

## Геофизични изследвания за изучаване на опасни пропадания по повърхността на старо хвостохранилище

Александър Цветков<sup>1</sup>, Атанас Кисъев<sup>2</sup>

1- Минно-геоложки университет „Св. Ив. Рилски“, E-mail [atzvetkov@mgu.bg](mailto:atzvetkov@mgu.bg)

2 - Минно-геоложки университет „Св. Ив. Рилски“, E-mail [at.kisyov@abv.bg](mailto:at.kisyov@abv.bg)

**Ключови думи:** екология, хвостохранилище, кухня, профилиране, ВЕС

*Geophysical surveying for studying the presence of dangerous cavities formed in the upper part of an old tailing pond.*

*A. Tsvetkov, A. Kisyov.*

Geophysical surveying was performed in the territory of an abandoned and set aside for conservation and recultivation tailing pond in the area of a lead-zinc mine in the Strandja-Sakar region. It was initiated by two deep local subsidences that took place in different years. The geophysical works were carried out in an area of 7200 sq.m along a 10 x 5 m grid and include electrical profiling using Schlumberger array (AB = 60 m, MN = 10m) and 22 points VES, which fall along three profile lines. The method of vertical electric sounding permits to study the inhomogeneity of the materials composing the tailing pond down to a depth of about 40 m. The obtained geophysical data were used in order to investigate the risk of a new subsidence in the area of the tailing pond.

The results of the geophysical surveying were applied during the performed activities aimed on strengthening of the identified areas characterized by a high risk for new subsidence.

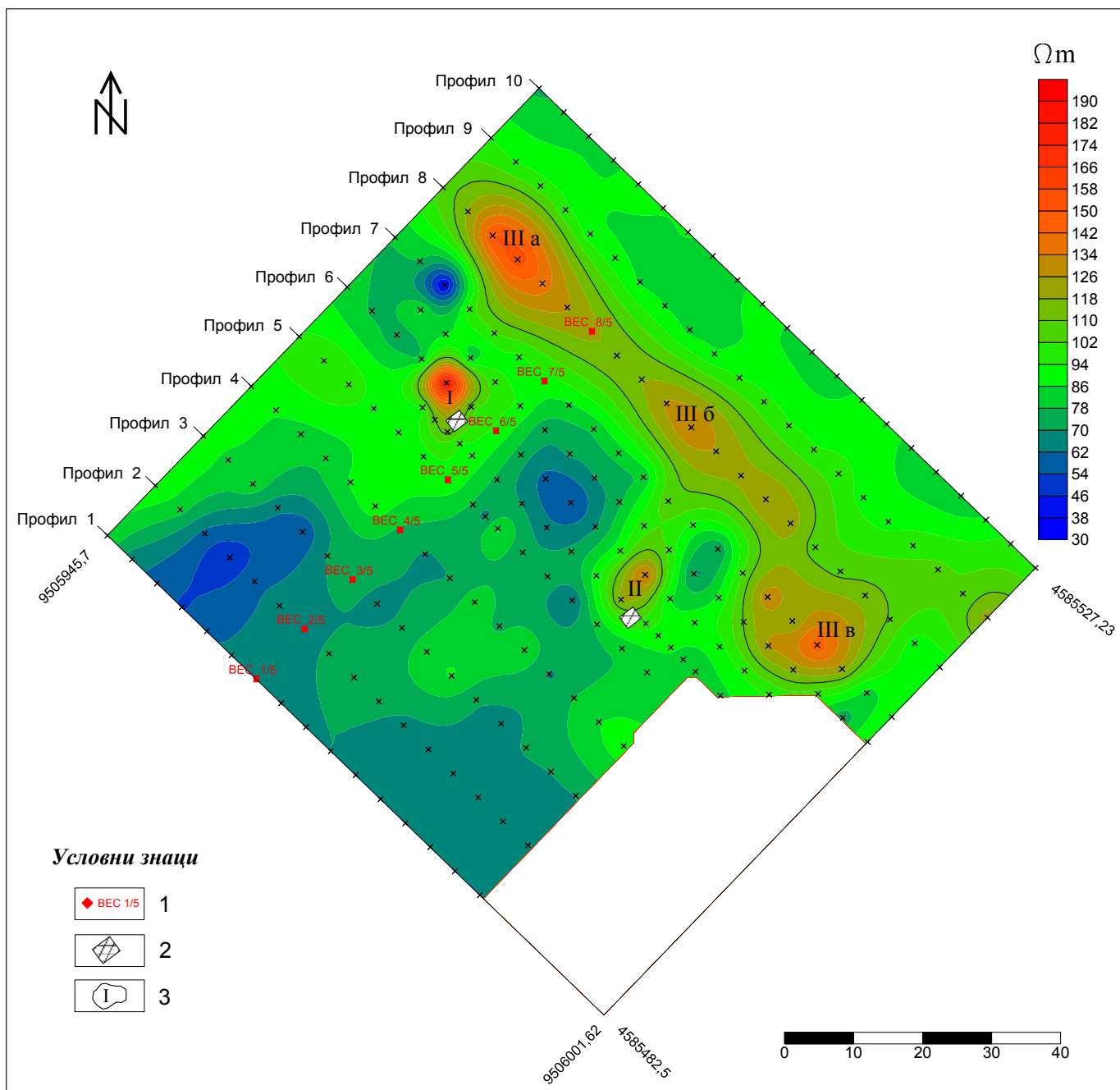
Геофизичните методи предоставят големи възможности за решаване на разнообразни геоеколожки задачи. В настоящата работа са представени резултати от проведените изследвания на хвостохранилище, разположено в границите на Устремското оловно-цинково рудно поле в близост до гр. Тополовград. (А.Цветков и др., 1999). Основната им задача включва локализиране на участъци, потенциално застрашени от опасни пропадания и изясняване възможността за наличие на подземна връзка между образуваните две кухни със сечение няколко квадратни метра и дълбочина от порядъка на 10-15 m в хвостохранилището.

Измерванията върху набелязаната площ от 7200 кв.м. са извършени с използване на българска апаратура за електрични измервания на постоянен ток, съставена от генератор Ген-250 с максимално изходно напрежение 500 V и изходен ток 1 A и полеви измерител УПИ-4 с чувствителност по напрежение  $10^{-6}$  V. Осигуреното високо отношение сигнал/шум позволява измервания в условия на високо ниво на промишлени смущения, каквито често се наблюдават в близост до минни обекти. Избраният комплекс включва два електросъпротивителни метода:

а) *метод на симетрично електропрофилиране – схема Шлюмберже* с разстояние между захранващите електроди АВ = 60 m и между приемните електроди MN = 10 m. Измерванията обхващат общо 10 профила с дължина 70-100 m, прокарани през 10 m с направление северозапад-югоизток с погъстяване до 5 m на избрани участъци. Разстоянието между измерителните точки е 5 m. Методът е ефективен за бързо изследване на нееднородностите в хвостохранилището, характеризиращи се с различно електрично съпротивление. Основно влияние върху разпределението на този параметър оказва различната степен на овлажняване на хвоста. Подземните кухни като изолатори се бележат с повишени електрични съпротивления. Силно овлажнената част на хвостохранилището се характеризира с ниско електрично съпротивление. Схемата на измерване е избрана така, че отразява основно нееднородностите в хвостохранилището до 12-15 m дълбочина и почти не се влияе от морфологията на коренните скали.

б) *метод на вертикалното електрично сондиране (ВЕС)*. Този метод носи информация за евентуалното наличие на слоеве с различно специфично съпротивление в материалите на хвоста. Избраната в случая максимална дължина на захранващата линия АВ = 260 m осигурява необходимата ефективност на изследване на дълбочини до 40 m и повече, т.е. включително и под дъното на хвостохранилището

На фиг. 1 е представена картата на привидното електрично съпротивление, съставена по данни от метода на симетричното профилиране. Преобладаващата част от изследваната площ се характеризира върху картата на привидното електрично съпротивление със стойности от порядъка на 50-90  $\Omega$ m.



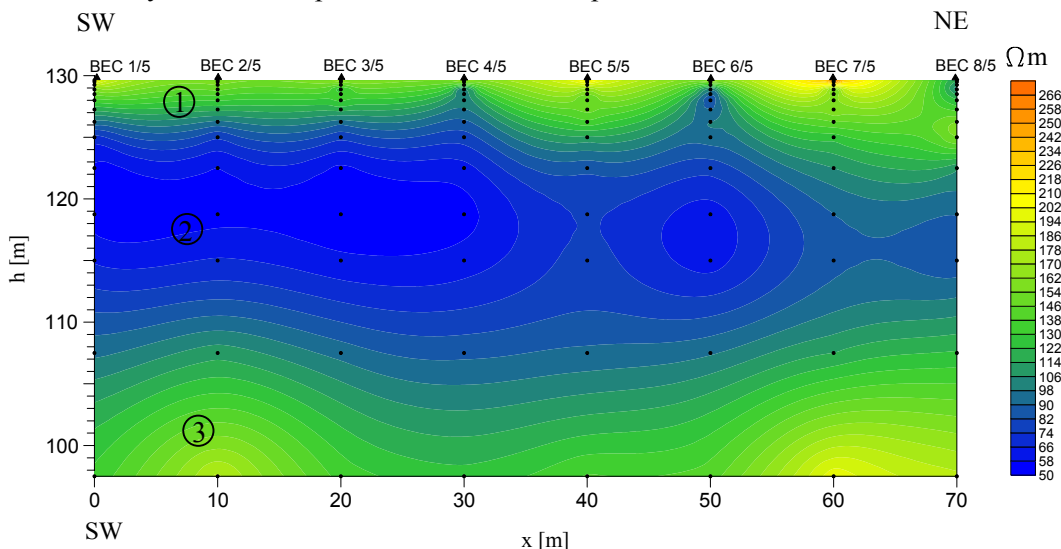
Фиг. 1. Карта на привидното съпротивление и отделените потенциално опасни за нови пропадания участъци в границите на хвостохранилище „Устрем-4” с мрежата на измерване за симетрично електропрофилиране и разположението на точките ВЕС.

1-точка ВЕС; 2-границы на участъци на предишни дълбоки пропадания; 3-участъци, набелязани по геофизични данни, за допълнително укрепване при рекултивацията на хвостохранилището.

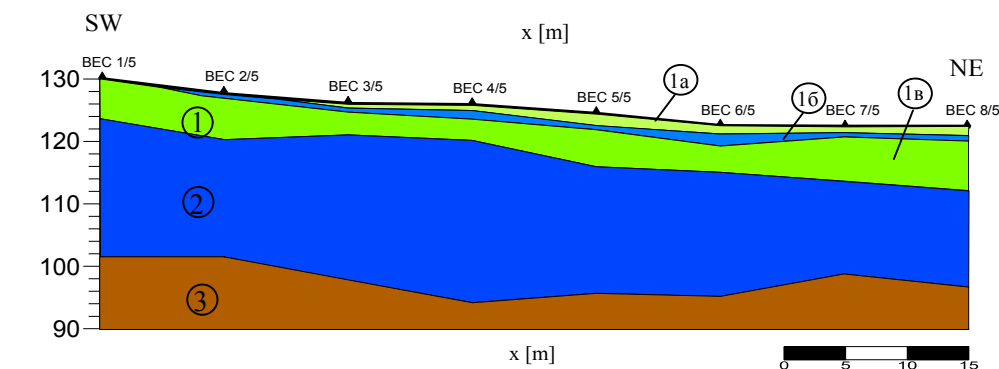
Тези стойности на електричното съпротивление са приети за фонове. Промените в техния обхват са свързани с различната степен на овлажняване на хвоста в споменатия дълбочинен интервал. Най-ниските съпротивления отразяват ефекта от най-овлажнената част на хвоста. Фоновите стойности преобладават в югозападната част на площта, което ни дава основание да приемем, че тук не са се образували подземни кухни на споменатите дълбочини.

Над избрания фон се открояват няколко аномалии на повишено електрично съпротивление, достигащи до около 200  $\Omega\text{m}$ . По наше мнение локалните аномалии на повишено съпротивление могат да бъдат свързани с подземни кухни, тъй като в електричното поле те се изявяват като изолатори. Това се потвърждава от получените данни, според които известните пропадания, попадат в периферията на отчетливи локални аномалии на повишено съпротивление (фиг. 1).

С прилагането на метод ВЕС се цели изучаване на особеностите в строежа на изучавания обект в дълбочина – определяне на местоположението в разрез на геоелектричните граници, оформени в хвостохранилището и неговата подложка по линията на избрания профил, както и изследване на евентуални нееднородности в неговия строеж.



Фиг. 2. Псевдоразрез на електричното съпротивление по профил от седем точки ВЕС (BEC 1/5÷BEC 8/5).



Фиг. 3. Вертикален разрез, получен чрез количествена интерпретация на кривите по избрания профил (BEC 1/5÷BEC 8/5):

1а, 1б, 1в - слоеве в твърдата част на хвоста; 2 – наситена с вода неутвърдена част на хвостохранилището; 3 – коренни скали.

На фиг. 2 и фиг. 3 са показани съответно разпределението на привидното съпротивление и положението на отделните квазихоризонтални слоеве с различно електрично съпротивление във вертикален разрез по профил с направление югозапад-североизток, по който са разположени осем точки ВЕС през интервал от 10 m. Местоположението на точките ВЕС е показано на фиг. 1. Повечето от получените криви отговарят на петслоен разрез с изключение на две точки ВЕС в най-южната част на профила, които са свързани с действието на три слоя. Количествената интерпретация е извършена със стандартна програма JOINTEM (M.Pirttijarvi, 2009).

И на двата представени разреза хвостохранилището се характеризира основно с три квазихоризонтални слоя с известен наклон на североизток в съответствие с наклона на релефа. Най-горният (1) е разположен до дълбочини около 8 – 10 m от повърхността и е с относително повишени електрични съпротивления. Той отразява според нас влиянието на най-сухата и уплътнена част от хвостохранилището. Очевидно тази среда е с нееднороден състав, тъй като по данни от количествената интерпретация на кривите ВЕС на представения профил (фиг. 3) тя се разделя на три по-тънки слоя. Специфичното в случая е оформянето на тънък междинен слой (1б) с понижено съпротивление от порядъка на 40  $\Omega\text{m}$ . По този начин той се приближава по съпротивление до неутвърдената по-дълбока част на хвоста. Това дава основание да се допусне, че става дума за наличие на силно овлажнена прослойка. Разположена е съвсем плитко и има дебелина около 1 – 1,5 m. Трябва да се отбележи, че този слой слабо се удебелява в близост до участъка, където е станало пропадане около ВЕС 6/5, което може да се дължи на проникване на вода в оформената след пропадането кухня. В югозападната част на профила този слой се стеснява и изцяло изчезва.

В долната част на слой (1) по данни от метода ВЕС се разполага еднороден сравнително дебел слой (1в) с относително по-високо съпротивление от порядъка на 200 – 250  $\Omega\text{m}$ . Дебелината му достига около 8 m в двата края на профила и намалява до около 4 m в централната му част.

По-надолу се разполага слой (2) със значителна дебелина и ниско електрично съпротивление (около 30  $\Omega\text{m}$ ), който се интерпретира като наситена с вода неутвърдена част от хвостохранилището. Горната му граница според фиг. 3 е на надморски височини от 102 до 124 m в югозападната част на площта и от 98 до 112 m в североизточната част на профила, която попада в

близост до стената на хвостохранилището. Максималната дебелина на слоя от порядъка на 25 m е в централната част на профила. И на двата представени разреза се забелязва ясно изразено изтъняване на този слой в североизточна посока, дължащо се на удълбочаване на горния слой и изплитняване на хвостохранилището в тази посока.

В основата на хвостохранилището се регистрира слой (3) с високо съпротивление, превишаващо 500  $\Omega\text{m}$ . Той е свързан с ефекта от коренните скали в основата на изучавания обект. Това са скали от т.н. Устремска свита на Тополовградската група – мета пясъчници, кварц-слюдени шисти, кварц-карбонатни шисти, мрамори (Д. Кожухаров и др., 1994). Съгласно данните от количествената интерпретация на кривите ВЕС по профил 1, хвостохранилището е с дълбочина 25 – 30 m.

Съвместната интерпретация на геофизичните данни позволява да се отделят три участъка, потенциално опасни за образуване на нови пропадания (фиг. 1). Те са отделени по локални аномалии на повишено електрично съпротивление от картата на симетричното профилиране, съгласувано с някои характерни нарушения на хоризонталната слоестост в разреза по данни от метод ВЕС.

**Участък I.** Върху картата на електричното съпротивление от симетричното профилиране той се отделя с локален максимум с максимална стойност на  $\rho_{\text{пр}}$  197  $\Omega\text{m}$ . Отворът на едно от двете опасни пропадания в хвостохранилището с диаметър приблизително 2 m се намира в южната периферия на аномалията. По геофизичните данни предполагаемата кухня е с изометрична форма с диаметър 8 m. В самия участък е измерен ВЕС 6/5, който регистрира забележимо повишение на дебелината на отделения по геофизични данни наситен с вода слой сред твърдите материали на хвоста.

**Участък II.** Върху картата от симетричното електропрофилиране се отделя като локална аномалия на повишено електрично съпротивление с подобни размери на описания по-горе участък, но леко удължен в север-южно направление. Аномалията се намира североизточно от мястото на второто опасно пропадане в района. В този участък аномалиите на повишено електрично съпротивление се открояват ясно, като максималните стойности достигат 140  $\Omega\text{m}$ .

**Участък III.** Този участък е с много по-големи размери от останалите два. Има силно удължена форма с дължина около 90 m и ширина 10-15 m. Ориентиран е в направление северозапад-югоизток и попада в близост до стената на хвостохранилището. Характеризира се с контрастни аномалии на високи електрични съпротивления върху картата от симетрично профилиране. В границите ѝ се отделят три отделни участъка – (IIIa, IIIб и IIIв), които представляват потенциално най-опасните места, на които следва да се обърне повече внимание в процеса на консервация и рекултивация заедно с участъците (I) и (II).

Резултатите от проведените геофизични изследвания не дават основание да се счита, че има връзка в пространството между двете станали пропадания в хвостохранилището. Основание за такова заключение е липсата на други локални аномалии на повишено електрично съпротивление от симетрично профилиране или особености в поведението на набелязаните слоеве в материалите на хвоста по данни от метод ВЕС.

В заключение може да се каже, че резултатите от проведените изследвания показват високата ефективност на геофизичните методи при изучаване на строежа на едно от многобройните на територията на България стари хвостохранилища в близост до минни обекти, където в близкото минало е осъществяван рудодобив и обогатяване на рудата. Анализът на измерените геофизични полета позволява да се отделят с висока степен на достоверност участъци, представляващи опасност за движещите се хора и животни в тези райони, особено по времето на тяхната консервация и рекултивация.

В набелязаните по геофизични данни участъци в района на хвостохранилище Устрем-4 в близост до с.Устрем, Тополовградско са извършени укрепителни работи и рекултивацията му е завършена успешно.

## ЛИТЕРАТУРА

- Кожухаров, Д., Савов, С., Чаталов, Г., Кожухарова Е., Боянов, И., Челебиев, Е. 1994. Обяснителна записка към Геоложка карта на България, М 1:100000, Картен лист Тополовград. Геол. инст. при БАН, Геол. и геоф. АД, 73 с.
- Огильви, А. 1990. Основы инженерной геофизики, Изд. Недра, Москва, 501 с.
- Цветков, А., Никова, Л., Соколов, Н. 1999. Отчет за резултатите от геофизичните изследвания на обект “Консервация и рекултивация на хвостохранилище “Устрем-4”, НИПРОРУДА, София, 7 стр.
- Pirttijarvi, M. 2009. Joint interpretation of electromagnetic and geoelectrical soundings using 1-D layered earth model. User guide to version 1,3. University of Oulu, Department of Physics, Finland, p.48