

ГЕОЕЛЕКТРИЧЕН ПОДХОД ПРИ ИЗУЧАВАНЕ НА ХИДРОГЕОЛОЖКИТЕ УСЛОВИЯ В РАЙОНА НА ДБО АСЕНОВГРАД

Стефан Димовски, Николай Стоянов

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

РЕЗЮМЕ. Ефективността на електротомографията като основен инструмент на хидрогеоложките проучвания е илюстрирана с конкретен пример за района на ДБО Асеновград. Показани са възможностите на метода за локализиране на пластове и зони с различни литоложки характеристики и/или различна водопропускливост. На тази основа в разреза са диференцирани и пространствено детерминирани различни по ранг хидрогеоложки единици. Демонстрирани са и големите възможности на електротомографията за изучаване и количествена оценка на размерите и степента на замърсяване на подземните води. Представените резултати убедително потвърждават приложимостта на използваната методика на измерване, анализ и интерпретация на данните.

A GEOELECTRICAL APPROACH FOR STUDYING THE HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS IN THE REGION OF ASENOVGRAD SANITARY LANDFILL

Stefan Dimovski, Nikolay Stoyanov

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

ABSTRACT. The efficiency of the application of electrotomography surveying as a basic tool for detailed hydrogeological studies is illustrated by a descriptive example for the region of Asenovgrad sanitary landfill. The possibilities provided by this method for localization of layers and zones having different lithological characteristics and/or different water permeability, respectively, are shown. On this base are distinguished and spatially determined different by their level hydrogeological units. The great possibilities provided by electrotomography for studying and quantitatively estimating the size and the degree of groundwater contamination are also demonstrated. The presented results are confirming the geological effectiveness of the discussed approach for data acquiring, analysis and interpretation.

Увод

Високата ефективност на електротомографските методи се обуславя от добрата диференциация на геоложката среда по специфично електрично съпротивление. Вариациите на този параметър еднозначно се влияят от степента на проява на йонна електропроводимост. Последната е пряко свързана с наличието на порово пространство, наситено с пластова вода, която изпълнява ролята на електролит. При по-внимателен анализ и позадълбочена интерпретация на електротомографските разрези е възможно да се направят и точни количествени оценки не само за литостратиграфските характеристики на изследваната част от подповърхностното пространство, но и за порестостта, кавернозността или напукаността на средата, за водонаситеността и водообилността на отделни пластове и зони, за минерализацията и химичния състав на подземните води и т.н.

Тези възможности за детайлно изучаване на приповърхностния геоложки разрез са основната причина за утвърждаването на електротомографските методи като основен и много успешен инструмент за решаване на широк кръг хидрогеоложки задачи. Нашият досегашен опит показва (Стоянов, 2003; 2004; Димовски и др., 2007,

Димовски, 2010, и много други), че тяхното прилагане в съчетание с комплекс от различни сондажни, геоложки и хидрогеоложки методи и техники дава възможност за много по-прецизно диференциране и пространствено детерминирание на: (1) геометрия и граници на хидрогеоложките единици; (2) пластове и зони с различна водонаситеност и водообилност; (3) зоните с различна степен на окаerstenost и/или напуканост; (4) тектонските нарушения и зони; (5) зони с различна минерализация на подземните води (6) зони с различна степен на техногенно или природно замърсяване; и пр.

Проведеното от нашия екип електротомографско проучване в района на депото за битови отпадъци (ДБО) Асеновград илюстрира голямата ефективност на метода при диференцирането на конкретния хидрогеоложки разрез, отделянето на различни по ранг хидрогеоложки единици и количествената оценка на размерите и степента на замърсяване на подземните води. Проучването е част от едно доста по-мощно хидрогеолошко изследване, включващо сондажни проучвания, инженерно-геоложки изследвания, филтрационни и миграционни тестове, хидрогеоекологични оценки и математически моделни изследвания за изясняване на пригодността на отредения

участък за изграждане на "Регионален център за обезвреждане на твърдите битови отпадъци на общините Асеновград, Първомай и Садово" (Делчев, 2008, Стоянов, 2008; и др.).

Обща характеристика на изследвания обект

Обектът на изследване се намира на около 3.5 km на североизток от центъра на Асеновград, в непосредствена близост до шосето за с. Боянци (фиг. 1). Проучваният участък попада в границите на стара кариера за добив на инертни материали в местността "Капсидата". Котлованът представлява продълговат изкоп с дължина 2000 m и широчина 200-250 m, който е разположен успоредно шосето. Дълбочината му варира в диапазона от 6 до 8 m.

В северозападната част на кариерата се намира действащото депото за битови отпадъци (сметището на Асеновград). То заема площ от около 100 декара, по-голямата част от която е рекултивирана.



Фиг. 1. Местоположение на проучвания участък

В геоложки аспект обектът попада в границите на поройния конус на р. Чая (вж. фиг. 2). Конусът е изграден от алувиално-пролувиални наслаги, представени главно от чакъли и валуни с пясъчливо-глинест запълнител, на места прослоени от пясъчливи и глинести слоеве и лещи.

Обобщените данни от проведените сондажни проучвания показват, че в поройния конус се установява известна вертикална диференциация по отношение едрината на наносните материали и количеството на глинестата компонента. Приповърхностният слой е представен от пласт пясъчливи глин с дебелина около 1 m. Под този пласт до дълбочина 10-20 m валуните и чакълите са без запълнител или с пясъчлив запълнител. В долната част на разреза запълнителят е глинест или глинесто-пясъчлив, а материалите са много сбити. В източната част на площадката на дълбочина около 30 m се разкрива докватернерна подложка от неогенски плътни глин (Делчев, 2008).

В алувиално-пролувиалните наслаги е формирана основната хидрогеоложка единица в района – кватернерния водоносен хоризонт (водно тяло BG3G00000Q013). Подземните води са безнапорни. Долният водоупор е изграден от неогенски плътни глин. Подземните води са установени на 5-8 m от естествения терен, като амплитудата на колебание в годишен разрез е

около 1-2 m. В границите на кариерата водното ниво е на дълбочина до 2 m под нейното дъно (Стоянов, 2007; Делчев, 2008; и др.). По време на пролетното пълноводие, при високо ниво на подземните води, в понижените части по дъното на изкопа се формират няколко концентрирани естествени изходища (извори), които се оттичат повърхностно на североизток.



Условни означения:

- 1 - Алувиални образувания (валуни, чакъли, пясъци, глин);
- 2 - Алувиално-пролувиални образувания (чакъли, пясъци, глин);
- 3 - Ахматовска свита (конгломерати, пясъчници, алевролити).

Фиг. 2. Геоложка карта в района на проучвания участък (по Геоложката карта на България М 1:100000)

Подземните води са пресни с обща минерализация около 0.5 g/l, хидрокарбонатно калциеви. По данни от провеждания мониторинг значително по обхват замърсяване е регистрирано в района на действащото сметище (Стоянов, 2007). В изток-североизточна посока фронтът на замърсената зона достига на 150-160 m и повече от границите на сметището. Най-интензивното замърсяване обхваща площта под сметищното тяло и тясна ивица на 50-60 m от неговата източна граница. Тук минерализацията на подземните води е около и над 1-2 g/l, т.е. 3-4 пъти по-висока от фоновата.

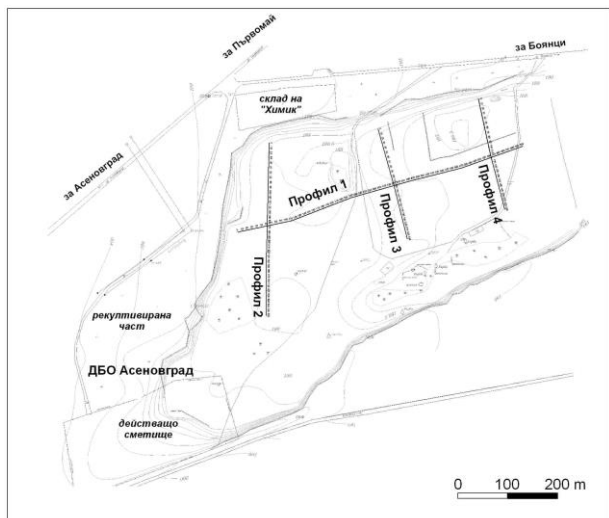
Цел и методика на проучването

В рамките на изследваната площадка е проведено геоелектрично 2D (електротомографско) проучване, чиито основни цели са: детайлизиране на установения по данни от сондажното проучване (Делчев, 2008) геоложки разрез до дълбочина около 40 m; очертаване на пластовете и зони с различни литоложки характеристики и различна водопропускливост; детерминиране на границите на диференцираните нискорангови хидрогеоложки единици в кватернерния водоносен хоризонт; маркиране на границите на замърсяване на подземните води от действащото сметище.

Теренните измервания, обработката и интерпретацията на получените резултати са проведени по четири профила, точното разположение на които е представено на фиг. 3.

Използваният електротомографски метод е подходящ за двумерно картиране във вертикални разрези по профили на подповърхностното пространство. Ще отбележим, че след въвеждането на многоелектродните разстановки

(Griffiths et al., 1990) и компютърните програми за бързо решаване на обратните (идентификационни) задачи (Loke, 2001), този метод се налага като стандарт при решаването на редица практически задачи.



Фиг. 3. Разположение на геоелектричните профили

Регистрацията е извършена с помощта на апаратура Terrameter SAS 1000, производство на шведската фирма ABEM. Данните от полевите измервания са интерпретирани с компютърна програма RES2DINV (Loke, 2001), която определя разпределението на действителните съпротивления в подповърхностното пространство.

Анализ на резултатите от измерванията

Проведените в рамките на настоящето проучване измервания са изпълнени по четири профила с обща дължина 1410 m (един с дължина 600 m, един с дължина 350 m и два профила, всеки с дължина 230 m). Използвани са две коси от 12 жилен кабел с разстояние между електродите 10 m (общо 24 електрода на разстановка). Измерванията са проведени с 4-електродна схема Wenner-Schlumberger. След измерване на всяка разстановка, по Профили 1 и 2 се извършва стъпковото преместване ("приплъзване") на кабела със стъпка 120 m.

Интерпретираните с компютърна програма RES2DINV данни от полевите измервания, респ. детерминираното разпределение на действителните съпротивления в геоелектричните разрези по четирите профила, са представени на фиг. 4-7.

Анализът на резултатите от електротомографията (вж фиг. 4-7) позволява да се направят следните по-важни изводи:

1. Геоелектричният разрез по всички профили е добре издържан по разпределението на електричното съпротивление в дълбочина.
2. Електричното съпротивление на разновидностите (средите), изграждащи изследвания геоложки разрез варира в относително широки граници – от около 17.5 Ωm до 200 Ωm и повече.

3. За най-горната част на електросъпротивителните разрези по всички профили е характерна зона с високи стойности на електричното съпротивление – в диапазона от около 75 Ωm до 200 Ωm и повече. Тя картира неводонаситената зона част от разреза, т. нар. зона на аерация.

4. Най-обобщено изследваният геоелектричен разрез след зоната на аерация се представя от три електросъпротивителни среди, маркиращи три зони с различни литоложки характеристики и с различна степен на водонаситане:

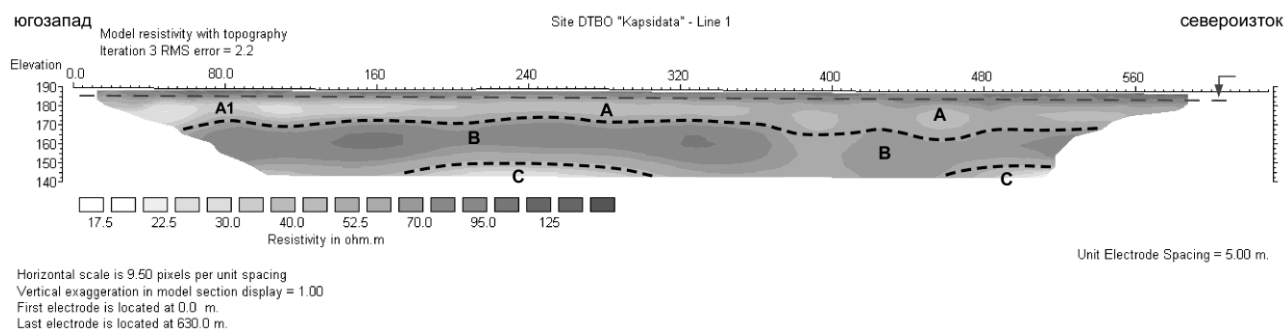
- *Първата електросъпротивителна среда (Зона А)* е със стойности на електричното съпротивление в диапазона от около 17.5 Ωm до 60 Ωm . Най-вероятно зона А картира пласт от средни и едри чакъли и валуни с пясъчлив и пясъчливо-глинест запълнител. Сравнително ниските за тези литоложки разновидности електрични съпротивления се дължат на голямата водообилност на пласта, респ. на неговата висока проникваемост. Дебелината на зоната е около 15-20 m.
- *Втората електросъпротивителна среда (Зона В)* има най-високи стойности на електричното съпротивление за изследвания геоелектричен разрез – в диапазона от около 75 Ωm до 200 Ωm и повече. Тя маркира разпространението на пласт от много сбити глинести пясъци, чакъли и валуни. Високите съпротивления в случая най-вероятно са следствие на много голямата плътност на средата, засиленото присъствие на глинестата компонента в запълнителя и на големи скални късове в основната маса. В хидрогеоложки аспект това е предпоставка за слаба водообилност и ниска проникваемост на картирания от зона В пласт. Дебелината на този пласт варира в доста по-широк диапазон – от 20 до 30 m и повече.
- *Третата електросъпротивителна среда (Зона С)* се характеризира с относително ниски стойности на електричното съпротивление спрямо Зона В – в диапазона от около 25 Ωm до 40 Ωm . Може да се предполага, че Зона С картира пласт от плътни глин. Вероятно това са глините от докватернерна подложка, които в източната част на площадката по данни от сондажните проучвания са установени на дълбочина 28-30 m. Следва да се отбележи, че в разрезите по четирите профила границата между зона В и зона С се установява на дълбочина не по-малка от 30-35 m и повече, а в отделни части не е достигната и на дълбочина 40-45 m.

5. В обхвата на първата електросъпротивителна среда (зона А) в разрезите по профил 1 и профил 2 ясно се отделя и една подзона (подзона А1), която се характеризира с много ниски стойности на електричното съпротивление – от около 17.5 Ωm до 35 Ωm (фиг. 4-5). Тази подзона очертава пространствените граници на замърсените от ДБО Асеновград подземни води. Проследявайки контурите на подзона А1 може да се приеме, че замърсяването е засегнало главно водообилния водоносен пласт (първата електро-съпротивителна среда). Същевременно липсват явни индикации, че замърсителите преминават в дълбочина в слабопроницаемия пласт, маркиран от втората електросъпротивителна среда. Латерално фронтът на

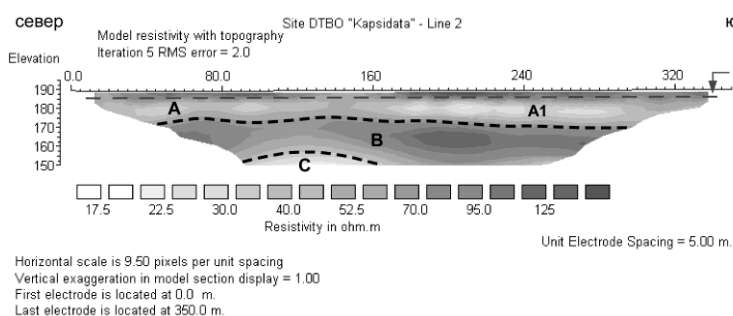
замърсените води е напреднал в източна посока на около 150-160 m и повече от границите на съществуващото сметище (вж. фиг. 4).

Въз основа на получените резултати от електротомографията по изследваните четири профила е

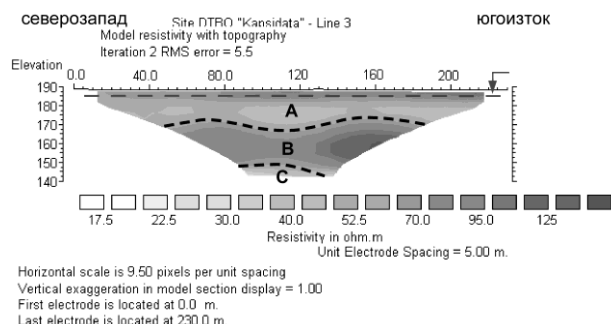
построена структурна карта по геоелектричната граница, привързана към контакта между първа и втора електросъпротивителни среди (Зони А и В). Пространственото разположение на тази геоелектрична граница е илюстрирано на фиг. 8-9.



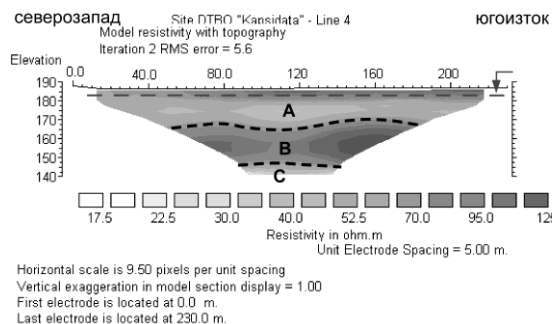
Фиг. 4. Разпределение на електричното съпротивление по Профил 1 (ситуационният план е представен на фиг. 3)



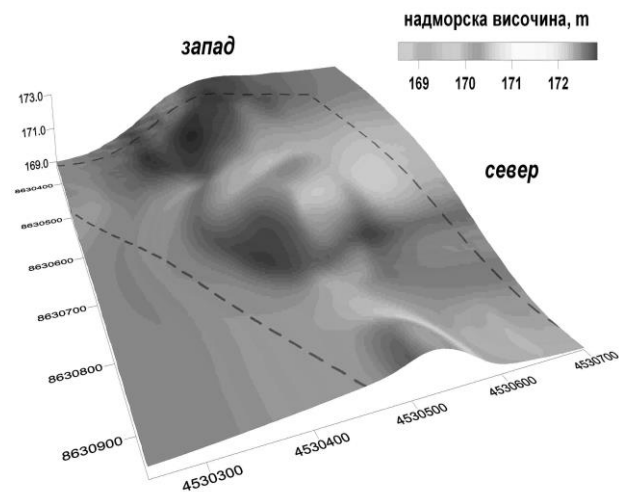
Фиг. 5. Разпределение на електричното съпротивление по Профил 2 (ситуационният план е представен на фиг. 3)



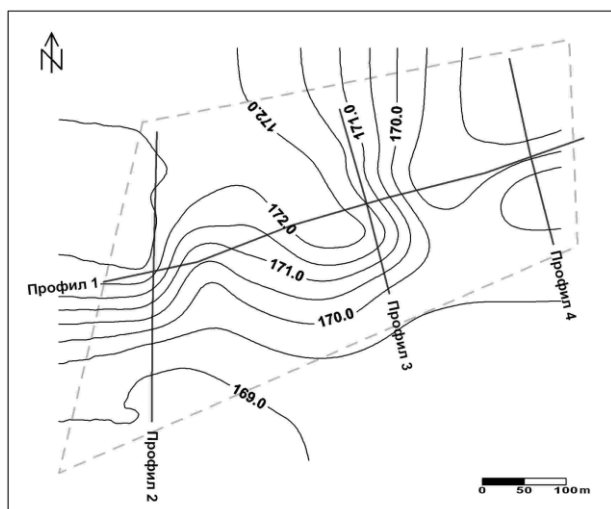
Фиг. 6. Разпределение на електричното съпротивление по Профил 3 (ситуационният план е представен на фиг. 3)



Фиг. 7. Разпределение на електричното съпротивление по Профил 4 (ситуационният план е представен на фиг. 3)



Фиг. 8. Триммерно изображение на границата между първата и втората електросъпротивителни среди (Зони А и В)



Фиг. 9. Хипсометрична карта на границата между първата и втората електросъпротивителни среди (Зони А и В)

Хидрогеоложка интерпретация на резултатите от електротомографията

Резултатите от проведените от нашия екип електротомографски изследвания и преминатият със сондажите геоложки разрез дават основание да се направят следните по-важни заключения относно хидрогеоложките условия в района на ДБО Асеновград.

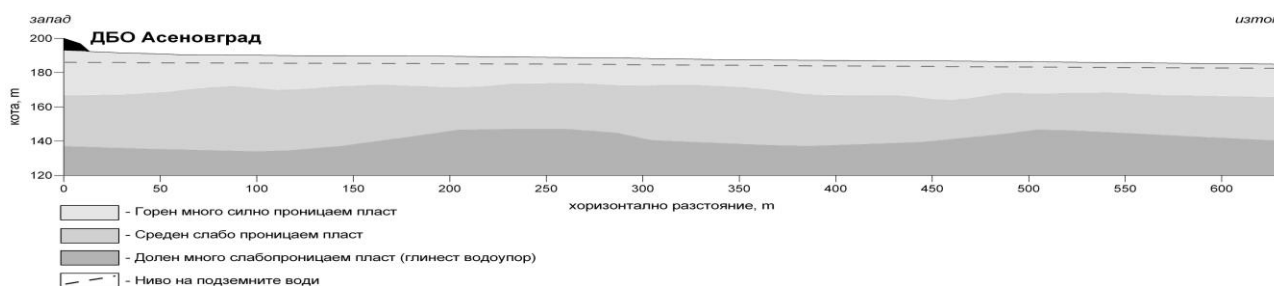
1. Кватернерният водоносен хоризонт, който е основната хидрогеоложка единица, е изграден от алувиално-пролувиални наслаги, представени от чакъли и валуни с пясъчлив, пясъчливо-глинест и глинест запълнител. Дебелината на тези материали в района на проучваната площадка варира в диапазона от около 30-35 до 40-45 m и повече. В отделни участъци под тях е установена по-нискоомна зона, която най-вероятно картира установената при сондажните проучвания (Делчев 2008) докватернерна глинеста подложка.
2. Въз основа на установените различия в специфичните електрични съпротивления, респ. в литоложкия състав, водонаситеността и водообилността на филтрационната

среда, в четирите разреза до дълбочина 45 m се отделят три по-ниско рангови хидрогеоложки единици:

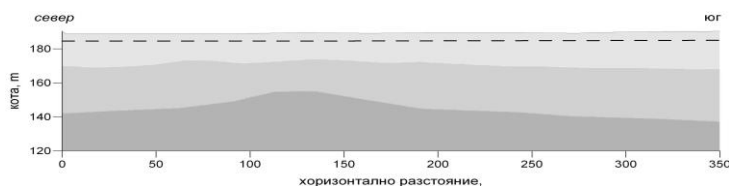
- Горен много силно проницаем пласт;
- Среден слабо проницаем пласт;
- Долен много слабо проницаем пласт.

Горният и средният пласт са в състава на по-високата по ранг хидрогеоложка единица (кватернерния водоносен хоризонт), а долният пласт представлява неговия долен водоупор. Геометрията и пространствените граници на трите пласта в района на проучваната площадка са илюстрирани със съставените хидрогеоложки разреза по четирите профила, маркиращи геотомографските разреза (фиг. 10-13).

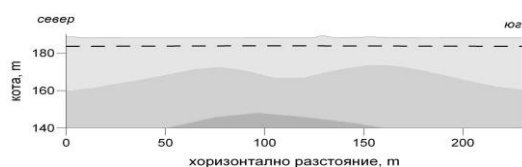
3. Горният много силно проницаем пласт е изграден от средни и едри чакъли и валуни с пясъчлив и пясъчливо-глинест запълнител. Общата дебелина на тези материали най-често е в интервала 15-20 m. Характеризира се с много висока водообилност и водопропускливост, респективно проницаемост. Долната му граница със средния пласт представлява неравна повърхнина със сложна пространствена форма (фиг. 8-9).
4. Средният слабо проницаем пласт е представен от много сбити глинести пясъци, чакъли и валуни. Дебелината на този пласт варира в диапазона от 20 до 30 m и повече. Значителното присъствие на глинеста компонента и високата плътност предпоставят ниската проницаемост на филтрационната среда и слабата водообилност на пласта.
5. Долният много слабо проницаем пласт е изграден от плътни неогенски пясъчливи, глини и алевролити от Ахматовската свита. Тези материали са с изключително ниски филтрационни характеристики и могат да се разглеждат като регионално много добре издържан в план практически водоупор. Границата между средния пласт и долния водоупорен пласт е неравна повърхнина, установена на дълбочина от 30 до 50 m от терена. Тази граница се маркира долницето (долния водоупор) на кватернерния пролувиален хоризонт.



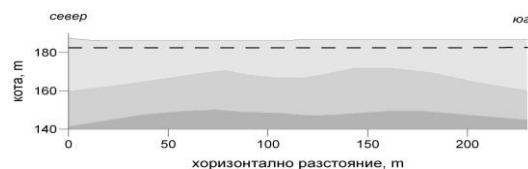
Фиг. 10. Хидрогеоложки разрез по Профил 1



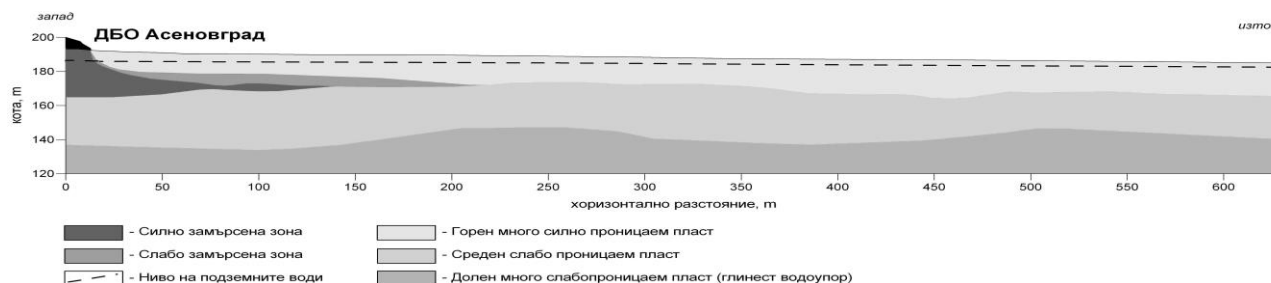
Фиг. 11. Хидрогеоложки разрез по Профил 2



Фиг. 12. Хидрогеоложки разрез по Профил 3



Фиг. 13. Хидрогеоложки разрез по Профил 4



Фиг. 14. Замърсени зони в кватернерния водоносен комплекс в хидрогеоложки разрез по Профил 1

6. Дебелината на неводонаситената зона, респ. дълбочината на статичните водни нива в кватернерния водоносен хоризонт са на около 1.5-3.0 m от дъното на кариерния изкоп. Посоката на подземния поток във водонаситената зона е на североизток, а средният хидравличен градиент е 0.0025.
7. Горният много силно проницаем пласт е частично замърсен от изтичащите от съществуващото депо течни емисии (сметищен инфилтрат). Постъпващите под дъното на сметището замърсители мигрират латерално както в план, така и в дълбочина. В план фронтът на замърсяване се придвижва на североизток, следвайки естествената посока на подземните води. Същевременно, замърсителите проникват и в дълбочина в резултат на концентрационните градиенти между замърсените води и незамърсените пластови води. Достигайки до средния слабо проницаем пласт, те започват да се мигрират латерално, като следват неговия релеф (фиг. 14).
8. Фронтът на замърсените подземни води е установен на повече от 150-160 m от неговата източна граница (фиг. 14). В замърсените части на горния пласт се наблюдава и известна диференциация в установените стойности на специфичното електрично съпротивление (фиг. 10). Тези аномалии са корелирани с данните от мониторинга върху състава на подземните води в района на действащото сметище (Стоянов, 2007). Въз основа на направените корелации в хидрогеоложкия разрез по Профил 1 са отделени две зони според степента на замърсяване на подземните води: (1) силно замърсена зона (2) слабо замърсена зона (вж. фиг. 14).

Литература

- Делчев, Й. 2008. *Инженерно-геоложки и хидрогеоложки проучвания за обект "ДТБО Кансида - Асеновград"*. – Предварителен доклад, Геостроймат, Кърджали (фондови материали).
- 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*. Дисертация, С., МГУ "Св. Иван Рилски", 387 с.

Кожухаров, Д., Е. Кожухарова, Р. Маринова. 1992. *Обяснителна записка към геоложка карта на България М 1:100000, к. л. Пловдив*. С., Комитет по геология и минерални ресурси, 41 с.

Стоянов, Н. 2001-07. *Експлоатация на мониторинговата система на ДТБО-Асеновград*. – Водоканалпроект АД - Пловдив (фондови материали).

Стоянов, Н. 2003. *Оценка и прогнозиране на замърсяването на подземните води от депа за твърди битови отпадъци*. Дисертация, С., МГУ "Св. Иван Рилски", 215 с.

Стоянов, Н. 2004. Метод за дефиниране на локални геоелектрични критерии за оценка на замърсяването на подземните води. – *BULAQUA (БУЛАКВА)*, 4.

Стоянов, Н. 2008. *Математически моделни изследвания за прогнозиране на възможно разпространение на замърсители в подземните води в района на площадка Кансида – Асеновград*. АСМГ-ООД, София (фондови материали).

Daniels F., R. A. Albery. 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.

Loke, M. H., R. D. Barker. 1996. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. – *Geophysical Prospecting*, 44, 131-152.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Приложна геофизика", ГПФ