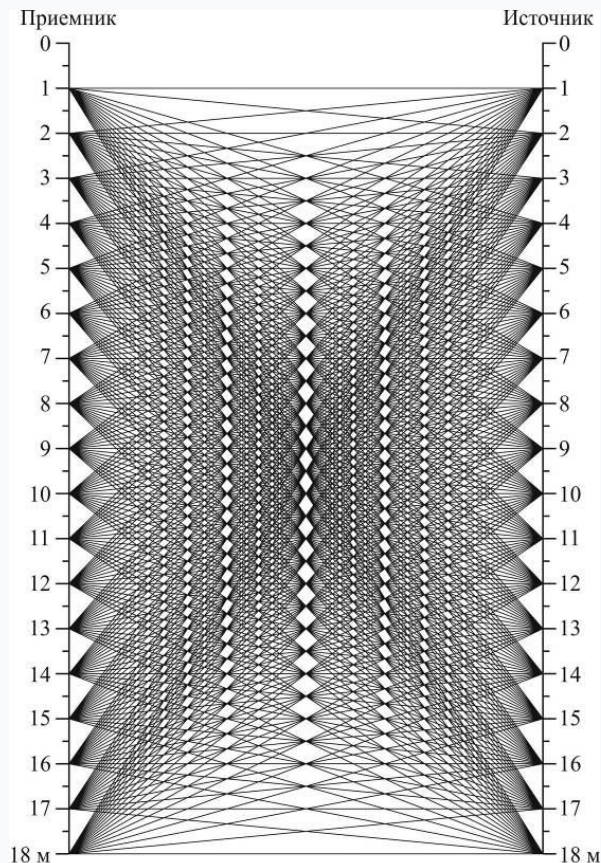


Рис. 2.7 – Схема спостережень у методі МСТ

Основні параметри системи спостережень (крок спостереження, крок збудження) вибиралися з урахуванням сейсмогеологічних особливостей ділянки і ступеня детальності досліджень. При міжсвердловинному прозвучуванні крок приймання становив 1 м, крок збудження – 1 м.

Реєстрація сейсмічного сигналу здійснювалася 24-канальною цифровою сейсмостанцією SUMMIT X Stream Pro в режимі накопичення сейсмічного сигналу на відкритому каналі з часовим кроком дискретизації сигналу $0,0625 \div 0.25$ мс.

Збудження пружних хвиль при виконанні сейсмічної томографії виконувалося невибуховим електрогідравлічним джерелом сейсмічних хвиль «SBS-42», потужність якого складала 1 кВт.

2.3. Методи наземної електрометрії

Методи наземної електрометрії включали методи опору – вертикальні електричні зондування (ВЕЗ) та симетричне електричне профілювання (СЕП).

Вертикальне електричне зондування (ВЕЗ) виконано на окремих профілях з метою геоелектричного розчленування розрізу і виділення непорушених і тріщинуватих зон у кристалічних породах. Відстань між точками ВЕЗ складала 25 м. Для польових електрометричних вимірювань застосовувалася симетрична установка Шлюмберже з початковими розносами $AB/2=3$ м (рис. 2.8).

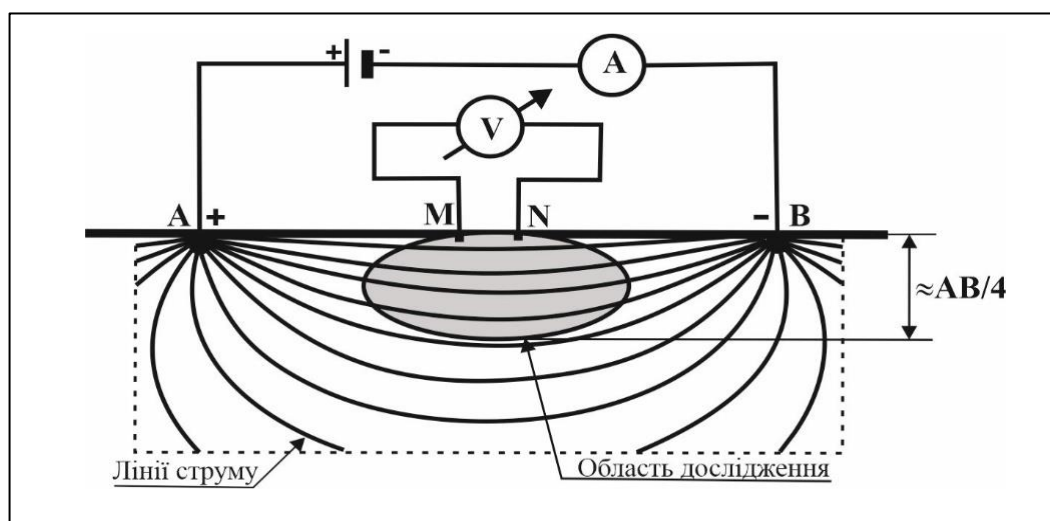
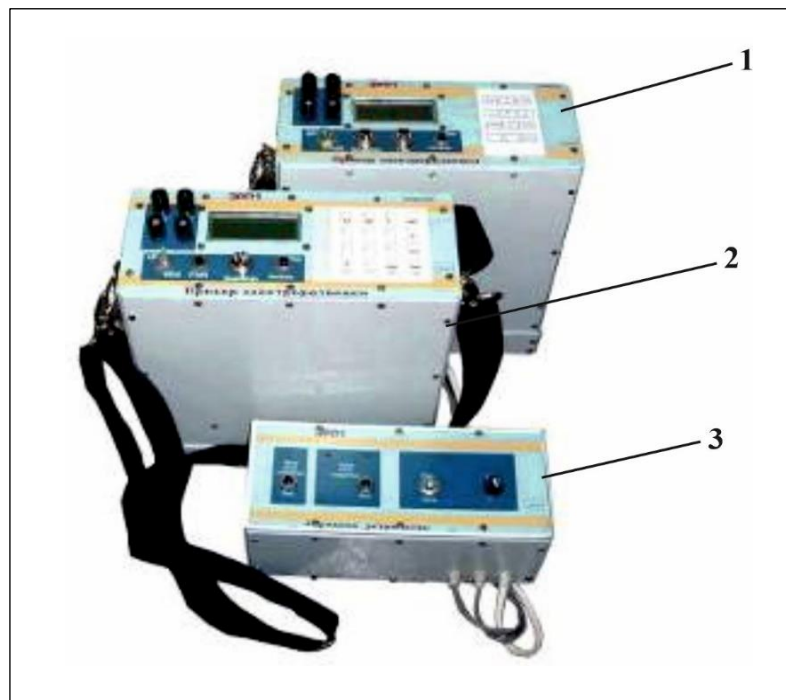


Рис. 2.8 – Схема вимірювань у методі ВЕЗ

З метою забезпечення детального вивчення розрізу обрані наступні напіврозноси лінії АВ: 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 12, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150, 175, 225 м .

Вимірювання виконувалося за допомогою комплекту апаратури ЕРП-1 (рис. 2.9). Для заземлення струмової лінії АВ використовувалися залізні штирьові електроди, а вимірювальної лінії MN – латунні штирьові електроди.



**Рис. 2.9 – Комплект електророзвідувальної апаратури ЕРП-1:
1 - генератор; 2 – вимірювач; 3 – зарядний пристрій**

Електророзвідка в модифікації симетричного електропрофілювання (СЕП) призначалася для детального геоелектричного вивчення території досліджень по латералі, насамперед, для виявлення тектонічних порушень та зон підвищеної тріщинуватості кристалічних порід.

СЕП виконано дворозносною установкою АА'МNB'В. Дві пари живильних заземлень дозволяють виконувати на одному пікеті профілю два вимірювання уявного опору (ρ_y) з різними розмірами живильної лінії АВ. Відтак, дворозносною установкою з різними розмірами лінії АВ отримують одночасно два профільні

графіки ρ_{γ} . Оскільки зі зміною розносів живлення змінюється глибина проникнення струму в землю, два виміри уявного опору і два графіки ρ_{γ} характеризують геологічний розріз на різних глибинах. Співвідношення між довжинами великої та малої лінії живлення вибирають, виходячи з конкретних геологічних умов. Такі дослідження підвищують інформативність електропрофілювання, дозволяючи робити висновки про характер зміни геологічного розрізу у вертикальному напрямку, а отже, і про природу аномалій. При спільному аналізі графіків на різних розносах істотно підвищується однозначність геологічної інтерпретації результатів профілювання. Істотне значення має випадок, коли графік, отриманий установкою з меншою живильною лінією $A'B'$, чітко відображає зміну електричних властивостей покривних відкладів. У зв'язку із цим дворозносне електропрофілювання рекомендується застосовувати в районах з неоднорідною за потужністю та опором покривної товщею.

Враховуючи досить складний характер рельєфу ділянки робіт, польові роботи методом дворозносного електропрофілювання виконані в профільно-площовому варіанті з максимальним використанням існуючих профілів, стежок та долини річки. Відстань між точками СЕП становила 10 м зі згущенням до 5 м у зонах різкої зміни уявного опору.

3. ОБРОБКА ТА АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

Обробка та інтерпретація польових матеріалів здійснювалася за допомогою спеціальних програм, з урахуванням даних буріння.

3.1. Обробка та інтерпретація даних сейсмозвідувальних досліджень

Як зазначено вище поблизу денної поверхні під дією факторів поверхневого вивітрювання та розвантаження проявляється ефект загального та вибіркового зменшення швидкості поздовжніх та поперечних пружних хвиль ($V_p < 4000$ м/с та $V_s < 1500$ м/с). Потужність і структура такої зони зі зменшеними швидкостями пружних хвиль істотно залежать від багатьох факторів: складу, структури і фізико-механічних властивостей порід досліджуваного масиву, його напруженого стану, віку, поверхневого рельєфу, кліматичних умов, наявності покривних четвертинних відкладів, їх обводненості тощо. Нижня межа зазначеної зони є основною сейсмогеологічною межею в поверхневих частинах скельних масивів, зокрема основною заломлювальною межею. У зв'язку із цим під час налізу даних методу КМЗХ ця межа була основним об'єктом картування. Задача методу КМЗХ полягала у визначенні її просторового положення та визначення швидкості поширення пружних хвиль у підстильних під цією межею гірських породах, як інформативного параметра для оцінки ступеня порушеності (чи міцності) масиву гірських порід.

З огляду на відмічене, під час інтерпретації даних КМЗХ була використана модель двошарового розрізу – верхній шар з пониженими значеннями середньої швидкості поширення пружних коливань, який підстиляється масивом порід з підвищеними швидкостями пружних коливань.

Для побудови заломлювальної межі вдоль профілю застосовувався спосіб t_0 (Вижва С. А. та ін., 2018). Для цього на основі взаємозустрічних систем спостережень (рис. 2.1) отримувалися вздовж усієї лінії профілю два зустрічні годографи, ув'язані у взаємних точках – точках розташування двох крайніх пунктів

збудження. У результаті на інтервалі взаємного перекриття цих годографів розраховувалося значення часу t_0 (отримувалася лінія t_0) згідно з алгоритмом

$$t_0(x) = \vec{t}_1(x) + \vec{t}_2(x) - T, \quad (3.1)$$

де $\vec{t}_1(x)$ і $\vec{t}_2(x)$ - час приходу прямої і зворотної заломлених пружних хвиль у точку x інтервалу перекриття; T – взаємний час (час приходу пружних коливань прямої і зворотної хвилі у пункти збудження). Після цього ехо-глибина до заломлювальної межі поділу визначалася за формулою

$$h(x) = \frac{t_0(x) \cdot V_{\text{сеп}} \cdot V_M}{2\sqrt{V_M^2 - V_{\text{сеп}}^2}}, \quad (3.2)$$

де $V_{\text{сеп}}$ і V_M – відповідно середня швидкість поширення сейсмічних хвиль у верхній покривній товщі й межева швидкість, з якою поширюється пружна хвиля вздовж межі поділу у нижній заломлювальній товщі. Межева швидкість V_M визначалася за різницеvim годографом $\theta(x)$:

$$\theta(x) = \vec{t}_1(x) - \vec{t}_2(x) + T. \quad (3.3)$$

За умови малих кутів нахилу (φ) заломлювальної межі ($\varphi \leq 20^\circ$) – умови, яка здебільшого на практиці виконується, формула для визначення межевої швидкості має вигляд

$$V_M = 2 \cos \varphi \frac{\Delta \theta}{\Delta x} \approx 2 \frac{\Delta x}{\Delta \theta}. \quad (3.4)$$

Середня швидкість у покривній товщі $V_{\text{сеп}}$ визначалася за наявними поблизу від профілю свердловинами згідно з формулою

$$V_{\text{сеп}} = \frac{2hV_M}{\sqrt{t_0^2 V_M^2 + 4h^2}}, \quad (3.5)$$

де h – глибина до заломлювальної межі за даними буріння; V_M – межева швидкість (визначається за годографом); t_0 – значення t_0 (визначається за годографом). Середню швидкість можна наближено оцінити також і за годографом прямої хвилі (лінійна залежність), який фіксується на малих відстанях від пункту збудження.

Обробка й інтерпретація сейсмозвідувальних матеріалів виконувалася на

ПК з використанням програми RadExPro за допомогою модуля Easy Refraction (розробник – ТОВ «Деко-геофізика СК», Московський державний університет ім. М.В. Ломоносова). На рис. 3.1 показаний вид графа обробки експериментальних даних у програмі RadExPro.

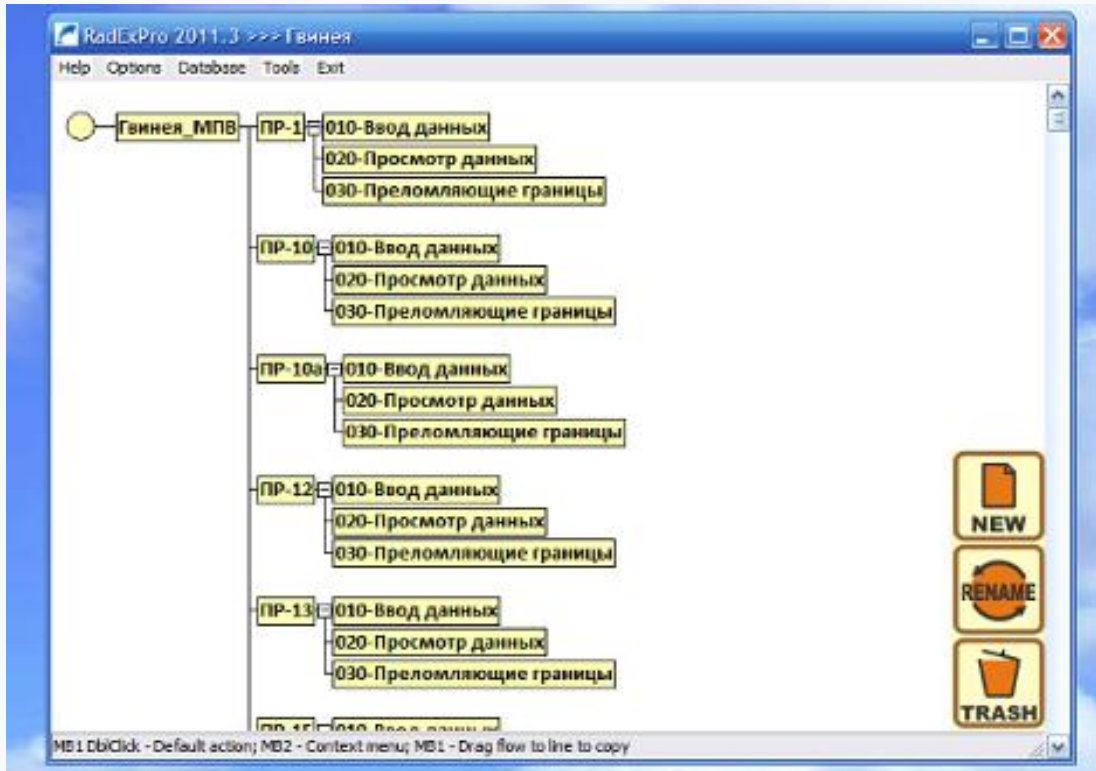


Рис. 3.1 – Видяг графа обробки даних КМЗХ у програмі «RadExPro»

У процесі обробки виконувалося завантаження як польових даних по кожному профілю, так і даних геометричних параметрів експерименту, а також виконувалася кореляція перших вступів, побудова годографів, виділення інтервалів годографів, що відповідають різним шарам та отримання глибини залягання заломлювальної межі згідно з описаним вище алгоритмом (рис. 3.2).

Основною заломлювальною межею в районі досліджень є поверхня відносно монолітних кристалічних порід. В результаті обробки та інтерпретації матеріалів сейсмозвідки будувалися сейсмічні розрізи по окремих профілях, на яких відображалася ця межа поділу. За середньозваженими значеннями межевої швидкості по покрівлі кристалічних порід виділені інтервали зі зниженими та низькими значеннями швидкості поширення поздовжніх хвиль, які відповідають

тріщинуватим та інтенсивно тріщинуватим зонам. Приклад такого розрізу наведений на рис. 3.3.

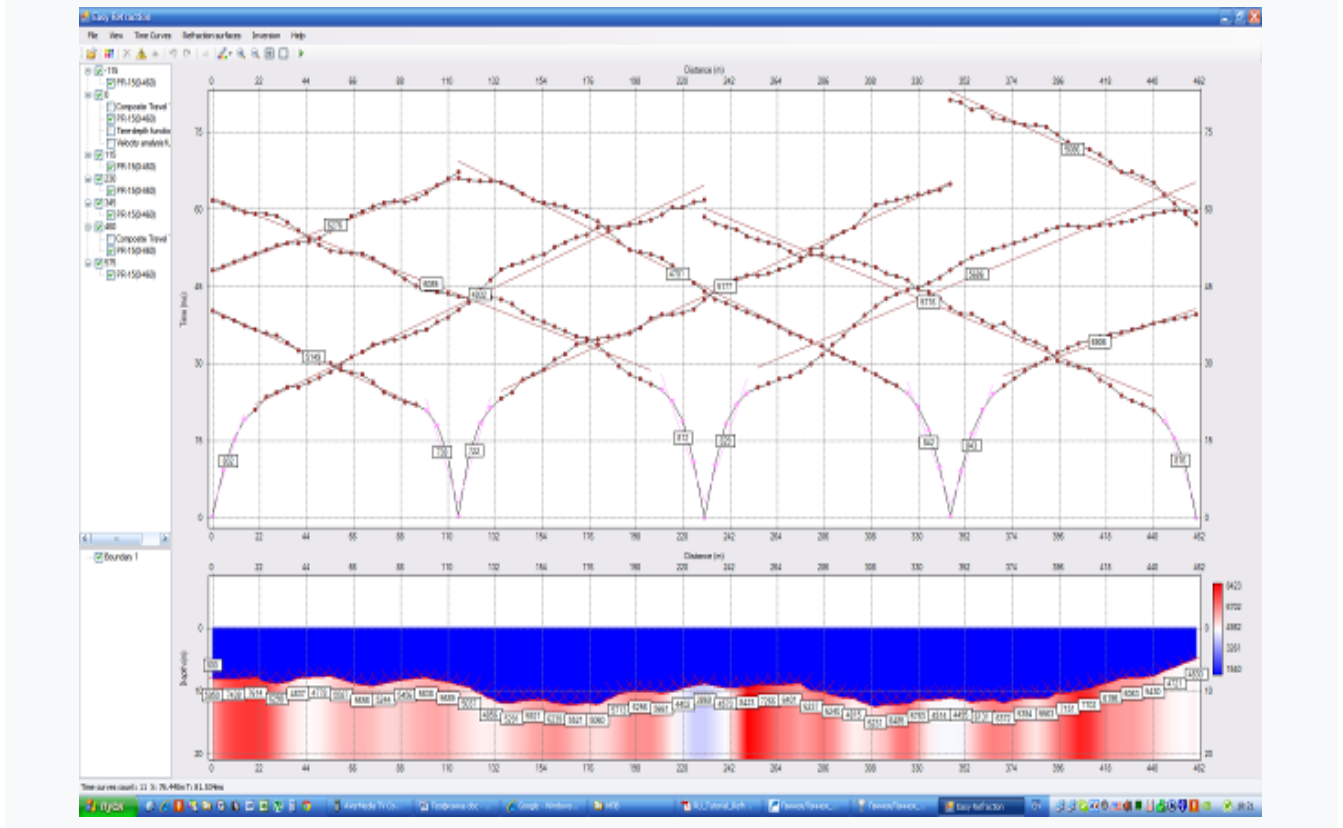


Рис. 3.2. - Приклад інтерпретації експериментальних даних сейсмічних досліджень у програмі «RadExPro»



Рис. 3.3 – Приклад сейсмічного розрізу, побудованого за даними КМЗХ

Камеральна обробка матеріалів міжсвердловинного просвічування (МСП) виконана на ПК за допомогою пакетів програм RadExPro (ТОВ «Деко-геофізика»,

м. Москва, Росія), GeoTomCG (Geotomographie, м. Нойвід, Німеччина) та ReflexW 2D (Sandmeier Scientific Software, м. Карлсруе, Німеччина). В результаті обробки та інтерпретації матеріалів сейсмоакустичних досліджень у свердловинах (методів міжсвердловинного просвічування (МСП) та сейсмічної томографії (МСТ) отримувалися дані про розподіл із глибиною швидкостей поздовжніх (V_p) та поперечних (V_s) хвиль (рис. 3.4).

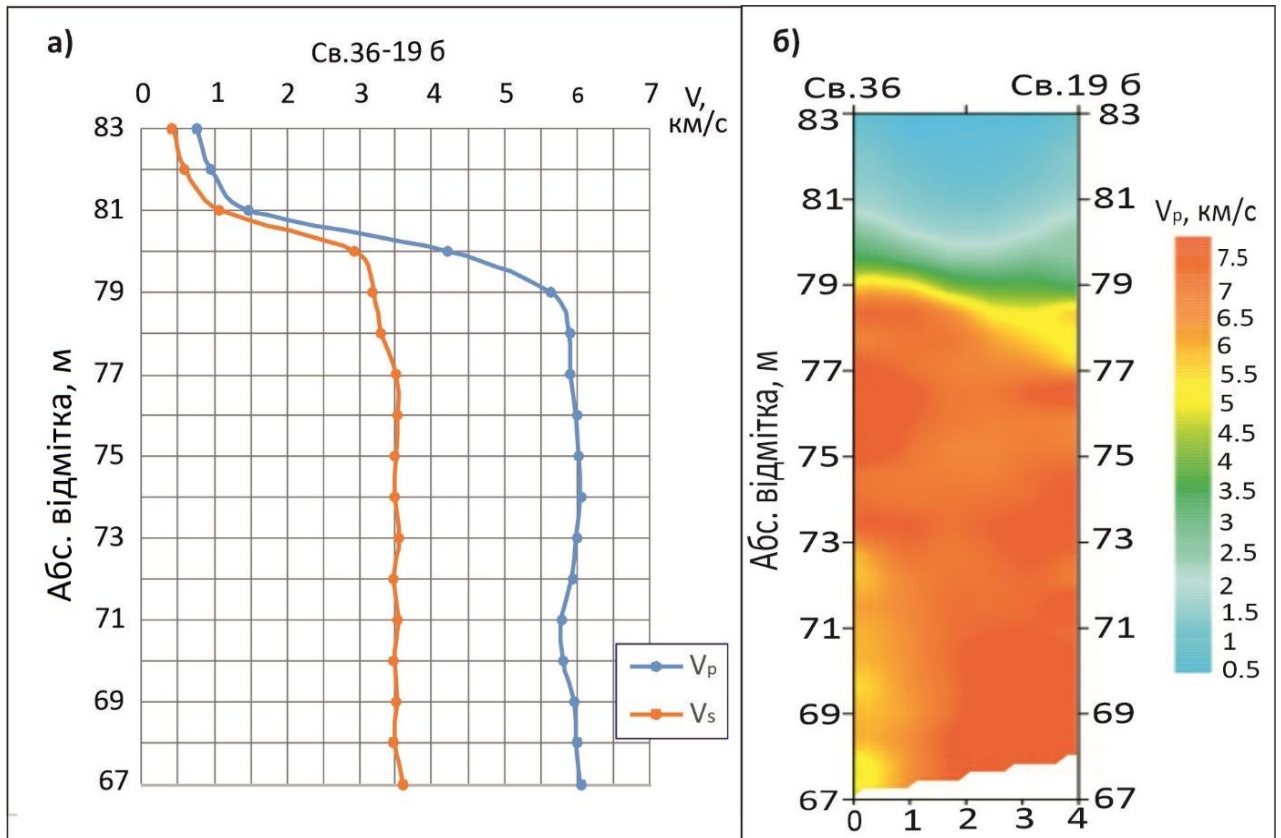


Рис. 3.4 – Приклад обробки даних сейсмоакустичних досліджень:
а) – глибинна зміна V_p й V_s за даними МСП; б) – швидкісний розріз за даними МСТ.

Використовуючи значення швидкостей Р- і S-хвиль, а також дані про густину порід, що складають розріз досліджуваних свердловин, у кінцевому результаті розраховуються динамічні пружно-деформаційні характеристики порід, такі як модуль Юнга (E), коефіцієнт Пуассона (μ), модуль зсуву (G) модуль об'ємного розширення (стиснення, K) (Гурвич, Боганик, 1980; Сейсморазведка, 1981; Продайвода, Трипільський, Чулков, 2008; Вишва та ін., 2018). На основі цих характеристик розраховуються такі важливі пружно-деформаційні параметри

гірських порід як статичний модуль пружності (E_c), модуль загальної деформації (E_0), межа міцності на одновісне стиснення (σ_{ct}), коефіцієнт міцності породи (f) та питома зчеплення (C). Нижче наведемо розрахункові формули зазначених пружно-деформаційних характеристик:

а) модуль Юнга (поздовжньої пружності) -
$$E = \frac{\rho V_s^2 (3V_p^2 - 4V_s^2)}{V_p^2 - V_s^2}, \quad (3.6)$$

б) коефіцієнт Пуассона (поперечного стиснення) -
$$\mu = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)}, \quad (3.7)$$

в) модульз сугу -
$$G = \rho V_s^2, \quad (3.8)$$

г) модуль об'ємного розширення (всебічного стиснення) -

$$K = \rho \left(V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right). \quad (3.9)$$

д) статичний модуль пружності (Зінченко, 2005) -
$$E_c = 0,35E^{1,14}, \quad (3.10)$$

е) модуль загальної деформації:

для жорств'яних, щибенистих, крупноуламкових ґрунтів (Бондарев В.И.)

$$E_0 = -16 + 0,1E, \quad (3.11)$$

для скельних порід (Воронков О.К.)

$$\lg E_0 = 1,14 \cdot \lg E - 0,75, \quad (3.12)$$

є) межа міцності на одновісне стискання
$$\sigma_{ct} = \rho V_s^2 / C, \quad (3.13)$$

де C – коефіцієнт, що залежить від петрографічних особливостей породи (для району робіт $C=150$),

ж) коефіцієнт міцності породи
$$f = 0,1\sigma_{ct}, \quad (3.14)$$

з) питома зчеплення
$$C = 1,9 \cdot 10^{-5} G + 0,00435. \quad (3.15)$$

У наведених співвідношеннях ρ - об'ємна густина порід; V_p – швидкість поздовжніх пружних хвиль; V_s – швидкість поперечних пружних хвиль.

3.2. Обробка та інтерпретація даних електрометричних досліджень

Камеральна обробка електророзвідувальних матеріалів здійснювалася у два етапи. На першому етапі була виконана якісна інтерпретація даних ВЕЗ.

3.2.1. Якісна інтерпретація даних електрометричних досліджень

На етапі якісної інтерпретації даних електрометричних досліджень побудовані криві ВЕЗ (приклад наведений на рис. 3.5), необхідні графіки, з використанням кривих електрозондування та даних електропрофілювання побудовані карти ізометричного опору ρ_y для різних фіксованих розносів лінії АВ – карти-зрізи уявного опору (приклад наведений на рис. 3.6), побудовані вертикальні розрізи уявного опору ρ_y по 16 профілях (приклад наведений на рис. 3.7), а також підготовлені криві ВЕЗ для їх кількісної інтерпретації.

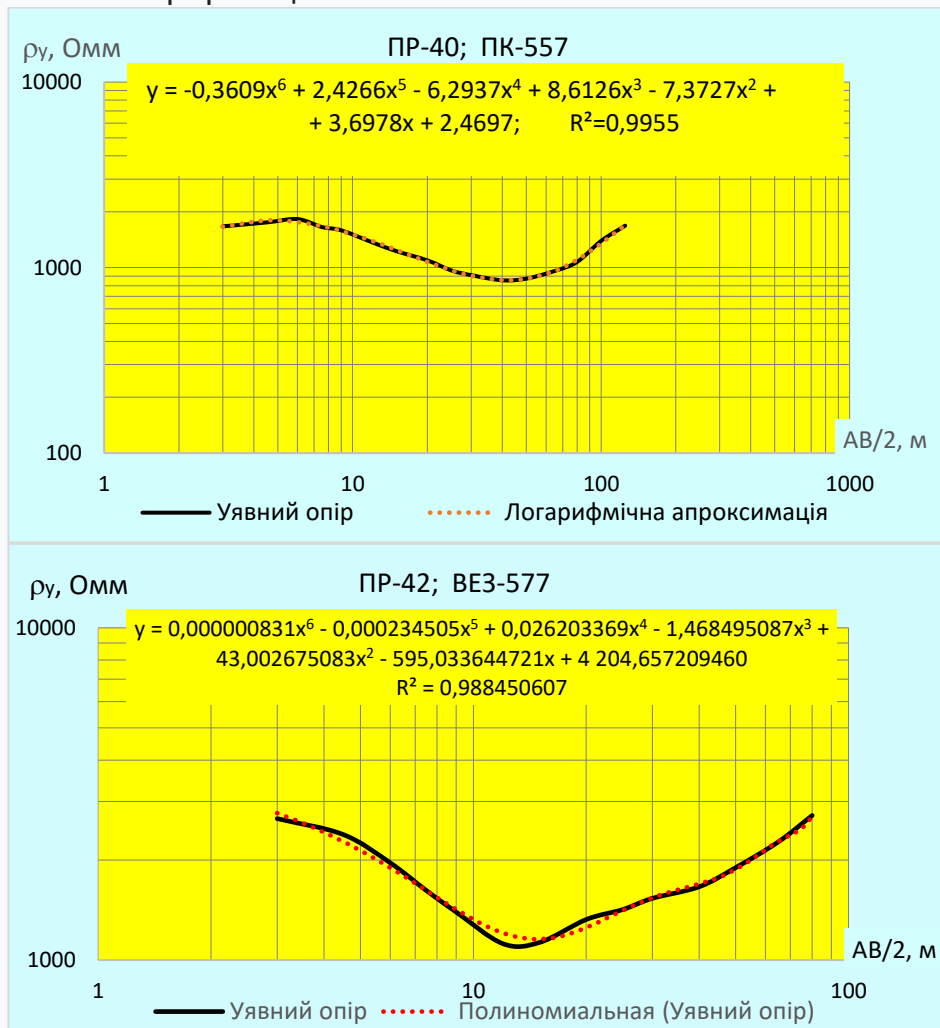


Рис. 3.5 – Приклади кривих ВЕЗ та їх поліноміальної апроксимації

Карти ізоом уявних опорів відображають площову зміну ефективного опору за відносно фіксованої глибини зондування (при фіксованому розносі установки). Для вибору «горизонтального зрізу» зазвичай використовують криві уявного опору та дані електропрофілювання на відповідних розносах. На картах ізоом об'єкти високого чи низького питомого опору відмічаються або витягнутими або локальними аномаліями (рис. 3.5). Доречно будувати дві чи декілька карт для різних розносів установки (різних ефективних глибин), щоб відновити картину розподілу аномальних зон у просторі. У межах ділянки «Дериваційний канал-гребля» побудовані карти-зрізи уявного опору на п'яти розносах лінії АВ – 12, 20, 40, 80, 130 м (рис. А.1-А.5 додатка А).

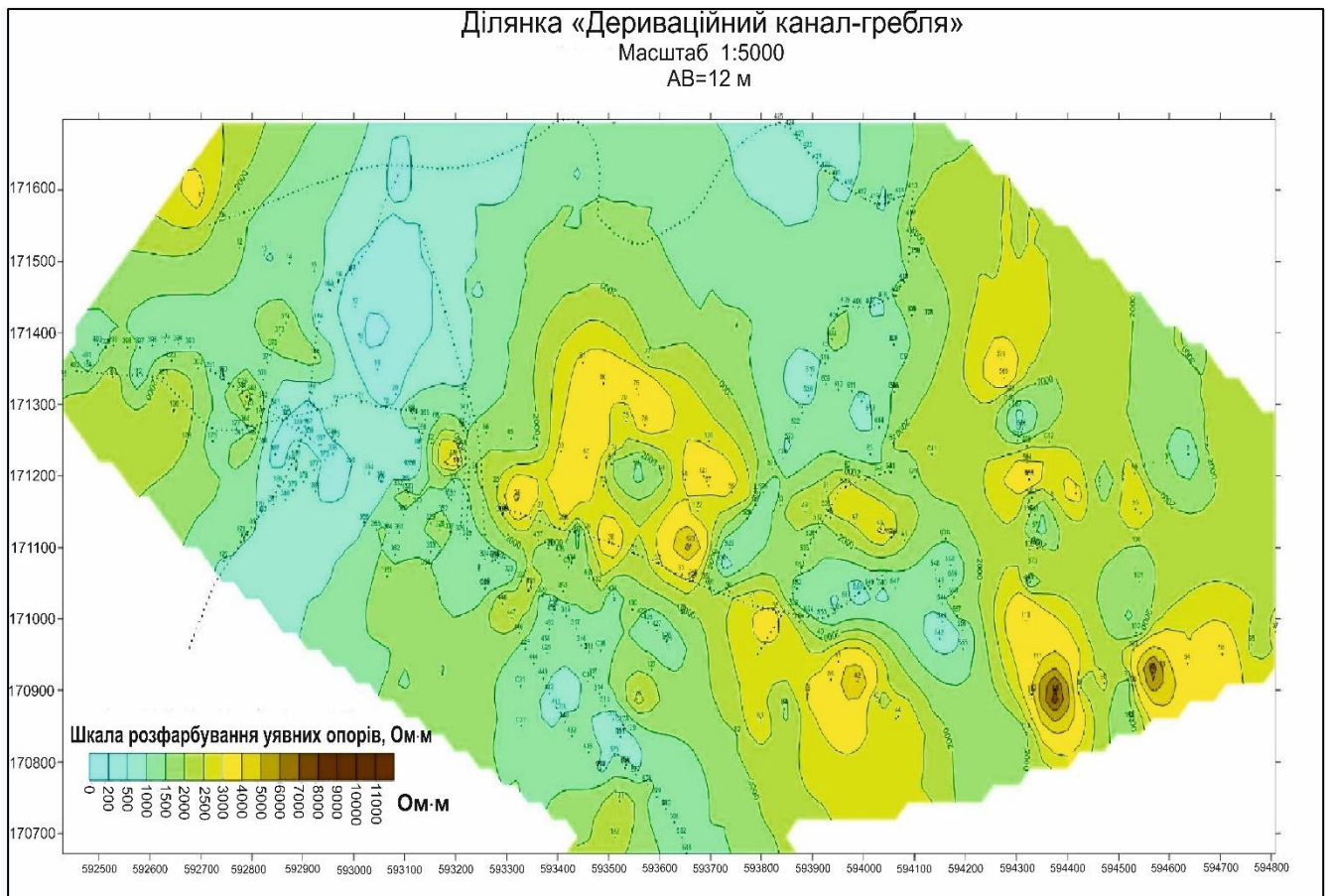


Рис. 3.6 – Карта-зріз уявного опору для розносу АВ=12 м

Під час якісної інтерпретації також одним із поширених способів візуалізації результатів зондування є побудова розрізів уявних опорів, уявних провідностей,

диференціальних уявних опорів, вертикальних чи горизонтальних нормованих похідних та ін. (Ляховицкий и др., 1989; Хмелевской, 1984; Огильви, 1990; Горяинов и др., 1985). Мета побудови якісних розрізів полягає в тому, щоб до проведення кількісної інтерпретації розглянути особливості зміни електричних властивостей розрізу вздовж профілю й на різних ефективних глибинах.

При побудові зазначених розрізів на горизонтальній проекції профілю відмічають точки спостереження, а по вертикалі, зазвичай в логарифмічному масштабі – ефективні глибини $z_{\text{эф}}$ чи пропорційну їм діючу відстань (у разі вертикальних електричних зондувань – піврознос живильної лінії $AB/2$). Під кожною точкою спостереження виписують значення параметрів і проводять ізолінії рівних уявних опорів (ізоом) чи уявних провідностей (ізосім). Вертикальний масштаб глибин у разі детальних робіт доцільно зробити арифметичним. Для більшої виразності таких розрізів вони можуть бути розфарбованими з різною кольоровою тональністю відповідно до шкали розфарбування значень відповідних параметрів.

За результатами геоелектричних досліджень методом ВЕЗ у межах ділянки «Дериваційний канал - гребля» проектної території будівництва ГЕС Сенже побудовані *вертикальні розрізи уявного опору* по 16 профілях (рис. В.4-В.19 додатка В). Приклад вертикального розрізу уявного опору наведений на рис. 3.7.

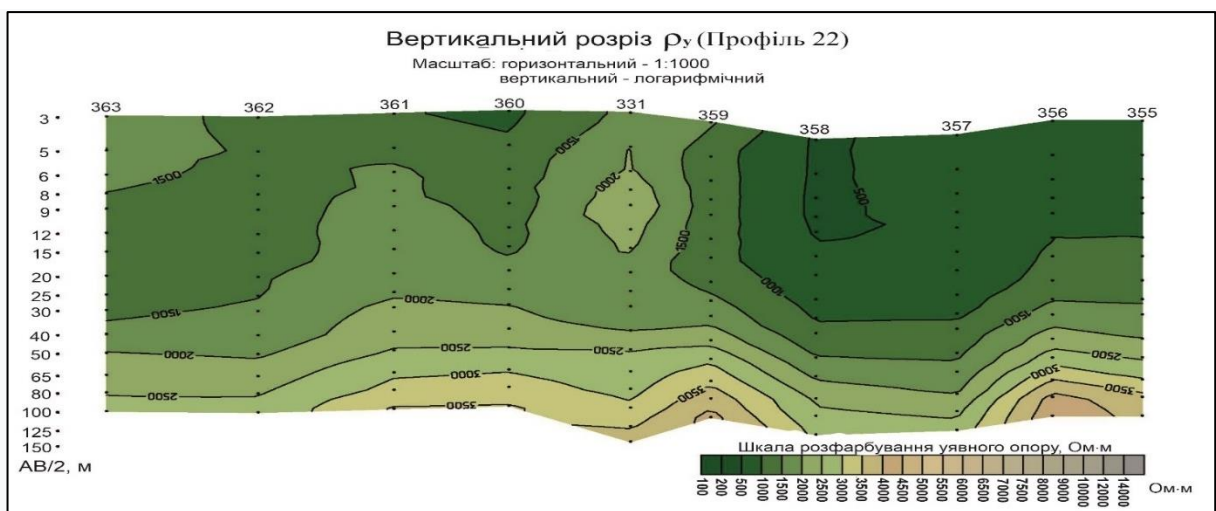


Рис. 3.7 – Вертикальний розріз уявного опору вздовж профілю 22

На розрізах уявних опорів можна встановити зони розповсюдження високоомних і провідних шарів, напрямки падіння шарів розрізу, виділити підняття, западини, а також локалізувати аномалії, пов'язані з розломами, контактами, рудними покладами, карстовими порожнинами та іншими об'єктами. Розрізи ρ_y використовують також на проміжному етапі обробки матеріалів для коригування і згладжування даних вимірювань і побудови нормалізованих кривих зондування без розривів і перекриттів.

Під час підготовки кривих зондувань до кількісної інтерпретації в деяких випадках була застосована процедура їх попередньої поліноміальної апроксимації. Необхідність такої процедури продиктована тим, що верхня частина розрізу в районі досліджень є досить неоднорідною, що нерідко призводить до спотворення кривих ВЕЗ, яке проявляється в наявності на кривих різких незакономірних змін уявного опору, «деренчанню» кривих на певних інтервалах розносів та ін. Відтак ці спотворення погіршують інформаційну виразність кривих електронзондувань, зумовлену шаруватою складовою геоелектричного розрізу. Попередня поліноміальна апроксимація є нестандартною процедурою і на наше переконання дозволяє регуляризувати експериментальні криві щодо приведення їх до виду більш відповідного шаруватій моделі розрізу. Поліноміальна апроксимація експериментальних кривих ВЕЗ в районі досліджень виявилася застосовною у зв'язку з помірною вертикальною диференційованістю геоелектричного розрізу (кількість шарів не більше чотирьох).

Поліноміальна апроксимація кривих електронзондувань (в деяких випадках аж до 6 порядку) використовувалася двох видів – звичайна

$$\rho_y(r) = \sum_{k=0}^n a_k r^k \quad (3.16)$$

й логарифмічна

$$\ln \rho_y(r) = \sum_{k=0}^n a_k (\ln r)^k, \quad (3.17)$$

де $n \leq 6$. Апроксимація логарифмічними поліномами часто більш ефективна,

оскільки криві ВЕЗ в логарифмічному зображенні мають більшу гладкість. На рис. 3.4 наведені приклади такої апроксимації.

3.2.2. Кількісна інтерпретація даних електрозондувань

На другому етапі виконано пошарову *кількісну інтерпретацію* матеріалів параметричних і рядових ВЕЗ.

За допомогою двошарових і допоміжних палеток фірми Шлюмберже з урахуванням параметричних спостережень та апріорної геологічної інформації про геологічний розріз складені початкові моделі геоелектричного розрізу для кожної точки ВЕЗ. Кількісна інтерпретація кривих ВЕЗ здійснювалася за програмою IPI2Win. На рис. (3.8) показаний вигляд головного вікна програми IPI2Win.

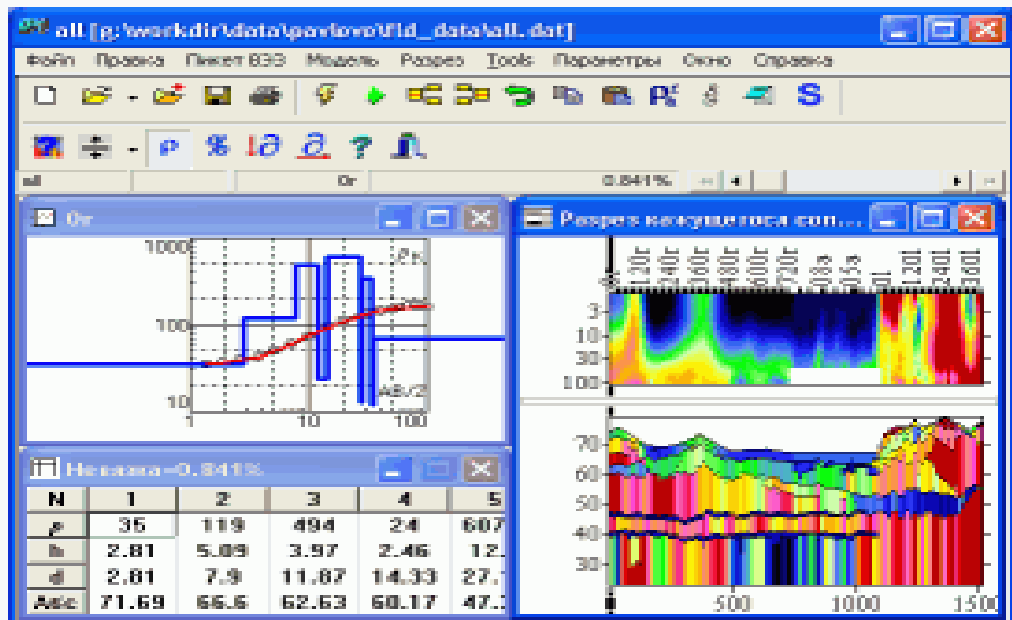


Рис. 3.8– Вигляд головного вікна програми IPI2Win

Кількісна інтерпретація кривих вертикальних електричних зондувань реалізована способом автоматизованого підбору з використанням, як вище зазначено, програми IPI2Win. Основу даної програмної розробки складає алгоритмічна реалізація ітераційної процедури послідовної корекції вектора параметрів розрізу $\mathbf{p} = \{\rho_1, h_1, \rho_2, h_2, \dots, \rho_{n-1}, h_{n-1}, \rho_n\}$, шляхом мінімізації квадратичного функціоналу відхилення

$$\delta(\mathbf{p}) = \sum_{j=1}^M \left[\frac{(\rho_{y,j} - \rho_{y,j}^T)}{\rho_{y,j}^T} \right]^2 = \min, \quad (3.18)$$

де n – кількість шарів у розрізі; $(\rho_i, i=1,2,\dots, n)$, $(h_i, i=1,2,\dots, n-1)$ – питомі опори й товщини шарів модельного розрізу відповідно; M – кількість точок цифрування експериментальної кривої ВЕЗ (кількість розносів $AB/2$, на яких цифрована крива ВЕЗ); $\rho_{y,j}$ – цифровані значення уявного опору експериментальної кривої ВЕЗ; $\rho_{y,j}^T$ – значення уявного опору на відповідному розносі теоретичної кривої ВЕЗ, розрахованої для розрізу з вектором параметрів \mathbf{p} (Жданов М. С., 2008).

Послідовна корекція вектора параметрів розрізу \mathbf{p} полягає в отриманні певної послідовності його значень $(\mathbf{p}_k, k=1, 2, \dots)$, у якій кожен наступний значення призводять до зменшення (мінімізації) квадратичного функціоналу відхилень $\delta(\mathbf{p})$. Корекція параметрів вектора \mathbf{p} виконується методом найшвидшого спуску (Дмитриев В.И. и др., 1990; Калиткин Н.Н., 1978), при цьому на кожній наступній ітерації теоретична крива ВЕЗ $\rho_{y,j}^T$ наближається до експериментальної $\rho_{y,j}$. Ітераційний процес завершується, коли значення квадратичного функціоналу відхилення $\delta(\mathbf{p})$ стає сумірним з середньоквадратичною похибкою вимірювання уявного опору.

Як видно із (3.18), під час мінімізації квадратичного функціоналу відхилення $\delta(\mathbf{p})$ (під час реалізації методу підбору) необхідно багаторазово розраховувати теоретичну криву зондування $\rho_{y,j}^T$. Для цього необхідно застосовувати швидкодіючі оператори розв'язання прямої задачі, тобто алгоритми розрахунку значень уявного опору для різних розносів установки. У цьому відношенні найбільш продуктивними є оператори, засновані на використанні способу лінійних фільтрів (Акуленка С.А. и др., 1994), які використані в програмі IPI2Win.

Формула лінійного фільтра досить проста:

$$\rho_y(r_i) / \rho_1 = \sum_{j=1}^{KF} b_j R_1(X_{i+j-1}), \quad (3.19)$$

де R_1 - кернел-функція, що залежить від параметрів розрізу і значення абсциси $X=1/m$:

$$R_1(X) = \text{cth} \left\{ \frac{h_1}{X} + \text{arcth} \left[\frac{\rho_2}{\rho_1} \text{cth} \left(\frac{h_2}{X} + \dots + \text{arcth} \frac{\rho_N}{\rho_{N-1}} \right) \right] \right\}; \quad (3.20)$$

b - коефіцієнти фільтра, число яких дорівнює KF; r – рознос ($r=AB/2$), а i – його індекс. У цій формулі значення $X = 1/m$ зростають з ростом індексу при них. У літературі часто формула лінійного фільтра наводиться в дещо іншому вигляді, коли R залежить від m ($m = 1/X$), тоді індекс при m має вигляд $(i-j)$, і коефіцієнти b задаються у зворотному порядку. Різниця між j й i підкреслює походження формули фільтра із інтеграла згортки.

До основних параметрів лінійного фільтра відносяться:

1. *Число коефіцієнтів фільтра* (або його довжина) - KF. Зустрічаються фільтри з числом коефіцієнтів від 4 до 200, частіше використовуються фільтри з KF від 8 до 30.

2. *Число точок фільтра, що припадають на декаду осі абсцис* (на модуль логарифмічного бланка) - КТМ, і пов'язана з ним величина коефіцієнта геометричної прогресії q :

$$q = 10^{(1/KTM)}. \quad (3.21)$$

Відомі фільтри з КТМ від 3 до 10 і навіть більше (Anderson, 1979), що призводить до значень q від 2,15 до 1,26. Оптимальними є значення КТМ = 6 - 8, що відповідає q від 1,47 до 1,33.

3. *Зміщення α* . Це множник, близький до одиниці (або рівний їй), що характеризує зміщення вузлів сітки X щодо найближчих вузлів сітки r . Для деяких фільтрів він дорівнює 1, тобто вузли сіток r і X збігаються, для інших фільтрів відрізняється від 1 в більшу чи меншу сторону. Вперше D.P.Ghosh показав, що правильний вибір α допомагає зменшити число коефіцієнтів фільтра (Куфуд, 1984).

4. *Положення центрального елемента фільтра*, яке визначається за значенням або номером центрального коефіцієнта, або числом коефіцієнтів пам'яті

M , розташованих зліва від центра (з боку менших X), або числом коефіцієнтів передбачення L , розташованих праворуч від центрального. При цьому $M+L+1=KF$. Зазвичай число коефіцієнтів пам'яті M більше числа коефіцієнтів передбачення L .

Під час розрахунку значень ρ_y для одного розносу потрібно розрахувати KF значень кернел-функції R_1 для сітки значень X , що зростають по закону геометричної прогресії з коефіцієнтом q . Найближче до конкретного розносу r значення X відповідає центральному коефіцієнту фільтра. Праворуч від центрального розташовуються коефіцієнти передбачення, а зліва - коефіцієнти пам'яті. Різниця між значеннями r і центральним X_C , називається зміщенням α . ($\alpha = X_C / r$). Знаючи число коефіцієнтів зліва від центра (M) можна розрахувати положення першої точки X щодо r за формулою:

$$X = r \cdot \alpha / q^M. \quad (3.22)$$

Із формули фільтра (3.22), виходить, що розраховуючи ρ_y для наступних значень r , зростаючих з тим же множником q , що і значення X , ми зможемо використовувати всі значення R_1 , задіяні в розрахунку ρ_y для попереднього розносу, за винятком першого. Якщо для розрахунку $\rho_y(r_1)$ буде потрібно KF значень R_1 , то для NR розносів, зростаючих в тій же геометричній прогресії, що й X , буде потрібно $NR+KF-1$ значень. Якщо ж сітка розносів довільна, то для розрахунку ρ_y на NR розносах потрібно вже $(NR \times KF)$ значень R_1 .

Значення коефіцієнтів фільтра можуть бути як додатними, так і від'ємними, причому найбільші по модулю коефіцієнти зустрічаються в середній частині фільтра, а до країв вони зменшуються. Сума всіх коефіцієнтів фільтра повинна бути дорівнювати 1, для того, щоб при перерахунку асимптотичних (постійних) значень R_1 в ρ_y , рівень фону не змінювався.

Для установки Шлумберже, яка під час інтерпретації експериментальних даних ВЕЗ використана в програмі IPI2Win, розрахунок уявного опору здійснювався лінійним фільтром з параметрами (Акуленка С.А. *и др.*, 1994):

$KF=15$ /-0.015821, 0.203596, -1.222006, 3.856356, -5.567616, 2.414293, -0.758876,

2.122195, -0.671525, 0.783732, -0.290884, 0.169452, -0.031227, 0.003612, .004705/;
 KTM=7; $\alpha=1,005$; M=9.

За результатами кількісної інтерпретації експериментальних даних побудовані геоелектричні розрізи по 16 профілях, які представлені на рисунках В4-В19 додатка В (приклад геоелектричного розрізу наведений на рис. 3.8), визначений рельєф покрівлі кристалічного фундаменту, виділені зони тріщинуватих й інтенсивно тріщинуватих кристалічних порід. З використанням матеріалів ВЕЗ, сейсморозвідки КМЗХ та даних буріння побудовані карти ізогіпс покрівлі кристалічних порід (дод. Б, рис.Б1), товщин елювіально-делювіальних відкладів або карти ізопахіт верхньої частини розрізу (дод. Б, рис. Б2), а також питомого електричного опору кристалічних порід (дод. Б, рис. Б3). При побудові карт ізогіпс та, відповідно, карт ізопахіт враховувалася специфіка будови масиву скельних порід.

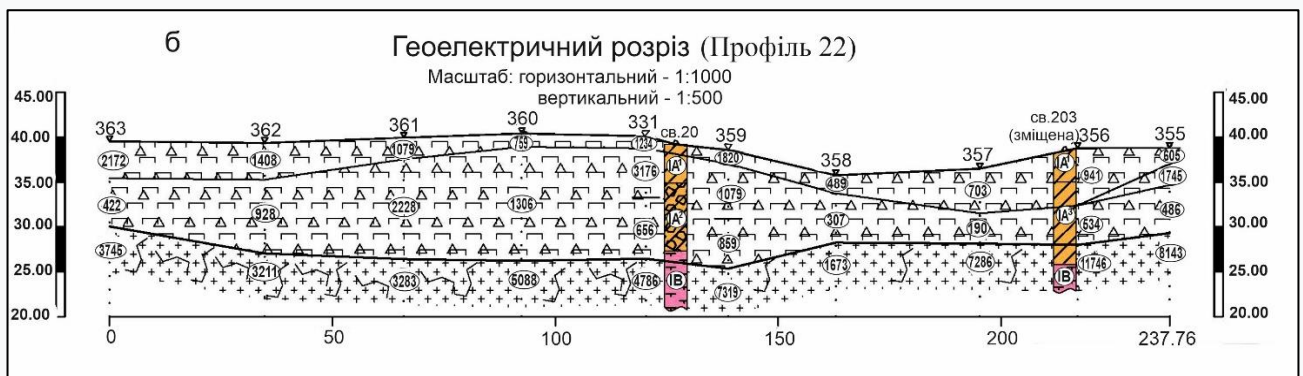


Рис. 3.9 – Геоелектричний розріз уздовж профілю 22:
 (умовні позначення наведені на рис. В.1 додатка В)

В результаті руйнівної дії на масиви корінних гірських порід комплексу різних екзогенних процесів таких, як розвантаження природних напруг у міру виходу масивів на денну поверхню, вивітрювання – фізичного й хімічного, денудації та ін., відбувається певна руйнація кристалічних порід, що призводить до зростання їх тріщинуватості. Ступінь руйнації залежить від глибини залягання кристалічних утворень, складу порід, характеру рельєфу, кліматичного впливу та інших факторів, що зумовлює наявність в гірських масивах певної вертикальної і латеральної зональності за їх фізичними властивостями, зокрема електричними й пружними.

Аналіз даних електричних і сейсмоакустичних досліджень та результатів буріння дозволив виділити за ступенем дезінтеграції (порушеності) гірських масивів на території інженерно-геофізичних вишукувань у межах ділянки «Дериваційний канал-гребля» чотири підзони: підзона А - дуже сильного впливу процесів розвантаження і вивітрювання з дезінтеграцією порід до стану елювію; підзони Б, В, Г – відповідно підзони сильної, середньої та слабкої дезінтеграції (сильного, середнього й слабкого впливу екзогенних руйнівних процесів). Аналіз даних геофізичних досліджень свідчить, що побудована карта ізогіпс поверхні кристалічних порід (дод.Б., рис.Б.1) відображає структурний характер поверхні підзони В – підзони слабкого впливу екзогенних процесів вивітрювання й помірному впливу процесів розвантаження природного напруженого стану, а побудована карта питомого електричного опору кристалічних порід (дод.Б, рис. Б.3) відображають електричні властивості цієї підзони, які опосередковано засвідчують про ступінь збереженості кристалічних порід.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ГЕОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У межах території розміщення дериваційного каналу та греблі електророзвідувальні дослідження виконані за 16 профілями: 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 39, 37, 38, 40, 46, 41; сейсмозвідувальні – за 4 профілями: 20, 21, 22, 25. Для геологічного тлумачення результатів наземних геофізичних досліджень залучені геологічні дані по 28 пробуреним поблизу профілів і безпосередньо на них свердловинам (глибини від 8 м до 70 м).

Аналіз геологічних розрізів, отриманих за результатами буріння геологічних свердловин, дозволив виділити 4 інженерно- геологічних елементи (ІГЕ), що утворюють відповідну зональність верхньої частини розрізу території досліджень як за складом, так і за ступенем міцності й вивітрілості скельних утворень. Наведемо виділені інженерно-геологічні елементи в послідовності зверху-вниз:

- ІА¹ - кора вивітрювання латеритизована – суглинисто-глинистий ґрунт, напівтвердий і тугопластичний із включенням уламків кристалічних порід;
- ІА² - кора вивітрювання латеритизована – щербенисто-жорсткий ґрунт із суглинисто-глинистим заповнювачем;
- ІВ - скельовий ґрунт сильно- й середньотріщинуватий, вивітрілий і сильновивітрілий, середньої міцності й міцний (гнейс, гранодіорит, діабаз);
- ІА - скельовий ґрунт слабкотріщинуватий, слабковивітрілий, міцний і середньої міцності (гнейс, гранодіорит, діабаз).

Нижче зупинимося на аналізі результатів свердловинних та наземних електрометричних і сейсмічних геофізичних досліджень.

4.1. Результати свердловинних геофізичних досліджень

До комплексу свердловинних геофізичних досліджень входили: вертикальне сейсмічне профілювання (ВСП), міжсвердловинне сейсмопрозвучування (МСП) і міжсвердловинна томографія (МСТ). Ці дослідження виконані у

спеціально обладнаних свердловинах.

4.1.1. Результати ВСП та міжсвердловинного прозвучування

В результаті виконання ВСП та МСП було отримано швидкісні характеристики порід геологічного розрізу. На підставі отриманих значень швидкостей поширення поздовжніх та поперечних хвиль (V_p та V_s) виконано розрахунок динамічних пружно-деформаційних та міцнісних характеристик виділених інженерно-геологічних елементів) з урахуванням геологічних особливостей розрізу досліджуваної території (формули 3.6-3.15).

Слід зазначити, що масиви скельних порід дуже неоднорідні за своїми деформаційними властивостями і більшість з них характеризується значною анізотропією. Відмінність величин швидкості (V), виміряних в різних напрямках в анізотропних скельних масивах, може становити 10-20%.

Відтак, отримані розрахункові значення пружно-деформаційних характеристик та характеристик міцності можуть відрізнятися від отриманих за лабораторними випробуваннями. Це пов'язано також із тим, що розрахункові дані, отримані за результатами свердловинних геофізичних досліджень, характеризують певний об'єм дослідженого масиву, а не окремий зразок ґрунту.

На підставі швидкісних показників товща кристалічних утворень поділяється на породи слабкотріщинуваті (швидкість поздовжньої хвилі понад 4500 м/с; ІГЕ ІА), тріщинуваті (швидкість поздовжньої пружної хвилі в них у межах 3500 – 4500 м/с) і сильно тріщинуваті (швидкість поширення в них пружної хвилі менше 3500 м/с, ІГЕ ІВ).

Після виконання статистичної обробки результатів розрахунку по свердловинах визначено середні показники деформаційних і міцнісних характеристик для виділених інженерно-геологічних елементів (таблиця 4.1). Значення пружно-деформаційних параметрів, позначених відповідними символами в заголовку таблиці, наведені вище в підрозділі 3.1.

Аналіз показників, представлених в таблиці 4.1 для різних ІГЕ, свідчить, що всі

пружно-деформаційні і міцнісні характеристики (за винятком модуля Юнга μ) зі збільшенням глибини зростають (в таблиці 4.1 ІГЕ представлені в послідовній прямій глибинні зональності). Це свідчить про те, що зі збільшенням глибини зменшується руйнівний вплив на кристалічні утворення процесів фізичного й хімічного вивітрювання. Зональність пружних і міцнісних параметрів верхньої частини розрізу, пов'язаних зі ступенем порушеності масивів, є сприятливим фактором для застосування наземних сейсмо-акустичних й електричних методів для картування й дослідження цих інженерно-геологічних елементів.

Таблиця 4.1 – Середні показники деформаційних і міцнісних характеристик для виділених інженерно-геологічних елементів (ІГЕ)

ІГЕ	Швидкість, м/с		Густи на ρ , кг/м ³	E , МПа	μ	G , МПа	K , МПа	E_c , МПа	E_0 , МПа	σ_{cm} , МПа	f	C , МПа
	V_p , м/с	V_s , м/с										
ІА ¹	Кора вивітрювання латеритизована – суглинисто-глинистий ґрунт, напівтвердий і тугопластичний із включенням уламків кристалічних порід											
	953	361	1880	694	0,42	245	1381	231	53			0,02
ІА ²	Кора вивітрювання латеритизована – щебенисто-жорсткий ґрунт із суглинисто-глинистим заповнювачем											
	1004	468	1920	1143	0,36	420	1375	408	98			0,03
ІВ	Скельовий ґрунт сильно- й середньотріщинуватий, вивітрілий і сильновивітрілий, середньої міцності й міцний (гнейс, гранодіорит, діабаз)											
	3814	1888	2803	27267	0,33	10356	27736	20000	17964	69	7	0,20
ІА	Скельовий ґрунт слабкотріщинуватий, слабковивітрілий, міцний і середньої міцності (гнейс, гранодіорит, діабаз)											
	5226	2077	2804	34235	0,40	12288	60771	30000	23245	82	9	0,24

У практиці інженерних досліджень для експрес-оцінки стану порід у масиві часто використовується *узагальнений показник ступеня збереженості* скельних порід q_c . Розмір q_c визначається співвідношенням (Савич, 1990)

$$q_c = \Pi_{m,i} / \Pi_{m,em} \quad (4.1)$$

де $\Pi_{m,em}$ - значення будь-якого параметра, що характеризує фізико-механічні властивості збереженого масиву; $\Pi_{m,i}$ - поточне значення цього ж параметра, властиве досліджуваній ділянці.

Показник збереженості кристалічних порід знаходять на підставі значень швидкості поширення поздовжніх хвиль V_p і $V_{p, \max}$ відповідно до залежності

$$q_{cv} \approx (V_p/V_{p, \max})^2. \quad (4.2)$$

Для оцінки показника збереженості кристалічних порід q_{cv} в районі досліджень виконані розрахунки по кожній свердловині згідно з формулою (4.2), у якій $V_{p, \max} = 6500$ м/с.

Міру порушеності порід тріщинуватістю оцінюють за величиною параметра RQD, який представляє собою відношення загальної довжини збережених шматків керна довжиною більше 10 см до довжини пробуреного інтервалу у свердловині і виражається %. Зв'язок цього параметра з показником збереженості q_{cv} залежить від багатьох факторів, які проявляються по-різному в різних масивах порід. Як грубе наближення можна вважати, що $RQD \sim q_{cv}, \%$.

Параметр q_{cv} у практиці інженерних вишукувань використовується для виділення в межах досліджуваних масивів зон, які різняться за своїми властивостями і станом. У таблиці 4.2 дана градація порід за рівнем їх збереженості (Савич, 1990). Зазначена градація в різних варіантах використовувалася на гідротехнічних об'єктах для розчленування масивів порід за ступенем їх збереженості.

Таблиця 4.2 - Відносні показники властивостей порід різних груп збереженості

Номер групи збереженості	$D/D_{\max}, \%$	$\sigma_c/\sigma_{c, \max}, \%$	$V_p/V_{p, \max}, \%$	$q_{cv}, \%$	Характеристика стану породи (за Савичем А.І)
IV ₂	100 – 70	100 – 70	100 – 95	100 – 90	Чудовий
IV ₁	70 – 52	70 – 46	95 – 87	90 – 75	Хороший
III	52 – 25	46 – 23	87 – 70	75 – 50	Нормальний
II	25 – 11	23 – 8	70 – 50	50 – 25	Поганий
I	11 – 4	8 – 2,4	50 – 35	25 – 12,5	Дуже поганий
O ₂	4 – 1,5	2,4 – 0,5	35 – 25	12,5 – 6,2	Напівскельна порода
O ₁	1,5	0,5	25	6,2	Щебінь, алювий, жорства

На підставі даних про швидкість поширення поздовжніх хвиль V_p виконано розрахунок показника ступеня збереженості порід q_{cv} на території ділянки «Дериваційний канал-гребля». У таблиці 4.3 наведено характеристику стану кристалічних порід по свердловинах, де виконані свердловинні сейсмоакустичні дослідження і які знаходяться поблизу профілів електрометричних досліджень. В результаті виконаних розрахунків на підставі даних таблиці 4.3 отримана експрес оцінка стану товщі кристалічних порід за результатами свердловинних досліджень.

Таблиця 4.3 – Характеристика стану кристалічних порід на території ділянки «Дериваційний канал-гребля» за даними свердловинних сейсмоакустичних досліджень (лівий берег р. Веле)

с	ІГЕ	V_p , м/с	Інтервали глибин, м	V_p/V_{max} %	q_{cv} , %	Характеристика стану порід	Стан за середнім q_{cv} , (%)
1	2	3	4	6	7	8	9
18	ІВ	2815	16	43	19	Дуже поганий	19 Дуже поганий
19	ІВ	2533	5-6	39	15	Дуже поганий	40 Поганий
	ІВ	3816	7-9	59	34	Поганий	
	ІВ	5407	10-18	83	69	Нормальний	
196	ІВ	2394	5-7	37	14	Дуже поганий	52 Нормальний
	ІВ	6187	8-16	95	91	Чудовий	
20	ІВ	5428	13-39	84	70	Нормальний	70 Нормальний
22	ІВ	3328	9-11	51	26	Поганий	41 Поганий
	ІВ	4859	12-15.5	75	56	Нормальний	
25	ІВ	2911	7-13	45	20	Дуже поганий	39 Поганий
	ІВ	4921	14-17.8	76	57	Нормальний	
26	ІВ	2666	5-6	41	17	Дуже поганий	20 Дуже поганий
	ІВ	3143	7-10	48	23	Поганий	
27	ІВ	4753	7-40	73	53	Нормальний	53 Нормальний
28	ІВ	2383	6-9	37	13	Дуже поганий	29 Поганий
	ІВ	4345	10-12	67	45	Поганий	
30	ІІА	4209	6-15	65	42	Поганий	42 Поганий
32	ІВ	5061	4-10	78	61	Нормальний	61 Нормальний
33	ІВ	3963	17	61	37	Поганий	48 Поганий
	ІВ	4778	18-19	74	54	Нормальний	
	ІІА	4778	20-21.5	74	54	Нормальний	
34	ІВ	2700	10-11	42	17	Дуже поганий	17 Дуже поганий

На підставі отриманих даних, поверхнева зона вивітрілих порід являє собою різною мірою тріщинуваті породи, які характеризуються зниженими деформаційними і міцнісними властивостями. На підставі даних, наведених в табл. 4.3, можна зробити висновок про те, що глибинна межа, з якої ступінь збереженості поріди кристалічних масивів задовольняє хорошому і більш високої якості стану, загалом відповідає значенню ≥ 20 м. У багатьох випадках ця глибинна межа значно нижча (7-8 м), що залежить від петрофізичного складу масивів і природно-геологічних умов їх знаходження – факторів, які суттєво впливають на руйнівні процеси вивітрювання й розвантаження напруженого стану гірських масивів.

Швидкісна характеристика розрізу за даними ВСП і міжсвердловинного прозвучування в комплексі з результатами електророзвідувальних робіт і буріння були використані для побудови графіків властивостей порід міжсвердловинного простору (рисунки 4.1-4.3).

У міру виходу скельних гірських порід на денну поверхню вони піддаються руйнівному впливу комплексу екзогенних і ендегенних процесів: розвантаженню природних напруг і, як наслідок, розширенню старих і появи нових тріщин; фізичному та хімічному вивітрюванню; денудації; обвалу внаслідок сейсмічних процесів і т.ін. Це обумовлює вертикальну зональність скельних масивів за станом або ступенем збереженості порід, що утворюють ці масиви. У цьому відношенні виділяють чотири підзони: А – дуже сильного впливу розвантаження та вивітрювання з дезінтеграцією порід до елювію; Б, В, Г – відповідно сильного, середнього та слабого впливів цих процесів.

Підзона А – дуже сильний прояв процесів вивітрювання масиву. Породи сильно вивітрілі, дезінтегровані до стану щебеню й жорстви з піщано-глинисто-суглинним заповнювачем.

Підзона Б – сильного прояву розвантаження та вивітрювання. Породи зберігають вигляд своєї структури та текстури, але сильно змінені за кольором (зокрема, забарвлені гідроокислами заліза).

Підзона В – слабого прояву площового вивітрювання та помірного прояву

розвантаження. Тріщини тут дещо частіші й більш розкриті (порівняно з наступною підзоною Г).

Підзона Г – породи практично невивітрілі, є лише ознаки лінійного вивітрювання по субвертикальних тектонічних порушеннях і великих тріщинах.

Враховуючи дуже складну геолого-тектонічну будову території досліджень, виділення підзон є дуже проблематичним, особливо підзони Г, яка, ймовірно, залягає нижче глибини досліджень (глибина геологічних свердловин <100 м).

Аналіз отриманих за результатами міжсвердловинного прозвучування і параметричних ВЕЗ графіків глибинної зміни швидості поздовжніх хвиль V_p і питомого електричного опору ρ дозволив розчленувати геологічний розріз на підзони, А, Б і В залежно від ступеня тріщинуватості та збереження кристалічних порід (рис. 4.1-4.3).

Слід зазначити, що практично у всіх випадках за геофізичними даними виділяється підшва підзони Б (покрівля підзони В). У деяких випадках ця межа менш чітко виділяється за даними електророзвідки, у зв'язку з тим, що точки ВЕЗ, дані яких використовували при складанні графіків, були розташовані на деякому віддаленні від свердловин (до 20-25 м).

Як приклад на рисунках 4.1 і 4.2 наведені графіки $V_p(z)$ і $\rho(z)$ у зіставленні з графіками відсотків виходу керну і параметра збереженості порід ROD по двох парах свердловин, розташованих на лівобережжі р. Веле, а на рис. 4.3 – по двох парах свердловин на правобережжі. Аналіз графіків свідчить, що ці характеристики пов'язані з комплексним проявом процесів зони вивітрювання та розвантаження кристалічних порід на різних гіпсометричних відмітках. За результатами аналізу графіків властивостей зони вивітрювання і розвантаження ймовірно виділяються підзони А, Б і В.

Судячи з отриманих геофізичних даних підзони А і Б відповідають різною мірою тріщинуватим і зміненим процесами вивітрювання гірським породам, що характеризуються зниженими значеннями швидкості поздовжньої хвилі V_p - від 400-500 м/с у верхній частині зони до 3500-5000 м в їх підшві.

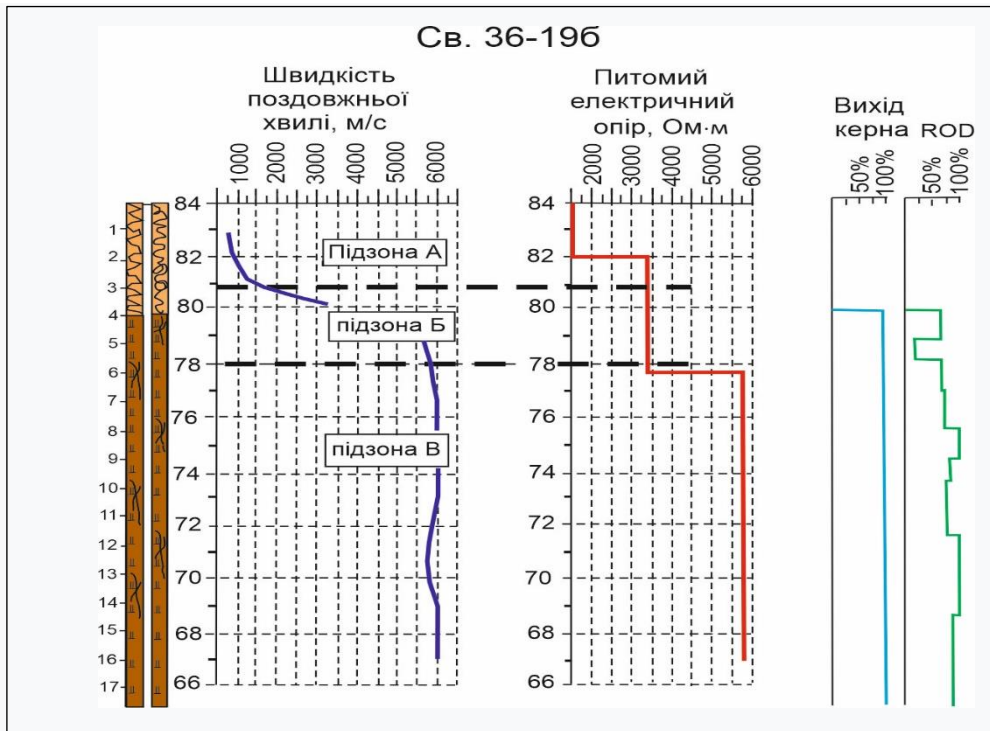


Рис. 4.1 – Графіки властивостей порід між свердловинами 36-36б (лівобережжя)

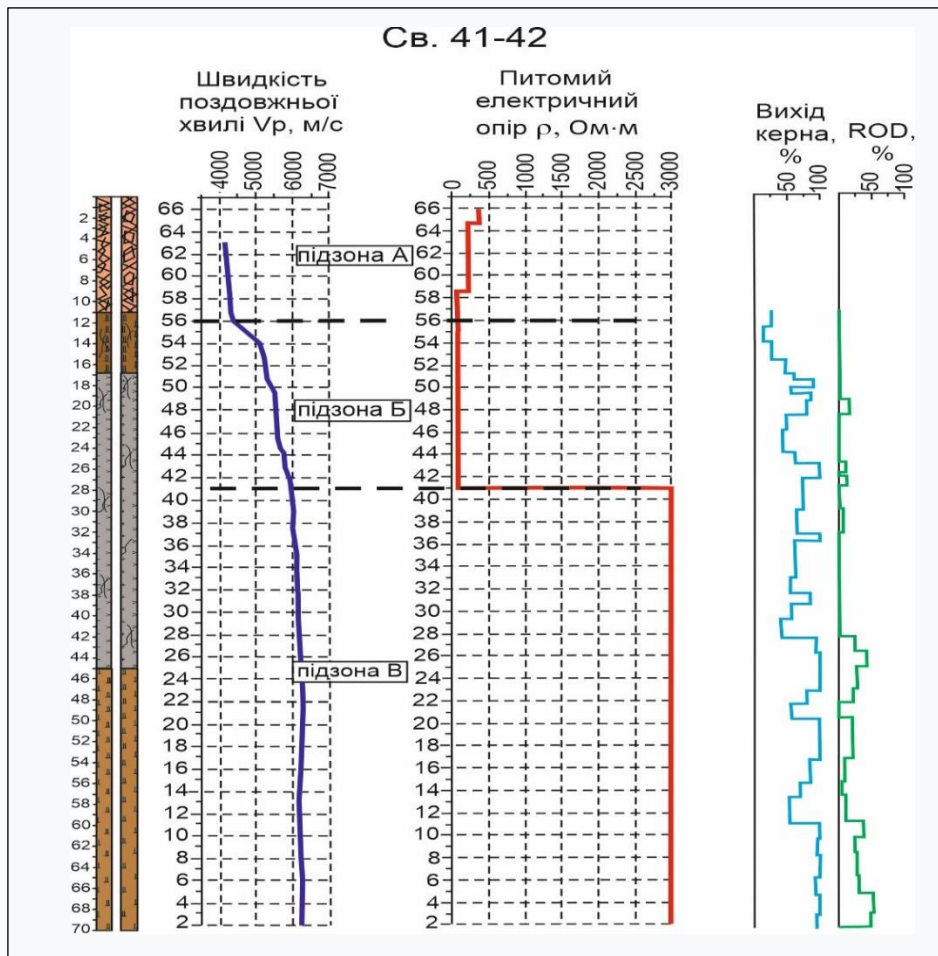


Рис. 4.2 – Графіки властивостей порід між свердловинами 41-42 (лівобережжя)

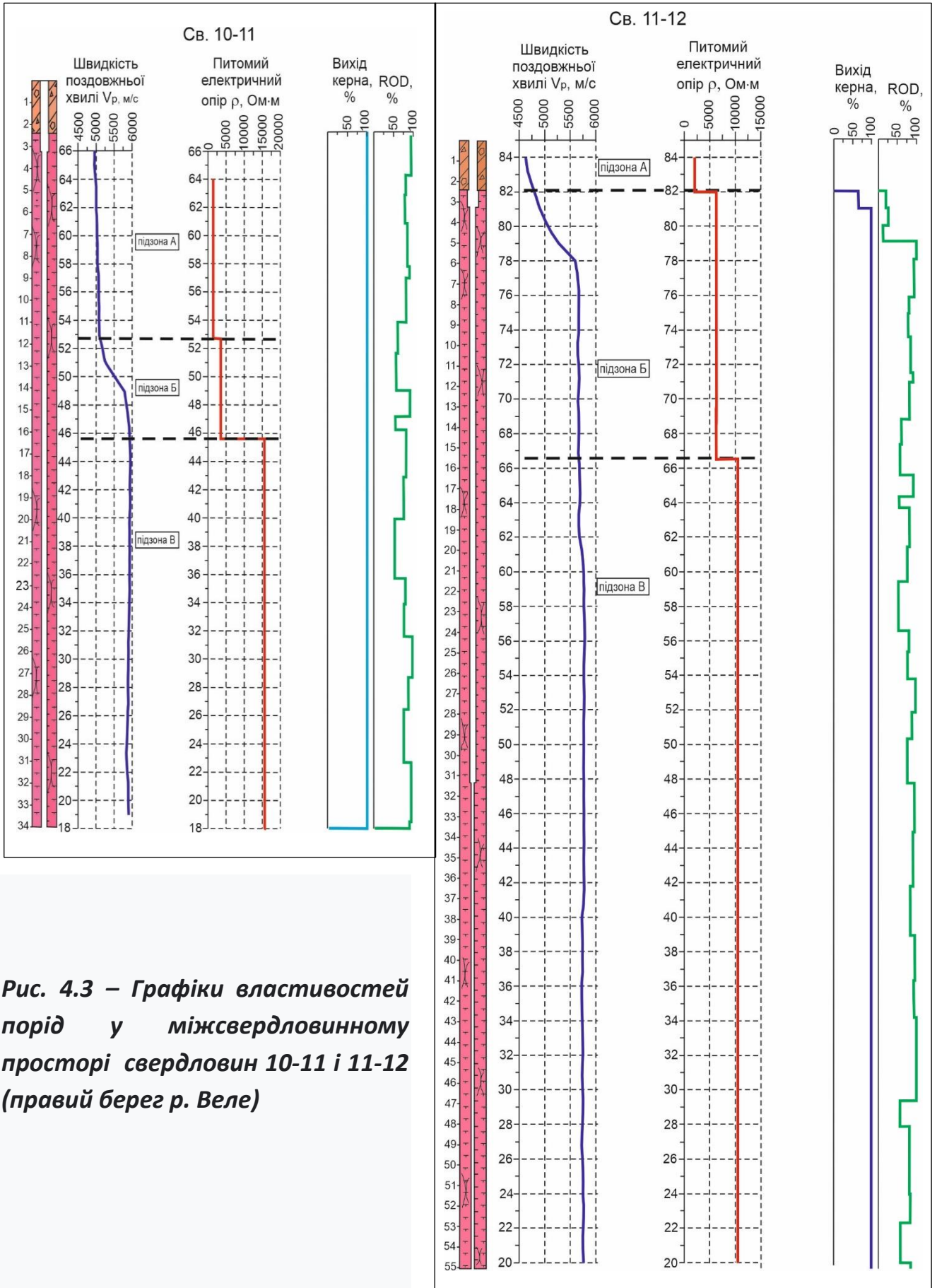


Рис. 4.3 – Графіки властивостей порід у міжсвердловинному просторі свердловин 10-11 і 11-12 (правий берег р. Веле)

Для зони вивітрілих і розвантажених порід характерний значний розкид швидкостей поздовжньої хвилі ($V_p = \pm 1000-2500$ м/с) відносно їх середнього рівня (на заданій глибині), що свідчить про неоднорідність цієї зони. Зона розвантаження та вивітрювання за кількісними показниками, визначеними МСП, поділяється на підзони, які зіставляються з раніше розглянутими на початку даного розділу інженерно-геологічними елементами (ІГЕ).

4.1.2. Результати міжсвердловинної томографії

Міжсвердловинна сейсмотографія виконана у свердловинах на лівобережній та правобережній частині території розміщення основних споруд ГЕС (приклади сейсмотомографічних розрізів наведені на рисунках 4.4 – 4.6, на яких позначення ПЗ й ПР означають пункт збудження й реєстрації пружних клівань відповідно). В результаті досліджень отримана швидкісна характеристика товщі порід у міжсвердловинному просторі, на підставі якої надається можливість оцінити стан масиву досліджених порід.

Сейсмотомографічні розрізи по *лівобережжю* (рис. 4.4 і 4.5) характеризуються різноманітністю розподілу швидкостей у досліджуваному просторі, а саме – широким діапазоном зміни значень V_p та потужності верхньої низькошвидкісної товщі ($V_p < 3500$ м/с).

Розрізи свердловин 201-202 і 201-203 (рис. 4.4) свідчать про наявність сильнотріщуватих порід у міжсвердловинному просторі, імовірно, свердловини знаходяться в межах зони тектонічного порушення. Розріз міжсвердловинного простору свердловин 202-203 суттєво відрізняється від вищезгаданих розрізів характером розподілу V_p : низькошвидкісна товща (потужність ≈ 20 м) підстилається високошвидкісною товщею ($V_p > 5000$ м/с). Виходячи з особливостей розподілу швидкості поширення поздовжніх хвиль у міжсвердловинних просторах, можна зробити висновок, що найбільш сильно

зруйновані кристалічні породи простежуються в межах проектного розміщення будівлі ГЕС.

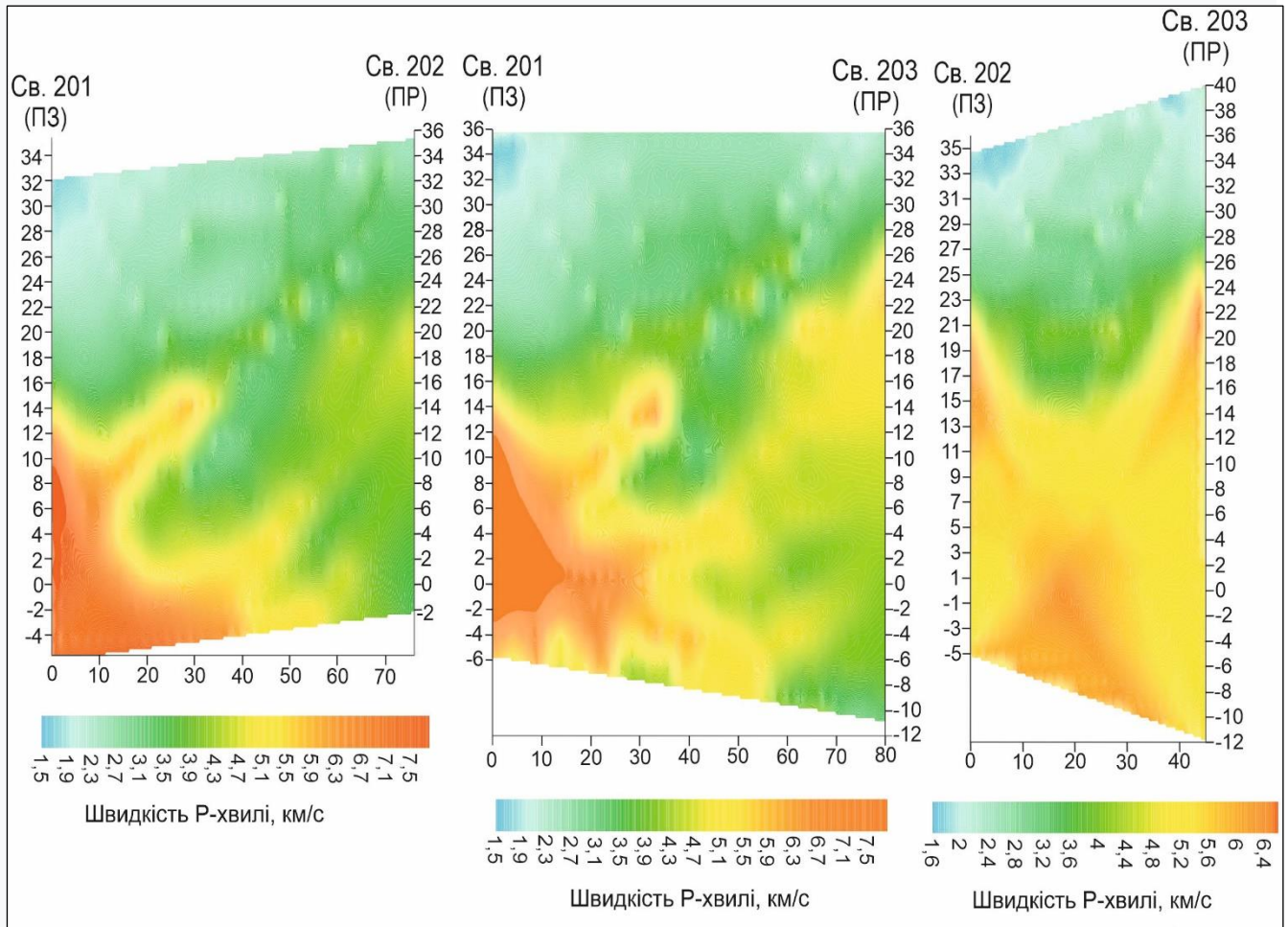


Рис. 4.4 – Приклад сейсмотомографічних розрізів на лівому березі р. Веле

Міжсвердловинний простір свердловин 41-42 (рис. 4.5) характеризується наявністю зони інтенсивної тріщинуватості (порушення), тут виділяється ксеноліт в дайці діабазів, який відмічений також за даними геологічної зйомки.

Достатньо збережений стан кристалічних порід спостерігається у міжсвердловинному просторі свердловин 40-41 і найбільш збережений – у міжсвердловинному просторі свердловин 36-19Б. Тут верхня частина розрізу (0-4 м) представлена корою вивітрювання, нижче залягають тріщинуваті породи, з глибини 5-6 м скельні породи характеризуються високою швидкістю поширення поздовжніх хвиль (більше 6000 м/с), що свідчить про збережений стан порід. Слід зазначити, що свердловини 40-41 і 19Б-36 пробурені в молодших інтрузивних

породах (дайковий комплекс), які краще збереглися порівняно з оточуючими їх метаморфічними породами.

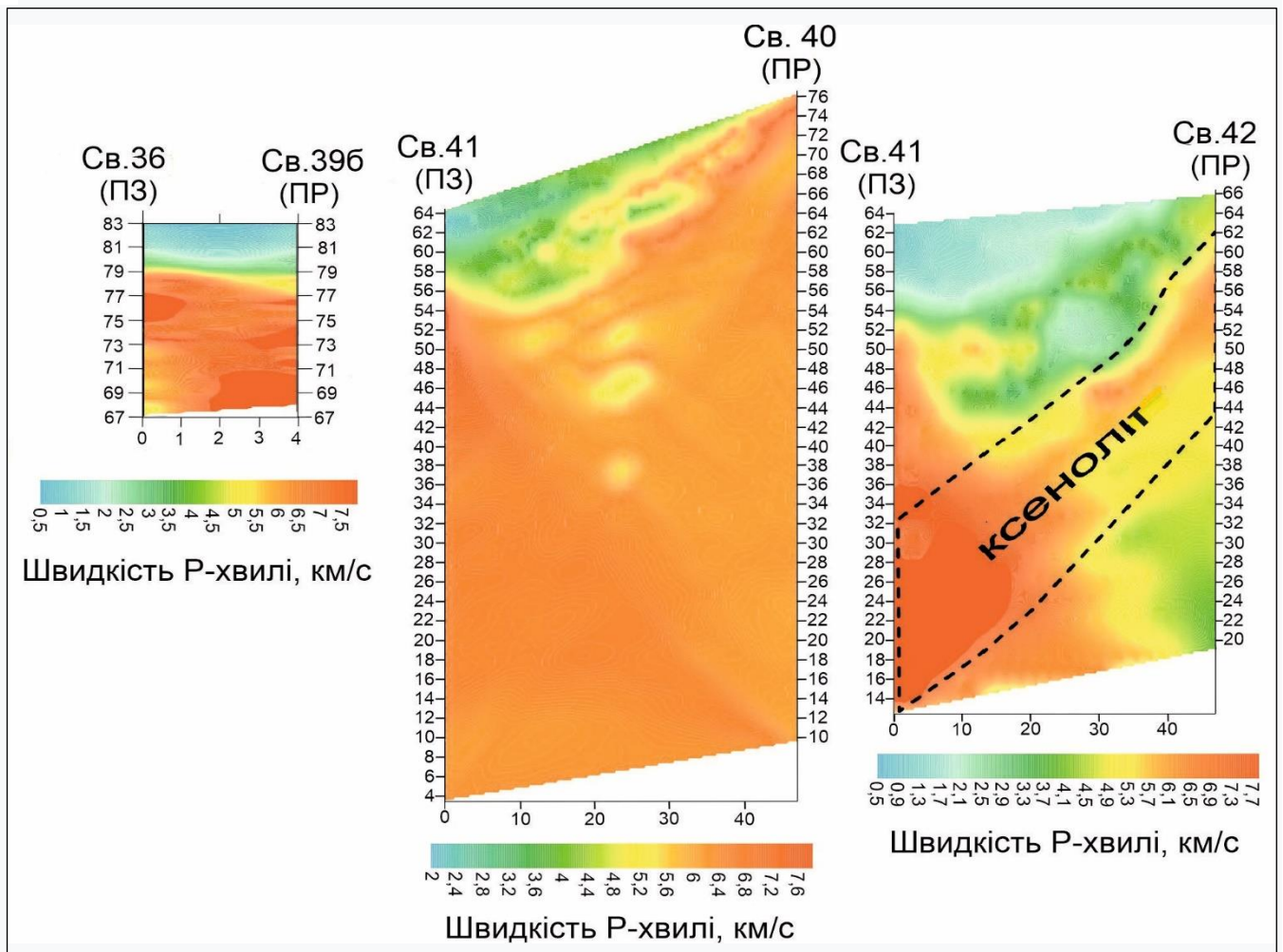


Рис. 4.5 – Приклад сейсмотомографічних розрізів на лівому березі р. Веле

Результати сейсмотомографії на *правобережній* ділянці наведені на рис. 4.6.

Сейсмотомографічні розрізи на правому березі істотно відрізняються від тих, які отримані по лівобережній частині території розміщення основних споруд. Тут породи в міжсвердловинному просторі характеризуються як більш збережені. Характерною особливістю розрізів правого берега є спокійніший характер розподілу значень швидкостей і мінімальна потужність верхньої товщі розрізу зі зниженими швидкостями.

Найбільш неоднорідним є розріз між свердловинами 14-13, імовірно, це обумовлено тим, що міжсвердловинний простір перетинає зона розлому

(свердловина 14 розташована в руслі річки Веле). Найбільш збережені породи залягають у міжсвердловинному просторі свердловин 11-12 і свердловин 10-11.

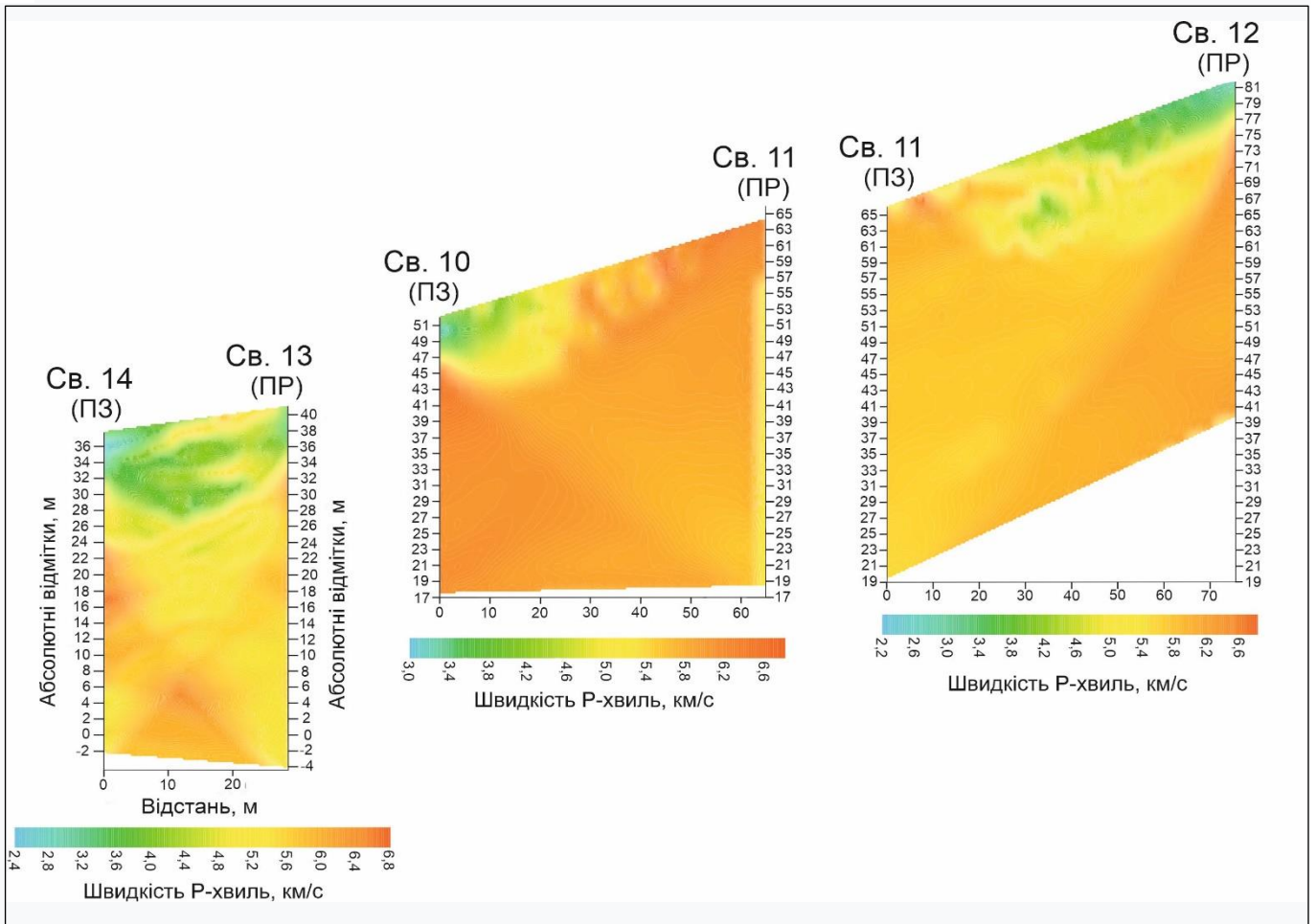


Рис. 4.6 – Приклад сейсотомографічних розрізів на правому березі р. Веле

Результати міжсвердловинної сейсотомографії дозволяють зробити висновок про загалом складну будову масиву гірських порід, який характеризується наявністю тектонічних порушень, тріщинуватістю різної інтенсивності, обумовленої тектонічними рухами, процесами розвантаження і вивітрювання.

4.2. Результати наземних електрометричних досліджень

4.2.1. Аналіз карт-зрізів уявного опору

За результатами профільних електророзвідувальних досліджень методами ВЕЗ та СЕП для загальної характеристики зміни геологічного розрізу у плані і за

глибиною складені карти-зрізи уявного опору ρ_y . Якщо умовно прийняти за ефективну глибину електрометричних досліджень значення $z_{\text{еф}}=AB/4$ (Матвеев Б.К., 1974) то карти – зрізи уявного опору (дод. А, рисунки А1-А5) характеризують електричні властивості геологічного розрізу території орієнтовно на глибинах: 3-4 м ($AB = 12$ м); 5 м ($AB=20$ м); 10 м ($AB=40$ м); 20 м ($AB=80$ м) та 30-35 м ($AB=130$ м). Зупинимося на аналізі наведених в додатку А карт-зрізів.

На глибині 3-4 м (дод. А, рис. А1) уявний питомий опір змінюється від 167 до 6572 Ом·м при середньому значенні 1719 Ом·м, що характерно для верхнього шару пухких порід і кори вивітрювання. Блокова будова на цій глибині виражена слабо. Виділяються локальні зони підвищених значень питомих опорів (більше 3000-4000 Ом·м), які утворюють “ланцюжки” північно-західного простягання в центральній частині ділянки робіт на лівому березі річки Веле і практично субмеридіонального на правому березі. Ці зони пов'язані з ділянками неглибокого залягання кристалічних порід. Зони знижених значень ρ_y (менше 2000 Ом·м) охоплюють значні за площею ділянки на лівому березі та невеликі ділянки на правому березі. Зони приурочені до ділянок підвищеної потужності осадових відкладів та кори вивітрювання, а також до тріщинуватих кристалічних порід долини р. Веле і древньої долини в західній частині ділянки робіт.

На глибині порядку 5 м (дод. А, рис. А2) уявний опір змінюється від 133 до 9370 Ом·м, при середньому значенні 1641 Ом·м. На карті виділяються локальні ділянки підвищених значень ρ_y (більше 5000 Ом·м), які також утворюють “ланцюжки” північно-західного простягання в центральній частині ділянки робіт на лівому березі річки Веле і практично субмеридіонального простягання на правому березі. Варто зазначити, що області підвищених опорів збільшуються, успадковуючи загальну структуру, яка почала проявлятися на карті уявних опорів на розносі $AB=12$ м. Ці області пов'язані з місцями неглибокого залягання кристалічних порід. Поля

знижених значень ρ_{γ} (менше 2000 Ом·м) займають великі за площею ділянки на лівому березі та невеликі ділянки на правому березі р. Веле.

На глибині приблизно 10 м (дод. А, рис. А3) уявний питомий опір порід змінюється від 189 до 12770 Ом·м, при середньому значенні 2367 Ом·м. На карті виділяються локальні області підвищених значень уявних питомих опорів (більше 5000 Ом·м), які утворюють "ланцюжки" північно-західного простягання в центральній частині ділянки робіт на лівому березі річки Веле і, практично, субмеридіонального простягання на правому березі. Поля знижених ρ_{γ} (менше 2000 Ом·м) займають великі за площею ділянки на лівому березі та практично зникають на правому березі р. Веле.

На глибині приблизно 20 м (дод. А, рис. А4) уявний питомий опір змінюється від 255 до 12 845 Ом·м при середньому значенні 3062 Ом·м. На карті виділяються області підвищених значень уявних опорів (більше 5000 Ом·м), які утворюють поля північно-західного простягання в центральній частині ділянки робіт на лівому березі р. Веле і майже субмеридіонального простягання на правому березі. Области підвищених опорів збільшуються, успадковуючи загальну структуру, яка почала проявлятися на картах уявних електричних опорів на розносах АВ=12 м, АВ=20 м й АВ=40 м. Ці області пов'язані з місцями неглибокого залягання кристалічних порід. Поля знижених значень ρ_{γ} (менше 2000 Ом·м) пов'язані з тріщинуватими зонами кристалічних порід, а також з ділянками підвищеної потужності кори вивітрювання та приурочені до долини р. Веле і до її древньої долини в західній частині ділянки робіт.

На глибині приблизно 30-35 м (дод. А, рис. А5) уявний опір змінюється від 422 до 13 460 Ом·м, при середньому значенні 4269 Ом·м. Також, як і на попередніх картах, на карті виділяються області підвищених значень опорів (більше 5000 Ом·м), які утворюють поля північно-західного простягання в центральній частині ділянки робіт на лівому березі р. Веле. Поля практично успадковують загальну структуру, яка почала проявлятися на картах уявних електричних опорів на

розносах АВ = 12 м, АВ = 20 м, АВ = 40 м й АВ = 80 м, охоплюючи майже половину площі робіт. Ці області пов'язані із зонами слабо тріщинуватих і монолітних кристалічних порід.

Загалом, у лівобережній частині ділянки «Дериваційний канал - гребля» виділяється центральний блок – найбільш високоомний (опір 5000-10 000 Ом·м), із західного та східного боку від цього блоку простежуються лінійно витягнуті зони, в межах яких значення опору менше 3000 Ом·м .

Правобережна частина території слабо диференційована за опорами, зі збільшенням глибини досліджень від 20 м і більше вона являє собою високоомний мікроблок, уявний опір якого знаходиться в межах 4000-9000 Ом·м.

4.2.2. Аналіз схематичних карт

Як зазначено вище, за результатами наземних електрометричних і сейсмічних робіт з урахуванням даних буріння побудовані три схематичні карти: карта ізогіпс поверхні малопорушених кристалічних порід (дод. Б, рис. Б1); карта ізопакіт товщі порід, що перекривають малопорушені кристалічні утворення (дод. Б, рис. Б2); карта питомих електричних опорів кристалічних порід (дод. Б, рис. Б3). Зупинимося на їх аналізі.

На схематичній карті ізогіпс (дод. Б, рис. Б1) відображено положення покрівлі кристалічних порід. У межах проектованої території розміщення дериваційного каналу і греблі глибина залягання покрівлі кристалічних порід змінюється в інтервалі абсолютних позначок 15-125 м. Піднятий мікроблок виділяється в центральній частині лівобережжя р. Веле та на сході її правобережної частини.

На лівобережній ділянці, у західному напрямку від піднесеного блоку (абс. відм. 70-105 м) відзначається занурення покрівлі кристалічних порід на 40 м (абс. відм. 70-30 м), у подальшому рельєф покрівлі відносно рівний (абс. відм. 30 -20 м).

На схід від піднятого блоку відзначається різке занурення покрівлі

кристалічних порід (абс. відм. до 25 м).

На правобережній ділянці у східному напрямку простежується підняття покрівлі кристалічних порід (абс. відм. 35-125 м).

На схематичній карті ізопакіт (дод. Б, рис. Б2) відображена потужність товщі відкладів, що перекривають слаботріщинуваті кристалічні породи. У межах лівобережної частини території товщина покривних відкладів змінюється від 2 до 34 м. Найбільша за розмірами зона, де товщина пухких (елювіально-делювіальних) відкладів становить менше 10 м, простежується в центральній частині, аналогічна за товщиною покривних відкладів локальна зона фіксується на західній і невеликі дві локальні зони – на східній частині лівобережжя.

На правобережній території потужність товщі елювіально-делювіальних відкладів варіює в межах від 8 до 14 м.

На схематичній карті питомих електричних опорів кристалічних порід (дод.Б, рис. Б3) представлена їх геоелектрична характеристика. Безперечно, що електричні властивості кристалічних утворень, зазвичай, тісно пов'язані зі ступенем їх тріщинуватості. Питомий опір кристалічних порід, залежно від ступеня тріщинуватості, змінюється від 1000-2000 Ом·м до 50 000 Ом·м. На карті винесені області монолітних порід з високими значеннями питомого опору і по-різному тріщинуватих порід зі зниженими значеннями питомого опору.

Зони зниженого питомого електричного опору кристалічних порід ($\rho < 2000$ Ом·м) мають досить обмежене розповсюдження виділені лише на лівобережній частині р. Веле у її північно-західній та східній частині ділянки робіт у вигляді локальних зон, які мають близьке до північно-східного та меридіонального простягання і зіставляються з областями *інтенсивно тріщинуватих* кристалічних порід.

Області, що характеризуються питомим електричним опором від 2000 до 5000 Ом·м, виділені у північно-західній, південно-східній та східній частині ділянки робіт,

мають північно-східне й меридіональне простягання і зіставляються з розвитком *тріщинуватих* кристалічних порід.

Зони з питомим електричним опором 5000-8000 Ом·м виділені в північно-західній, центральній та східній частині лівобережжя і також у східній частині лівобережжя р. Веле. Закартовані зони мають північно-східне близьке до меридіонального простягання і зіставляються з областями *слабо тріщинуватих* кристалічних порід.

Області відносно монолітних слаботріщинуватих кристалічних порід (зони з високим електричним опором $\rho > 8000$ Ом·м) розташовані між зонами тріщинуватих порід і займають біля 50 % досліджуваної площі ділянки «Дериваційний канал-гребля». Вони зафіксовані у вигляді локальних ділянок у північно-західній та східній частинах лівобережжя, а також у вигляді широкої зони північно-західного простягання в її центральній частині. На правобережній частині району робіт область розповсюдження відносно монолітних кристалічних порід фіксується в її західній частині у вигляді широкої зони меридіонального простягання, яка безпосередньо прилягає до долини р. Веле.

Підведемо загальний підсумок аналізу карти питомих опорів кристалічних порід. Загалом у центральній частині лівобережжя р. Веле до 75 % площі займають слабо-тріщинуваті та монолітні кристалічні породи ($\rho > 8000$ Ом·м). У західній частині лівобережної ділянки переважають зони зі зниженими значеннями питомих опорів ($\rho < 5000 - 2000$ Ом·м), які зіставляються із зонами інтенсивної тріщинуватості (зонами тектонічного порушення). У східній частині лівобережжя наявна зона знижених опорів, за винятком локальної високоомної області, яка приурочена до долини річки Веле. На правобережній частині території кристалічні породи переважно характеризуються високими значеннями питомих опорів (більше 10 000 Ом·м), що свідчить про практично досить високу монолітність (збереженість) кристалічних порід.

4.2.3. Характеристика геофізичних розрізів

Наведемо характеристику розрізу з урахуванням фізичних властивостей порід на основі аналізу геолого-геофізичних розрізів уздовж 16 профілів (дод. В, рисунки В1-В19). При побудові геоелектричних розрізів використані результати кількісної інтерпретації геофізичних матеріалів, а також фактичні геологічні дані, які отримані за буровими свердловинами та сейсмозвільдвальними дослідженнями.

Геолого-геофізичні розрізи включають елементи якісної (вертикальні розрізи уявних питомих опорів ρ_y) і кількісної інтерпретації геофізичних матеріалів (геоелектричні та сейсмогеологічні розрізи), які наводяться і розглядаються спільно.

На вертикальних розрізах по всіх профілях наведена *якісна* характеристика геологічного розрізу. На підставі значень ρ_y в приповерхневій частині досліджуваної товщі виділяється покривний (надпорний) горизонт з низькими (менше 2000 Ом·м) значеннями уявних опорів. Низький опір зумовлений складом (відсотковим співвідношенням глинистих ґрунтів та включень щебеню) і зводненістю товщі покривних кристалічних породи відкладів. Ця товща представлена переважно жорстк'яно-щебенистою корою вивітрювання, іноді разом з досить порушеними вивітрюванням кристалічними породами.

Кристалічні породи досить чітко простежуються за значеннями ρ_y , і залежно від ступеня тріщинуватості характеризуються високими значеннями уявного опору від 2 000 до 50 000 Ом·м.

На геолого-геофізичних розрізах представлені також результати *кількісної* інтерпретації геофізичних матеріалів. За даними кількісної інтерпретації кривих ВЕЗ виділено опорний горизонт, а за даними інтерпретації сейсмозвільдки - заломлювальний горизонт, покрівлі яких зіставляються з покрівлею кристалічних порід. У покривній товщі (надпорний горизонт) за даними методу ВЕЗ виділені окремі шари, представлені товщею ґрунтів зі щебенем, жорстк'яно-щебенистою, різною мірою обводненою корою вивітрювання. Нижче наведено опис результатів

досліджень уздовж профілів, пройдених на території ділянки проектного розміщення дериваційного каналу та греблі. У графічному вигляді ці результати представлені на рисунках В1-В19 графічного додатка В.

Профіль 20/20, 21 (дод. В, рис. В4) перетинає центральну частину ділянки робіт з північного заходу на південний схід уздовж проектного водозливного каналу та водоприймача. Для профілю 20 загалом характерний тришаровий геоелектричний розріз, хоча на окремих ділянках зустрічається чотиришаровий. В основі розрізу на глибині 5-19 м залягає кристалічний фундамент. За матеріалами буріння (св. 22, 23, 26, 20, 19, 30, 34, 17), породи фундаменту представлені діабазами, гнейсами, діоритами, кристалосланцями різного ступеня тріщинуватості. У свердловині 25 зустрічається тектонічна брекчія. Абсолютні позначки покрівлі кристалічних порід змінюються в межах від 17 до 86 м. Поверхня кристалічних порід в районі ВЕЗ 323 - 334 має нахил на північний захід. На інших ділянках покрівля кристалічних порід має практично субгоризонтальне залягання з невеликими відхиленнями. Питомий електричний опір кристалічних порід змінюється в межах від 2 370 до 50 000 Ом·м, що свідчить про наявність різною мірою тріщинуватих порід фундаменту – від тріщинуватих ($\rho < 5000$ Ом·м), слабо тріщинуватих ($5000 < \rho < 8000$ Ом·м) до монолітних ($\rho > 8000$ Ом·м). За матеріалами електророзвідки, різною мірою тріщинуваті кристалічні породи фундаменту передбачаються в районі ВЕЗ 402, 400-396, 394-390, 344-343, 341-339, 336, 332-325, 304, 319, 316, 577-581.

На кристалічних породах залягає надпорний геоелектричний горизонт товщиною 3,5-10,5 м з питомим електричним опором 51-3390 Ом·м. Він зіставляється, переважно, з товщею жорсткво-щебенистої кори вивітрювання ($\rho = 150 - 2000$ Ом·м), іноді з досить зруйнованими вивітрілими кристалічними породами ($\rho = 2000 - 3390$ Ом·м). Локально (ВЕЗ 333 – 336) зустрінуто каолінітова

кора вивітрювання (св. 25), яка характеризується зниженим електричним опором ($\rho = 51 - 91 \text{ Ом}\cdot\text{м}$).

Перший від поверхні геоелектричний горизонт потужністю 1-5 м характеризується електричним опором 233-3660 Ом·м і представлений ґрунтом зі щебенем і дерев'яно-щебеністою корою вивітрювання різною мірою обводненими. Найнижчі опори характерні для заболоченої долини струмка (ВЕЗ 335).

Сейсморозвідувальні дослідження (КМЗХ) проведені на профілі 20 і 21 в інтервалі ВЕЗ 340-336 і ВЕЗ 323-315. В інтервалі ВЕЗ 340-336 глибина залягання опорного та заломлювального горизонтів (покрівлі кристалічних порід) практично збігається, рельєф поверхні покрівлі за даними сейсморозвідки більш хвилястий оскільки сейсмоприймачі розташовані через 5 м, що зумовлює вищу детальність простежування. Відповідно до значень межевої швидкості поширення заломленої хвилі кристалічні породи збережені і слабо тріщинуваті.

В інтервалі ВЕЗ 323-315 глибина залягання покрівлі кристалічних порід за даними ВЕЗ і КМЗХ також збігається, рельєф поверхні покрівлі більш хвилястий. Відповідно до значень межевої швидкості поширення заломленої хвилі породи збережені в інтервалі ПК 0-115, що узгоджується з даними методу ВЕЗ. В інтервалі ПК115-230 за даними сейсморозвідки в покрівлі кристалічних порід простежується зона інтенсивної тріщинуватості, на відміну від даних ВЕЗ, згідно з якими інтервал ВЕЗ 323-315 характеризується високим питомим електричним опором, властивим для слаботріщинуватих порід. Така розбіжність в оцінці стану кристалічних порід пояснюється розбіжністю розташування точок ВЕЗ 323-315 й інтервалу сейсморозвідувальних спостережень ПК 115-230.

Профіль 21 (дод. В, рис. В5) перетинає центральну частину ділянки робіт із південного заходу на північний схід, поперек проектованого водозливного каналу. Для профілю 21 характерний тришаровий геоелектричний розріз. В основі розрізу на глибині 5,5-11 м залягає кристалічний фундамент. У свердловині 2, пробуреної

поблизу ВЕЗ 357, породи фундаменту представлені гнейсами. Абсолютні позначки покрівлі кристалічних порід змінюються від 35,5 до 42 м. У межах ВЕЗ 352 - 348 спостерігається незначне підняття покрівлі кристалічних порід. На решті ділянок покрівля кристалічних порід має практично субгоризонтальне залягання з невеликими відхиленнями. Питомий електричний опір кристалічних порід змінюється від 5290 до 10570 Ом·м, що свідчить про різний рівень загалом слабкої тріщинуватості кристалічних порід.

На кристалічних породах залягає надпорний горизонт потужністю 3,8-8,3 м з питомим електричним опором $\rho=707 - 2940$ Ом·м. Він зіставляється з товщею жорстк'янисто-щебенистої кори вивітрювання, іноді з досить зруйнованими вивітрілими кристалічними породами.

За даними сейсморозвідки покрівля кристалічних порід в інтервалі ВЕЗ 341-357 простежується на глибині 6,5 м, що відповідає положенню покрівлі за даними електророзвідки. Рельєф поверхні покрівлі практично горизонтальний. Швидкість поширення поздовжньої хвилі $V_p > 4100$ м/с, що свідчить про наявність тільки слабкої тріщинуватості в підстильних кристалічних утвореннях.

Профіль 22 (дод. В, рис. В6) перетинає центральну частину ділянки робіт із південного заходу на північний схід, поперек проектованого водозливного каналу. Для профілю 22 характерний тришаровий геоелектричний розріз, хоча на окремих ділянках зустрічається чотиришаровий. В основі розрізу на глибині 7,5 - 14 м залягає кристалічний фундамент. У свердловині 20 пробуреної у районі ВЕЗ 331 породи фундаменту представлені гнейсами. Абсолютні позначки покрівлі кристалічних порід змінюються в межах від 26 до 30 м. У районі ВЕЗ 360 – 359 спостерігається незначне занурення покрівлі кристалічних порід. Питомий електричний опір кристалічних порід змінюється в межах від 3210 до 11750 Ом·м, що свідчить про різний рівень тріщинуватості порід фундаменту.

На кристалічних породах залягає надпорний горизонт потужністю 3,5 – 12,7 м з електричним опором 190 – 2230 Ом·м. Він зіставляється з товщею жорств'яно-щербенистої кори вивітрювання різною мірою обводненої. Фрагментарно в місцях розташування ВЕЗ 331, 359, 355 зафіксовані лінзи порід потужністю 2 – 5 м з електричним опором від 1080 до 3170 Ом·м, які зіставляються з верхньою частиною жорств'яно-щербенистої кори вивітрювання різною мірою обводненої (у разі високих значень опорів – до сухої).

Профіль 23 (дод. В, рис. В7). перетинає центральну частину ділянки робіт із північного заходу на південний схід уздовж майбутнього водозливного каналу. Для профілю 23 характерний тришаровий геоелектричний розріз. На окремих ділянках зустрічається чотиришаровий. В основі розрізу на глибині 6 - 17,5 м залягає кристалічний фундамент. У свердловинах 28, 33, 18, пробурених у південно-східній частині профілю, породи фундаменту представлені діабазми. У свердловинах 26, 20, 27 пробурених у північно-західній частині профілю 20, який проходить паралельно до профілю 23, породи фундаменту представлені гнейсами.

Питомий електричний опір кристалічних порід змінюється в межах від 1816 до 50 000 Ом·м, що свідчить про різний рівень тріщинуватості і збереження порід. На кристалічних породах залягає надпорний горизонт потужністю 4,5 – 13 м з електричним опором 136 – 2970 Ом·м. Він зіставляється, в основному, з товщею жорств'яно-щербенистої кори вивітрювання різною мірою обводненої, іноді із сильно зруйнованими вивітрілими кристалічними породами (у разі низьких значень опорів). У районі ВЕЗ 387-388, 366-365 передбачається наявність каолінітової кори вивітрювання, яка відзначається зниженими електричними опорами ($\rho < 200$ Ом·м).

У районі ВЕЗ 367, 385, 387, 378, 389, 366-364, 449-447, 440 – 438 зафіксовані лінзи порід потужністю 2 – 5 м з питомим електричним опором від 970 до 4440 Ом·м, представлених жорств'янисто-щербенистою корою вивітрювання різною мірою обводненою (до сухої - у разі високих значень опорів).

Профіль 24 (дод. В, рис В8) перетинає центральну частину ділянки робіт із південного заходу на північний схід, поперек проектованого водозливного каналу. В основі розрізу на глибині 7 - 9,5 м залягає кристалічний фундамент. У свердловині 26, пробуреній за 20 м на північний захід від ВЕЗ 343, породи фундаменту представлені гнейсами.

Питомий електричний опір кристалічних порід змінюється в межах від 3340 до 9460 Ом·м, що свідчить про різний рівень тріщинуватості порід фундаменту.

На кристалічних породах залягає надпорний горизонт потужністю 5 – 7,5 м з електричним опором 380 – 2830 Ом·м. Він зіставляється з товщею жорств'янисто-щербенистої кори вивітрювання, іноді із сильно порушеними вивітрілими кристалічними породами.

Профіль 25 (дод. В, рис. В9) перетинає ділянку робіт із південного заходу на північний схід. Для профілю 25 характерний чотиришаровий геоелектричний розріз (в районі ВЕЗ 384-383 тришаровий). В основі розрізу на глибині 8 - 13 м залягає кристалічний фундамент. У свердловині 25, пробуреній у районі ВЕЗ 375, зустрінуто тектонічна брекчія.

Питомий електричний опір кристалічних порід змінюється в межах від 1748 до 50000 Ом·м, що свідчить про різний рівень тріщинуватості порід фундаменту. Найбільш низькі опори корінних порід зафіксовані в районі ВЕЗ 377, 375 де свердловиною 25 розкрита тектонічна брекчія.

На кристалічних породах залягає надпорний горизонт потужністю 4 - 8,5 м з електричним опором 172 - 1205 Ом·м, який зіставляється з товщею жорств'янисто-щербенистої кори вивітрювання різною мірою обводненої.

У надпорному геоелектричному горизонті в районі ВЕЗ 381-375 зафіксований шар порід потужністю 2 - 5 м з електричним опором від 76 до 1070 Ом·м, який зіставляється, в основному, з верхньою частиною жорств'янисто-щербенистої кори вивітрювання різною мірою обводненої (у районі ВЕЗ 336 – з каолінітовою).

Профіль 26 (дод. В, рис. В10) розташований на лівому березі р. Веле в районі планованого місця розташування греблі і перетинає ділянку робіт з південного заходу на північний схід. Для профілю 26 загальною характерний тришаровий геоелектричний розріз. На окремих ділянках зустрічається чотиришаровий. В основі розрізу на глибині 10 – 14 м залягає кристалічний фундамент. У свердловині 3, пробуреній у центральній частині профілю, породи фундаменту представлені гранітогнейсами.

Питомий електричний опір кристалічних порід змінюється в межах від 1920 до 50000 Ом·м, що свідчить про різний ступінь тріщинуватості порід фундаменту.

На кристалічних породах залягає надпорний горизонт товщиною 6 – 10 м з електричним опором 340 – 3300 Ом·м. Він зіставляється з товщею жорстк'янисто-щербенистої кори вивітрювання різною мірою обводненої, іноді з досить порушеними вивітрілими кристалічними породами (у разі високого опору).

Профіль 27 (дод. В, рис. В11) розташований на схилі плато на лівому березі р. Веле і перетинає ділянку робіт з північного заходу на південний схід. Для профілю 27 характерний чотиришаровий геоелектричний розріз. В основі розрізу на глибині 11 – 31 м залягає кристалічний фундамент.

Питомий електричний опір кристалічних порід змінюється в межах від 2920 до 50000 Ом·м, що свідчить про різний ступінь тріщинуватості порід фундаменту.

На кристалічних породах залягає надпорний геоелектричний горизонт товщиною 7 – 22 м з електричним опором 340 – 3300 Ом·м. Цей горизонт зіставляється з товщею жорстк'янисто-щербенистої кори вивітрювання різною мірою обводненою, іноді з досить порушеними вивітрілими кристалічними породами (у разі високих значень опору).

Профіль 28/25 (дод. В, рис. В12) перетинає центральну частину ділянки робіт із північного заходу на південний схід уздовж проектного водозливного каналу та водоприймача. Для профілю 28 характерний тришаровий геоелектричний розріз. В основі розрізу на глибині 4,5 - 8,5 м залягає кристалічний фундамент. У

свердловинах 19Б і 32, пробурених у північно-західній та центральній частині профілю породи фундаменту представлені, відповідно, діабазами та гнейсами.

Питомий електричний опір кристалічних порід змінюється в межах від 5070 до 50 000 Ом·м, що свідчить про різний рівень тріщинуватості порід фундаменту.

На кристалічних породах залягає надпорний горизонт потужністю 2 – 6,5 м з електричним опором 335 – 6780 Ом·м. Він зіставляється з товщею жорстк'янистої кори вивітрювання різною мірою обводненої, іноді із сильно порушеними вивітрілими кристалічними породами (у разі високих значень опору).

Розташування профілю 28 практично збігається з сейсморозвідувальним профілем 25. Зміщення профілів відбувається після точки ВЕЗ 432. Загалом положення опорного і заломлювального горизонтів збігається в інтервалі ПК 0-115. В інтервалі ПК 115-230 глибина залягання покрівлі кристалічних порід за даними сейсморозвідки і електророзвідки не збігається – заломлювальна межа простежується вище приблизно на 3 м. Крім того, кристалічні породи у цьому інтервалі за даними КМЗХ характеризуються як тріщинуваті і навіть виділяється інтервал інтенсивної тріщинуватості (ПК 135-165 м), а за даними електророзвідки кристалічні породи відносяться до слаботріщинуватих. Така відмінність у положенні меж і стані порід обумовлена тим, що під час виконання сейсморозвідувальних робіт не вдалося забезпечити необхідне віддалення пункту збудження коливань для наганяльного годографа. Заломлена хвиля, зареєстрована в межах інтервалу 115-230 м, зіставляється з межею поділу, простеженою у товщі, що пролягає вище (в надпорному горизонті).

Профіль 30 (дод. В, рис. В13) перетинає ділянку робіт із південного заходу на північний схід, поперек проектного водозливного каналу. Для профілю 30 характерний тришаровий геоелектричний розріз (в районі ВЕЗ 450 чотиришаровий). В основі розрізу на глибині 5,5 – 14 м залягає кристалічний

фундамент. У свердловинах 29, 30, 32, пробурених на профілі, породи фундаменту представлені діоритами та гнейсами.

Питомий електричний опір кристалічних порід змінюється в межах від 6150 до 13340 Ом·м, що свідчить про різний рівень тріщинуватості порід фундаменту.

На кристалічних породах залягає надпорний горизонт товщиною 4 – 10,5 м з електричним опором 503 – 2140 Ом·м. Він зіставляється з товщею жорстк'янисто-щербенистої кори вивітрювання, різною мірою обводненою.

Профіль 37 (дод. В, рис. В14) розташований на лівому і частково на правому березі р. Веле в районі планованого місця розташування греблі і перетинає ділянку робіт з південного заходу на південний схід. Для профілю 37 характерний тришаровий геоелектричний розріз. В основі розрізу на глибині 7 – 15,5 м залягає кристалічний фундамент. У свердловині 40, пробуреній на лівому березі р. Веле, породи фундаменту представлені діабазами, а у свердловинах 10 і 11, пробурених на правому березі р. Веле, кристалічні породи представлені гнейсами.

Питомий електричний опір кристалічних порід змінюється в межах від 1720 до 18810 Ом·м, що свідчить про наявність різного рівня тріщинуватості порід фундаменту.

На лівому березі р. Веле на кристалічних породах залягає надпорний горизонт товщиною 4,5 – 12 м з електричним опором 430 – 1890 Ом·м. Він зіставляється з товщею жорстк'янисто-щербенистої кори вивітрювання, різною мірою обводненою. На правому березі (ВЕЗ 565) для цього горизонту характерним є опір 3530 Ом·м і він зіставляється з досить порушеними вивітрілими кристалічними породами.

Профіль 38 (дод. В, рис. В15) пройдений з південного сходу на північний захід і розташований на штучно прокладеній терасі на лівому березі р. Веле. Для профілю 38 загалом характерний чотиришаровий геоелектричний розріз. В основі розрізу на орієнтовній глибині 33 – 35 м (ВЕЗ 544-545) залягає кристалічний фундамент. На ВЕЗ 542, 543, 546 покрівля порід фундаменту не зафіксована, у

зв'язку з неможливістю забезпечити необхідні розноси лінії АВ за умовами місцевості.

Питомий електричний опір кристалічних порід змінюється в межах від 5345 до 7890 Ом·м, що свідчить про наявність різного рівня тріщинуватості порід фундаменту.

На кристалічних породах залягає надпорний горизонт товщиною 25 м і більше з електричним опором 440 – 2420 Ом·м. Він зіставляється з товщею делювіальних відкладів і жорств'янисто-щебенистої кори вивітрювання, різною мірою обводнених, з включеннями сильно порушених вивітрілих кристалічних порід (у разі підвищених значень опорів).

Профіль 39 (дод. В, рис. В16) розташований на лівому і частково на правому березі р. Веле в районі передбачуваного розташування греблі і перетинає ділянку робіт з південного заходу на північний схід. Для профілю 39 характерний три-, чотиришаровий геоелектричний розріз. В основі розрізу на глибині 11 - 42 м залягає кристалічний фундамент. У свердловині 2А, пробуреній на лівому березі р. Веле за 70 м на північ від ВЕЗ 548, породи фундаменту представлені діабазами, а у свердловинах 10 та 11, пробурених на правому березі р. Веле за 180 м від ВЕЗ 573, кристалічні породи представлені гнейсами.

Питомий електричний опір кристалічних порід фундаменту змінюється в межах від 5720 до 50000 Ом·м, що свідчить про різний рівень їх тріщинуватості.

На лівому березі р. Веле на кристалічних породах залягає надпорний геоелектричний горизонт потужністю 9 – 25 м з електричним опором 440 – 2010 Ом·м. Він зіставляється, з товщею жорств'яно-щебенистої кори вивітрювання, порізного обводненої. На правому березі (ВЕЗ 573) цей горизонт має питомий опір 2774 Ом·м і зіставляється із сильно порушеними вивітрілими кристалічними породами.

Профіль 40 (дод. В, рис. В17) пройдено з південного сходу на північний захід по штучно прокладеній терасі на лівому березі р. Веле нижче по схилу від профілю

38. Для профілю 40 загалом характерний чотиришаровий геоелектричний розріз (в районі ВЕЗ 557 – п'ятишаровий). В основі розрізу на орієнтовній глибині 34 - 42 м (ВЕЗ 556-559) залягає кристалічний фундамент. На ВЕЗ 555, 560 покрівля порід фундаменту не зафіксована, у зв'язку з неможливістю забезпечення необхідних розносів лінії АВ за умовами місцевості.

Питомий електричний опір кристалічних порід змінюється в межах від 1225 до 7890 Ом·м, що свідчить про різну ступінь тріщинуватості порід фундаменту.

На кристалічних породах залягає надпорний геоелектричний горизонт товщиною 18 – 30 м і більше з електричним опором 190 – 866 Ом·м. Він зіставляється з товщею делювіальних відкладів і жорств'яно-щебенистої кори вивітрювання, різною мірою обводнених.

Профіль 41 (дод. В, рис. В18) пройдений по штучно прокладеній терасі на правому березі р. Веле. Для профілю 41 характерний, загалом, тришаровий геоелектричний розріз (в районі ВЕЗ 566 – чотиришаровий). В основі розрізу на глибині 8 - 12 м залягають монолітні породи кристалічного фундаменту. У свердловинах 9, 10, 11, пробурених на правому березі р. Веле поряд з профілем в районі ВЕЗ 565-568, кристалічні породи представлені гнейсами. Питомий електричний опір монолітних кристалічних порід змінюється в межах від 10000 до 50000 Ом·м.

На кристалічних породах залягає надпорний горизонт потужністю 3,5 - 10 м і більше з електричним опором 950 - 6070 Ом·м. Він зіставляється з товщею жорств'янисто-щебенистої кори вивітрювання (при $\rho < 2000$ Ом·м) і різною мірою вивітрілими тріщинуватими кристалічними породами (при $\rho > 2000$ Ом·м).

Профіль 46 (дод. В, рис. В19) розташований на лівому березі р. Веле в районі планованого розташування дамби і перетинає ділянку робіт із північного заходу на південний схід. Для профілю 46 характерний чотиришаровий геоелектричний розріз. В основі розрізу на глибині 7 - 16 м залягає кристалічний фундамент. У

свердловинах 3 і 4а, пробурених у безпосередній близькості від профілю 46, породи фундаменту представлені діабазами та гранітогнейсами.

Питомий електричний опір кристалічних порід змінюється в межах від 2734 до 33970 Ом·м, що свідчить про різний рівень тріщинуватості порід фундаменту.

На кристалічних породах залягає надпорний геоелектричний горизонт потужністю 6 - 8 м з електричним опором 660 - 1880 Ом·м. Він зіставляється з товщею жорстк'янисто-щербенистої різною мірою обводненої кори вивітрювання.

ВИСНОВКИ

1. Загальні геолого-геофізичні висновки.

У межах дослідженої території масиви скельних порід у приповерхневій частині розрізу є складно побудованими геологічними середовищами, які характеризуються різкою просторовою мінливістю властивостей, недостатньою чіткістю та витриманістю меж поділу ділянок з різними властивостями, суттєвою неоднорідністю та анізотропністю властивостей порід. Блочність скального масиву обумовлена складною структурно-тектонічною будовою комплексу гірських порід, розбитого тектонічними порушеннями і прилеглими до них зонами тріщинуватості, по яких відбувалося вкорінення інтрузій.

Тріщинуватість і неоднорідність скального масиву ускладнюються процесами вивітрювання, а в долині річки (особливо прибережної частини) процеси пов'язані з розвантаженням скального масиву.

Поверхня скельних порід повсюдно перекрита чохлам елювіально-делювіальних відкладів, які утворюють поверхневу товщу порід з відносно низькими значеннями питомого електричного опору і низькими значеннями швидкості поширення пружних хвиль (V_p і V_s). Ця товща зазвичай складається з кількох шарів, які характеризуються значною неоднорідністю як за простяганням, так і за глибиною. Залежно від конкретних геологічних і поверхневих умов властивості шарів суттєво змінюються.

2. Висновки за результатами свердловинних досліджень.

- Виконано розрахунок деформаційних та міцнісних властивостей для виділених інженерно-геологічних елементів (таблиця 4.2), складено графіки властивостей порід (швидкість поздовжніх хвиль, питомий електричний опір, рис. (4.1–4.3).

- Отримано сейсмотомографічні розрізи (рис. 4.4–4.6), на яких відображено стан порід у міжсвердловинному просторі. На лівобережній частині території

досліджень результати сейсмотомографії (рис. 4.4-4.5) свідчать про те, що свердловини 201, 202, 203 пробурені в межах зони тектонічного порушення.

- За даними сейсмотомографічного розрізу св. 36-196 (рис. 4.5), у геологічному розрізі, приблизно до глибини 4 м простежується підзона А, в інтервалі глибин 4-6 м – підзона Б, на глибинах більше 6 м – підзона В.

- У міжсвердловинному просторі св. 41-42 (рис. 4.5) у дайці діабазів простежується ксеноліт.

- На правобережній частині території розміщення основних споруд породи в міжсвердловинному просторі характеризуються як більш збережені. Найбільш неоднорідним є розріз між свердловинами 13-14 (рис. 4.6), імовірно, це пов'язано з наявністю у міжсвердловинному просторі зони розлому. Більш збережені породи залягають у міжсвердловинному просторі св. 11-12 і св. 10-11.

Загалом результати міжсвердловинної сейсмотомографії дозволяють зробити висновок про складну будову масиву гірських порід дослідженої території будівництва ГЕС, який характеризується тріщинуватістю різної інтенсивності, обумовленою наявністю тектонічних порушень.

3. Висновки за даними наземних електрометричних і сейсмічних досліджень.

- В основі розрізу досліджуваної території залягають докембрійські кристалічні породи, які представлені діабазами, гнейсами, діоритами, гранодіоритами і кристалосланцями, питомий електричний опір яких змінюється від 780 до 50 000 Ом·м, межові швидкості поширення заломлених пружних хвиль змінюються від 2,7 км/с до 7.0 км/с.

- Монолітні та слаботріщинуваті кристалічні породи характеризуються питомими електричними опорами, що перевищують 8 000 Ом·м і значеннями межевої швидкості заломлених хвиль понад 4,5 км/с.

- Питомий електричний опір тріщинуватих кристалічних порід фундаменту залежить від багатьох факторів: ступеня тріщинуватості та вивітрілості, стану

тріщин, їх обводненості й мінералізації підземних вод. Згідно з матеріалами виконаних параметричних досліджень, електричний опір інтенсивно тріщинуватих вивітрілих кристалічних порід змінюється від 780 до 2 000 Ом·м, тріщинуватих кристалічних порід – від 2 000 до 5 000 Ом·м, слабо тріщинуватих кристалічних порід – від 5 000 до 8 000 Ом·м.

- Кора вивітрювання на докембрійських кристалічних породах ділянки робіт має площовий характер залягання. Її утворення залежало від специфічних кліматичних умов (утворення латериту), тектонічного режиму, складу материнських гірських порід, геологічної та тектонічної будови окремих ділянок території робіт, древнього рельєфу. Кора вивітрювання відсутня у місцях виходу на денну поверхню кристалічних порід і характеризується зональною будовою. Зверху вниз виділяються: - зона повної латеритизації; - зона часткової латеритизації; - зона початкового розкладу (вилуговування) та дезінтеграції. При цьому переходи між зонами поступові, а межі нечіткі. Їх виділення геофізичними методами утруднено, часто практично неможливе.

- Каолінітова кора вивітрювання приурочена до ланцюжків лінійно витягнутих понижень з перепадом відносних висот 4-5 м. Лінійна орієнтація ланцюжків понижень відповідно до напрямів тектонічної тріщинуватості, їх приуроченість до палеодолин дозволяє припустити зв'язок утворення каолінової кори вивітрювання з розломною тектонікою. Каолінітова кора вивітрювання зустрічається локально, на окремих ділянках (ПР20, ВЕЗ 333 - 336), і характеризується зниженим електричним опором менше 150 - 200 Ом·м. Швидкості поширення поздовжньої хвилі у всій товщі ґрунтів, що покриває кристалічні породи, становлять 0.4-0,6 км/с.

- Латеритна жорств'яниста кора вивітрювання (часто з валунами кристалічних порід) характеризується підвищеним електричним опором – від кількох сотень до 2 000, іноді 3 000 Ом·м. Загалом, кора вивітрювання часто дуже слабо відрізняється за питомим електричним опором від інтенсивно тріщинуватих,

вивітріли кристалічних порід. За даними ВЕЗ кора вивітрювання виділяється у вигляді одного або двох надпорних геоелектричних горизонтів.

- Елювіальні відклади, представлені латеритними та каоліновими корама вивітрювання, перекриваються на схилах шаром делювіальних суглинків, які за питомим електричним опором практично не відрізняються від кори вивітрювання.

- Ґрунтово-рослинний шар має невелику товщину (до 0,4 – 0,6 м). За питомим електричним опором ґрунтово-рослинний шар також практично не відрізняється від кори вивітрювання (делювіальних відкладів на схилах) і за даними ВЕЗ фіксується у вигляді єдиного шару з підстильними його відкладами.

- Абсолютні позначки покрівлі кристалічних порід на ділянці "Деріваційний канал - гребля" змінюються в інтервалі від 15 м до 125 м. Піднятий мікроблок виділяється в центральній частині лівобережжя та на сході правобережної частини. На лівобережній ділянці, в західному напрямку від піднесеного блоку (абс.відм. 70-105 м), відзначається занурення покрівлі кристалічних порід на 40-30 м (абс. отм. 30-70 м), з подальшим відносним вирівнюванням її рельєфу (абс. отм. 30 -20 м).

- Потужність пухких відкладів (кора вивітрювання, делювіальні відклади на схилах) ділянки "Деріваційний канал – гребля" у межах лівобережної частини змінюється від 2 до 34 м. Найбільша за розмірами зона, де товщина пухких (елювіально-делювіальних) відкладів становить менше 10 м, простежується в центральній частині, аналогічна за товщиною покривних відкладів локальна зона фіксується на західній і невеликі дві локальні зони – на східній частині лівобережжя. На правобережній території потужність товщі елювіально-делювіальних відкладів варіює в межах від 8 до 14 м.

- На ділянці "Деріваційний канал – гребля" зони зниженого питомого електричного опору кристалічних порід ($\rho < 2\ 000\ \text{Ом}\cdot\text{м}$) виділені у північно-західній, центральній та південно-східній частині ділянки робіт, мають північно-східне простягання та зіставляються з областями інтенсивно тріщинуватих

кристалічних порід. Області, які характеризуються питомим електричним опором від 2 000 до 5 000 Ом·м, виділені в північно-західній, центральній та південно-східній частині ділянки робіт, мають північно-східне простягання і зіставляються з розвитком тріщинуватих кристалічних порід. Області монолітних і дуже слаботріщинуватих кристалічних порід (зони з високим електричним опором 8 000 Ом·м) розташовані між зонами тріщинуватих порід і займають менше 50% дослідженої площі.

Заключення. Комплексні геофізичні дослідження на ділянці «Дериваційний канал-гребля» території проектування гідроелектростанції «Сенже» (республіка Екваторіальна Гвінея), які включали свердловинні дослідження методами вертикального сейсмічного профілювання, міжсвердловинного прозвучування й міжсвердловинної сейсмічної томографії та наземні геофізичні дослідження електричними методами вертикального електричного зондування й профілювання та сейсмічним методом заломлених хвиль були виконані з метою:

- визначення потужності товщі відкладів, що перекривають слабовивітрілі скельні породи; - вивчення покрівлі скельних порід і виділення в ній тріщинуватих та інтенсивно тріщинуватих зон; - оцінки деформаційних та міцнісних характеристик порід. Отримані результати свідчать про високу результативність даного комплексу методів в мовах складної геологічної будови території робіт. Результати досліджень рекомендується врахувати при проектуванні об'єктів будівництва майбутньої гідроелектростанції «Сенже» в республіці Екваторіальна Гвінея.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамовиц, М., Стиган, И. (Ред). (1979). *Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами.* Москва: «Наука».
2. Акуленка, С.А., Березина, С.А., Бобачев, А.А. и др. (1994). *Электроразведка методом сопротивлений: Учебное пособие.* Москва: Изд-во МГУ.
3. Боганик, Г.Н., Гурвич, И.И. (2006). *Сейсморазведка. Уч. Пособие.* Тверь: Изд-во АИС.
4. Бондарев, В.И. (2003). *Основы сейсморазведки. Уч. пособие.* Екатеринбург: Изд-во УГГТА .
5. Вижва, С.А., Онищук, В.І., Онищук, І.І., Рева, М.В. (2018). *Інженерна геофізика. Підручник.* – Київ: ВПЦ «Київський університет».
6. Гайнанов, В.Г. (2006). *Сейсморазведка. Уч. пособие.* Москва: МГУ. *геофізика.* Москва: Недра. Кн.1, Кн.2.
8. Горяинов, Н.Н., Ляховицкий, Ф.М. (1979). *Сейсмические методы в инженерной геологии.* Москва: Недра.
9. Горяинов, Н.Н., Шарапанов, Н., Чубаров, В., Н.и др. (1985). *Методы геофизики в гидрогеологии и инженерной геологии.* Москва: Недра.
10. Гурвич, И.И., Боганик, Г.Н. (1980). *Сейсморазведка. Учебник.* Москва: Недра.
11. Гурвич, И.И., Номоконова, В.П. (Ред). (1981). *Сейсморазведка. Справочник геофизика.* Москва: Недра, 1981.
12. Жданов, М., С. (1986). *Электроразведка. Учебник.* Москва: Недра.
13. Жданов, М.С. (2007). *Теория обратных задач и регуляризации в геофизике.* Москва: Научный мир.
14. Зинченко, В.С. *Петрофизические основы гидрогеологической и инженерно-геологической интерпретации геофизических данных.* Москва: Изд-во

АИС.

15. Кагармонов, А.Х. (1987). *Геология Африки и Аравии*. Ленинград: Недра.
16. Калинин, В.В. (1985). *Геофизические методы в гидрогеологии, инженерной геологии и гидротехнике*. Ереван: Недра.
17. Кауфман, А., А., Андерсон, Б., И. (2013). *Принципы методов наземной и скважинной электроразведки*. Тверь: Международная Ассоциация «АИС».
18. Кофуд, О. (1984). *Зондирование методом сопротивлений*. Москва : Недра.
19. Крамаренко, В.В. (2016). *Грунтоведение. Учебник*. – Москва: Изд-во Юрайт.
20. Ляховицкий, Ф.М., Хмелевской, В.К., Яценко, З.Г. (1989). *Инженерная геофизика*. Москва: Недра.
21. Матвеев, Б.К. (1990). *Электроразведка. Учебник*. Москва: Недра.
22. Молоков, Л.А. (Ред). (1981). *Прогнозирование в инженерных изыскания для гидротехнического строительства*. Москва: Труды «Гидропроекта», В. 76.
23. Никитин, А., А. (1986). *Теоретические основы обработки геофизической информации*. Москва: Недра.
24. Огильви, А.А. (1990). *Основы инженерной геофизики*. Москва: Недра.
25. Петров, О.В. (2007). *Диссипативные структуры Земли как проявление фундаментальных волновых свойств материи*. СПб: ВСЕГЕИ.
26. Продайвода, Г.Т., Трипільський, О.А., Чулков, С.С. (2008). *Сейсморозвідка. Підручник*. Київ: ВПЦ «Київський університет».
27. Савич, А.И., Куюнджич, Б.Д., Коптев, В.И. и др. (Ред). (1990). *Комплексные инженерно-геофизические исследования при строительстве гидротехнических сооружений*. Москва: Недра.
28. Сулиди-Кондратьев, Е.Д., Разваляев, А.В., Давиденко, И.В. и др. (1984). *Система разломов Африки и Аравии*. Москва: Недра.

29. Толстой, М.И., Рева, М.В., Степанюк, В.П., Сухорада, А.В., Гожик, А. П. (2006). *Основы геофизики (методы разведывальной геофизики)*. Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет».
30. Хасанов, Д.И. (2009). *Введение в электроразведку*. Казань: Казанский государственный университет.
31. Хмелевской, В.К. (1984). *Электроразведка. Учебник*. Москва: Изд-во МГУ.
32. Хмелевской, В.К., Бондаренко, В.М. (Ред) (1989). *Электроразведка. Справочник геофизика (Книга 1, Книга 2)*. Москва: Недра.
33. Хмелевской, В.К., Шевнин, В.А. (Ред). (1988). *Электрическое зондирование геологической среды*. Москва: МГУ. Ч.1.
34. Хмелевской, В.К., Шевнин, В.А. (Ред). (1992). *Электрическое зондирование геологической среды*. Москва: МГУ. Ч.2.
35. Черняк, Г.Я. (1987). *Электромагнитные методы в гидрогеологии и инженерной геологии*. Москва: «Недра».
36. Шкабарня, Н.Г. (1986). Автоматизированная интерпретация кривых ВЭЗ и ВЭЗ-ВП в рудных районах. *Разведка и охрана недр*, N11. 40-45.
37. Шуберт, Ю., Фор-Мюре, А. (Ред). (1973). *Тектоника Африки*. Москва: Мир.
38. Якубовский, Ю.В. (1980). *Электроразведка. Учебник*. М.: Недра.
39. ЯНОВСКАЯ, Т.Б., ПОРОХОВА, Л.Н. (1983). *Обратные задачи геофизики*. Л.: Недра.
40. Zohdy, A.A.R. (1975). *Automatic interpretation of Schlumberger sounding curves using modified Dar-Zarrouk functions*. Washington: Geol. Survey Bulletin.
41. Zohdy, A.A.R. (1989). A new method for the automatic interpretation of Schlumberger and Wenner sounding curves. *Geophysics*, Vol.54. N2. 245-253.

Графічні додатки

Додаток А.

Карти-зрізи уявного опору

(Рисунки А.1-А.5)

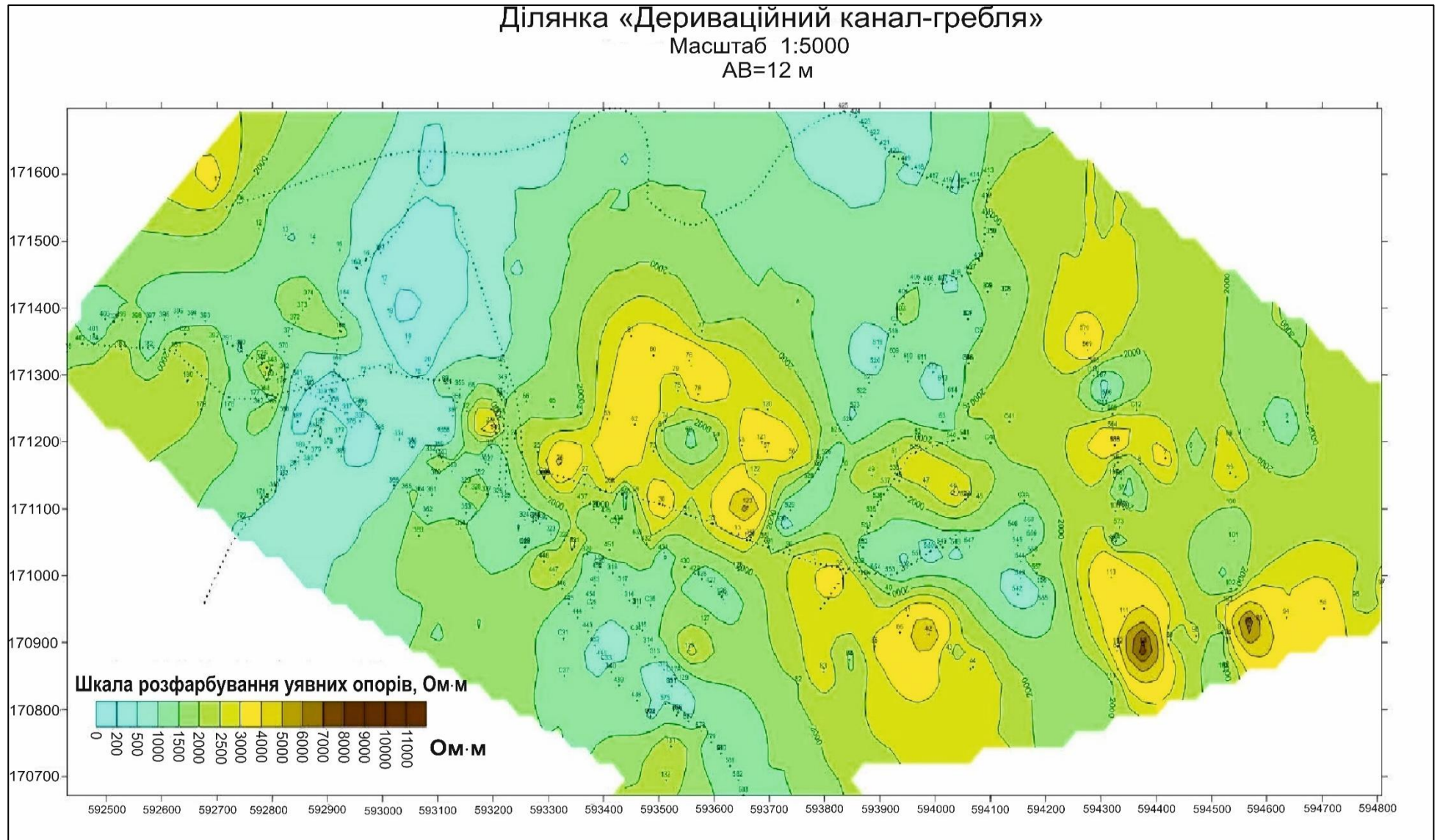


Рис. А.1 – Карта-зріз уявного опору для розносу АВ=12 м

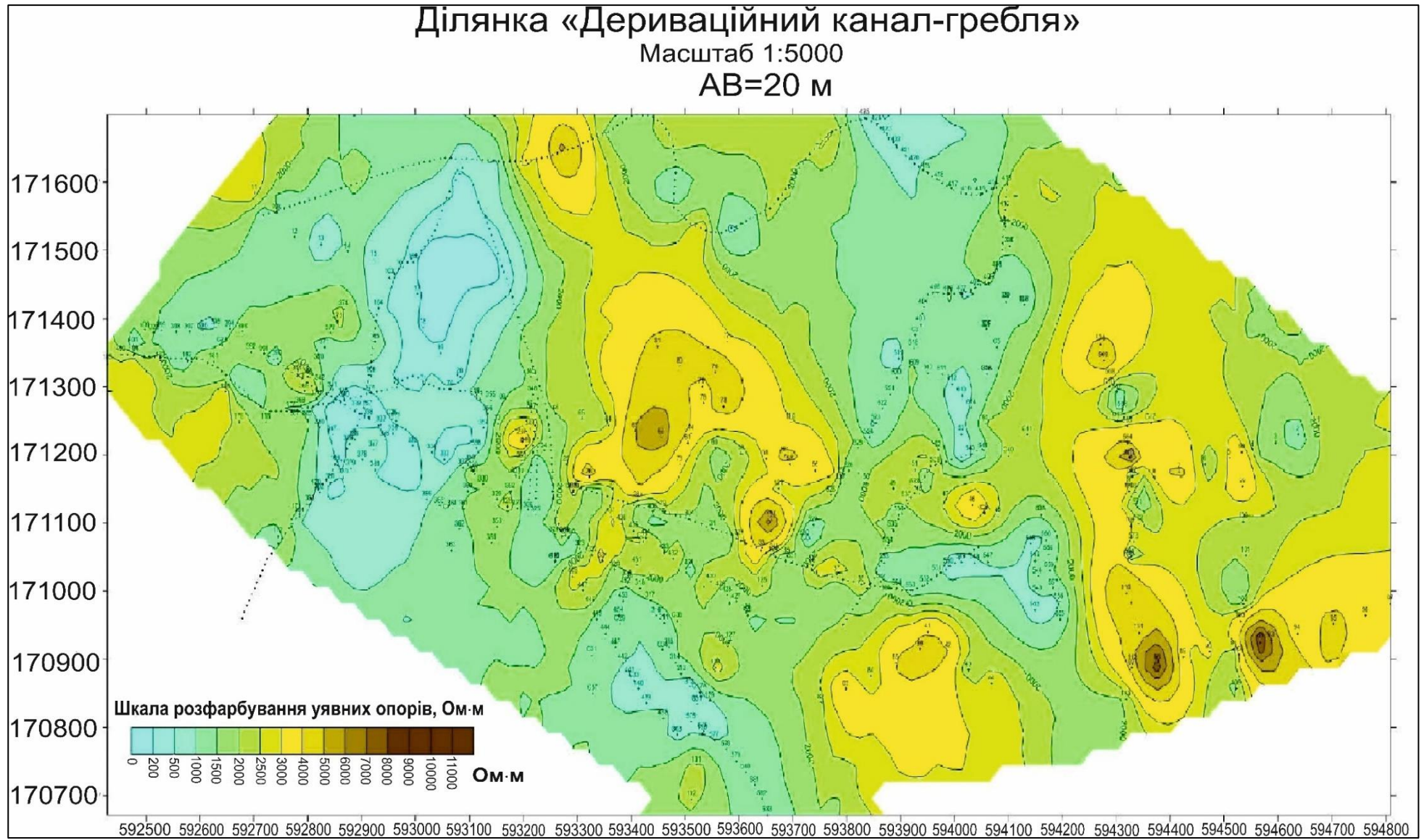


Рис. А.2 – Карта-зріз уявного опору для розносу АВ=20 м

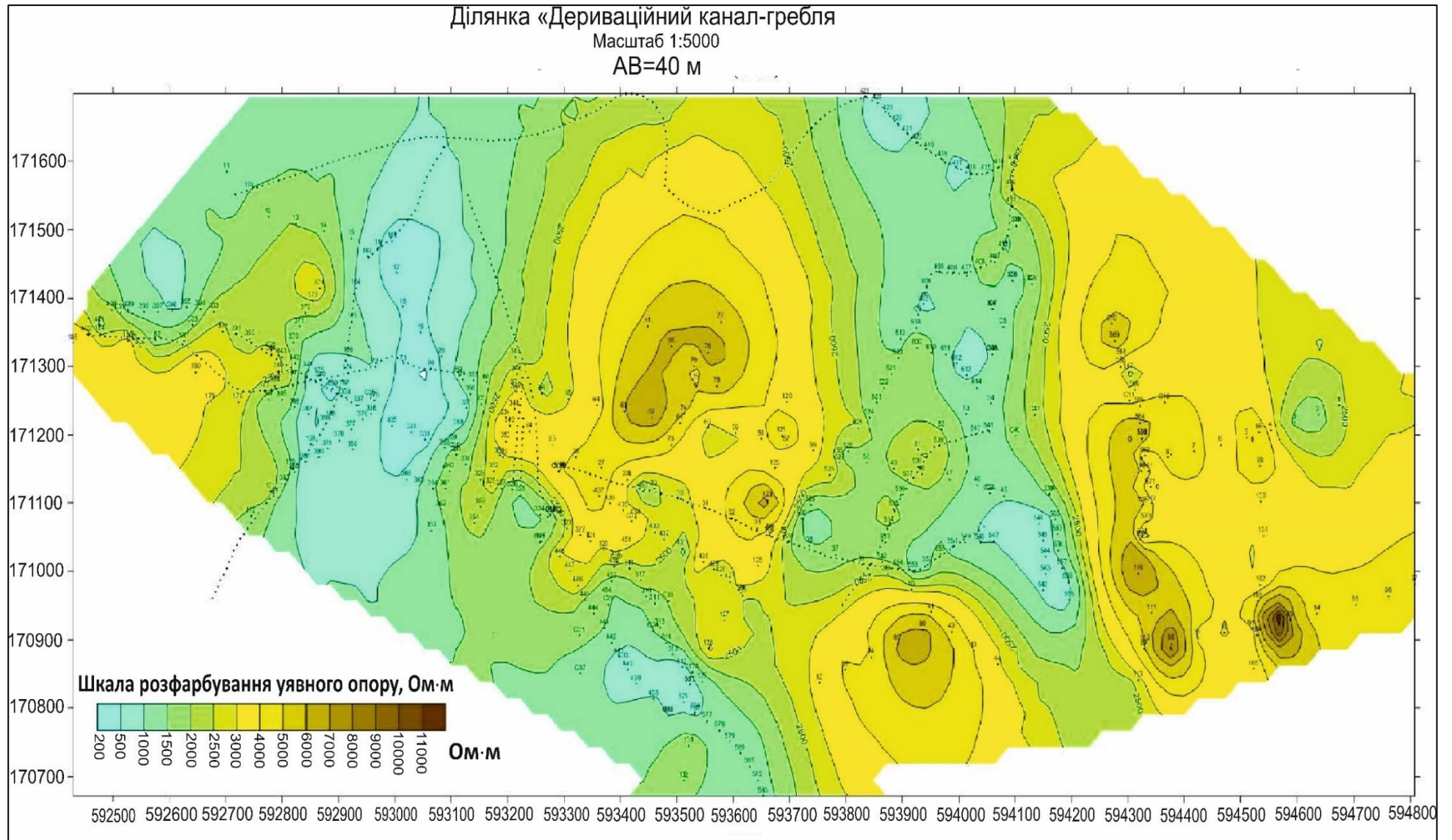


Рис. А.3 - Карта-зріз уявного опору для розносу АВ=40 м

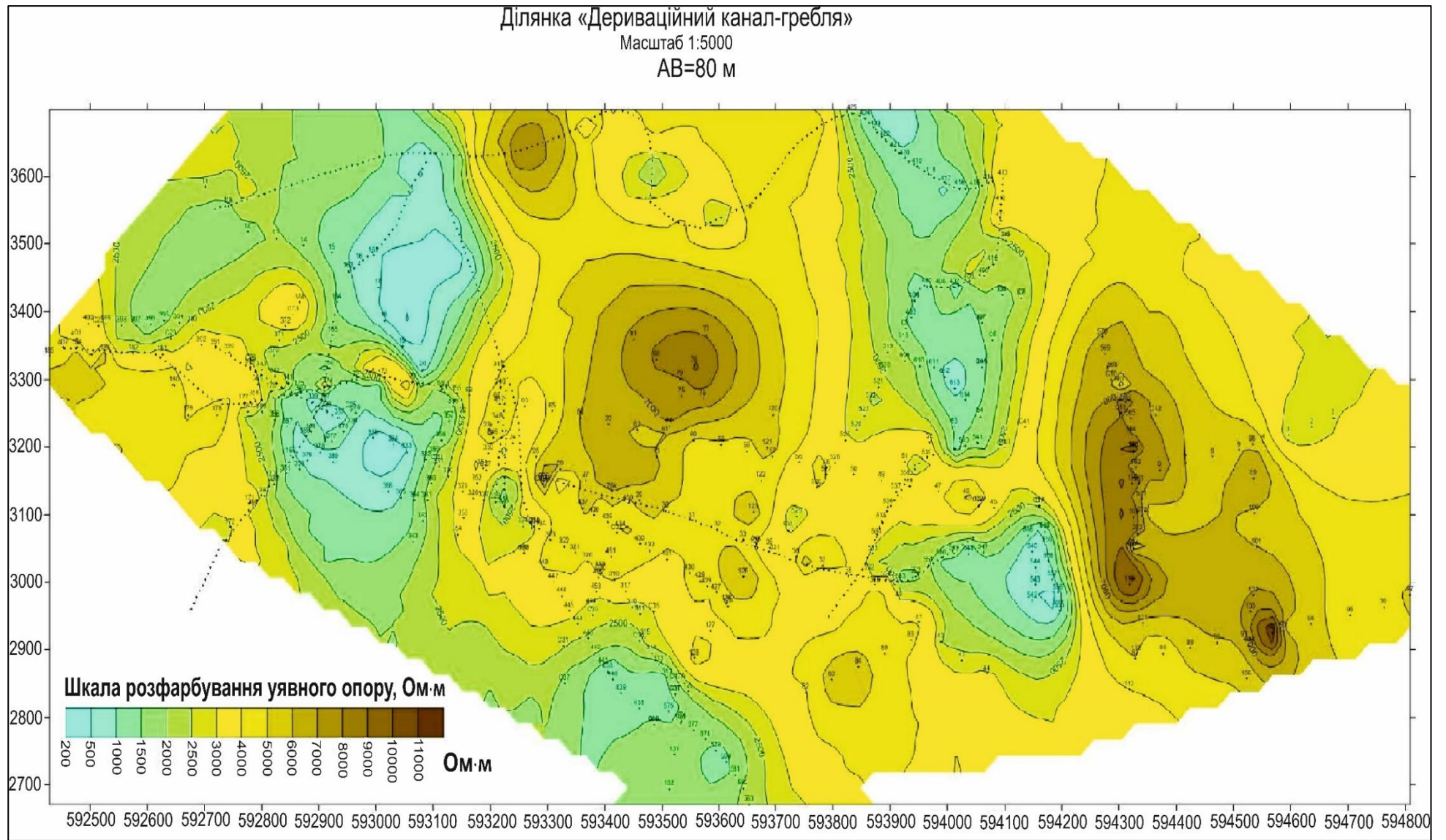


Рис. А.4 – Карта-зріз уявного опору для розносу АВ=80 м

Ділянка «Дериваційний канал-гребля»

Масштаб 1:5000

AB=130 м

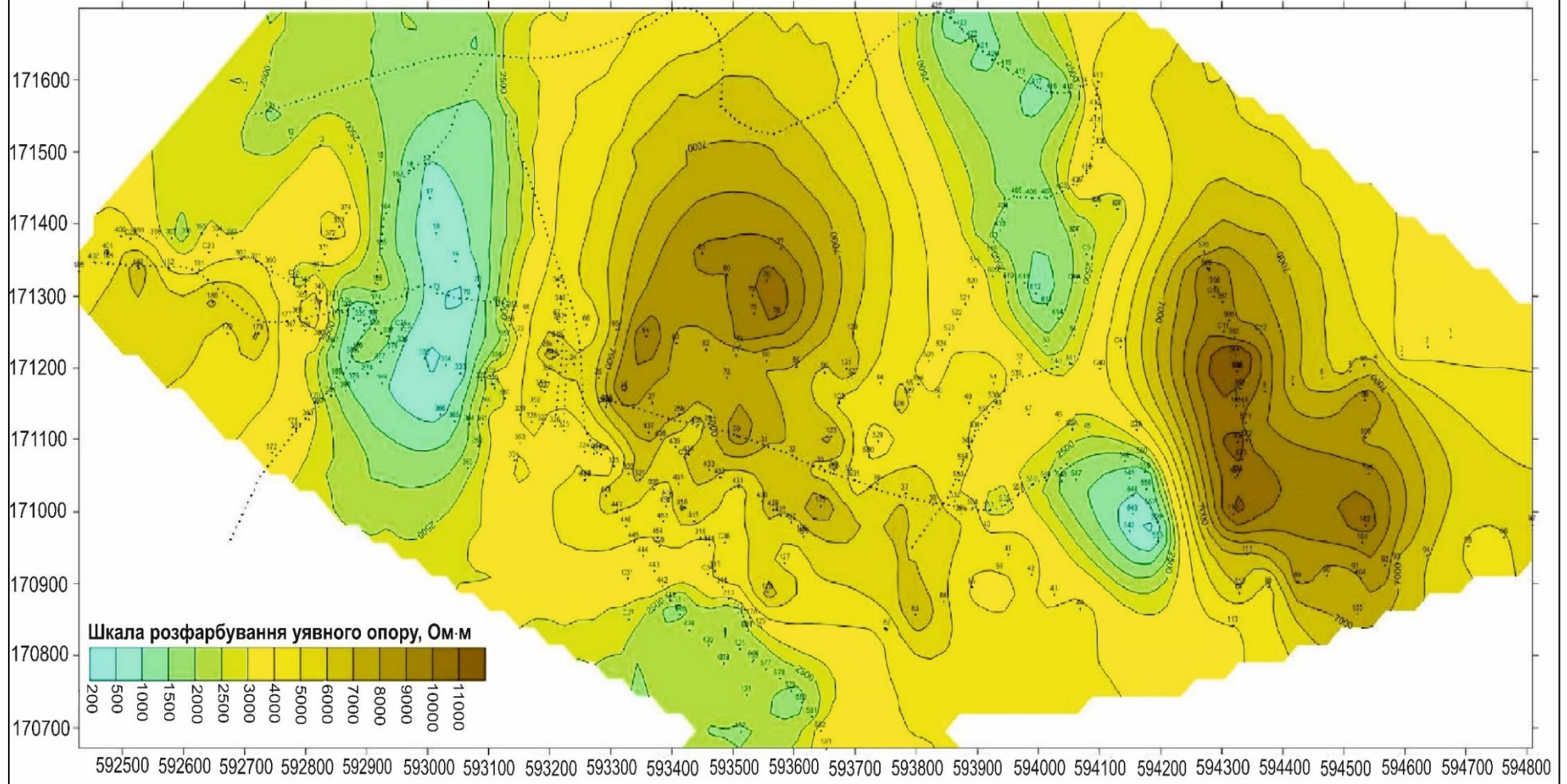


Рис. А.5 – Карта-зріз уявного опору для розносу АВ=130 м

Додаток Б.

Схематичні карти

(Рисунки Б1-Б3)

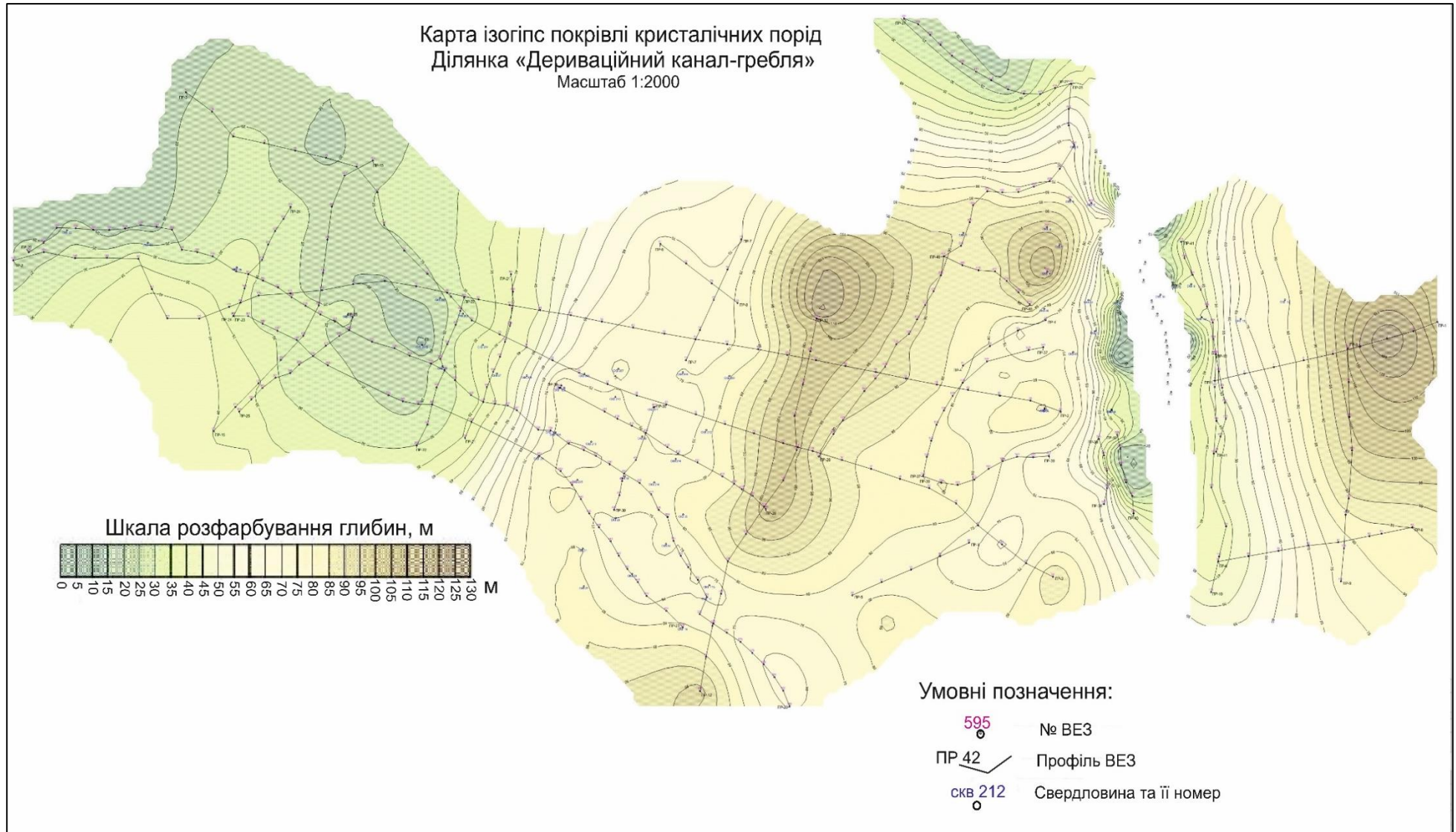


Рис. Б.1 – Карта ізогіпс покрівлі кристалічних порід

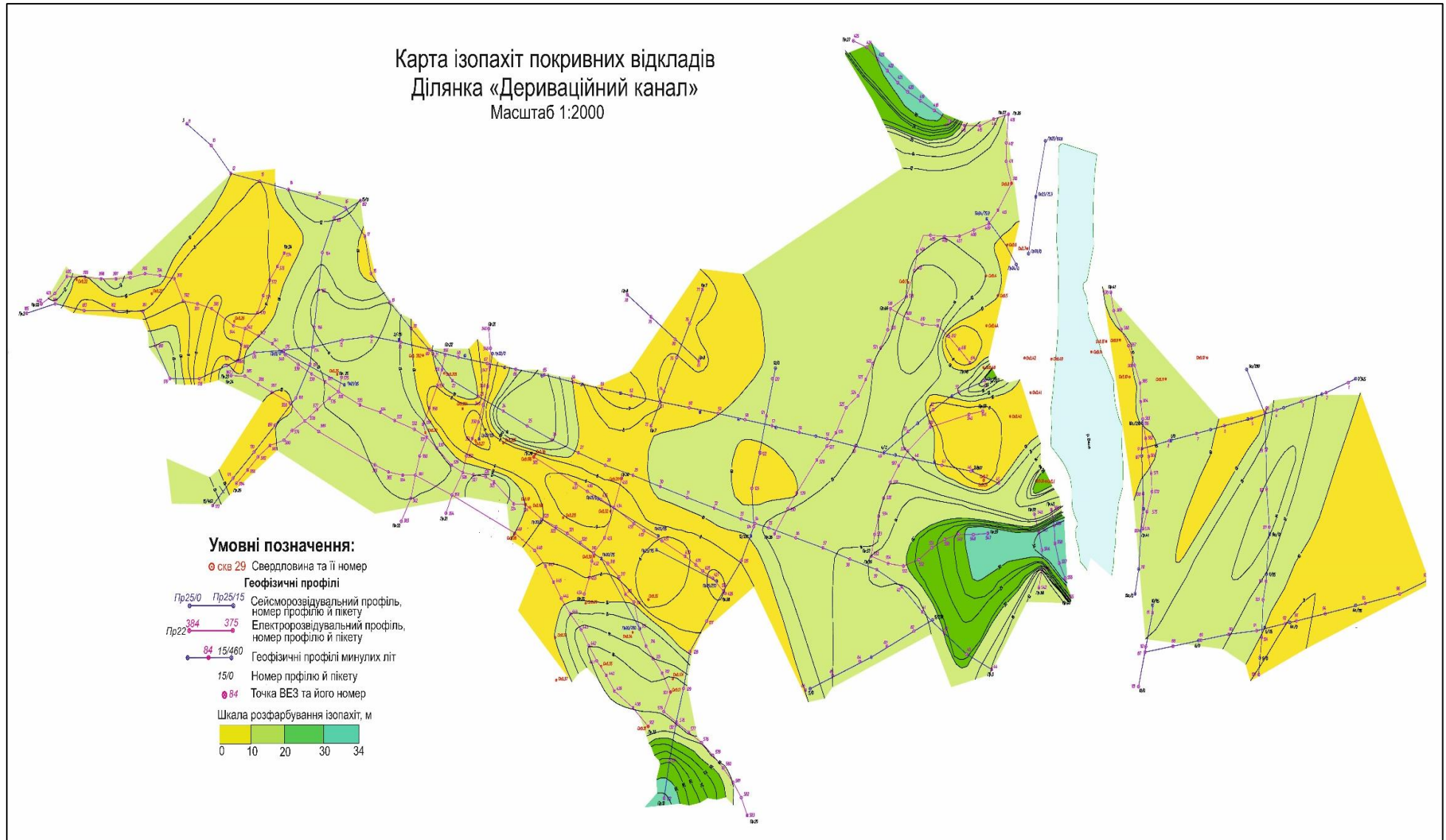


Рис. Б.2 – Карта ізопакіт покривних відкладів

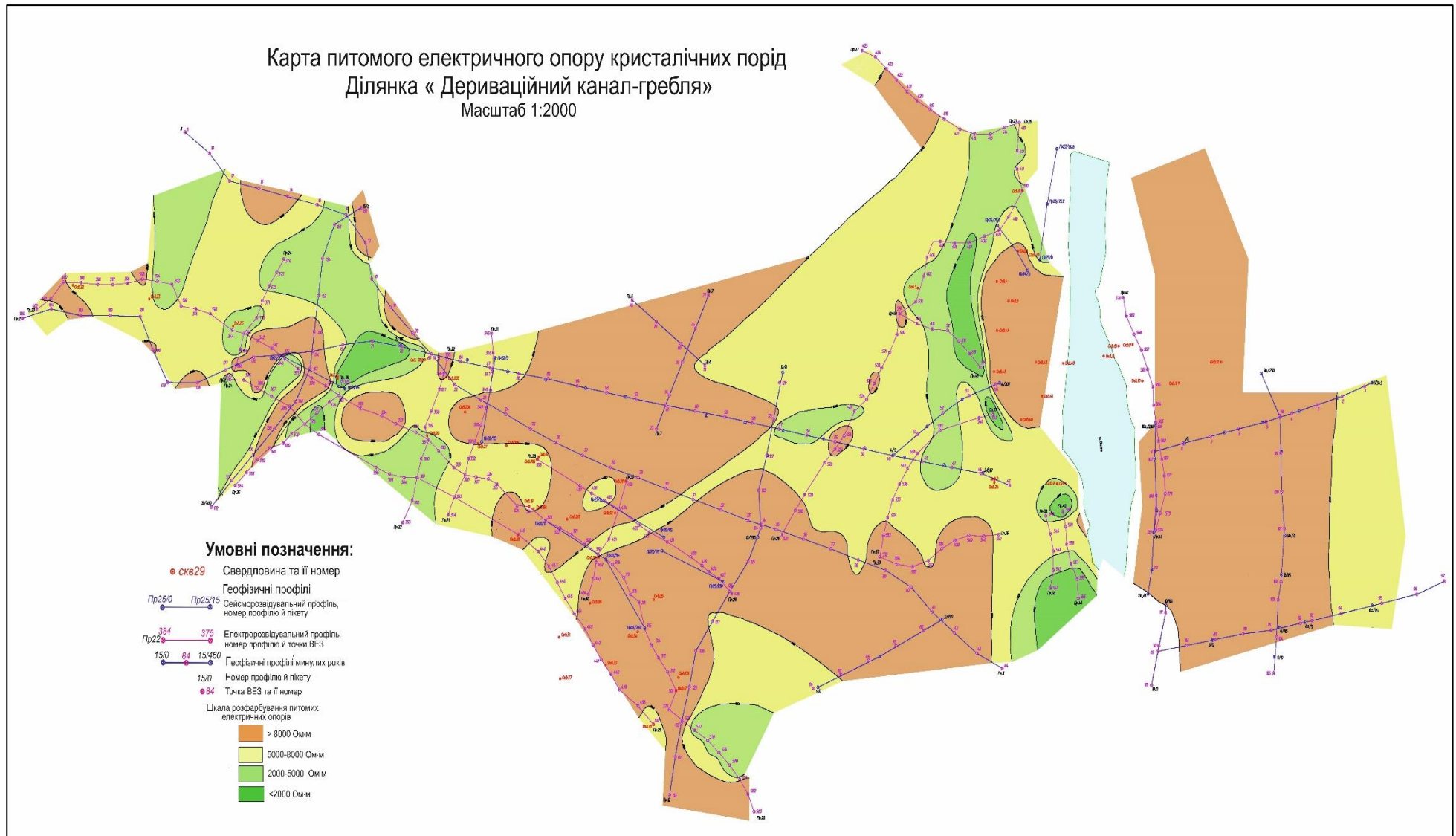


Рис. Б.3 – Карта питомого електричного опору кристалічних порід

Додаток В

Геофізичні розрізи

(Рисунки В1-В19)

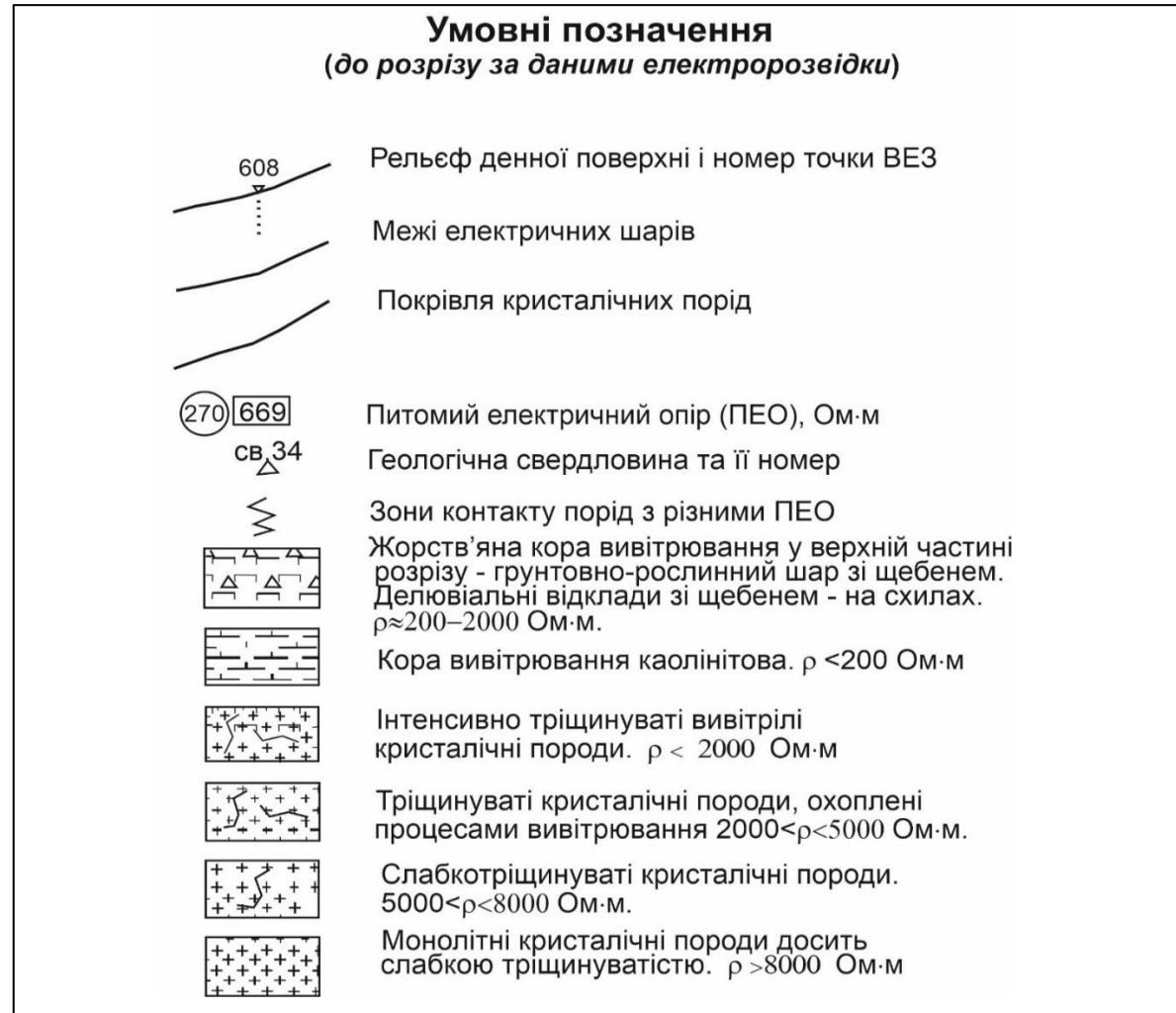


Рис. В.1 – Умовні позначення для розрізів за даними електророзвідки

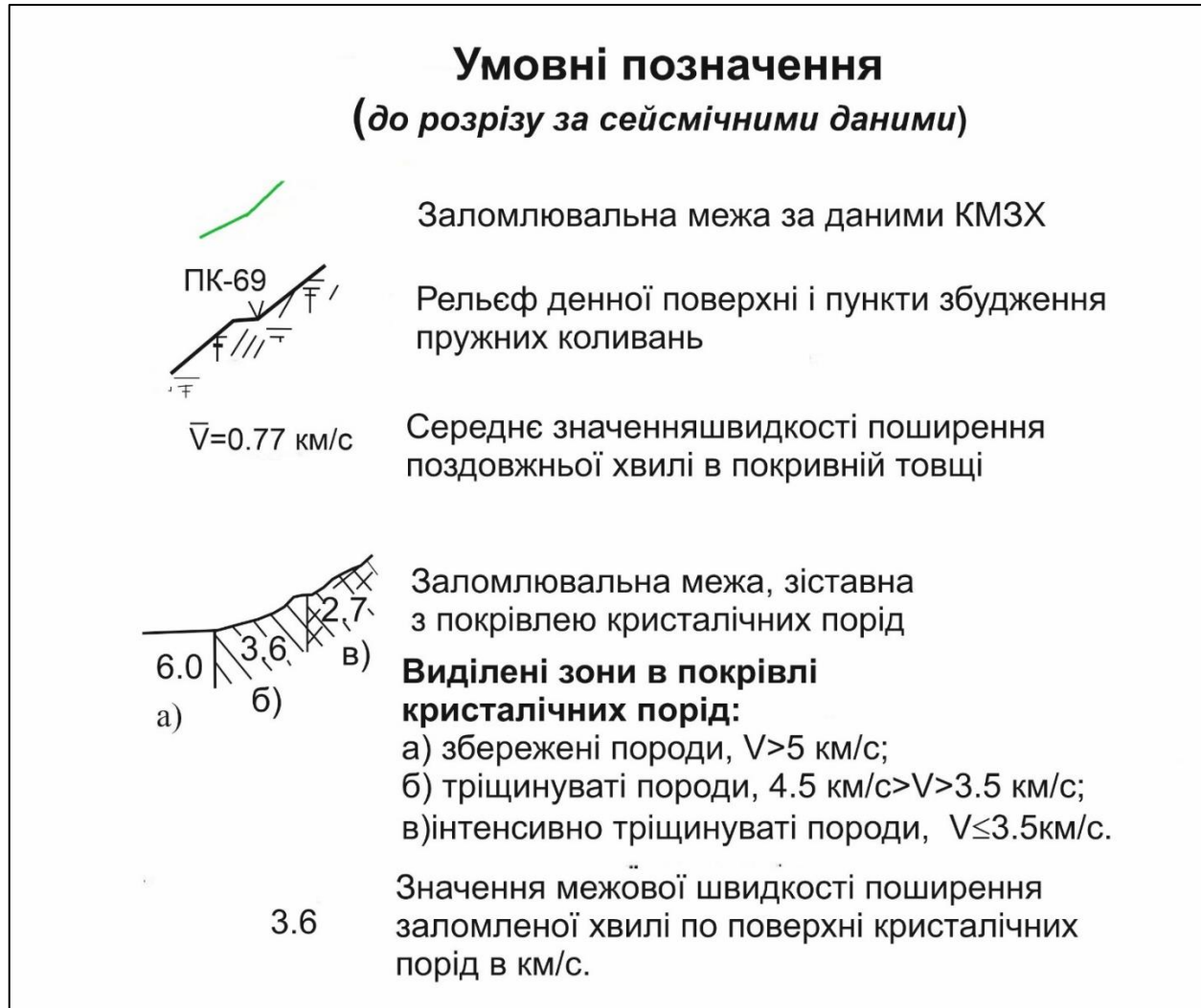


Рис. В.2 – Умовні позначення для розрізів за даними сейсмозвідки

Умовні позначення (до колонок свердловин)

edKZ		Кора вивітрювання латеритизована: суглинисто-глинистий ґрунт жовтувато-бурий, червоно-бурий, жовтувато-сірий, із включенням жорстви, щебеню, уламків кристалічних порід до 35%, вище рівня підземних вод - в основному напівтвердий, нижче - тугопластичний
eKZ		Кора вивітрювання латеритизована: щебенисто-жорств'яний ґрунт із суглинисто-глинистим заповнювачем до 15%, зустрічаються окремі брили слабовивітрилих кристалічних порід
eKZ		Кора вивітрювання латеритизована: суглинисто-глинистий ґрунт (каолінізований) жовтувато-сірий, світло-сірий, напівтвердий і тугопластичний із включенням жорстви корінних порід
PR₂		Діабаз дрібнозернистий, темно-сірий, зеленувато-сірий, сильно- і середньо-тріщинуватий, вивітрилий і сильно вивітрилий, середньої міцності і міцний
PR₂		Діабаз дрібно-зернистий, темно-сірий, зеленувато-сірий, слаботріщинуватий, слабовивітрилий і невивітрилий, міцний і середньої міцності
AR₃		Гранодіорит амфіболовий роговообманковий, середньо- і крупно-зернистий від світло-сірого до темно-сірого, сильно- і середньотріщинуватий, вивітрилий і сильно вивітрилий, середньої міцності і міцний із включенням кварцу і польового шпату
AR₃		Гранодіорит амфіболовий роговообманковий, середньо-і крупнозернистий від світло-сірого до темно-сірого, слаботріщинуватий, слабовивітрилий і невивітрилий, міцний і середньої міцності, із включенням кварцу й польового шпату
AR₂		Гнейс біотитовий, амфіболовий, біотит-амфіболовий, роговообманковий, середньо- і дрібнозернистий, від світло-сірого до темно-сірого, кварцпольовошпатовий, сильно і середньотріщинуватий, вивітрилий і сильно вивітрилий, середньої міцності і міцний, місцями із прошарками кристалосланців
AR₂		Гнейс біотитовий, амфіболовий, біотитамфіболовий, роговообманковий, середньо- і дрібнозернистий, від світло-сірого до темно-сірого, кварцпольовошпатовий, слаботріщинуватий, слабовивітрилий і невивітрилий, міцний і середньої міцності, місцями із прошарками кристалосланців

Рис. В.3 – Умовні позначення для колонок свердловин

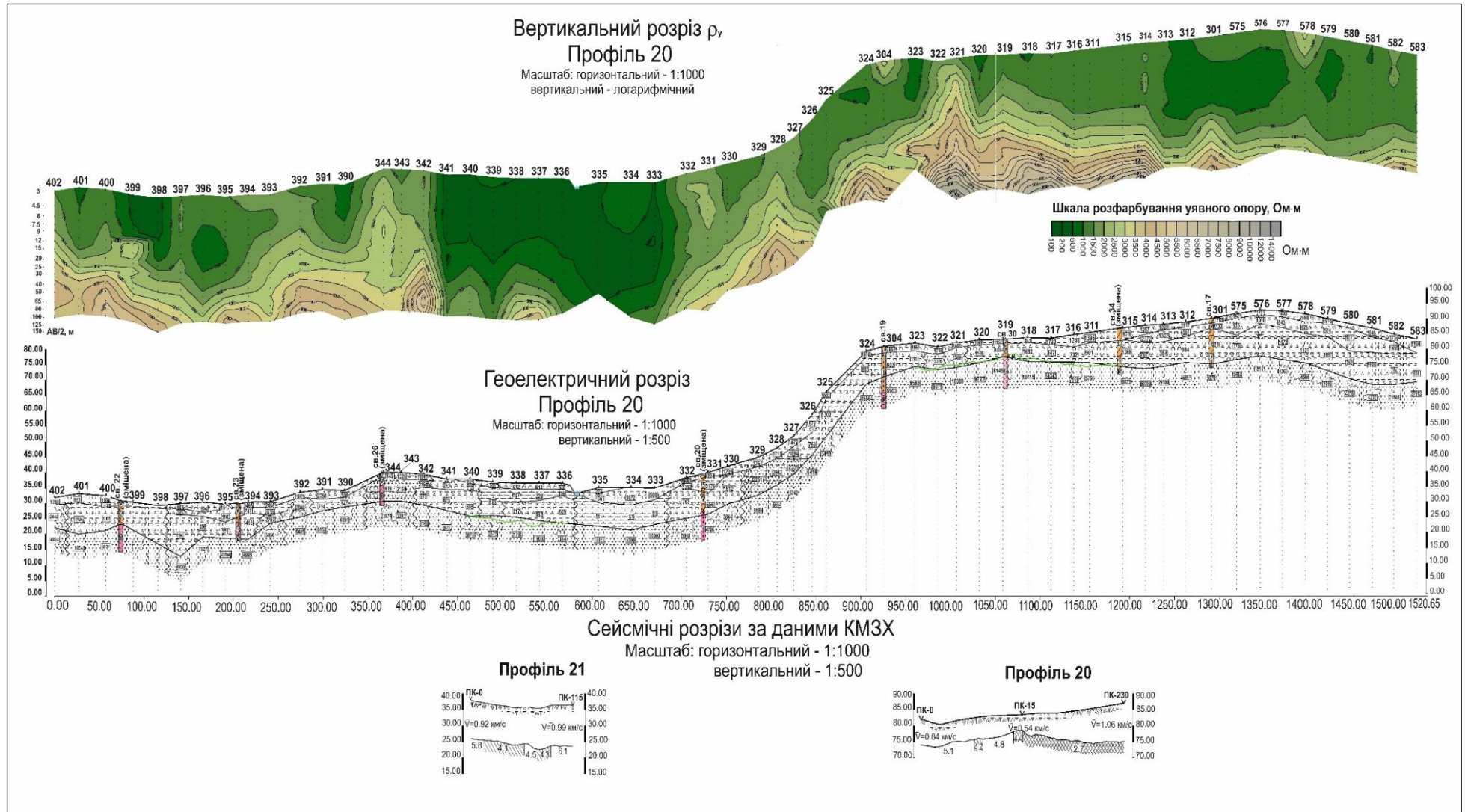


Рис. В.4 – Вертикальний розріз уявного опору й геоелектричний розріз уздовж профілю 20, сейсмічні розрізи профілів 20,21

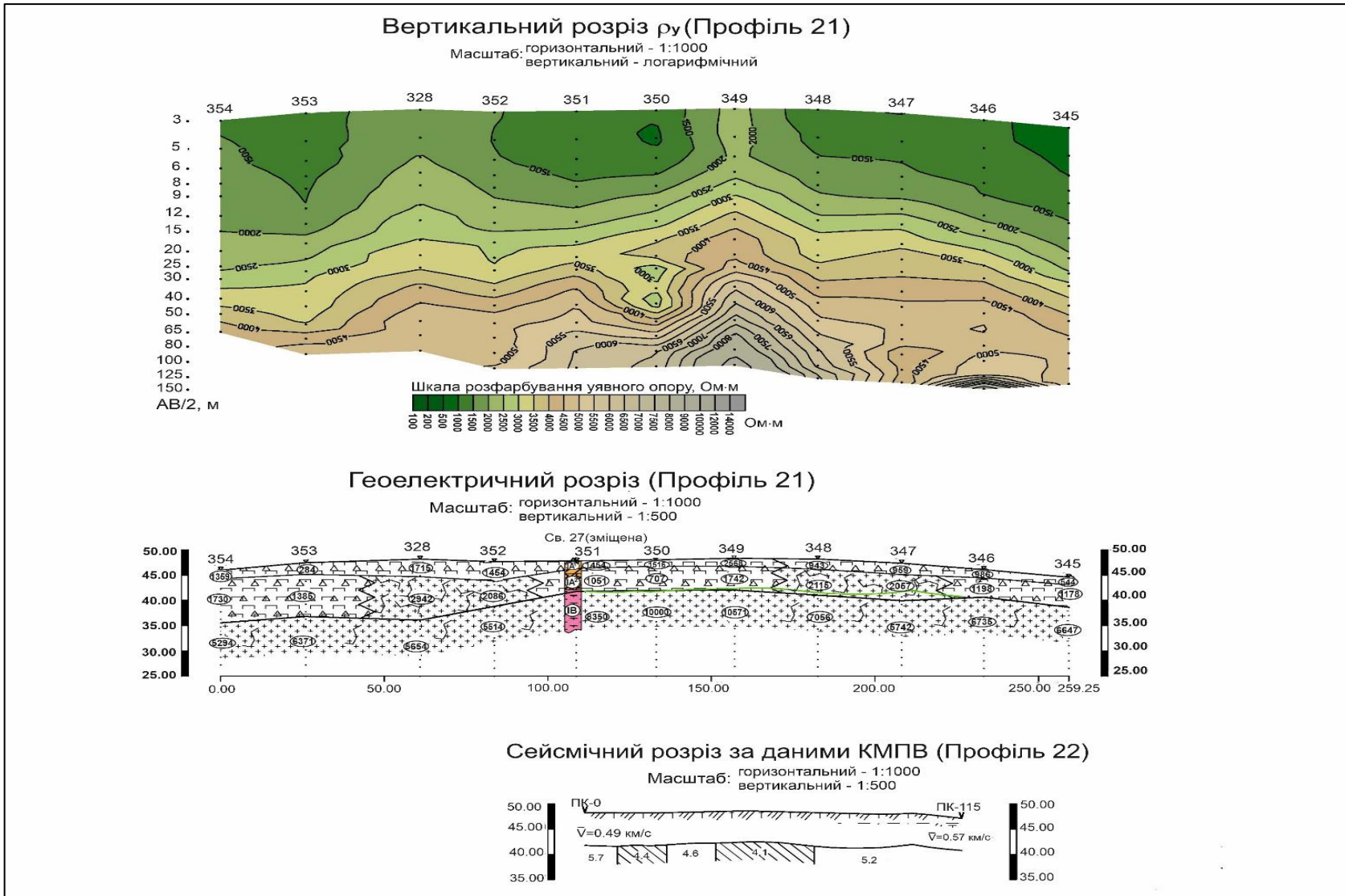


Рис. В.5 – Вертикальний розріз уявного опору й геоелектричний розріз уздовж профілю 21, сейсмічний розріз профілю 22

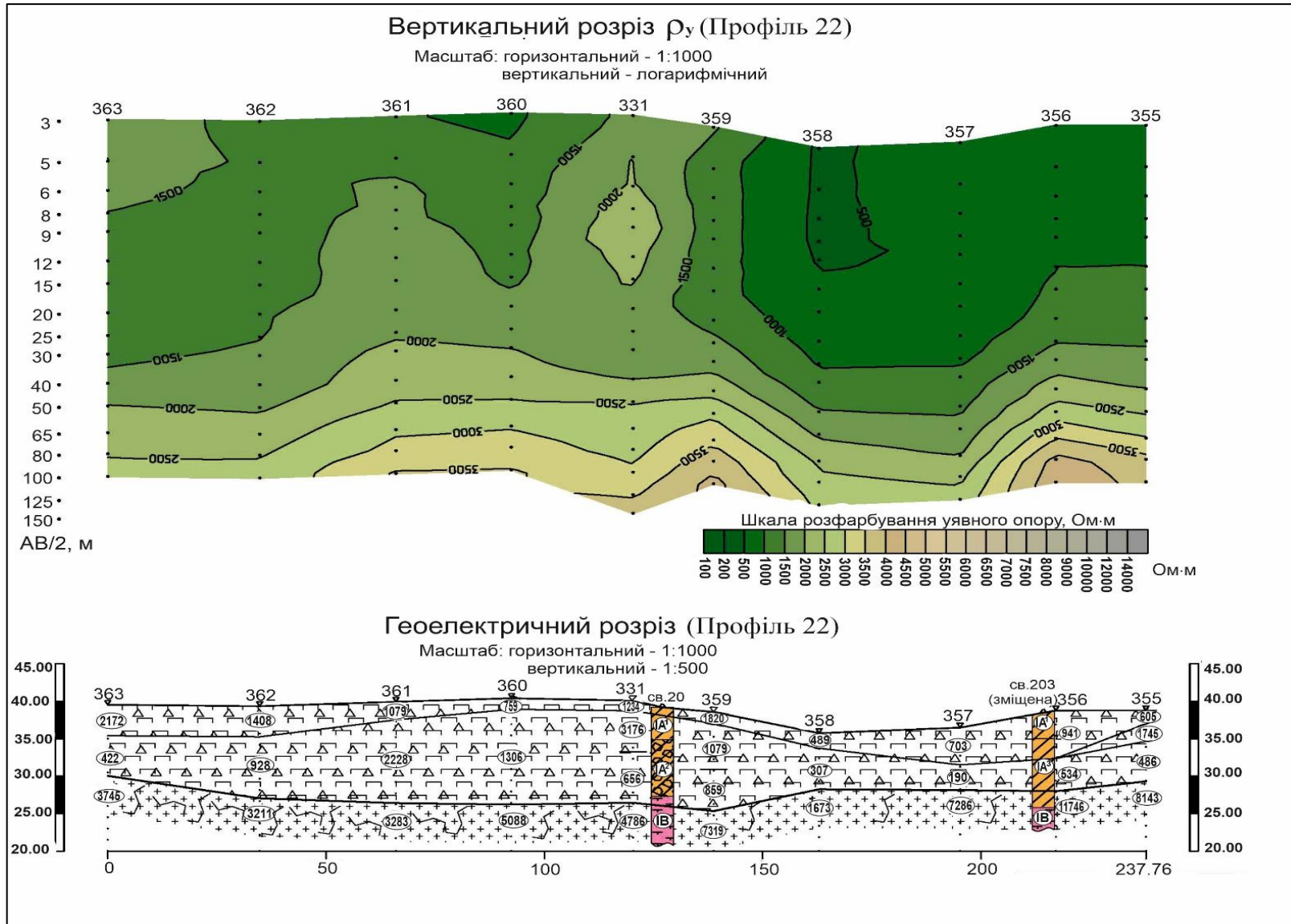


Рис. В.6 – Вертикальний розріз уявного опору та геоелектричний розріз уздовж профілю 22

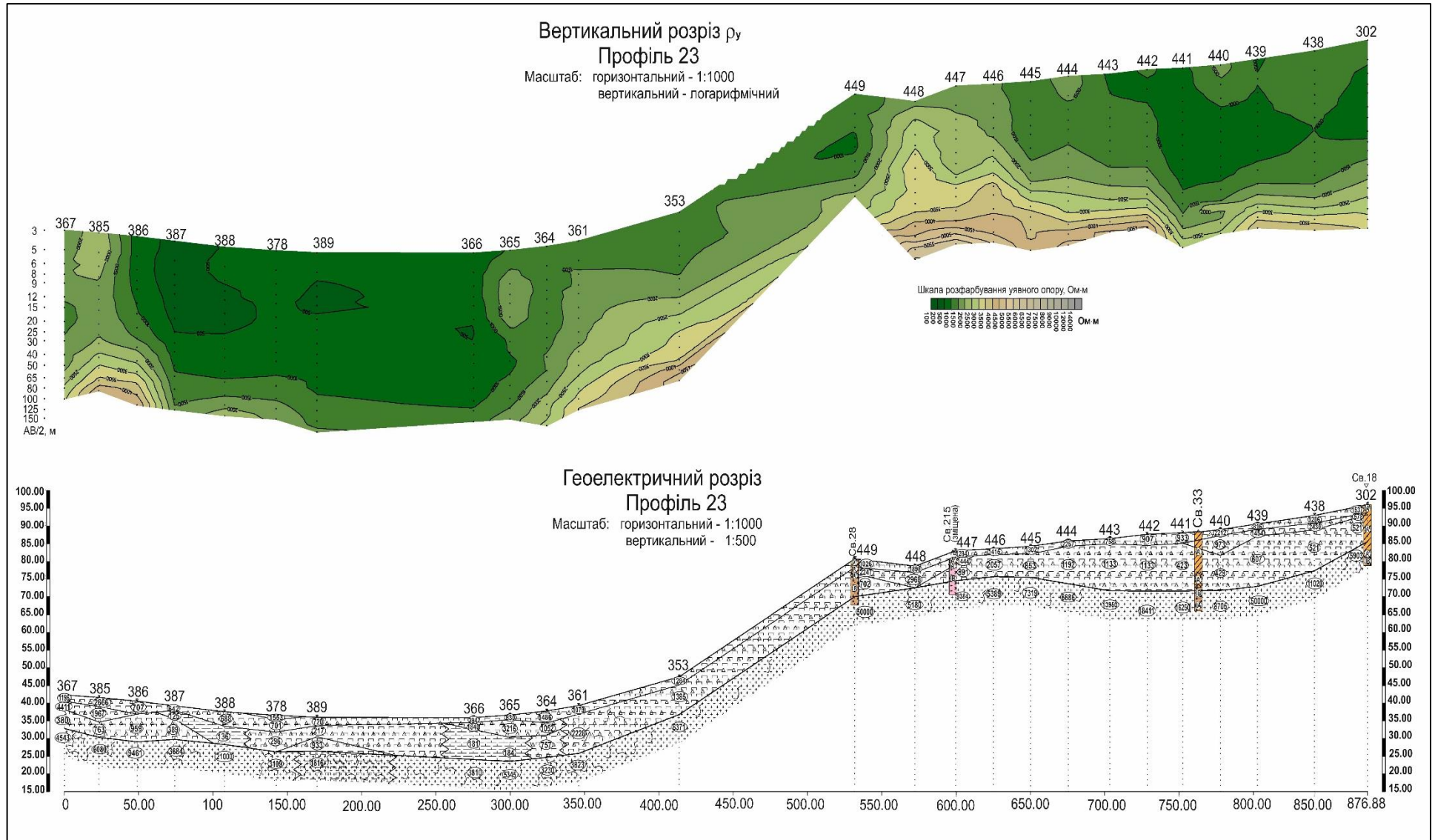


Рис. В.7 – Вертикальний розріз уявного опору та геоелектричний розріз уздовж профілю 23

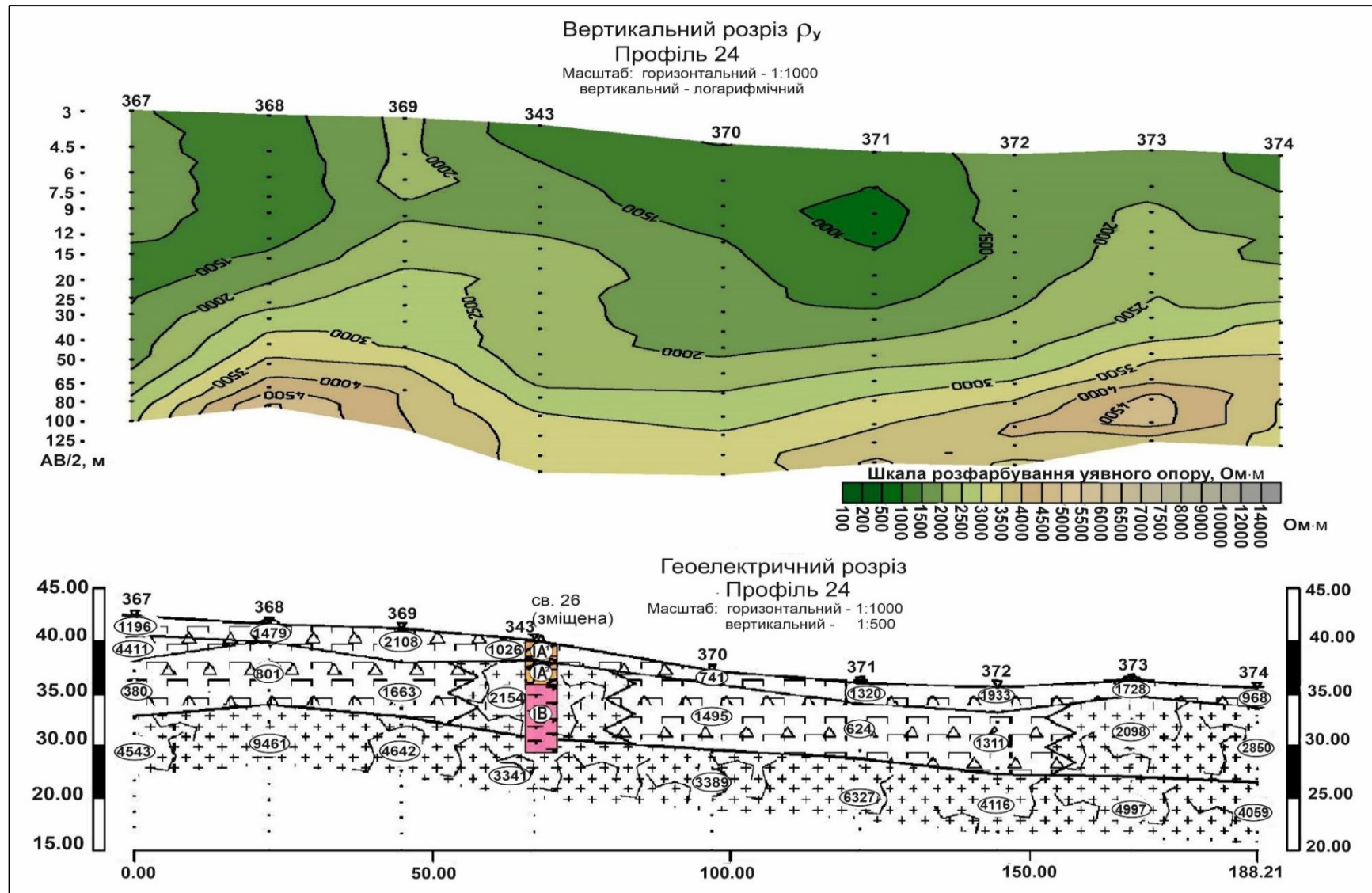


Рис. В.8 – Вертикальний розріз уявного опору та геоелектричний розріз уздовж профілю 24

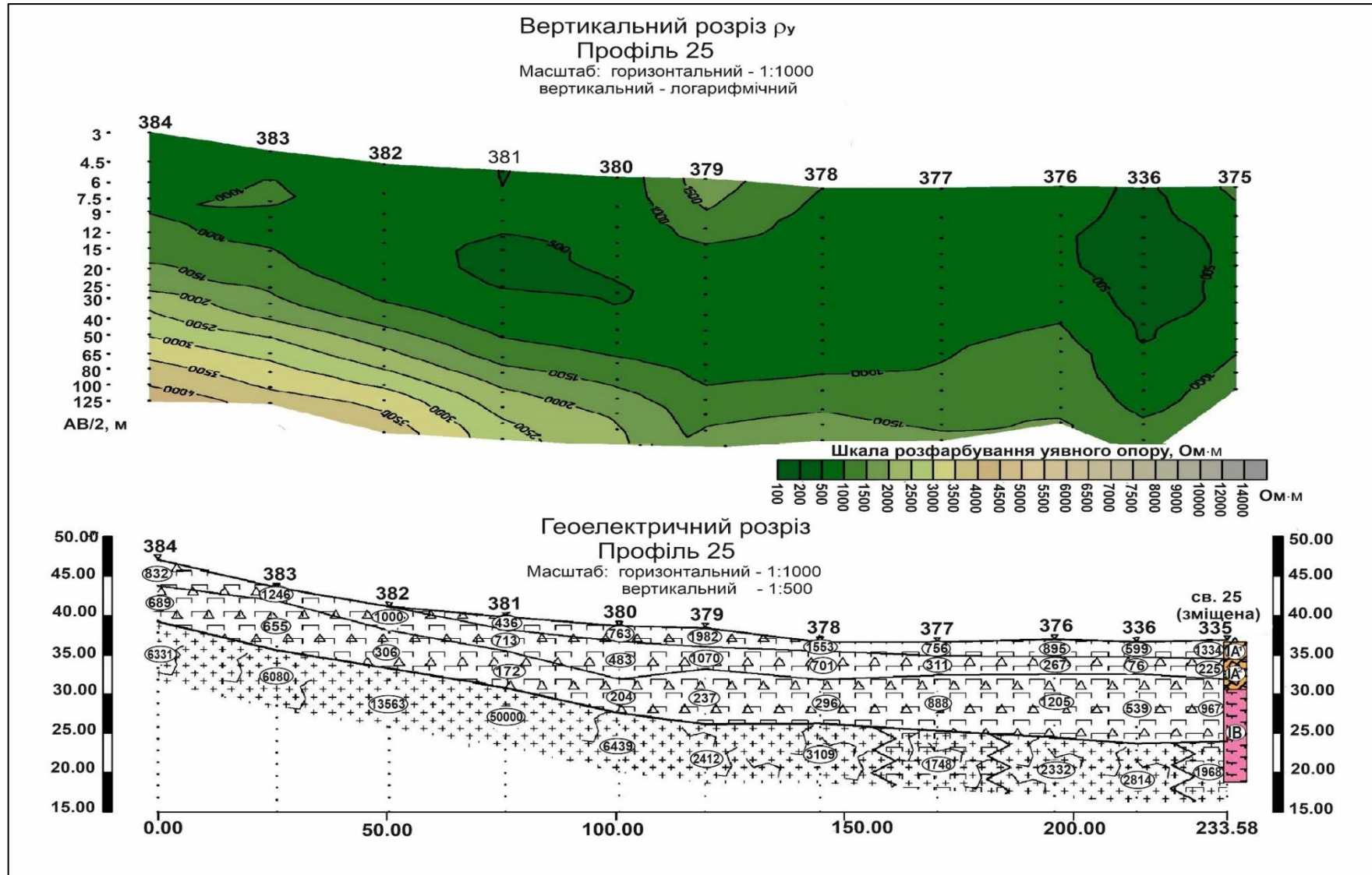


Рис. В.9 – Вертикальний розріз уявного опору та геоелектричний розріз уздовж профілю 25

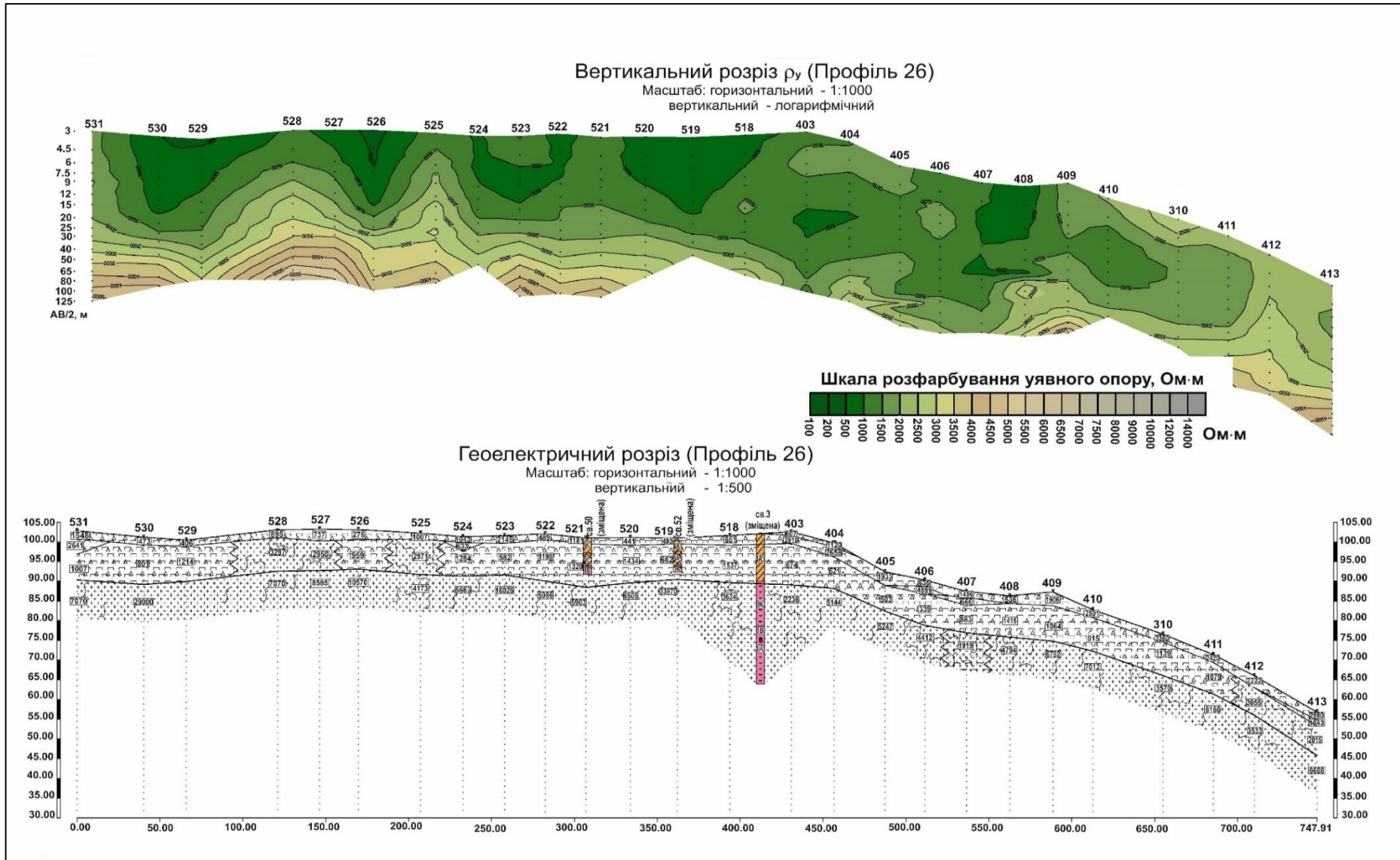


Рис. В.10 – Вертикальний розріз уявного опору та геоелектричний розріз уздовж профілю 26

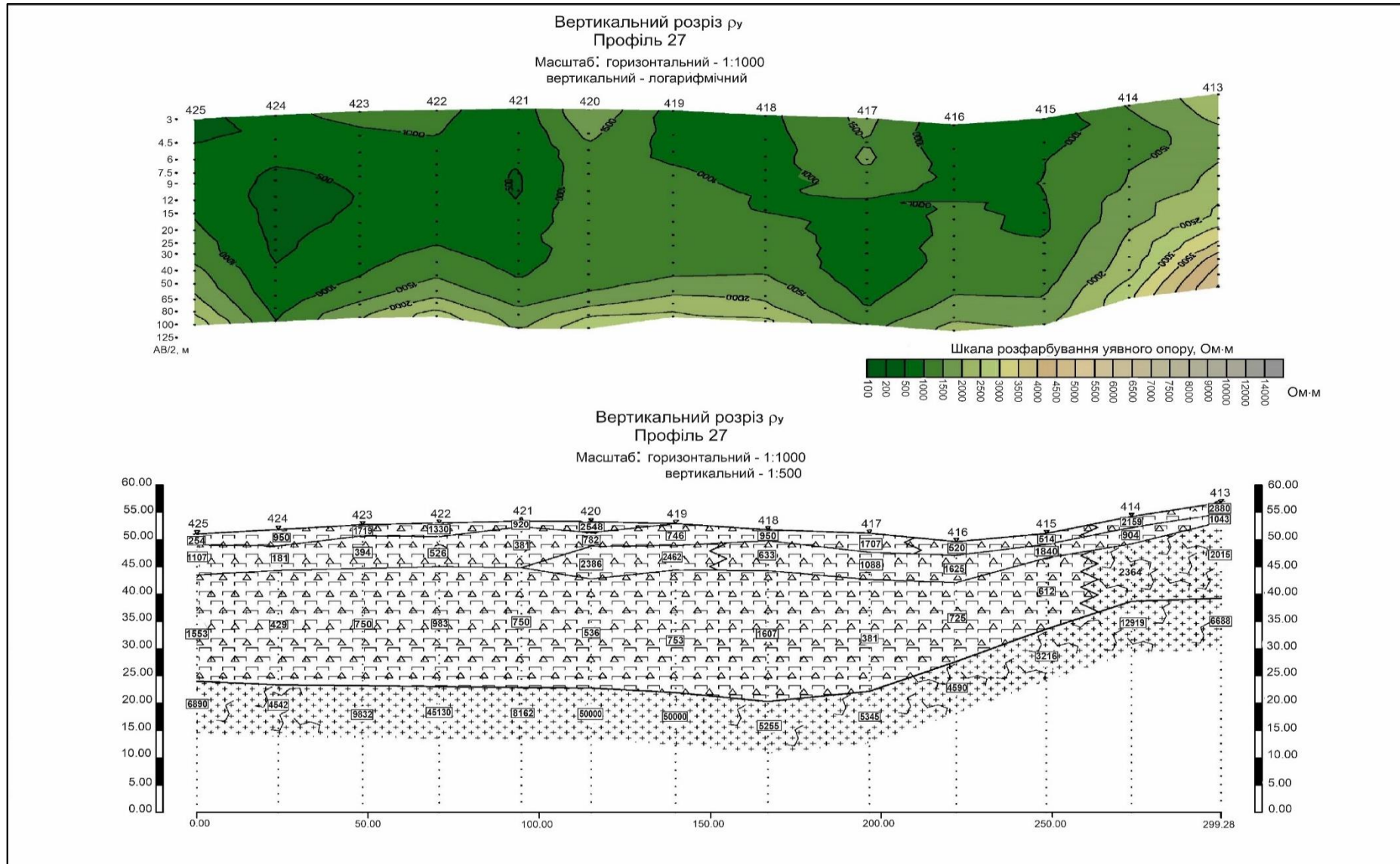


Рис. В.11 – Вертикальний розріз уявного опору та геоелектричний розріз уздовж профілю 27

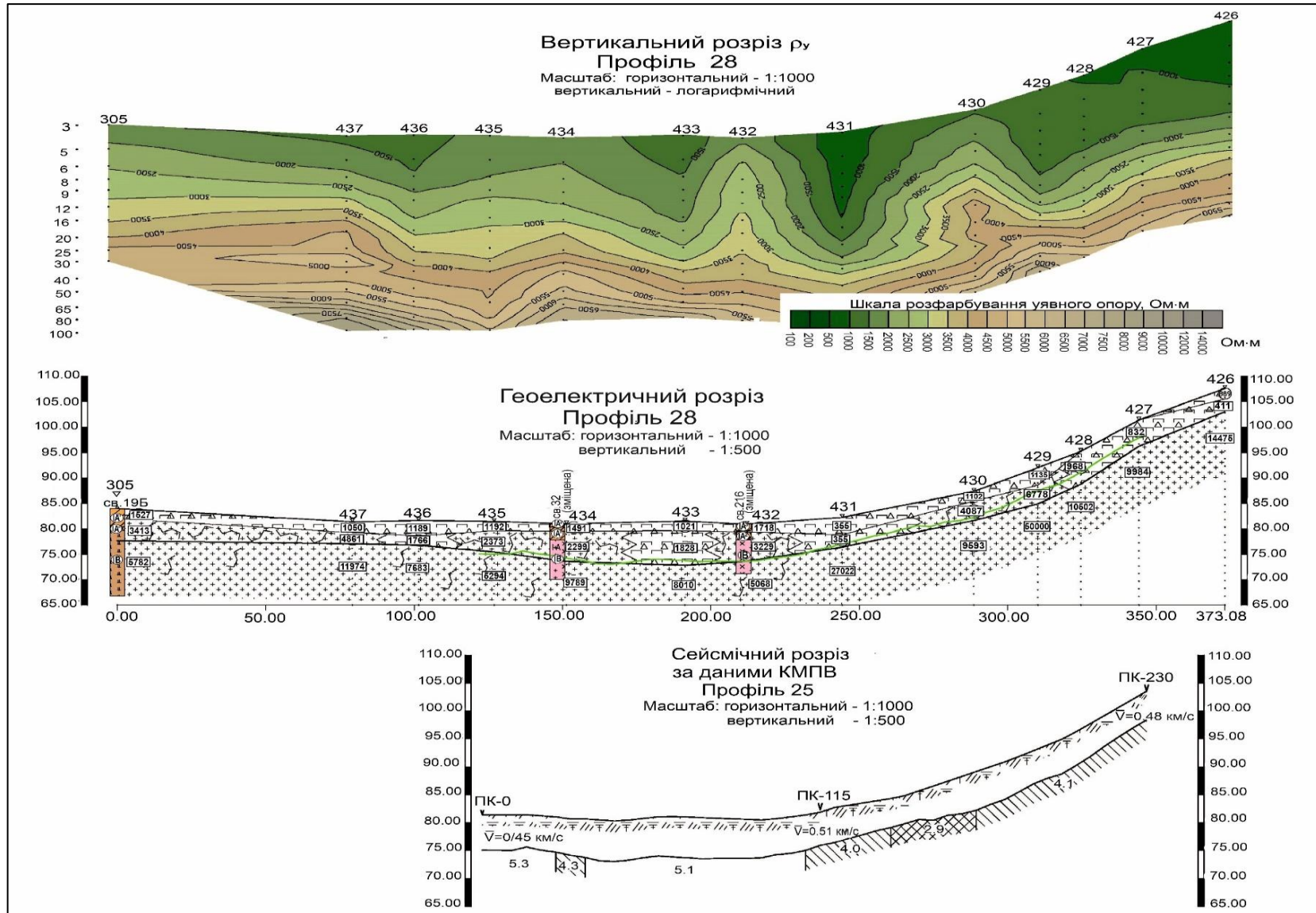


Рис. В.12 – Вертикальний розріз уявного опору, геоелектричний (ПР-28) та сейсмічний (ПР-25) розрізи

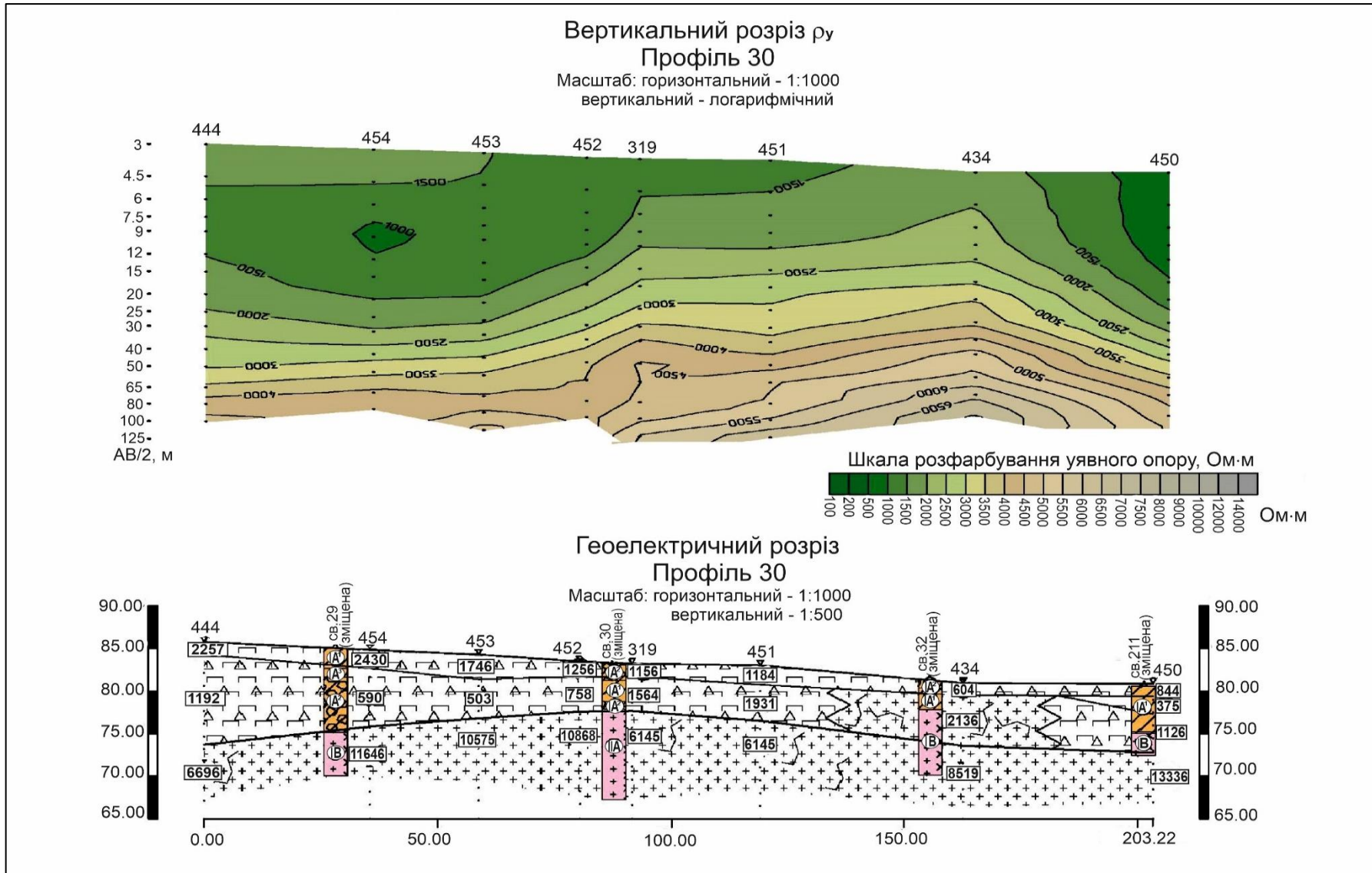


Рис. В.13 – Вертикальний розріз уявного опору та геоелектричний розріз уздовж профілю 30

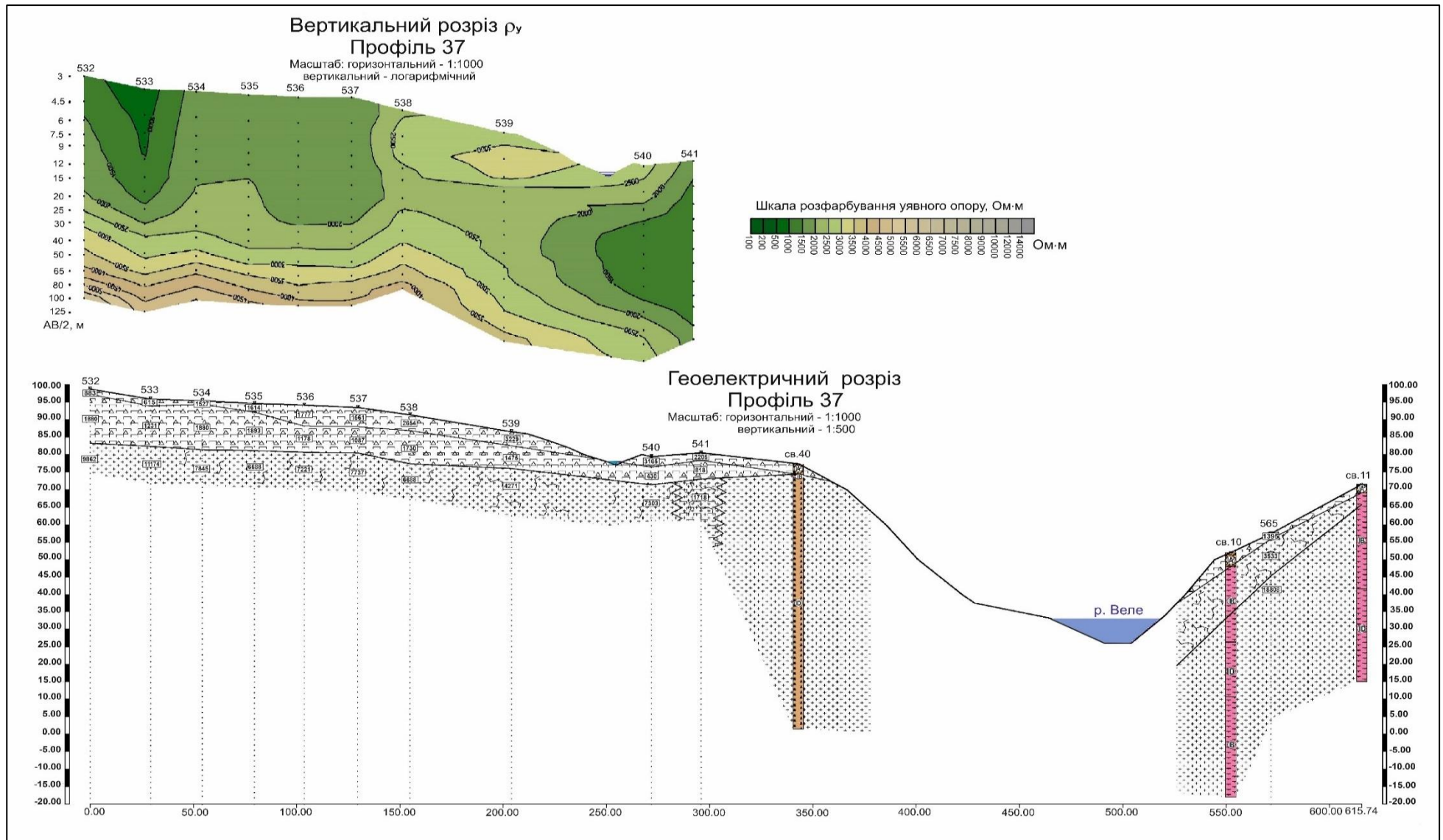


Рис. В.14 – Вертикальний розріз уявного опору та геоелектричний розріз уздовж профілю 37

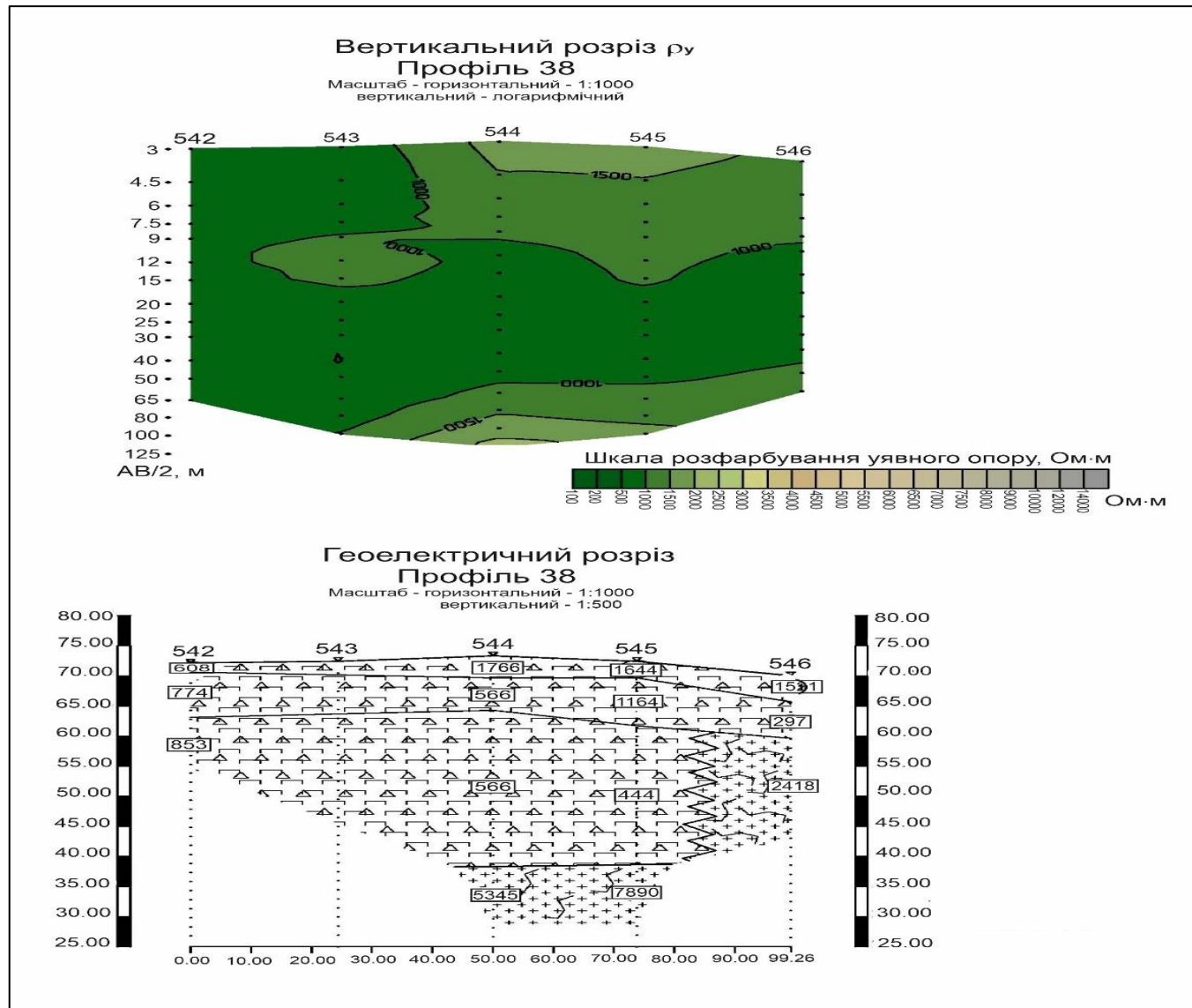


Рис. В.15 – Вертикальний розріз уявного опору та геоелектричний розріз уздовж профілю 38

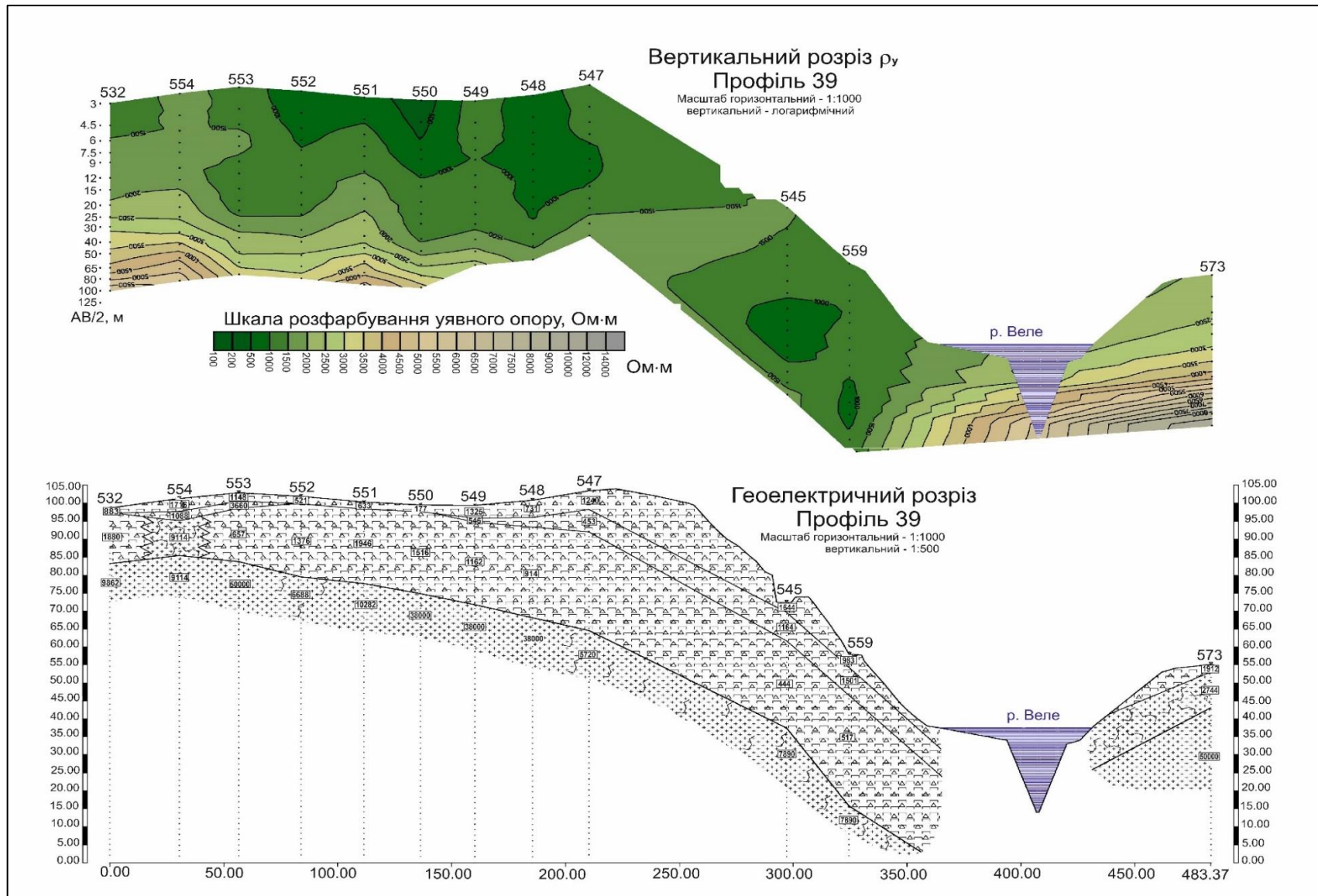


Рис. В.16 – Вертикальний розріз уявного опору та геоелектричний розріз уздовж профілю 39

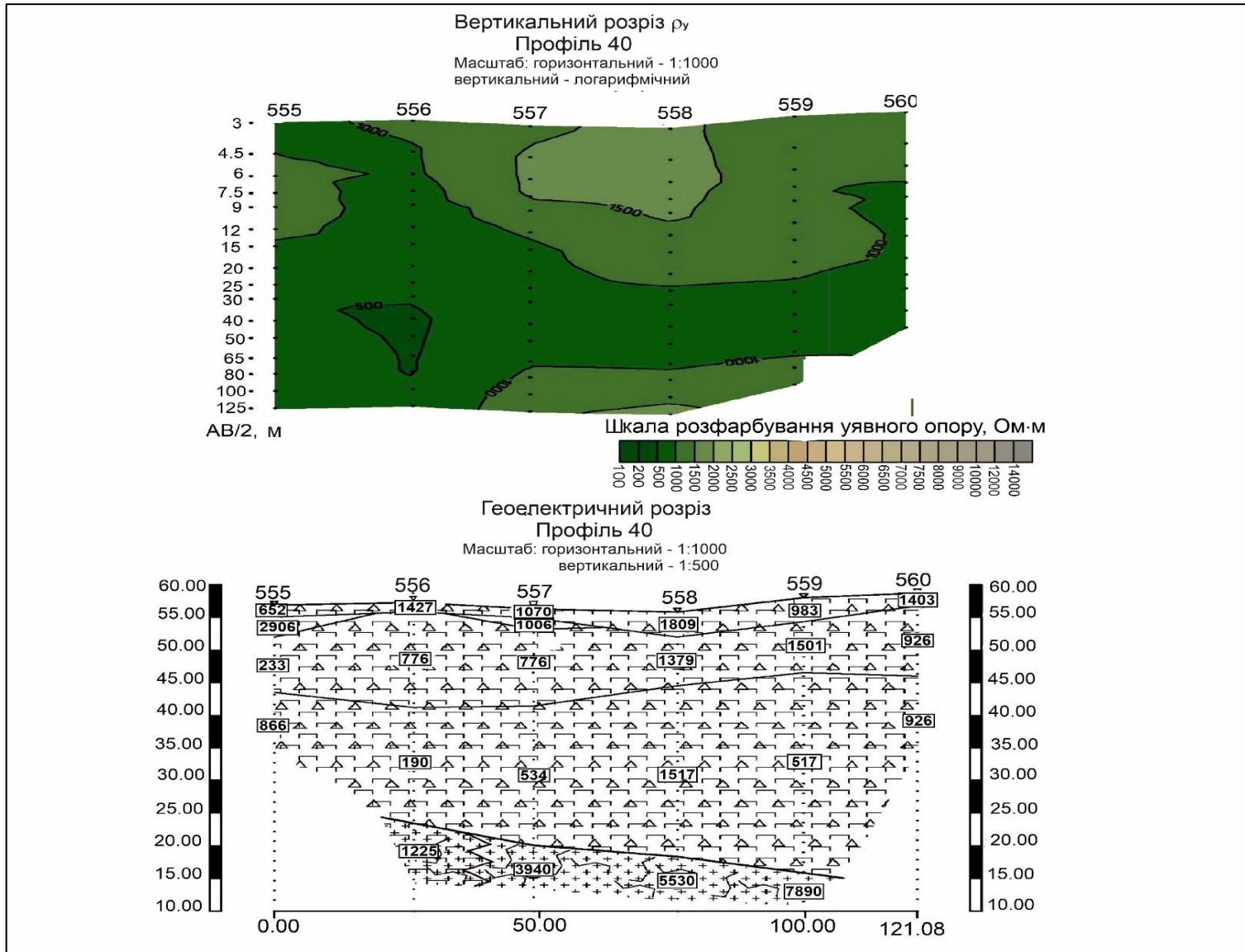


Рис. В.17 – Вертикальний розріз уявного опору та геоелектричний розріз уздовж профілю 40

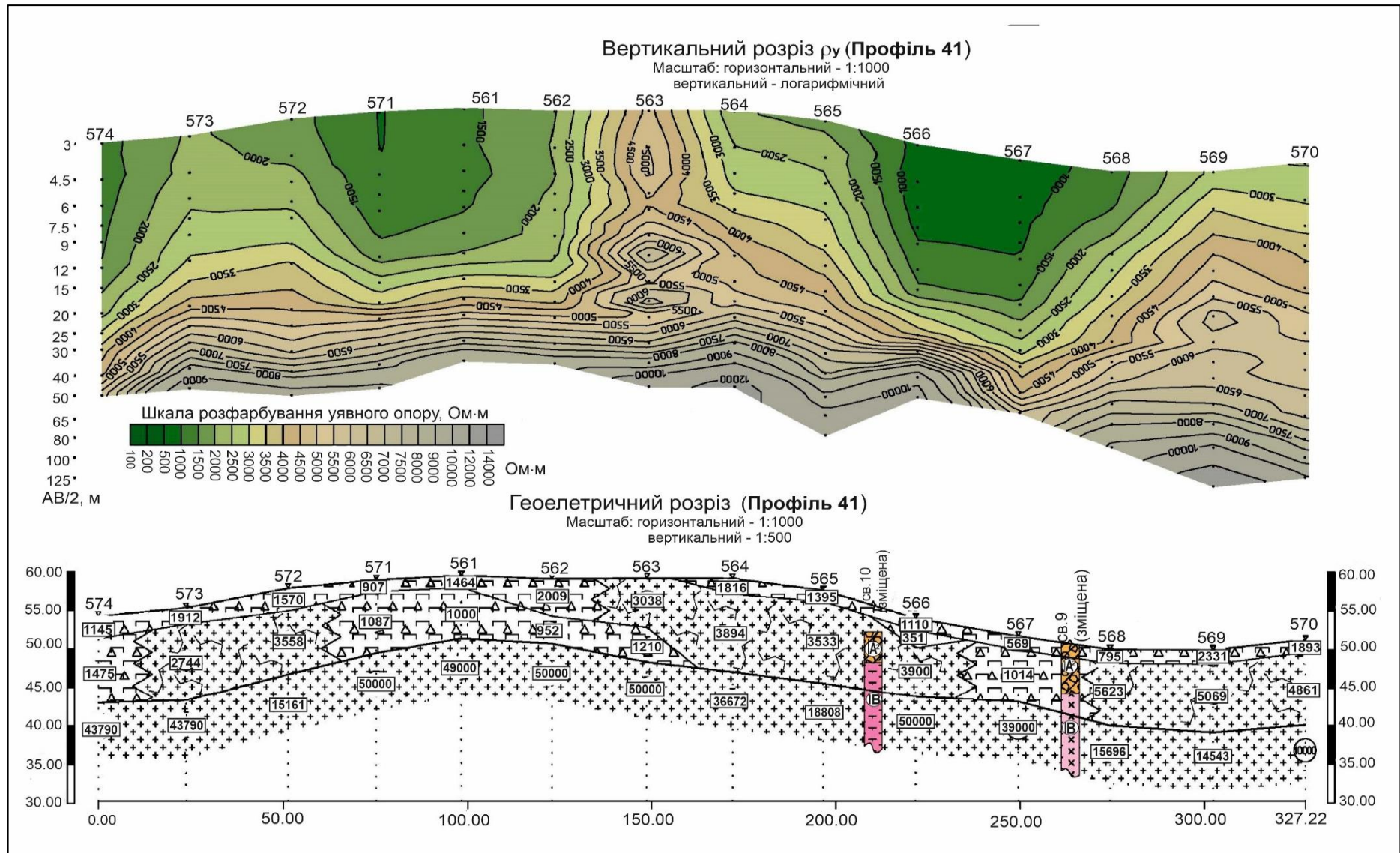


Рис. В.18 – Вертикальний розріз уявного опору та геоелектричний розріз уздовж профілю 41

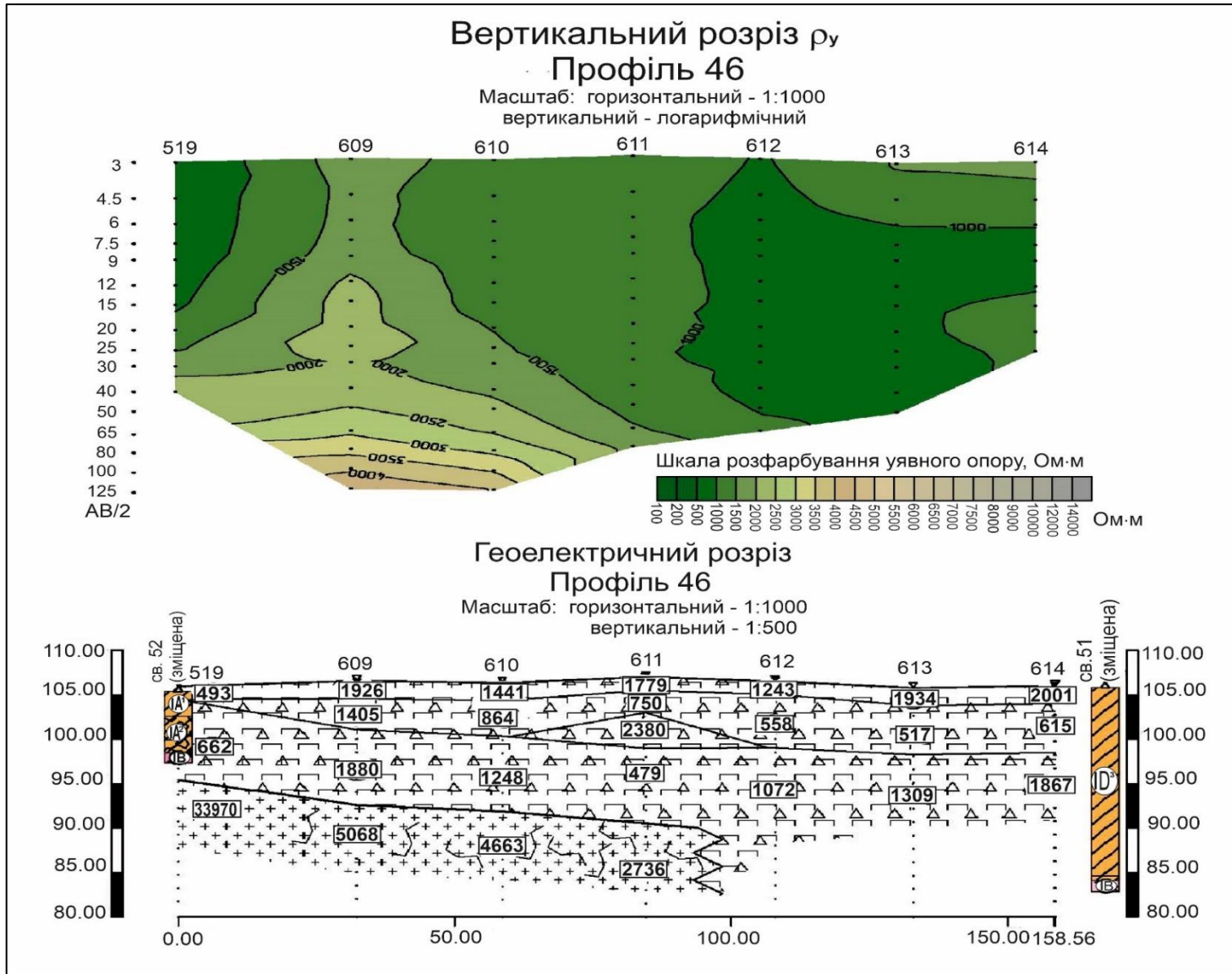


Рис. В.19 – Вертикальний розріз уявного опору та геоелектричний розріз уздовж профілю 46