

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.837

С. Вижва, докт. геол. наук, проф.

E-mail: vsa@univ.net.ua,

В. Онищук, канд. геол. наук

E-mail: vitus16@ukr.net,

К. Іванченко, інж.

E-mail: epatom@ukr.net,

І. Онищук, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.

E-mail: oivan1@ukr.net,

М. Рева, канд. фіз.-мат. наук; доц.

E-mail: mvreva@gmail.com,

*С.Дейнеко, канд. геол. наук

E-mail: sidei@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

*ДП КІВД "Енергопроект"

пр. Перемоги, 4, г. Киев, 01135, Украина

ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОЛОГІЧНОЇ БУДОВИ ТЕРИТОРІЙ РОЗМІЩЕННЯ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕОФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ (НА ПРИКЛАДІ ГЕС "СЕНЖЕ", ЕКВАТОРІАЛЬНА ГВІНЕЯ)

(Рекомендовано членом редакційної колегії канд. геол. наук О.І. Меньшовим)

Стаття присвячена особливостям застосування електророзвідки при інженерно-геофізичних дослідженнях для забезпечення будівництва ГЕС в тропічних умовах на території Екваторіальної Гвінеї. У роботі обговорюється інформативність випереджувальних геофізичних досліджень за результатами яких встановлена дрібноблокова будова геологічного розрізу території. В результаті комплексного аналізу вертикальних розрізів і карт позірних опорів на різних розносах та даних буріння свердловин встановлено, що зони підвищених опорів контролюються монолітними породами дайкового комплексу, а зони понижених опорів пов'язані з областями розвитку в різному ступені тріщинуватих кристалічних порід. Вертикальні розрізи та карти позірною електричного опору на різних розносах дозволили виявити об'ємну структуру ділянки досліджень в електричному полі та надали цінну інформацію для складання її кондиційної геологічної основи. За даними кількісної інтерпретації геофізичних матеріалів встановлено, що в основі геологічного розрізу залягають докембрійські кристалічні породи, які істотно розрізняються за величиною питомого електричного опору – від 780 до 50000 Ом·м, та за значеннями швидкості поширення заломлених хвиль – від 2,7 км/с до 7,0 км/с.

Широкий діапазон зміни геофізичних характеристик порід кристалічного фундаменту свідчить про значні зміни ступеня тріщинуватості і вивітрілості кристалічних порід, що необхідно врахувати при складанні генплану розміщення споруд ГЕС.

Ключові слова: інженерно-геофізичні дослідження, кристалічні породи, електричний опір, вертикальне електричне зондування.

Постановка проблеми. При будівництві та експлуатації гідротехнічних споруд (греблі та споруди гідроелектростанцій (ГЕС), водосховищ та відстійників рідких промислових відходів) виникає ряд взаємозв'язаних аспектів економічного, геологічного та екологічного змісту, що можуть складати певну техногенну небезпеку і повинні прогнозуватись та враховуватись. В обґрунтуванні оптимального варіанту будівництва таких споруд значне місце приділяється попереднім геолого-геофізичним дослідженням з метою вивчення геолого-структурної будови району, інженерно-геологічних і гідрогеологічних умов та оцінки можливого негативного впливу техногенних об'єктів на довкілля [2]. Досить важливими є моніторингові інженерно-геофізичні та екогеофізичні дослідження [3, 8-10], що виконуються в процесі будівництва та експлуатації гідротехнічної споруди.

Основна увага при цьому звертається на детальні екогеофізичні дослідження верхньої частини розрізу (ВЧР) – приповерхневої частини геологічного середовища потужністю в десятки, рідше перші сотні метрів. Вона включає ґрунти, гірські породи, поверхневі, ґрунтові та підземні води, екзогенні фізико-геологічні явища (зсуви, карст тощо). ВЧР найбільшою мірою зазнає впливу екзогенних (атмосферних, поверхневих) і техногенних (фізико-хімічних, енергетичних) процесів, а також ендегенних (внутрішньоземних) факторів. Вона часто характеризується екстремальним проявом, як природних (різкою геологічною та петрофізичною неоднорідністю у просторі та часі), так і техногенних (максимальним проявом різноманітних штучних фізичних полів) проце-

сів. Особливістю верхньої частини геологічного середовища, що зазнає значних техногенних навантажень, є яскраво виражена залежність всіх його характеристик від координат точок спостережень – властивості і стан ґрунтів та гірських порід верхньої частини розрізу помітно змінюються від точки до точки як по латералі, так і по вертикалі. Різко змінюється у просторі і часі поведінка різних геофізичних полів.

Моніторингові інженерно-геофізичні та екогеофізичні дослідження при будівництві і експлуатації гідротехнічних систем призначені для натурального спостереження за змінами геологічного середовища в зоні затоплення і на прилеглий території та фізико-механічних властивостей тіла дамб [2, 3, 8-10]. Отримані екогеофізичні матеріали використовуються для прийняття науково-технічних рішень на проведення оптимальних захисних інженерно-технічних заходів. Необхідність та обов'язковість спеціалізованих геолого-геофізичних досліджень в районі гідротехнічних споруд з метою прогнозування ймовірних екогеологічних змін довкілля впливає з багаточисельних прорахунків в обґрунтуванні подібних будівництв та експлуатації таких природно-техногенних систем.

Слід відзначити, що нехтування організацією моніторингових інженерно-геофізичних та екогеофізичних досліджень при будівництві та експлуатації гідротехнічних систем підвищує ризики катастрофічного розвитку ситуації. Значна кількість аварій, що сталися внаслідок часткового або повного руйнування дамб супроводжується потужним водним або сільовим потоком, який змиває все на своєму шляху, гинуть люди та матеріальні цінності. При цьому регіону, де відбувається така катастрофа, наносяться значні

екологічні збитки. Подібні катастрофи мали місце на відстійниках мідно-нікелевого комбінату у Вірменії, мідно-молібденового комбінату в Красноярському краї, Хабаровського гірничо-збагачувального комбінату в Росії, вуглепромислової фабрики "Буффало-Крік" в США [13] та при проливі дамби шламонакопичувача на Куренівці в м. Києві. Аварія на відстійнику Стебницького калійного заводу (Україна) привела до викиду 5 млн т відходів з мінералізацією біля 300 г/л. Були забруднені води рік Бистриця, Дністра та підземні води в басейнах цих рік [14]. Значне загрожування екологів викликає стан захисних дамб водосховищ гідроелектростанцій (ГЕС) Дніпровського каскаду.

Аналіз публікацій за темою досліджень. Існує ряд публікацій присвячених застосуванню методів геофізики для забезпечення гідротехнічного будівництва [1, 4-7, 11, 12 та ін.], проте, систематичні спеціалізовані геофізичні дослідження, а тим більше геофізичний моніторинг практично не проводилися. В основному, по можливості, використовувались матеріали геофізичних зйомок раніше виконаних на площі досліджень з метою геологічного картування та пошуків родовищ корисних копалин. Слід відзначити рідкість публікацій на дану тему з практичними прикладами застосування геофізичних методів для вирішення задач гідротехнічного будівництва.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Стаття присвячена висвітленню особливостей застосування електророзвідки при інженерно-геофізичних дослідженнях в тропічних умовах. На території Екваторіальної Гвінеї, в умовах розвитку латеритних кір вивітрювання, електрометричні дослідження для забезпечення будівництва гідроелектростанції "Сенже" на річці Веле виконувались вперше. Слід відзначити досить складні геоелектричні умови досліджень пов'язані з природною обстановкою та в цілому слабкодіференційованим геоелектричним розрізом, що потребувало підвищеної точності польових вимірювань, застосування статистичних методів обробки та нових підходів до інтерпретації польових геофізичних даних.

Мета досліджень – висвітлення особливостей електророзвідувальних досліджень при вивченні майданчика будівництва гідроелектростанції "Сенже" на річці Веле в республіці Екваторіальна Гвінея.

У статті наведено результати комплексних геоелектричних досліджень верхньої частини розрізу району будівництва ГЕС.

Експериментальні дослідження. Основними завданнями гідротехнічного будівництва є зведення гребель гідроелектростанцій з комплексом споруд: будівель станції, дериваційних і транспортних тунелів. Крім того, споруджуються греблі, канали різного призначення (транспортні, зрошувальні тощо). Геофізичні методи широко застосовуються для об'єктування проектів гідротехнічних споруд.

На різних стадіях проектування і будівництва необхідне вирішення великого числа завдань, що, в свою чергу, передбачає використання багатьох геофізичних методів. Найчастіше раціональний комплекс геофізичних методів розробляється шляхом експериментальних робіт. В окремих випадках, раціональний комплекс визначається з використанням досвіду робіт на об'єктах-аналогах. За специфікою інженерно-геологічних вишукувань можна виділити наступні гідротехнічні споруди: греблі, дамби, будівлі ГЕС і лінійні споруди типу каналів. Перші три об'єкти є досить відповідальними в економічному, соціальному та екологічному відношеннях і характеризуються високими вимогами до стійкості фундаментів і показників фільтрації води.

З метою вивчення геолого-тектонічної будови ділянки вирішуються наступні завдання: 1) літологічне розчленування розрізу; 2) виявлення та оконтурювання стародавніх та сучасних долин річок; 3) виявлення і оконтурювання інтрузивних і ефузивних тіл; 4) виявлення та трасування

зон тектонічних порушень і зон підвищеної тріщинуватості; 5) визначення потужності зони вивітрювання.

Для розчленування за ступенем тріщинуватості скельних порід основними геофізичними методами є: різні модифікації вертикальних електричних зондувань (ВЕЗ), сейсморозвідка кореляційним методом заломлених хвиль (КМЗХ) і геофізичні дослідження свердловин (ГДС). При розчленуванні піщано-глинистого осадового розрізу застосовуються методи ВЕЗ, ВЕЗ-ВП (ВЕЗ за способом викликаної поляризації), ВЕЗ-МДС (ВЕЗ за способом двох складових), електропрофілювання (різні модифікації), геофізичні дослідження свердловин, в окремих випадках електропрофілювання за методом двох складових. З метою виявлення і оконтурювання інтрузивних та ефузивних тіл, застосовуються різні модифікації електропрофілювання, ВЕЗ, КМЗХ, також ефективні при цьому магніто- та гравірозвідка. При виявленні і трасуванні зон тектонічних порушень та зон підвищеної тріщинуватості рекомендуються дослідження методами електропрофілювання з використанням комбінованої і дипольної установок (КЕП і ДЕП), електронзондування ВЕЗ, сейсморозвідки КМЗХ та сейсмічного профілювання. Завжди комплекс застосовуваних методів повинен бути таким, щоб методи доповнювали один одного і кожен давав додаткову, що має практичне значення інформацію. При виявленні та оконтурюванні стародавніх долин рекомендуються різні модифікації електропрофілювання, ВЕЗ, КМЗХ, рідше магніторозвідка і гравірозвідка.

В загальному плані, територія майданчика ГЕС "Сенже" на річці Веле (Екваторіальна Гвінея) розташована в межах західної частини Африканського кристалічного щита в зоні зчленування морфоструктур, різних за новітньою тектонікою. На формування рельєфу цокольних рівнин щита великий вплив мають системи регіональних розривних порушень, відомі як грабен Беніто та приоканічний розлом. Результатом їх взаємодії стало формування контрастного рельєфу, ускладненого височинами – горстами та зниженнями – грабенами.

Докембрійські кристалічні породи представлені тут діабазами, гранодіоритами та гнейсами, в різній мірі тріщинуватими.

Слід зазначити, що масиви скельних порід у верхній частині розрізу (до 100 м) представляють собою складно-побудовані геологічні середовища, що характеризуються різкою просторовою мінливістю фізичних властивостей, недостатньою чіткістю і витриманістю меж, що розділяють ділянки з різними параметрами, істотною неоднорідністю та анізотропією властивостей порід. Для гірського масиву характерна складна геологічна будова: комплекс метаморфічних порід розбитий значною кількістю розломів і пов'язаних з ними зон тріщинуватості, за якими відбулося два цикли утворення інтрузій.

На докембрійських кристалічних породах території практично суцільне поширення має кора вивітрювання, утворення якої контролювалось специфічними кліматичними умовами, тектонічним режимом, складом материнських гірських порід, геологічною і тектонічною будовою окремих ділянок. Кора вивітрювання, яка має площинний характер залягання, відсутня в місцях виходу на денну поверхню кристалічних порід. Вона характеризується зональною будовою, при цьому переходи між зонами поступові, а межі нечіткі.

Слід відзначити, що на території розміщення території майданчика ГЕС "Сенже" раніше не виконувались геолого-геофізичні дослідження. Тому на території майданчика ГЕС "Сенже" виконаний комплекс інженерно-геологічних, що включав наземні геофізичні методи – електророзвідку та сейсморозвідку.

Для простеження глибини залягання покрівлі кристалічних порід і оцінки їх ступеня тріщинуватості виконаний комплекс геофізичних досліджень: електророзвідка – мето-

дами вертикального електричного зондування (ВЕЗ) і симетричного електропрофілювання (СЕП), а також сейсморозвідка кореляційним методом заломлених хвиль (КМЗХ).

Вертикальне електричне зондування (ВЕЗ) виконано за окремими профілями з метою геоелектричного розчленування розрізу, виділення монолітних і тріщинуватих зон у кристалічних породах. Електророзвідка в модифікації симетричного двохрозносного електропрофілювання (СЕП) призначалася для детального геоелектричного вивчення території досліджень по латералі, перш за все, для виявлення тектонічних порушень, зон підвищеної тріщинуватості кристалічних порід.

Сейсморозвідка кореляційним методом заломлених хвиль (КМЗХ) виконувалась на аномальних ділянках, за окремими профілями з метою деталізації при виділенні монолітних і тріщинуватих зон у кристалічних породах.

В процесі польових досліджень виконана оперативна обробка та якісна інтерпретація матеріалів електророзвідки з метою оперативного забезпечення геофізичної основи для вирішення першочергових завдань геологічної зйомки – встановлення основних елементів структурної будови території досліджень. Особливості будови геологічного розрізу по вертикалі за даними електророзвідки наведені на вертикальних розрізах позірного опору ρ_p . Ок-

рім того, з метою якісної характеристики геологічного розрізу за матеріалами геоелектричних досліджень побудовано комплект карт ("зрізів") позірного електричного опору ρ_p на різних глибинах (AB=12 м, 20 м, 40 м, 80 м та 130 м). На цих картах виділяється ряд мікроблоків пов'язаних з дайковим комплексом та областями розвитку тріщинуватих кристалічних порід.

Карта позірного електричного опору масштабу 1:2000 на розносі AB = 12 м (рис. 1) відображає розподіл електричних опорів на розрахунковій глибині 3 м і характеризує верхній шар рихлих порід та кори вивітрювання. Позірний питомий опір змінюється від 943 до 4200 Ом-м при середньому значенні 2196 Ом-м. На карті виділяються локальні області підвищених значень позірних опорів (більше 3000 Ом-м) північно-східного простягання в південно-західній частині ділянки робіт (див. рис. 1). Ці області пов'язані з місцями неглибокого залягання кристалічних порід дайкового комплексу. Поля знижених ρ_p (менше 2000 Ом-м) займають західну і східну частину ділянки робіт, а також область північно-східного простягання у центрі. Вони пов'язані з ділянками підвищеної потужності осадових відкладів і кори вивітрювання, а також з тріщинуватими зонами кристалічних порід з неглибоким заляганням.

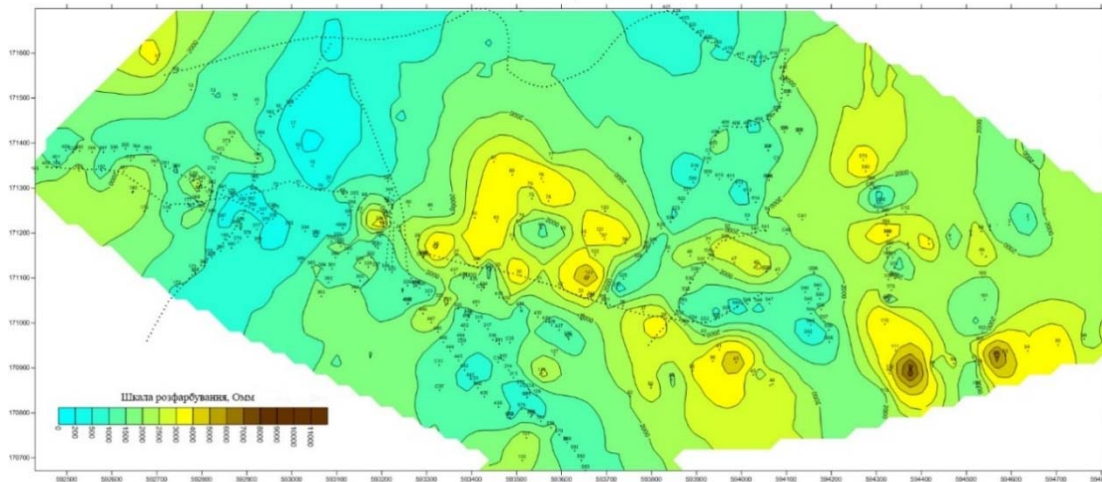


Рис. 1. Карта позірного електричного опору, AB=12 м. Розрахункова глибина 3 м

Карта позірного електричного опору масштабу 1:2000 на розносі AB = 20 м (рис. 2) відображає розподіл електричних опорів на розрахунковій глибині приблизно 5 м і характеризує в основному кору вивітрювання, а іноді кристалічні породи в місцях їх неглибокого залягання.

Позірний опір змінюється від 133 до 9370 Ом-м при середньому значенні 1641 Ом-м. На карті виділяються локальні області підвищених значень позірних опорів (більше 5000 Ом-м), які також утворюють "ланцюжок" північно-західного простягання в центральній частині ділянки робіт на лівому березі р. Веле і практично субмеридіонального простягання на правому березі. Слід зазначити, що області підвищених опорів розширюються наслідуючи загальну структуру, яку можна прослідкувати на карті позірних електричних опорів на розносі AB = 12 м.

Ці області пов'язані з місцями неглибокого залягання кристалічних порід дайкового комплексу. Поля знижених ρ_p (менш 2000 Ом-м) займають великі області на лівому березі і невеликі ділянки на правому березі (див. рис. 2). Вони пов'язані з ділянками підвищеної потужності осадових відкладів і кори вивітрювання, а також з тріщинуватими зонами кристалічних порід і приурочені до долини р. Веле та її дренної долини в західній частині ділянки робіт.

Карта позірного електричного опору масштабу 1:2000 на розносі AB=40 м (рис. 3) відображає розподіл електричних опорів на розрахунковій глибині приблизно 10 м і характеризує в основному кору вивітрювання в місцях підвищеної глибини залягання кристалічних порід і кристалічні породи в місцях їх неглибокого залягання. Позірний питомий опір змінюється від 1048 до 7618 Ом-м при середньому значенні 3427 Ом-м. Також як і на попередніх картах, виділяються локальні області підвищених значень позірних опорів (більше 3000 Ом-м) північно-східного простягання в центральній частині ділянки робіт (див. рис. 3). Области підвищених опорів розширюються, наслідуючи загальну структуру, яка почала проявлятися на картах позірних електричних опорів на розносах AB=12 м і AB=20 м. Ці області пов'язані з місцями неглибокого залягання кристалічних порід. Поля знижених ρ_p (менше 2000 Ом-м) займають локальні ділянки в західній та східній частині ділянки робіт і утворюють область північно-східного простягання в центрі (див. рис. 3). Вони пов'язані з ділянками підвищеної потужності осадових відкладів і кори вивітрювання, а також з тріщинуватими зонами кристалічних порід.

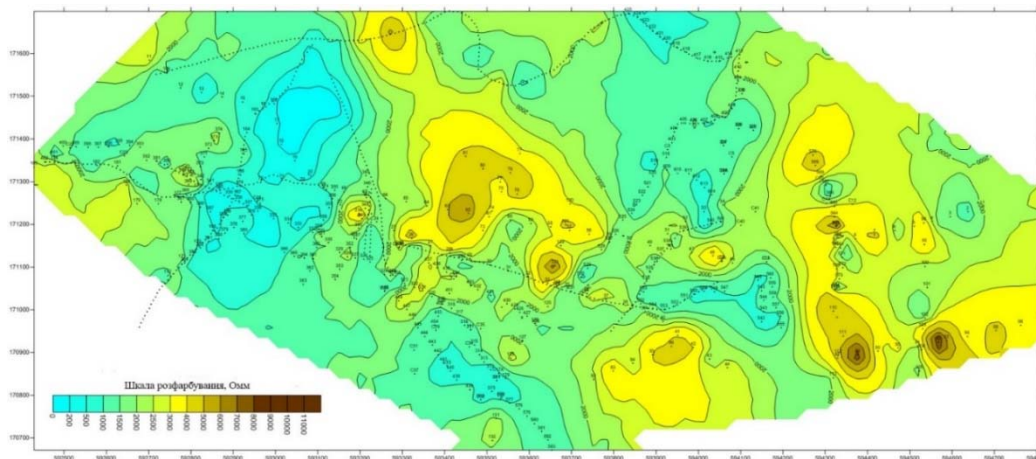


Рис. 2. Карта позірнього електричного опору, АВ=20 м. Розрахункова глибина 5 м

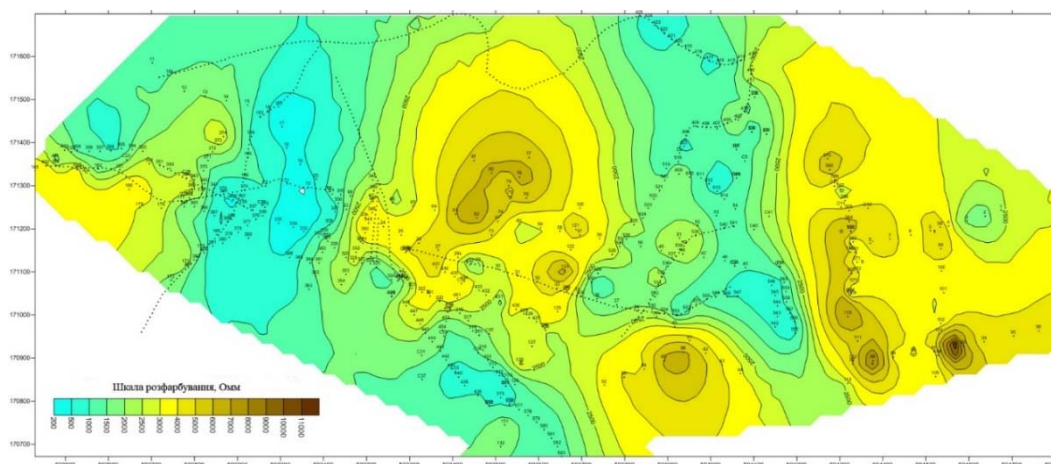


Рис. 3. Карта позірнього електричного опору, АВ=40 м. Розрахункова глибина 10 м

Карта позірнього електричного опору масштабу 1:2000 на розносі АВ=80 м (рис. 4) відображає розподіл електричних опорів на розрахунковій глибині приблизно 20 м і характеризує кристалічні породи. Позірний питомий опір змінюється від 1389 до 9146 Ом-м при середньому значенні 4876 Ом-м. На карті виділяються області підвищених значень позірних опорів (понад 3000 – 5000 Ом-м), які займають центральну частину ділянки робіт (див. рис. 4). Области підвищених опорів успадковують загальну структуру, яка проявляється на картах позірних електричних опорів на розносах АВ=12 м, АВ=20 м і АВ=40 м. Ці області пов'язані з місцями неглибокого залягання слаботріщинуватих і монолітних кристалічних порід дайкового комплексу. Поля знижених ρ_n (менше

2000 Ом-м) займають локальні області в північно-західній і південно-західній частині ділянки робіт (див. рис. 4). Вони пов'язані з ділянками підвищеної потужності осадових відкладів і кори вивітрювання, а також з тріщинуватими зонами кристалічних порід.

Карта позірнього електричного опору масштабу 1:2000 на розносі АВ = 130 м (рис. 5) відображає розподіл електричних опорів на розрахунковій глибині приблизно 30 – 35 м і характеризує в основному кристалічні породи і частково кору вивітрювання в місцях підвищеної глибини залягання кристалічних порід.

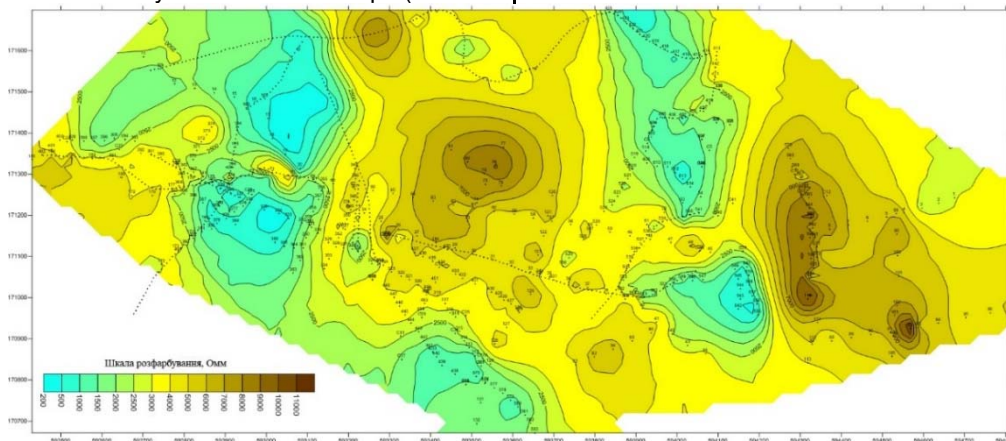


Рис. 4. Карта позірнього електричного опору, АВ=80 м. Розрахункова глибина 20 м

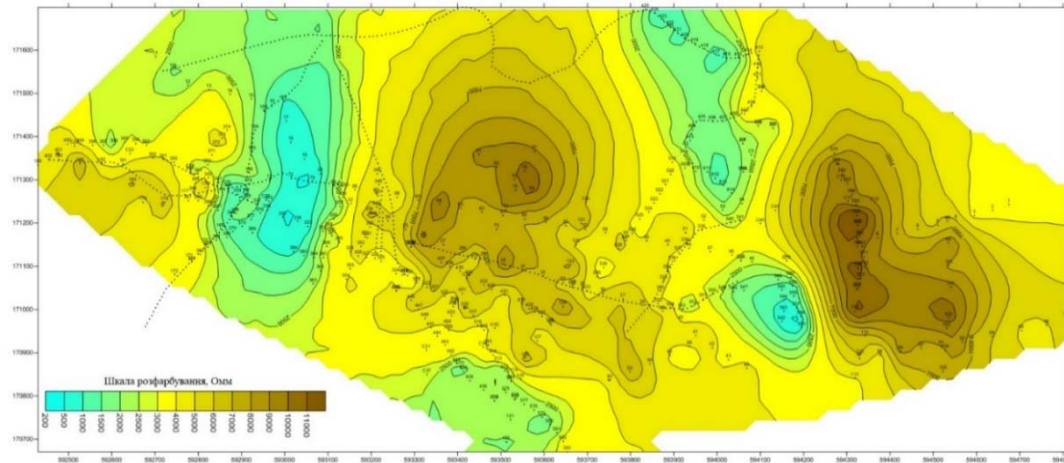


Рис. 5. Карта позірнього електричного опору, АВ=130 м. Розрахункова глибина 30 – 35 м

Позірний опір змінюється від 422 до 13460 Ом-м при середньому значенні 4269 Ом-м. Також як і на попередніх картах, на карті виділяються області підвищених значень позірних опорів (більше 5000 Ом-м), які утворюють поля північно-західного простягання в центральній частині ділянки робіт на лівому березі р. Веле і практично субмеридіального простягання на правому березі (див. рис. 5). Области підвищених опорів розширюються наслідуючи загальну структуру, яка почала проявлятися на картах позірних опорів на розносах АВ = 12 м, АВ = 20 м, АВ = 40 м і АВ = 80 м, досягаючи майже половини площі робіт. Ці області пов'язані із зонами слаботріщинуватих і монолітних кристалічних порід дайкового комплексу. Поля знижених ρ_n (менше 2000 Ом-м) займають окремі області на лівому березі (див. рис. 5). Вони пов'язані з ділянками підвищеної тріщинуватості кристалічних порід і приурочені до долини р. Веле і її древньої долини в західній частині ділянки робіт.

Комплексний аналіз вертикальних розрізів ρ_n (приклад див. рис. 6), карт позірних опорів на різних розносах (рис. 1-5) та даних буріння дозволив встановити, що зони підвищених опорів контролюються монолітними породами дайкового комплексу, а зони понижених опорів пов'язані з областями розвитку у різному ступені тріщинуватих кристалічних порід. Карты позірнього електричного опору на різних розносах та вертикальні розрізи ρ_n дозволили висвітлити об'ємну структуру ділянки досліджень в електричному полі і надали цінну інформацію для складання її кондиційної геологічної основи.

В результаті кількісної інтерпретації результатів наземних геофізичних робіт отримані дані про глибину залягання кристалічних порід, ступінь їх тріщинуватості, виконана якісна і кількісна характеристика порід, які складають геологічний розріз території розміщення основних споруд ГЕС.

За даними кількісної інтерпретації матеріалів геофізичних досліджень та буріння побудовано ряд карт території досліджень, а саме: потужності рихлих відкладів, ізогіс поверхні кристалічних порід, питомих електричних опорів кристалічних порід з виділенням зон з їх підвищеною тріщинуватістю.

У межах території розміщення дериваційного каналу і греблі ГЕС, покрівля кристалічних порід розташована в інтервалі абсолютних відміток 15-125 м. У центральній частині лівобережжя і на сході правобережної частини території виділяється піднятий мікроблок. На лівобережній ділянці, в західному напрямку від піднесеного блоку (абс. відм. 70-105 м) відзначається занурення покрівлі кристалічних порід на 40 м (абс. відм. 70-30 м) і далі рельєф покрівлі відносно рівний (абс. відм. 30 – 20 м). На сході від піднесеного блоку відзначається різке занурення покрівлі кристалічних порід (абс. відм. до 25 м). На правобережній ділянці, в східному напрямку, простежується підняття покрівлі кристалічних порід (абс. відм. 35-125 м).

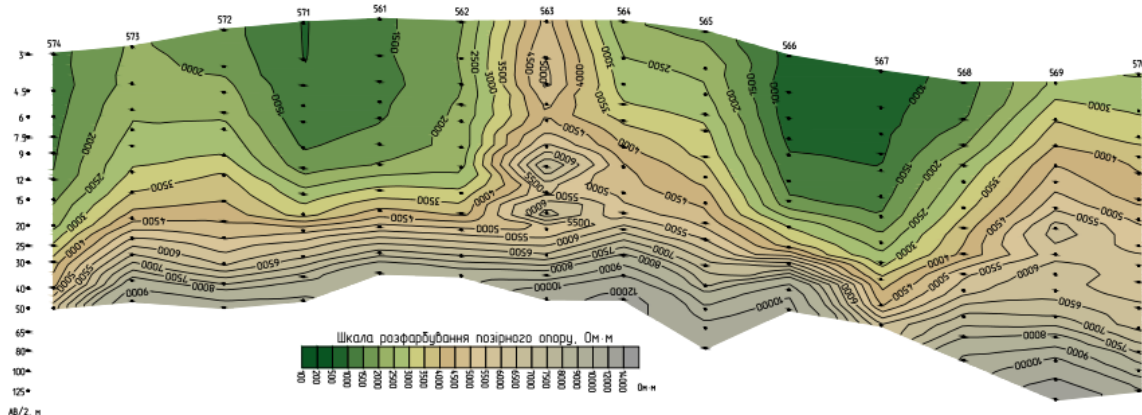


Рис. 6. Вертикальний розріз ρ_n . Масштаб: горизонтальний – 1:1000, вертикальний – логарифмічний

На геолого-геофізичних розрізах представлені результати кількісної інтерпретації геофізичних матеріалів.

За даними кількісної інтерпретації матеріалів ВЕЗ виділено опорний горизонт, що зіставляється з покрівлею кристалічних порід. У надопорному горизонті, за даними

методу ВЕЗ виділені окремі шари, представлені товщею ґрунтів зі щебнем, дресв'яно-щебеневою корою вивітрювання, яка представлена латеритною, каоліновою і

дресв'яно-щебеневою корою вивітрювання (часто з валунами кристалічних порід), в різному ступені обводненою. Для прикладу на рис. 7 наведено типовий геоелектричний розріз району досліджень.

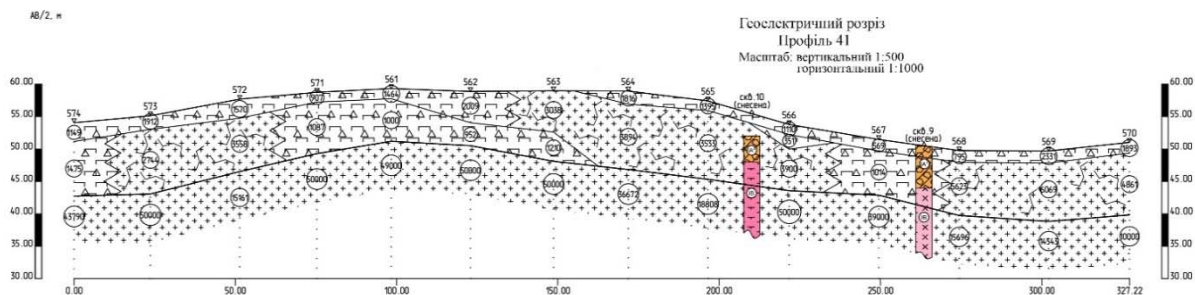


Рис. 7 Типовий геоелектричний розріз

Профіль пройдено з південного сходу на північний захід на штучно прокладеній терасі на правому березі р. Веле. Для профілю характерний, в цілому, тришаровий геоелектричний розріз. В основі розрізу на глибині 8 – 12 м залягають монолітні породи кристалічного фундаменту. У свердловинах 9, 10, пробурених поруч з профілем кристалічні породи представлені гнейсами. Абсолютні позначки покривлі монолітних кристалічних порід 39 – 51 м. Спостерігається локальне підняття поверхні кристалічних порід. Питомий електричний опір монолітних кристалічних порід змінюється в межах від 10000 до 50000 Ом-м.

На кристалічних породах залягає геоелектричний горизонт потужністю 3,5 – 10 м і більше з електричним опором 950 – 6070 Ом-м. Він зіставляється, з товщею дресв'янистої кори вивітрювання (при $\rho < 2000$ Ом-м) і в різному ступені вивітряними тріщинуватими кристалічними породами (при $\rho > 2000$ Ом-м). Перший від поверхні геоелектричний горизонт потужністю 1,5 – 2,5 м характеризується електричним опором 570-2330 Ом-м і представлений ґрунтом зі щебнем і дресв'янистою корою вивітрювання.

Висновки. В результаті комплексного аналізу вертикальних розрізів ρ_n , карт позірних опорів на різних розносах та даних буріння свердловин встановлено, що зони підвищених опорів контролюються монолітними породами дайкового комплексу, а зони понижених опорів пов'язані з областями розвитку в різному ступені тріщинуватих кристалічних порід. Вертикальні розрізи та карти позірного електричного опору на різних розносах дозволили висвітлити об'ємну структуру ділянки досліджень в електричному полі та надали цінну інформацію для складання її кондиційної геологічної основи.

За результатами кількісної інтерпретації матеріалів геофізичних досліджень встановлено, що в основі геологічного розрізу залягають докембрійські кристалічні породи, які істотно розрізняються за величиною питомого електричного опору (від 780 до 50000 Ом-м) і за значеннями швидкості поширення заломлених хвиль (від 2,7 км/с до 7,0 км/с).

Такий значний діапазон зміни геофізичних характеристик свідчить про значні зміни ступеня тріщинуватості і вивітрюваності кристалічних порід. На підставі отриманих геофізичних характеристик, умовно, породи кристалічного фундаменту можна розділити за ступенем тріщинуватості і вивітрюваності на наступні групи:

- інтенсивно тріщинуваті, вивітрілі кристалічні породи мають питомий електричний опір від 780 до 2000 Ом-м, а граничну швидкість повздовжніх хвиль менше 3,5 км/с;
- тріщинуваті кристалічні породи, відповідно, характеризуються опорами від 2000 до 5000 Ом-м і значеннями граничної швидкості в межах 3,5 – 4,5 км/с;

– монолітні і слаботріщинуваті кристалічні породи характеризуються високими питомими електричними опорами, що перевищують 5000 Ом-м і значеннями граничної швидкості понад 4,5 км/с.

Отримана інформація про будову геологічного розрізу території використана для уточнення генплану споруд ГЕС.

Список використаних джерел

1. Анахов П.В. Возбуждение землетрясений при наполнении водохранилищ. Суперпозиция прямых и косвенных воздействий на местную геологическую среду / П.В. Анахов, Н.В. Макарець // Геофизический журнал. – 2016. – том 38, №1. – С. 86-96.
2. Вижва С.А. Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів / С.А. Вижва. – Київ: "Обрії", 2004. – 236 с.
3. Вижва С.А. Екогеофізичний моніторинг міських агломерацій / С.А. Вижва, І.І. Онищук, Д.А. Безродний // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. – 2003. – №25. – С.71-75.
4. Качинский А.Б. Характер связности элементов системы обеспечения безопасности гидротехнических сооружений / А.Б. Качинский, Н.В. Агаркова // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2015. – № 3. – С. 72–83.
5. Малик Л.К. Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. – М: Наука, 2005. – 354 с.
6. Некрасов Ю.Ф. Контроль положения депрессионной поверхности техногенного водоносного горизонта в ограждающих дамбах накопителей промышленных отходов методами инженерной геофизики / Ю.Ф. Некрасов, О.Р. Озмидов, В.В. Агентов // Сб. ст. "Геофизические исследования в гидрогеологии, инженерной геологии". – Ташкент: САИГИМС, 1991. – с. 84-91.
7. Носова О.Н. К вопросу контроля за надёжностью и безопасностью эксплуатируемых гидротехнических сооружений / О.Н. Носова, Э.К. Александровская // Метеорология и гидрология. – 1999. – № 1. – С. 21–26.
8. Онищук І.І. Особливості екогеофізичних досліджень при вивченні зсувонебезпечних територій. / І.І. Онищук // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. – 2002. – №23-24. – С. 85-88.
9. Онищук І.І. Принципи геофізичного картування стану земель / І.І. Онищук, М.В. Рева // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. – 2004. – №29 – 30. – С. 36-40.
10. Онищук І.І. Дослідження техногенного забруднення довкілля геофізичними методами / І.І. Онищук, М.В. Рева, О.П. Нікіташ, В.І. Онищук // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. – 2006. – № 38-39. – С. 93-96.
11. Савич А.И. Комплексные инженерно-геофизические исследования при строительстве гидротехнических сооружений / А.И.Савич, Б. Д. Куянджич, В. И. Колтев и др. – М.: Недра, 1990. – 449 с.
12. Усаченко Б.М. К разработке геоконструктивных охранных систем / Б.М. Усаченко, С.П. Мусяненко, М.А. Ильяшов, В.Н. Сергиенко // Геотехническая механика: межвед. сб. научн. тр. ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2008 – Вып. 78. – С. 6-72.
13. Федоров Н.Н. Складирование отходов рудообогатения / Н.Н. Федоров. – М.: Недра, 1985. – 235 с.
14. Шнюков Е.Ф. Экологическая геология Украины / Е.Ф. Шнюков. – К.: Наукова думка, 1993. – 407 с.

Reference

1. Anahov, P.V., Makarets, N.V. (2016). Vozbuzhdenie zemletryaseniy pri napolnenii vodokhranilisch. Superpozitsiya pryamyh i kosvennyh vozdeystviy na mestnyuyu geologicheskuyu sredyu. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 38(1), 86–96. [in Russian].
2. Vyzhva, S.A. (2004). Neofizychnyi monitorynh nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv. Kyiv: "Obrii", 236 p. [in Ukrainian].

3. Vyzhva, S.A., Onyshchuk, I.I., & Bezrodnyi, D.A. (2003). Ekoheofizychni monitorynh miskykh ahlomeratsii. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 25, 71–75. [in Ukrainian].
4. Kachinskiy, A.B., Agarkova, N.V. (2015). Charakter svyazanosti elementov sistemy obespecheniya bezopasnosti gidrotehnicheskikh. Systemny doslidzhennia ta informatsiini tekhnologii, 3, 72–83. [in Russian].
5. Malik, L.K. (2005). Faktory riska povrezhdeniya gidrotehnicheskikh sooruzheniy. Moskva: Nauka, 354 p. [in Russian].
6. Nekrasov, Yu.F., Ozmidov, O.R., Agentov, V.V. (1991). Kontrol polozheniya depressionnoy poverhnosti tehnogenogo vodonosnogo gorizonta v ograzhdayuschih dambah nakopiteley promyshlennykh othodov metodami inzhenernoy geofiziki. Sb. "Geofizicheskie issledovaniya v gidrogeologii, inzhenernoy geologii", 84–91. [in Russian].
7. Nosova, O.N., Aleksandrovskaia, E.K. (1999). K voprosu kontrolya za nadyozhnostyu i bezopasnostyu ekspluatiruemykh gidrotehnicheskikh sooruzheniy. Meteorologiya i gidrologiya, 1, 21–26. [in Russian].
8. Onyshchuk, I.I., Reva, M.V. (2002). Osoblyvosti ekoheofizychnykh doslidzhen pry vyvchenni zsvonebezpechnykh terytorii. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 22–23, 85–88. [in Ukrainian].

9. Onyshchuk, I.I., Reva, M.V. (2004). Pryntsyipy heofizychnoho kartuvannia stanu zemel. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 29–30, 36–40. [in Ukrainian].
10. Onyshchuk, I.I., Reva, M.V., Nikitash, O.P., & Onyshchuk, V.I. (2006). Doslidzhennia tekhnogenoho zabrudnennia dovkillia heofizychnyimi metodamy. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 38–39, 93–96. [in Ukrainian].
11. Savich, A.I., Kuyundzhich, B.D., Koptev, V.I. et al. (1990). Kompleksnyie inzhenerno-geofizicheskie issledovaniya pri stroitelstve gidrotehnicheskikh sooruzheniy. Moskva: Nedra, 449 p. [in Russian].
12. Usachenko, B.M., Musienko, S.P., Ilyashov, M.A., & Sergienko, V.N. (2008). K razrabotke geokompozitnykh ohrannykh sistem. Geotekhnicheskaya mehanika: Mezhd. sb. nauchn. tr., 78, 6–72. [in Russian].
13. Fedorov, N. N. (1995). Skladirovanie othodov rudobogasheniya. Moskva: Nedra, 235 p. [in Russian].
14. Shnyukov, E.F. (1990). Ekologicheskaya geologiya Ukrainyi. Kyiv: Naukova dumka, 403 p. [in Russian].

Надійшла до редколегії 25.02.17

S. Vyzhva, Dr. Sci. (Geol.), Prof.

E-mail: vsa@univ.net.ua,

V. Onyshchuk, PhD (Geol.)

E-mail: vitus16@ukr.net,

K. Іванченко, Engineer

E-mail: eptom@ukr.net,

I. Onyshchuk, PhD (Geol.), Senior Scientific Researcher

E-mail: oivan1@ukr.net,

M. Reva, PhD (Phys.–Math.), Assoc. Prof.

E-mail: mvreva@gmail.com,

*S. Deineko, PhD (Geol.), Head of Geophysics department

E-mail: sidei@ukr.net

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology

90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

*GP KIIZI "Energoiprojekt"

4 Peremogy Ave., Kyiv, 01135, Ukraine

RESEARCH OF GEOLOGIC STRUCTURE OF TERRITORIES OF HYDROTECHNICAL SYSTEMS ALLOCATION BY MEANS OF GEOPHYSICAL METHODS (USING "SENZHE" HPP AS AN EXAMPLE, EQUATORIAL GUINEA)

The article is devoted to peculiarities of application of electrical exploration method for engineering-geophysical and geophysical investigations to ensure the construction of hydropower plants in tropical conditions on the territory of Equatorial Guinea. Also the article discusses informativeness of proactive geophysical studies, in result of which block structure of geological section of the area was found. Comprehensive analysis of the vertical section, resistivity maps and drilling data showed that increased resistance zones are controlled by monolithic rocks of dyke complex and low-resistance zones are associated with areas of varying degrees of fractured crystalline rocks. Maps of the apparent electrical resistance at different set spans allowed to unravel the three-dimensional structure of investigated area in an electric field and provided valuable information for drawing up its conditioning geological basis. The basis of the geological section consists of Precambrian crystalline rocks that vary considerably in resistivity – from 780 to 50,000 Ohm × m, and the values of the speed of propagation of refracted waves are from 2.7 km/s to 7.0 km/sec.

A wide range of geophysical characteristics of crystalline basement rocks indicates a significant change of fracture intensity and rock decay that should be considered when drawing up the master plan of HPP facilities allocation.

Keywords: engineering-geophysical investigations, crystalline rocks, electrical resistivity, vertical electrical sounding.

C. Выжва, докт. геол. наук, проф.

E-mail: vsa@univ.net.ua,

V. Онищук, канд. геол. наук

E-mail: vitus16@ukr.net,

E. Иванченко, инженер

E-mail: eptom@ukr.net,

I. Онищук, канд. геол. наук, ст. науч. сотр.

E-mail: oivan1@ukr.net,

Н. Рева, канд. физ.-мат. наук, доц.

E-mail: mvreva@gmail.com,

*С. Дейнеко, канд. геол. наук

E-mail: sidei@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ННІ "Інститут геології", ул. Васильківська, 90, г. Київ, 03022, Україна

*ГП КІІЗІ "Енергопроект"

пр. Перемоги, 4, г. Київ, 01135, Україна

ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ (НА ПРИМЕРЕ ГЭС "СЕНЖЕ", ЭКВАТОРИАЛЬНАЯ ГВИНЕЯ)

Статья посвящена особенностям применения электроразведки при инженерно-геофизических исследованиях для обеспечения строительства ГЭС в тропических условиях на территории Экваториальной Гвинеи. В работе обсуждается информативность опережающих геофизических исследований, по результатам которых установлено мелкоблоковое строение геологического разреза территории. В результате комплексного анализа вертикальных разрезов и карт кажущихся электрических сопротивлений на разных разностях, а также данных бурения скважин установлено, что зоны повышенных сопротивлений контролируются монолитными породами дайкового комплекса, а зоны пониженных сопротивлений связаны с областями развития в разной степени трещиноватых кристаллических пород. Вертикальные разрезы и карты кажущегося сопротивления на разных разностях позволили выявить объемную структуру участка исследований в электрическом поле и предоставили ценную информацию для составления его кондиционной геологической основы. По данным количественной интерпретации геофизических материалов установлено, что в основе геологического разреза залегают докембрийские кристаллические породы, которые существенно различаются по величине удельного электрического сопротивления – от 780 до 50000 Ом × м и по значениям скорости распространения преломленных волн – от 2,7 км/с до 7,0 км/с.

Широкий диапазон изменения геофизических характеристик пород кристаллического фундамента свидетельствует о значительных изменениях степени трещиноватости и выветренности кристаллических пород, что необходимо учесть при составлении генплана размещения сооружений ГЭС.

Ключевые слова: инженерно-геофизические исследования, кристаллические породы, электрическое сопротивление, вертикальное электрическое зондирование.