

ЕЛЕКТРОТОМОГРАФСКО КАРТИРАНЕ НА ЗЕМНАТА ОСНОВА НА АЛТЕРНАТИВНИ ПЛОЩАДКИ ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА НОВА ЕНЕРГИЙНА МОЩНОСТ В АЕЦ КОЗЛОДУЙ

Стефан Димовски, Николай Стоянов, Стефчо Стойнев, Миглена Янкова

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, dimovski@mgu.bg, nts@mgu.bg, stoynev@mail.bg

РЕЗЮМЕ. Високата ефективност на електротомографския метод при картирането на приповърхностния разрез се обуславя от добрата диференциация на средата по специфично електрично съпротивление. Варирането на тази характеристика се свързва с различия в литоложкия състав, порестостта, водонаситеността и състава на пластовата вода в изследваните части от подповърхностното пространство. Прилагането на метода в съчетание със сондажно ядрово проучване е много полезен инструмент за пространствено очертаване на геоложки, тектонски, инженерногеоложки или хидрогеоложки граници. Този подход е използван за детайлизиране на границите на инженерногеоложките и хидрогеоложките единици, съставляващи земната основа на четири алтернативни площадки за изграждане на нова енергийна мощност в района на АЕЦ Козлодуй. Представените резултати демонстрират възможностите за създаване на по-подробни модели на подповърхностното пространство при комплексно използване на електротомографския метод с другите конвенционални методи на проучване.

APPLICATION OF ELECTRICAL TOMOGRAPHY FOR MAPPING THE NEAR SURFACE SECTION OF SEVERAL ALTERNATIVE SITES FOR CONSTRUCTION OF A NEW ENERGY FACILITY AT THE KOZLODUY NPP

Stefan Dimovski, Nikolay Stoyanov, Stefcho Stoynev, Miglena Yankova

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, dimovski@mgu.bg, nts@mgu.bg, stoynev@mail.bg

ABSTRACT. The high efficiency of electrical tomography method for mapping of near-surface section is based on the good differentiation of the environment in respect to its specific electrical resistivity. The variation of this physical characteristic is associated with differences in lithological composition, porosity, water-saturation, and composition of groundwater in the studied parts of the sub-surface area. The application of this method in combination with exploration core drilling is a very useful tool for spatial mapping of geological, tectonic, engineering geological or hydrogeological boundaries. This approach is used in order to obtain a detailed picture of the engineering geological and hydrogeological units constituting the near-surface section of four alternative sites for construction of new energy facility in the region of Kozloduy NPP. The presented results demonstrate the possibility to create more detailed models of sub-surface area by the combined application of electrical tomography and other conventional methods of study.

Въведение

В последните 10-15 години геоелектричното 2D проучване (електротомографията) се утвърди като много полезен инструмент за картиране на приповърхностния геоложки разрез. Приложимостта на метода се обуславя от добрата диференциация на изследваната среда по специфично електрично съпротивление. Варирането на неговите стойности се свързва с различия в литоложкия състав, зърнометрията, порестостта, напукаността, окарствяването, водонаситеността, химичния състав на твърдата и течната фаза и много други характеристики на подповърхностното пространство.

Досегашните ни изследвания и натрупаният практически опит илюстрират предимствата на електротомографските методи за определяне на геометрията и пространствените граници на геоложки, инженерногеоложки или хидрогеоложки единици, тектонски нарушения, окарстени или напукани зони; зони с различна водонаситеност и водообилност, зони с различна степен на техногенно или природно замърсяване, свлачищни участъци и др. (Стоянов, 2004; Стоянов и др. 2004; Димовски и др., 2007;

Димовски, 2010; Димовски и Стоянов, 2010, 2011 и много други).

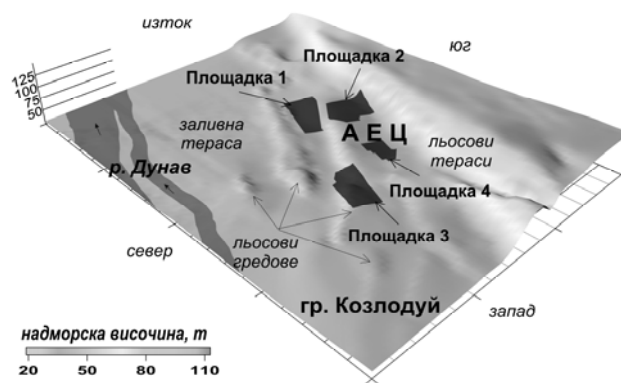
Изпълненото от нашия екип геоелектричното 2D проучване в района на АЕЦ „Козлодуй“ демонстрира ефективността на съвместното прилагане на електротомографията и проучвателното сондиране за картиране на приповърхностния геоложки разрез и за детайлизиране на границите на основните инженерно-геоложки единици. Проучването допълва едно мащабно изследване, включващо сондажни проучвания, инженерногеоложки и хидрогеоложки изследвания, хидрогеоекологични оценки и математически моделни изследвания на четири алтернативни площадки за изграждане на нова енергийна мощност в района на атомната централа (Стойнев и др. 2013).

Обща информация за изследвания обект

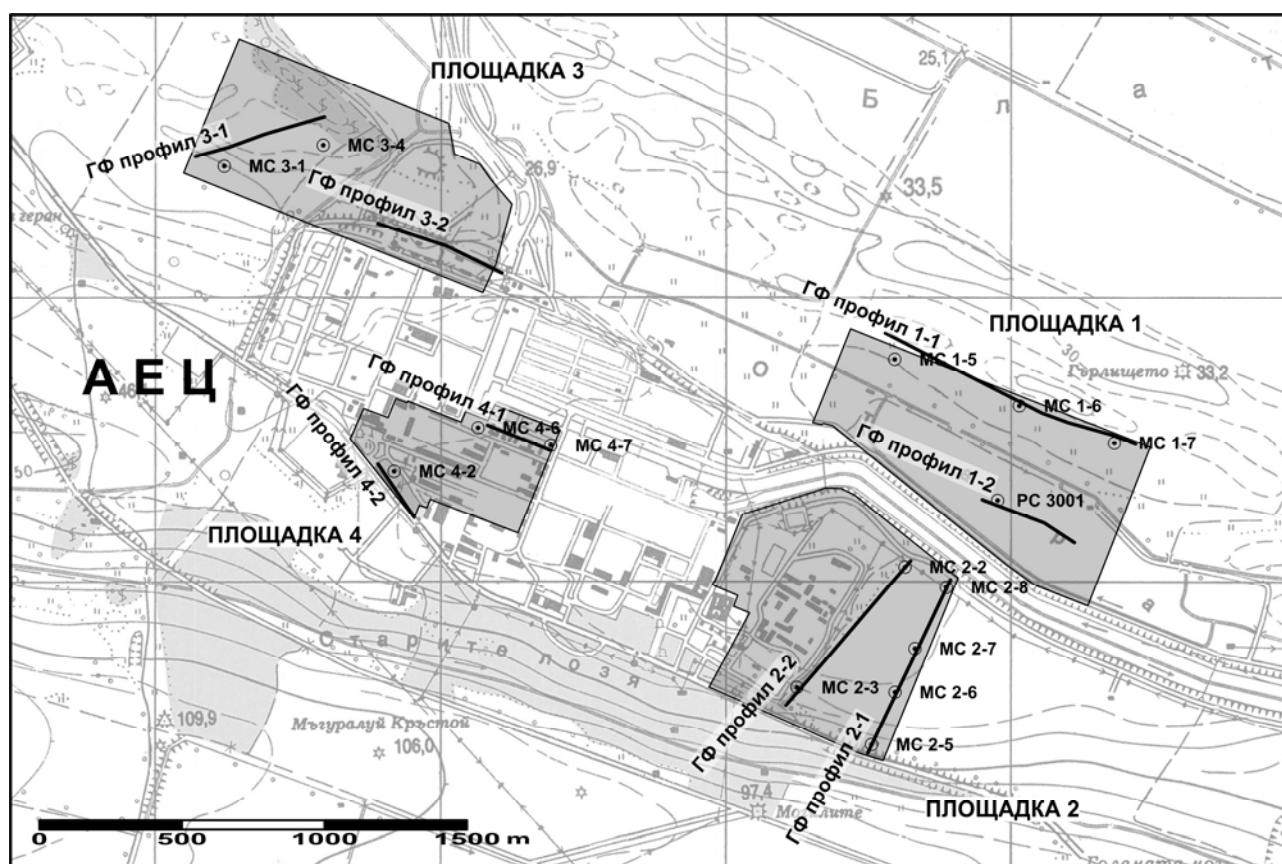
Обект на изследване е геоложката основа на четири проучвателни площадки, разположени в южната периферия на Козлодуйската низина, в охраняваната зона на АЕЦ „Козлодуй“ – вж фиг. 1. и фиг. 2.

Релефът е равнинен до слабо хълмист с надморска височина от 25 до 50-60 m и повече (фиг. 1). Ниските котли са характерни за североизточната половина на района, където са развити заливната и първата надзаливна тераса на р. Дунав. На юг-югозапад теренът се издига стъпаловидно, следвайки морфологията на лъсовите тераси. Характерни за района са и лъсовите гредове, развити в заливната тераса и разположени успоредно на р. Дунав. Ориентацията на дюните по оста на издължената и издигната част следва северозападно-югоизточно направление.

Площадка 1 попада изцяло в съвременната (холоценска) заливна тераса на р. Дунав. Площадка 2 е ситуирана върху две морфоложки единици – заливната тераса на р. Дунав и издигната лъсова гредова форма. Другите две площадки (площадка 2 и 4) са разположени в границите на първата лъсова надзаливна тераса, където е изградена и АЕЦ „Козлодуй“ (фиг. 1).



Фиг.1. Геоморфоложки особености в района на АЕЦ „Козлодуй“



Фиг.2. Местоположение на проучваните площадки с разположението на геофизичните профили и проучвателните сондажи

Геоложкият строеж в района е изграден от кватернерни и неогенски отложения. Съгласно стратиграфското райониране на територията на Република България в М 1:100000, в обхвата на площадките са застъпени следните литостратиграфски единици:

- Алувиални образувания (alQh) – руслови и на заливните тераси. Представени са от чакъли, пясъци, глини и преотложен лъс (лъсовиден глинест пясък в т.нар. лъсова гредова форма). Тези наслаги, изграждащи вложения алувиален терасовиден комплекс, обхващат изцяло площадки 1 и 3. Дебелината на холоценските

отложения варира от 7-12 m (площадка 1) до 20-24 m (площадка 3).

- Еолични образувания – пясъчлив и глинест лъс (eolQr²⁻³). Застъпени са по първата лъсова надзаливна дунавска тераса. В нейния обхват се разполага атомната централа, както и площадки 2 и 4. Дебелината на еоличните образувания е средно около 8-9 m.
- Еолично-алувиални лъсовидни глини и пясъци (eol-alQr¹⁻²). Залягат под пясъчливия и глинест лъс в обхвата на лъсовата тераса. Дебелината им е 3-6 m.
- Алувиален пясъчливо-чакълест комплекс (eol-alQr¹). Изгражда основния слой на алувия на речното легло в

погребаната от лъсовите наслаги тераса. Застъпени са по-едри разнорънети пясъци и дребни чакъли. Дебелината им варира от 1-2 m до 4-5 m.

- **Брусарска свита (br N₂).** Изградена е от глини и пясъци. Дебелината ѝ надхвърля 50 m. Горнището на свитата в обхвата на заливната речна тераса се установява на дълбочини от 7-12 m до 20-24 m от земната повърхност, а на територията на лъсовата тераса на 12-20 m от терена.

Под Брусарската свита стратиграфски конкордантно залягат отложенията на Арчарската свита. Те имат сходен произход и състав с тези на Брусарската свита, като в тях преобладават пясъците и глинестите пясъци.

Инженерногеоложки единици

Въз основа на комплексен анализ на резултатите от проведеното сондажно проучване и изпълнените полеви и лабораторни изследвания в геоложката основа на четирите площадки са детерминирани следните инженерногеоложки единици (Стойнев и др. 2013):

А. Съвременни (холоценски) слабо уплътнени до неуплътнени наслаги, изграждащи заливната тераса на р. Дунав

- I. Лъсовидни глинести пясъци (eol-alQh)
Срещат се единствено в геоложката основа на площадка 3, където изграждат лъсовия гред. Дебелината им достига 10-12 m и повече.
- II. Алувиални прахови и пясъчливи глини (alQh)
Установени са в приповърхностната част на разреза на площадки 1 и 3. В горната си част до дълбочина 1,0-1,5 m прахово-пясъчливите глини са тъмнокафяви и сивочерни, с органични примеси (блатни глини). Под този слой глините са пясъчливи, ръждивокафяви със сиви петна до зеленикави, а дебелината им е в границите от 2,5 до 4,0 m.
- III. Алувиални глинести до дребни пясъци (alQh)
Присъстват ограничено в геоложката основа на площадки 1 и 3. Описват се като глинести пясъци, в наслоения до пясък, рахли до средно сбити, слабо до нелитифицирани, водоносни. Дебелината им варира в диапазона 1,0-2,5 m.

Б. Плейстоценски пропадачни еолични образувания на първа лъсова тераса

- IV. Пясъчлив и глинест лъос (eolQp²⁻³)
Изгражда горните части на геоложкия разрез на площадки 2 и 4. Пясъчливият лъос е сух до слабо овлажен, а глинестият лъос е влажен, в дълбочина и водоносен. Общата им дебелина е около 8-9 m.

В. Плейстоценски непропадачни лъсовидни образувания на първа лъсова тераса

- V. Лъсовидни глини и прахови пясъци (eol-alQp¹⁻²)
Установяват се практически повсеместно в разреза на площадки 2 и 4 под инженерногеоложка единица IV. Отделят се няколко разновидности: (а) лъсовидна пясъчлива глина; (б) лъсовидна пясъчлива глина с гнезда от заглинени пясъци с чакъл; (в) прахови глинести пясъци, водоносни; (г) дребни до средни

пясъци, заглинени, рядко с наслоения от глинест пясък, водоносни. В разреза тези разновидности се срещат като пластове и прослойки с дебелината от 0,5 до 3,5 m.

Г. Холоценски и плейстоценски алувиални пясъчни наслаги

- VI. Алувиални чакълести пясъци с глинест запълнител (eol-alQh-p¹⁻²)
Разкриват се в геоложкия разрез на всички площадки. В състава си включват също четири разновидности: (а) чакълести пясъци, разнорънети, в различна степен заглинени, водоносни; (б) чакълести глинести пясъци, водоносители; (в) средни до едри пясъци, разнорънети, водоносни; (г) глинести пясъци до пясъчливи глини, водоносители. Доминиращо присъствие има първата разновидност (чакълестите пясъци), а другите се срещат под формата на прослойки. Общата дебелина на инженерногеоложка единица V е в диапазона от 3,0 до 11,0 m.

Д. Плиоценски глинесто-пясъчлив комплекс

- VII. Прахови и пясъчливи глини от Брусарската свита (brN₂)
Установяват се в основата на геоложкия разрез на всяка от четирите площадки. Представени са от три основни разновидности: (а) прахови глини, жълтокафяви; (б) прахови глини, сивозеленикави с жълтокафяви ивици и петна; (в) прахово-пясъчливи глини. Срещат се като относително издържани пластове с дебелина от 0,5 до 9,0 m и повече.
- VIII. Пясъци и дребен чакъл от Брусарската свита (brN₂)
Присъстват в долната част на геоложкия разрез на всички площадки. Изградени са от водоносни дребни пясъци и глинести пясъци, прослоени с неиздържани прослойки и лещи от среден и едър пясък с чакъли.

Методика и инструменти на изследване

Използваният метод е подходящ за двумерно картиране на приповърхностния геоложки разрез във вертикални разрези по профили. Теренните измервания се изпълняват посредством свързани към многожилен кабел електроди (Griffiths and Barker, 1993). Използва се 4-електродна схема Schlumberger. Регистрацията се извършва с помощта на апаратура Terrameter SAS 1000 В, производство на фирма ABEM. Тя работи с изходно напрежение 150 V и максимален изходен ток 1000 mA.

Използвани са две коси от 12 жилен кабел с разстояние между електродите 5 m (общо 24 електрода на разстановка). След измерване на всяка разстановка, се извършва стъпковото преместване ("приплъзване") на кабела със стъпка 120 m.

При обработката на полевите данни се използва компютърната програма RES2DINV (Loke, 2001). Програмата дава разрез на реалното разпределение на електричните съпротивления в подповърхностното пространство. Детерминираният по този начин геоелектричен модел се трансформира в геоложки или инженерно-геоложки модел въз основа на:

- обща информация за геоложките, тектонските, инженерногеоложките и хидрогеоложките условия;
- литературни данни за специфичните електрични съпротивления на различните типове скали (Keller and Frischknecht, 1966; Daniels and Alberty, 1966 и др.);
- данни за преминатите с проучвателните сондажи геоложки и инженерногеоложки единици, както и за регистрираните нива на подземните води.

Обем на теренните измервания

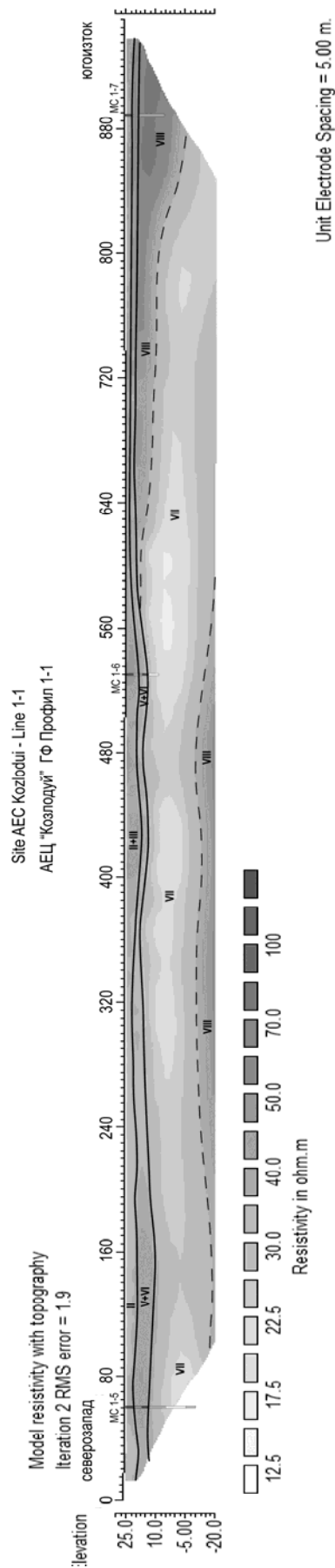
Електротомографското проучване обхваща геоложката основа на четирите проучвателни площадки до дълбочина 40-45 m. Теренните измервания са изпълнени по осем геофизични профила (по два профила на всяка площадка) с обща дължина 4020 m. Дължината на профилите по площадки са както следва: площадка 1 – ГФ профил 1-1 (950 m) и ГФ профил 1-2 (350 m); площадка 2 – ГФ профил 2-1 (670 m) и ГФ профил 2-2 (670 m); площадка 3 – ГФ профил 3-1 (470 m) и ГФ профил 3-2 (470 m); площадка 4 – ГФ профил 4-1 (250 m) и ГФ профил 4-2 (210 m). Точното местоположение на геофизичните профили и на разположените в непосредствена близост до тях проучвателни сондажи е представено на фиг. 2.

Геоелектрични разрези. Инженерногеоложка интерпретация

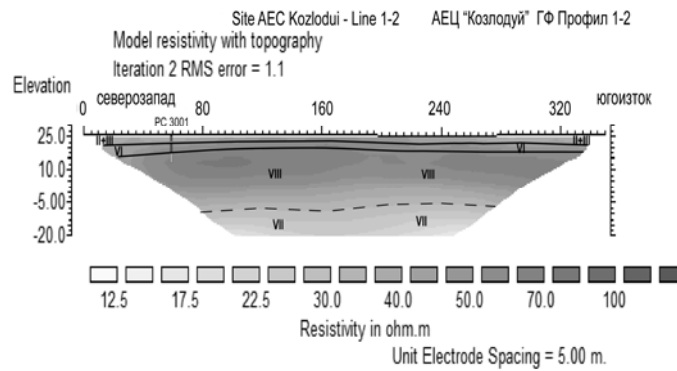
Детерминираното с програма RES2DINV разпределение на действителните съпротивления в разрези по осемте геофизични профила, са представени на фигури от 3 до 10. На геоелектричните разрези са нанесени в съответния мащаб проучвателните сондажи и преминатите от тях инженерногеоложки единици. Това позволява да се идентифицира най-вероятното разположение на контактите между геоелектрични среди, характеризиращи пластове и зони с различни литоложки характеристики, зърнометрия и степен на водонасищане.

Границите на инженерногеоложките единици, очертани на представените разрези по осемте профила, са детерминирани въз основа на комплексен сравнителен анализ на: (1) разпределението на действителните електрични съпротивления в геоелектричните модели; (2) специфичните електрични съпротивления на преминатите със сондажите литоложки разновидности; (3) литоложките характеристики и водонаситеността на дефинираните по-горе инженерногеоложки единици; (4) по-обща представи за геолого-тектонския строеж на района.

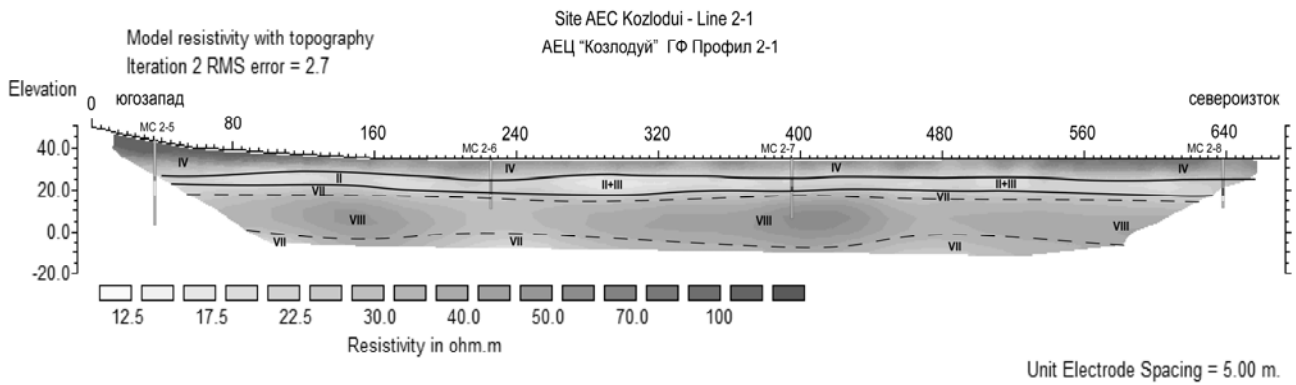
Използването на геоелектричното картиране позволи да се получи информация за геометрията и пространственото залягане на инженерногеоложките единици практически по цялата площ на площадките. Това е особено важно за терени с пространствена литоложка нееднородност на пластове, което е типично за генетичните типове разновидности, изграждащи геоложкия профил на четирите площадки.



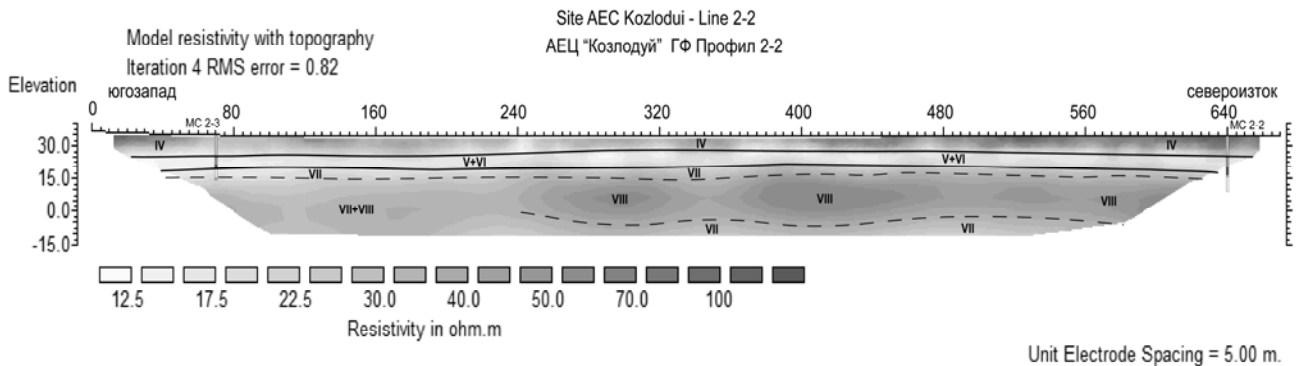
Фиг. 3. Геоелектричен разрез по ГФ Профил 1-1. Граници на инженерногеоложките единици



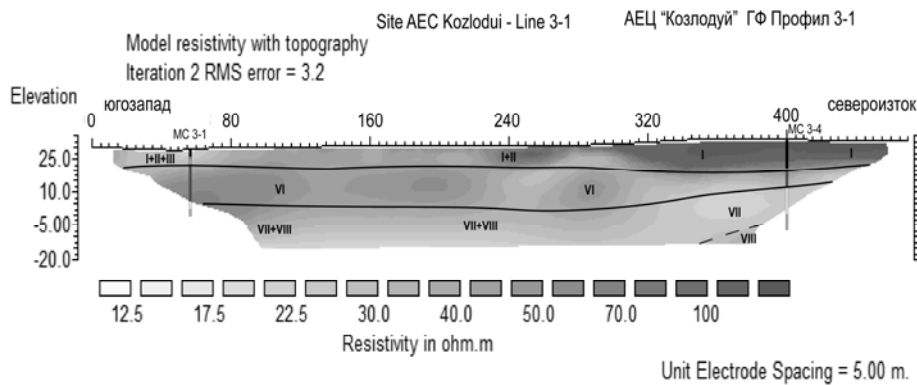
Фиг. 4. Геоелектричен разрез по ГФ Профил 1-2. Граници на инженерногеоложките единици



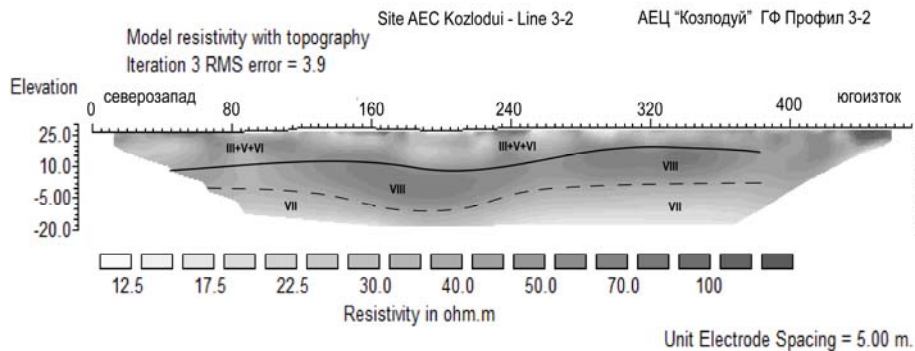
Фиг. 5. Геоелектричен разрез по ГФ Профил 2-1. Граници на инженерногеоложките единици



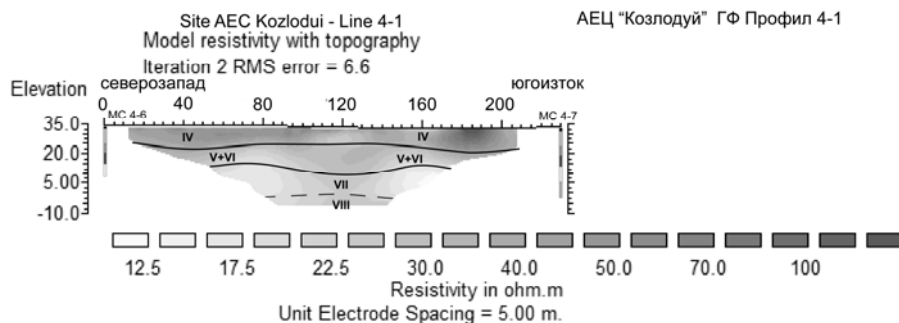
Фиг. 6. Геоелектричен разрез по ГФ Профил 2-2. Граници на инженерногеоложките единици



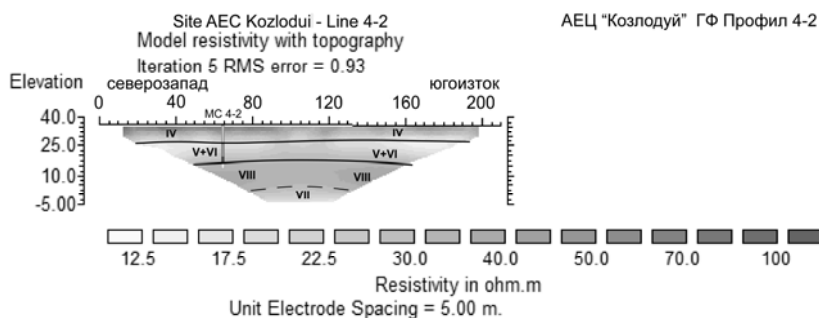
Фиг. 7. Геоелектричен разрез по ГФ Профил 3-1. Граници на инженерногеоложките единици



Фиг. 8. Геоелектричен разрез по ГФ Профил 3-2. Граници на инженерногеоложките единици



Фиг. 9. Геоелектричен разрез по ГФ Профил 4-1. Граници на инженерногеоложките единици



Фиг. 10. Геоелектричен разрез по ГФ Профил 4-2. Граници на инженерногеоложките единици

Литература

- Димовски, С., Н. Стоянов, Ч. Гюров. 2007. Ефективност на електротомографията за детайлно геоелектрично картиране на приповърхностния геоложки разрез. – *BULAQUA (БУЛАКВА)*, 4, 47-55.
- Димовски, С. 2010. *Електротомографски изследвания на геоложката среда*. Дисерт., С., МГУ “Св. Иван Рилски”, 387 с.
- Димовски, С., Н. Стоянов. 2010. Приложение на геоелектрични проучвания при изучаване на хидрогеоложките условия в карстови райони. – *6-та Национална конференция по геофизика “20 години Дружество на геофизиците в България”*, София, 4 с.
- Димовски, С., Н. Стоянов. 2011. Геоелектричен подход при изучаване на хидрогеоложките условия в района на ДБО Асеновград. – *Год. МГУ “Св. Ив. Рилски”, т.54, св. I, Геол. геоф.*, 125-130.
- Стойнев, Ст.Б. и др. 2013. Изследване и определяне местоположението на нова ядрена мощност на площадката на „АЕЦ Козлодуй“ ЕАД, *Доклад на „МГУ - Инженеринг“*.

- Стоянов, Н. 2004. Метод за дефиниране на локални геоелектрични критерии за оценка на замърсяването на подземните води. – *BULAQUA (БУЛАКВА)*, 4.
- Стоянов, Н., Ст. Стойнев, Ч. Гюров. 2004. Детайлизиране на инженерногеоложките и хидрогеоложките условия посредством геоелектрични модели – *Сп. “Геол. и минер. рес.”*, 10, 8-12.
- Daniels, F., R. A. Alberty. 1966. *Physical chemistry*. John Wiley and Sons, Inc.
- Griffiths, D. H., R. D. Barker. 1993. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. – *Journal of Applied Geophysics*, 29, 211-226.
- Keller, G.V., F.C. Frischknecht. 1966. *Electrical methods in geophysical prospecting*. Pergamon Press Inc., Oxford.
- Loke, M. H. 2001. *A practical guide to RES2DINV ver. 3.4; Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-squares method. Geoelectrical Imaging 2-D & 3D*. Geotomo Software. Penang, Malaysia.

Статията е рецензирана от проф. д-р Ради Радичев и препоръчана за публикуване от кат. „Приложна геофизика“.