

ГЕОЕЛЕКТРИЧЕН ПОДХОД ПРИ ТЪРСЕНЕ НА ОКАРСТЕНИ ЗОНИ И ПЕРСПЕКТИВНИ УЧАСТЪЦИ ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА ВОДОДОБИВНИ СОНДАЖИ

Стефан Димовски, Николай Стоянов

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

РЕЗЮМЕ. Предложеният геоелектричен подход за локализиране на окарстени зони се базира на различията в електрическопротивителните свойства на тези зони и неокарстените здрави части на скалния масив. По същия признак, с голяма достоверност, в подповърхностното пространство се диференцират и зони с различна водонаситеност и водообилност, което е много важен ориентир при търсенето на перспективни участъци за изграждане на вододобивни сондажи. Голямата ефективност на предложението за картиране на окарстени и по-водообилни зони е илюстрирана с резултатите от проведеното електротомографско проучване в района на с. Арбанаси, Великотърновска област. Представените резултати потвърждават приложимостта на използваната методика на измерване, анализ и интерпретация на данните.

A GEOELECTRICAL APPROACH FOR SEARCHING KARST AREAS AND PROMISING SITES FOR CONSTRUCTION OF WATER WELLS

Stefan Dimovski, Nikolay Stoyanov

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

ABSTRACT. The proposed geoelectrical approach for localization of karst areas is based on the different electrical resistivity properties of these zones in comparison to those of the unchanged parts of the rock massif. The same characteristic can be applied with high credibility for the differentiation of sub-surface areas with different water saturation and water abundance, which is a very important benchmark in the search for promising sites for construction of water wells. The high efficiency of the proposed approach for mapping karst and more prominent zones is illustrated by the results of the performed electrical tomography study in the area of Arbanasi, Veliko Tarnovo region. The presented results confirm the applicability of the proposed methodology for measurement, data analysis and interpretation.

Въведение

За детайлното картиране на приповърхностния геоложки разрез освен традиционните сондажни методи успешно се използват и геофизични методи. При традиционните методи получаваната информация е едномерна, тъй като проучванията са точкови (опробване на ядка от сондажите) или чрез изследване на целия дълбочинен интервал, пресечен от сондаж (най-често чрез каротажни методи). Качеството (достоверността) на тази информация е свързано главно с методически, технически и технологични грешки, обуславяни от процеса на вземане на пробите, тяхното транспортиране, съхраняване и подготовка за лабораторните експерименти.

Предимството на геофизичните методи се обуславя от възможностите за получаване на данни от непрекъснати последователности за определени интервали или обеми в пространството или в определени периоди от време. При това получаваната информация е за естествени условия на разположение на скалите и се осигурява двумерно (2D) и тримерно (3D) изследване на геоложкия разрез.

Електротомографията намира все по-широко приложение за картиране на приповърхностния геоложки разрез. Това е метод, който бързо се развива през последните две десетилетия и се базира върху използването на

съвременна апаратура, оптимална методика на измерване и компютърна обработка на данните. (Griffiths, Barker, 1993; Loke, Barker, 1996).

Регистрираното разпределение на специфично електрично съпротивление в подповърхностното пространство е еднозначно отражение на степента на проява на йонна електропроводимост (Daniels, Alberty, 1966). Анализът на установените геоелектрични разрези е добра основа за по-точна и детайлна количествена оценка на геоложките, хидрогеоложките и инженерногеоложките условия на изследваната част от природната среда.

Проведените от нас изследвания през последните 10-15 години ни убедиха в безспорните предимства на електротомографските методи за детайлно изучаване на приповърхностния геоложки разрез. Комплексното им прилагане с различни други методи и техники дава възможност за много по-прецизно диференциране и пространствено картиране на границите на геоложки или хидрогеоложки единици, окарстени или напукани зони; тектонските нарушения, зони с различна водонаситеност и водообилност, зони с различна степен на техногенно или природно замърсяване, свлачищни участъци, археологически обекти и др. (Стоянов 2003, 2004; Стоянов и Гюров 2004; Стоянов и др., 2004; Димовски и др., 2007, 2012;

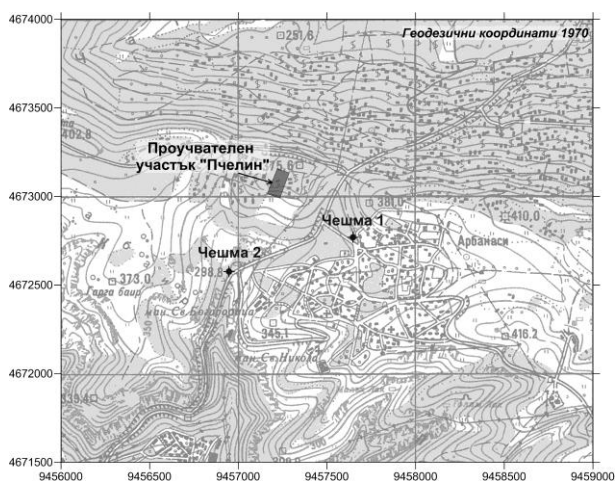
Dimovski et al., 2008; Димовски, 2010; Димовски и Стоянов, 2010, 2011 и други).

Приложимостта на електротомографията при картиране на окарстени зони в подповърхностното пространство ще илюстрираме с представените по-долу резултати от изпълненото от нашия екип електротомографско проучване в района на с. Арбанаси.

Кратка информация за изследвания обект

Обект на изследване е карстовият слабоводоносен комплекс в землището на с. Арбанаси (фиг. 1).

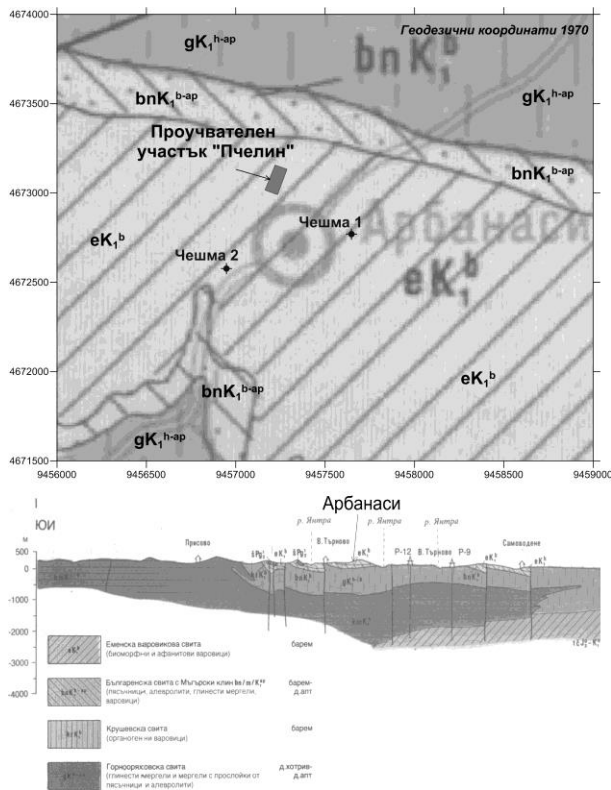
Геоложият строеж на района е сравнително прост. В горната част на разреза доминират долнокредните седименти от състава на Еменската варовикова свита (eK1b) (фиг. 2) (Кожухаров и др., 1992). Представени са от светли, порцелановидни, финозърнести до афанитови карбонатни скали. По състав и структура се отнасят към биодетритусните фораминиферни микрозърнести до кристалинни варовици. Дебелината на тази свита в околностите на с. Арбанаси варира от 20 до 50-60 m и повече. За карбонатния комплекс са характерни различни по тип и размер карстови форми (кучини и канали), част, от които се разкриват на земната повърхност. В окарстените варовици е формиран слабоводоносен и с ограничени ресурси комплекс, който е единствен източник за добив на подземни води в района на с. Арбанаси.



Фиг. 1. Местоположение на проучвания участък

Еменската варовикова свита (eK1b) лежи върху скалите на Българенската теригенна свита (bnK1b-ar), в състава, на която преобладават пясъчниците, а мергелите имат подчинено значение. Теригенните скали са относително здрави до слабо напукани, практически неводоносни.

Окарстените карбонатни скали на Еменската варовикова свита (eK1b) са частично припокрити от кватернерни делувиални глини, чиято дебелина е в границите от 1-2 до 7-8 m и повече.



Фиг. 2. Геоложка карта на района

Основна водоносна структура в района на с. Арбанаси е подземно водно тяло ПВТ BG1G0000K1040 „Карстови води в Ловеч-Търновския масив“ (фиг. 3). В проучваната територия това водно тяло представлява карстов басейн с доста ограничена площ и неголяма дебелина, което предполага и сравнително малки ресурси на подземни води. Подземните води са безнапорни. Подхранването е от инфилтрация на падналите валежи (дъжд и сняг). Дренаирането е от малък брой низходящи и преливни извори, дренаиращи се главно по периферията на басейна. Дебитът на изворите варира от 0,01 до 0,3 l/s. Част от тях са каптирани и са изградени чешми. Средният модул на подземния отток е 0,9 (l/s)/km². Шахтовите и сондажните кладенци обикновено имат малък относителен дебит – около 0,01-0,05 l/s, а често и много по-нисък.



Фиг. 3. Хидрогеоложка карта

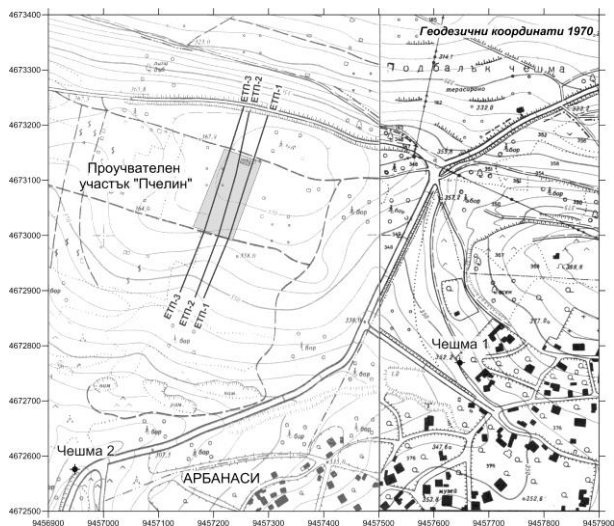
Цели на проучването

Главни цели на електротомографското проучване са:

- детайлизиране на геоложкия разрез до дълбочина 70-80 m;
- картиране на окарстени зони и кухини в изследвания геоложки разрез;
- очертаване на зони с различна водонаситеност и водообилност;
- уточняване на местоположението на подходящи участъци за изграждане на вододобивни сондажи.

Методика и инструменти на изследване

Използваният електротомографски метод е подходящ за двумерно картиране на приповърхностния разрез във вертикални разрези по профили. Теренните измервания са изпълнени посредством голям брой свързани към многожилен кабел електроди (Griffiths et al., 1990). Използвана е 4-електродна схема Schlumberger. Регистрацията е извършена с помощта на апаратура Terrameter SAS 1000 B, производство на шведската фирма АВЕМ. Тя работи с изходно напрежение 150 V и максимален изходен ток 1000 mA. Състои се от предавател, приемник и микропроцесор, обединени в едно тяло. Принципът на измерване включва натрупване на сигнала с последователни измервания и аналогово филтриране, като резултатите се извеждат на дисплей. Това позволява да се контролира процесът на измерване и да се подтискат по избор 2, 4 и 8 пъти статистически разпределени шумове в приемната верига. По този начин се постига по-висока точност на измерванията, която е особено необходима при работа с по-слаби сигнали.



Фиг. 4. Местоположение на геофизичните профили

Теренните измервания са изпълнени по три профила, всеки, от които с дължина по 350 m. Използвани са две коси от 12 жилен кабел с разстояние между електродите 10 m (общо 24 електрода на разстановка). След измерване на всяка разстановка, се извършва стъпковото преместване ("приплъзване") на кабела със стъпка 120 m. Профилите са ситуирани успоредно един на друг. Точното им местоположение е представено на фигура 4.

При обработката на полевите данни е използвана компютърната програма RES2DINV (Loke, 2001). Програмата дава разрез на реалното разпределение на електричните съпротивления. Преходът от геоелектричен разрез в геоложки, инженерногеоложки или хидрогеоложки модел се прави като при последващата интерпретация на получената с програмата геоелектрична картина се отчита и събраната при стандартното проучване информация за конкретните природни условия.

В представения случай, поради липса на сондажни проучвания и други данни за по-прецизно корелиране на регистрираните геоелектрични разрези, съставеният геоложки модел и отделените в него граници притежават известна условност.

Анализ на геоелектричните разрези. Геоложка интерпретация

Данните от полевите електротомографски измервания са интерпретирани с компютърна програма RES2DINV и е детерминирано разпределението на действителните съпротивления в подповърхностното пространство. Получените по трите електротомографски профила геоелектрични разрези (ЕТП-1, ЕТП-2 и ЕТП-3) са илюстрирани на фигури 5, 6 и 7.

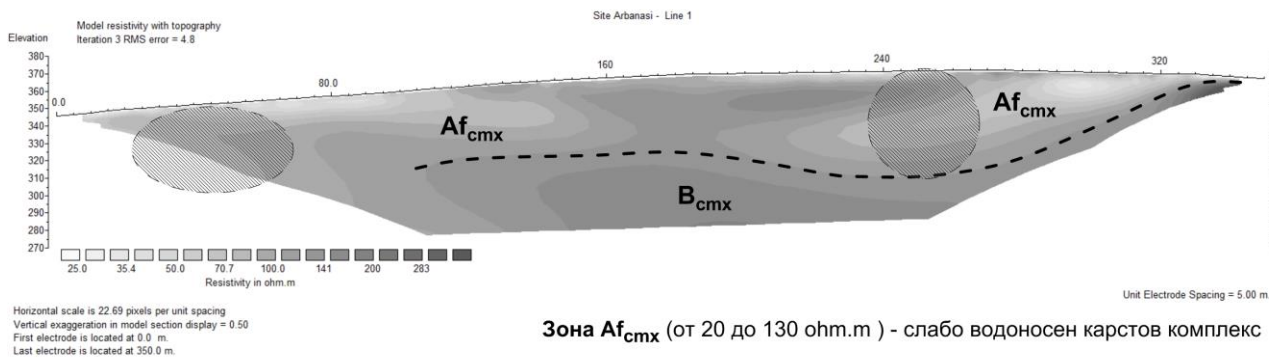
Анализът на съставените геоелектрични разрези позволява да се направят следните по-важни изводи:

- Геоелектричният разрез по четирите профила е относително добре издържан по разпределението на електричното съпротивление в дълбочина.

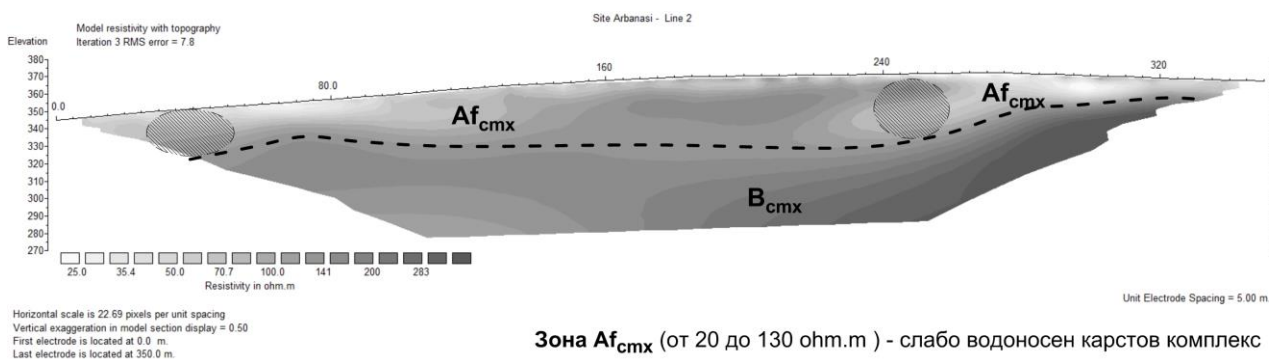
- Електричното съпротивление на разновидностите (средите), които изграждат изследвания разрез свидетелства за присъствие на подчертано изразена йонна проводимост. Стойностите на електричното съпротивление са ниски и варират в относително широки граници – от 5 Ωm до около 400 Ωm и повече.

- Геоелектричният разрез по профили ЕТП-1, ЕТП-2 и ЕТП-3 е представен от две елекросъпротивителни среди, които картират зони с различен литоложки състав, окарстеност, водонаситеност и степен на водообилност:

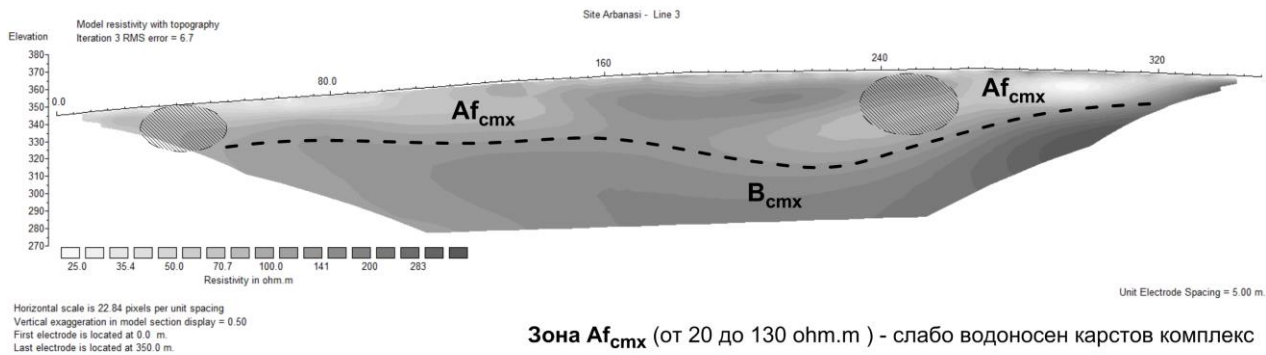
Първата елекросъпротивителна среда – Зона Af_{cmx} се характеризира със сравнително ниски стойности на електричното съпротивление – най-често в диапазона от 20 Ωm до 130 Ωm . Дебелината ѝ варира в границите от 15-20 до 50-65 m. Зона Af_{cmx} вероятно картира варовиците на Еменската варовикова свита, в които е формиран слабо водоносен карстов комплекс, представляващ една много малка част от ПВТ BG1G0000K1040. Наличието на аномални нискоомни зони в тази елекросъпротивителна среда предполага окарстени и относително по-водообилни зони (участъци). Част от тези зони, отбелязани на получените геоелектричните разрези по профили ЕТП-1, ЕТП-2 и ЕТП-3 (фиг. 5, 6 и 7), както и на топографската карта, представена на фигура 8, могат да се разглеждат като перспективни участъци за изграждане на сондажи за добив на подземни води.



Фиг. 5. Разпределение на електричното съпротивление в разреза по Профил 1

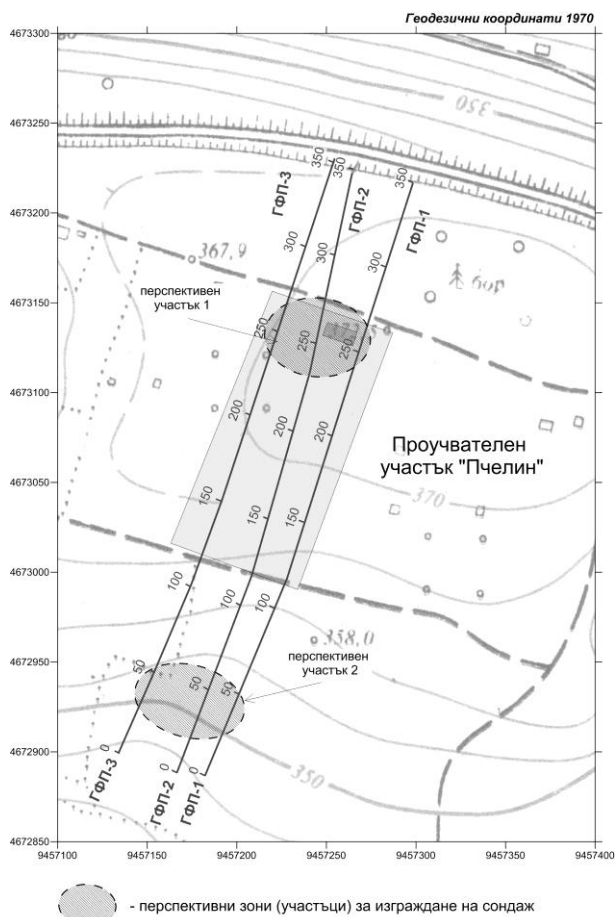


Фиг. 6. Разпределение на електричното съпротивление в разреза по Профил 2



Фиг. 7. Разпределение на електричното съпротивление в разреза по Профил 3

Втората електросъпротивителна среда – Зона В_{смх} се характеризира с по-високи стойности на електричното съпротивление – най-често в диапазона от около 130 Ωm до 400 Ωm и повече. Тази електросъпротивителна среда маркира разпространението на скалите от Българенската теригенна свита (пясъчници и мергели), които се разглеждат като много слабо проницаеми и практически неводоносни.



Фиг. 8. Площна карта на границите на окарстените зони. Зониране на перспективни участъци за изграждане на сондажи за добив на подземни води.

Перспективни зони за сондиране

Комплексният анализ на резултатите от проведените електротомографски и георадарни проучвания дава основание да се направят следните по-важни констатации:

- В геоелектричните разрези по трите профила (ЕТП-1, ЕТП-2 и ЕТП-3) са картирани границите на органогенните варовици от състава на Еминската варовикова свита. В проучваната площ дебелината на тези варовици варира в диапазона 15-20 до 50-65 m.

- Във варовиците е формиран слабо водоносен карстов комплекс, който може да се разглежда като една много малка част от подземно водно тяло ПВТ BG1G0000K1040. В землището на с. Арбанаси и прилежащите му територии това водно тяло има ограничена площ и неголяма дебелина, което предполага и сравнително малки ресурси на подземни води.

- Регистрираните аномални нискоомни зони в геоелектричните разрези по проучвателни профили ЕТП-1, ЕТП-2 и ЕТП-3 маркират окарстени и относително по-водобилни зони (участъци) (фиг. 5, 6 и 7). Две от тези зони, които са отбелязани и на топографската карта на фигура 8, могат да се разглеждат като перспективни участъци за изграждане на сондажи за добив на подземни води.

- С оглед на установения геоелектричен разрез и съществуващите геоложки и хидрогеоложки условия се препоръчва проучвателните сондажи в перспективните участъци да са с дълбочина около 70-80 m.

Заклучение

Съставеният въз основа на комплексния анализ и интерпретация на резултатите от електротомографията хидрогеоложки модел, при отчитане на съвсем ограничената информация за геоложкия строеж на проучвания участък, дава относително добра представа за възможните пространствени размери и геометрията на окарстените зони. Същевременно, отсъствието на сондажни данни, на практика демонстрира приложимостта и ефективността на електротомографския метод за предварителни оценки за наличие на окарстени и по-водобилни зони и перспективни участъци за изграждане на вододобивни сондажи.

Литература

Димовски, С. *Електротомографски изследвания на геоложката среда*. Дисерт., С., МГУ "Св. Иван Рилски", 2010. - 387 с.

Димовски, С., Н. Стоянов, Ч. Гюров. Ефективност на електротомографията за детайлно геоелектрично картиране на приповърхностния геоложки разрез. – *BULAQUA (БУЛАКВА)*, 4, 2007. - 47-55.

Димовски, С., Н. Стоянов. 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, 2010. - 4 с.

Димовски, С., Н. Стоянов. Геоелектричен подход при изучаване на хидрогеоложките условия в района на ДБО Асеновград. – *Год. МГУ "Св. Ив. Рилски"*, т. 54, св. I, *Геол. геоф.*, 2011. - 125-130.

Димовски, Ст., Н. Стоянов, Хр. Цанков, Ат. Кисъов. Електротомографски изследвания в района на Зографския манастир в Света гора, Атон. – *Год. МГУ "Св. Ив. Рилски"*, т. 55, св. I, *Геол. геоф.*, 2012. - 96-101.

Кожухаров, Д., Р. Димитрова, Н. Кацков. *Обяснителна записка към геоложка карта на България М 1:100000 - картен лист Пазарджик*. С., КГМР, 1992. - 54 с.

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

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

- Стоянов, Н., Ч. Гюров. Оценка на замърсяването на подземните води по метода на 2D електро-съпротивително проучване по схемата полюс-дипол – Год. МГУ “Св. Ив.Рилски”, т. 47, св. I, Геол. геоф., 2004. - 219-224.
- Стоянов, Н., Ст. Стойнев, Ч. Гюров. Детайлизиране на инженерно-геоложките и хидрогеоложките условия посредством геоелектрични модели – Сп. “Геол. и минер. рес.”, бр. 10, 2004. - 8-12.
- Daniels F., R. A. Albery. *Physical chemistry*. John Wiley and Sons, Inc. 1966. - 674 p.
- Dimovski, S., N. Stoyanov, S. Kostyanov. Application of electrical resistivity techniques for investigation of landslides. – *Proceedings of the First International Conference on Remote Sensing Techniques in Disaster Management and Emergency Response in the Mediterranean Region, EARSeL, Zadar, Croatia, 2008*. - 241-251.
- Griffiths, D. H., R. D. Barker. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. – *Journal of Applied Geophysics*, 29, 1993. - 211-226.
- Keller G.V., F.C. Frischknecht. *Electrical methods in geophysical prospecting*. Pergamon Press Inc., Oxford. 1966. - 517 p.
- Loke, M. H. *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. 2001. - 151 p.
- Loke, M. H., R. D. Barker. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. – *Geophysical Prospecting*, 44, 1996. - 131-152.

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