

## ГЕОФИЗИЧЕН КОМПЛЕКС ЗА ИЗУЧАВАНЕ НА ПОВЪРХНОСТНИЯ ГЕОЛОЖКИ РАЗРЕЗ В РАЙОНА НА ЗЕМЕТРЕСЕНИЕТО ПРИ ГРАД ПЕРНИК ОТ 22 МАЙ 2012 Г.

**Бойко Рангелов, Христиан Цанков, Цветан Груев**

*Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, [branguelov@gmail.com](mailto:branguelov@gmail.com)*

**РЕЗЮМЕ.** В рамките на проект СИМОРА са проведени комплексни геофизични измервания за установяване на повърхностния (десетки до стотици метри) геоложки строеж в района на земетресението Перник – 22 Май, 2012 г. Използваният комплекс включва електротомографски и георадарни измервания, успоредно с радиометрия и капаметрия. Електротомографските профили, практически съвпадат с георадарните и позволяват определянето на електросъпротивителните свойства на най-горната част от геоложкия разрез. Георадарът служи за потвърждение или отхвърляне на по-малко мащабни електромагнитни смутители. Интерпретацията на получените данни показва наличието на няколко особености в разреза – наличие (отсъствие) на повърхостни разломявания, относителна дълбочина на подпочвените води, наличие (отсъствие) на електрически нееднородности, дължащи се на ефектите на теригенната седиментация. Получените резултати са полезни за обяснение на повреди и разрушения в сгради и съоръжения фундирани в различни грунтови условия.

### GEOPHYSICAL COMPLEX STUDY OF THE SHALLOW GEOLOGY IN THE AREA OF PERNIK EARTHQUAKE 22<sup>nd</sup> MAY, 2012

**Bojko Ranguelov, Christian Tzankov, Tsvetan Gruev**

*University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, [branguelov@gmail.com](mailto:branguelov@gmail.com)*

**ABSTRACT.** Complex geophysical investigations (in the frame of the SIMORA project) are performed in the area of the Pernik M5.8 earthquake of 22 May, 2014. Electric tomography and georadar measurements have been done massively to establish the electrical inhomogeneities due to the different reasons – faults, ground water's level, etc. The interpretations of the measurements results show different peculiarities of the cross-sections – surface faults, surface underwater level, other electromagnetic anomalies. The georadar gives results of the most surface part of the ground. The low penetration is useful for shallow anomalies generated by the electromagnetic inhomogeneities. The observed relationships and the obtained results could be very useful for the explanation of the damages observed to the different structures and buildings.

### Въведение

Изучаването на дълбочинните особености на всяко огнище на земетресение, изисква отчитането на редица фактори, свързани със сеизмотектонските и сеизмогенерационни условия за възникване на сеизмично събитие. Успоредно с това не бива да се пренебрегват и повърхностните грунтови условия, често явяващи се източник на добавъчни ефекти към разрушителната сила на сеизмичните вълни и понякога водещи до местно усилване на сеизмичното въздействие, достигащи 2-3 степени над очакваните ефекти по сравнение със стабилна скална основа.

### Дълбочинна характеристика на земетресението от 22 Май, 2012

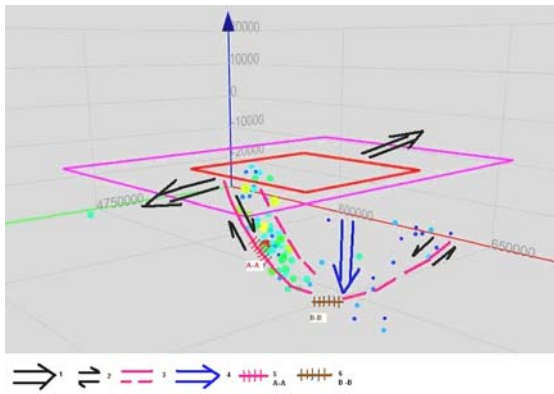
Дълбочинните особености в геотектонската и геодинамична обстановка в района на земетресението от 22 Май 2012г. в района на гр. Перник са добре изследвани и дават почти пълна представа за процесите, довели до земетресението с М 5,8 (Рангелов и др., 2013а, б; Рангелов и Паскалева, 2013) и последвалите го следтрусове (Ranguelov, 2013a,b). Основните фактори

довели до това сеизмично събитие са: режим на екстезия в района на труса (следващ директно от механизма на главния трус, установен от редица международни сеизмологични центрове), блоков строеж (доказан при изследванията на гравитационното и магнитно поле в района), разпределението на афтершоковата поредица след основното събитие във времето и пространството (Ranguelov et al., 2013). В резултат е конструиран сеизмотектонски модел (фиг. 1) доказващ асиметрично, листрично, антитетично разломяване довело до реализация на сеизмичната енергия, отделена при главния трус и последвалите го афтершокове (Рангелов и др., 2013а,б).

### Комплексни геофизични изследвания на плитките хоризонти в района на земетресението

Земетресението с магнитуд 5,8 предизвика масови ефекти от VIII степен по ЕМС. Бяха заявени поражения на над 8000 сгради, което за трус с подобна сила е повече от средното.

Поредица изследвания установяват, че най-силните по-

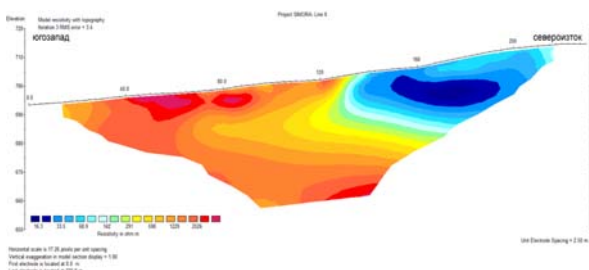


Фиг. 1. Сеизмотектонски модел на земетресението от 22 Май 2012 г. – асиметрично, антитетично, листрично, разломяване  
 1 – сили на екстензия; 2 – посоки на движението на пропадналия блок при земетресението; 3 – линии на листричното разломяване; 4 – посока на пропадане на целия блок; 5 – зона на разрушаване на средата по време на основния трус (вероятен източник на относително по-високофреkwентните колебания); 6 – най-ниска зона на пропадането (вероятен източник на относително по-нискофреkwентните колебания) (Рангелов и др. 2013)

ражения и разрушения са локализирани не в епицентралната зона на главния трус, а малко по на север-североизток. Причините за това могат да бъдат търсени в няколко посоки. Наличие на хоризонтални нееднородности в най-горната част на земната кора, наличие на слабо споени седименти в грабеновата структура на Пернишкия грабен и най-накрая, но не по важност – наличие на плиткозалегащи грунтови води в райони на заблътвания, речни тераси и корита и местни извори и водоизточници от различен характер.

Плитките ефекти от земетресението се обуславят на дълбочини от единици до десетки метри. За изучаването им са използвани едни от най-силните геофизични методи – Георадар и Електротомография.

**Електротомографски изследвания.** Електротомографията е метод, установяващ пространственото разпределение на електричното съпротивление по профили с поставени електроди – захранващи и приемни. Изпълнена е чрез измерване с Апаратура Terrameter SAS 1000, която работи с изходно напрежение 450 V и максимален изходен ток 1000 mA. Един типичен електротомографски профил от района на Перник е показан на фиг. 2.



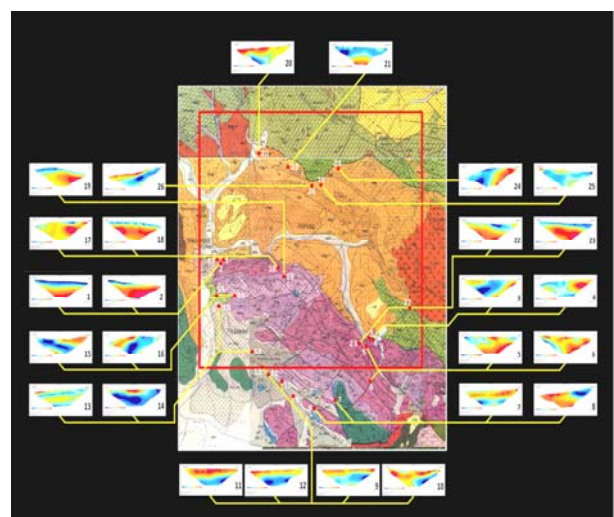
Фиг. 2. Електротомографски профил от района на Перник – синият цвят показва ниски съпротивления, а червеният – високи

Общо са прокарани 25 профила (фиг. 3), като с тях са покрити почти всички геоложки особености, наблюдавани в района - измервания са правени в Пернишкия грабен и на

границите му с околните геоложки комплекси. Сериозно внимание е обърнато на карбонатните кредни комплекси, където е главното развитие на сеизмогенерацияния процес, както и в района на яз. Студена. Основните цели на измерванията са няколко:

- Да се установят възможни повърхностни ефекти на разуплътняване свързани с разломявания в горната част на геоложкия разрез. Те са типични проявления в условията на екстензионен режим.
- Да се установят зони на слабоспоени повърхностни седименти, които имат свойството да усилват сеизмичния ефект.
- Да се установят зони на плитко залегане на подземните води, които също са важно условие за повишаване на наблюдаваната интензивност на сеизмичните въздействия вследствие на преминаването на сеизмичните вълни.
- Да се набележат места със стабилна земна основа за евентуалното разполагане на измервателната апаратура – акселерометри за сигнализиране на наблюдавани по време на трус ускорения.

Трябва да се отбележи, че извършените полеви измервания с електрическата томография, често са ограничавани от възможностите за провеждането им - залесени участъци, пресечен релеф, липса на пътища и др. Резултатите от измерванията позволяват систематизация на наблюдаваните особености които могат да бъдат подредени в няколко типа: профили с хоризонтално и субхоризонтално залегане на проводящите и съпротивителни слоеве – напр. № 11, 12, 9, 1, 18, 21, 23, 13 и др.; профили с наклонено разполагане на проводящите граници (тук идентифицирани, като порявления на възможно субповърхностно разломяване) – напр. № 15,16, 3, 24, 8 и профили с ривърсно разполагане на съпротивлението – напр. № 20, 7, 26, 13, 14 (тук интерпретирани, като зони с плитко разполагане на подземните води). Разбира се, подобни класификации изискват задълбочен анализ за всеки профил.

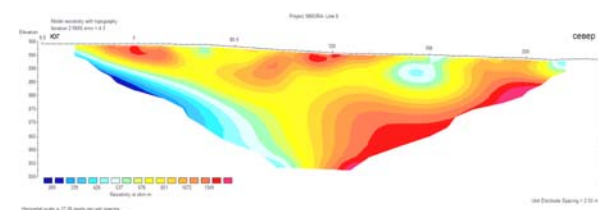


Фиг. 3. Пространствено разположение на електротомографските профили в района на гр.Перник и околностите му

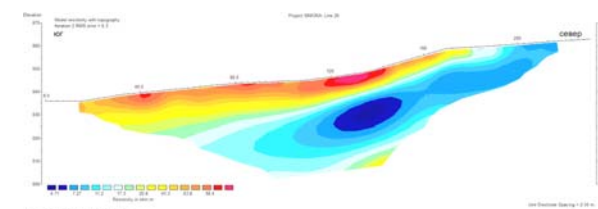
Илюстративно са показани различните наблюдавани електросъпротивителни профили, обусловени от различни

причини. Задълбочената интерпретация подсказва различни генетични източници за измененията върху наблюдаваното електротомографско поле.

Вследствие на опънните напрежения и разуплътнението на най-горната част на разреза от главния трус и последвалите го афтершокове, листрични ефекти от възможното разломяване показват няколко профила с намаляващо съпротивление в дълбочина и изклоняваща граница между крилата на образуваните листрични призми – напр. профили № 26 и 6 (както и профили № 24, 15, 16 и др.), разположени почти симетрично спрямо оста на изтеглост на сеизмичното огнище в карбонатната структура на Голо Бърдо (фиг. 4).



Профил 6



Профил 26

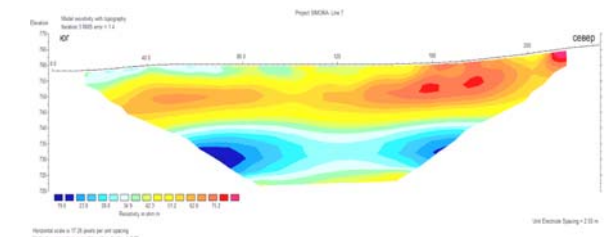
Фиг. 4. Профили 6 и 26 – типични представители на предполагаеми ефекти от листричното разломяване по периферията на карбонатния комплекс и седиментни участъци

Голяма част от профилите демонстрират повишено повърхностно съпротивление, последвано от намаляване в дълбочина. Този вид профили се интерпретират като повърхностна високоомна среда. Намаляването на съпротивлението в дълбочина най-вероятно се дължи на достигане до нивото на подпочвените води. Такива са например профили № 7, 9, 10, 11, 14 и др. Този вид електросъпротивителни профили са развити главно в южната периферия на изследвания район (фиг. 5 и фиг. 6). Наблюдава се и обратна тенденция – нискоомен повърхностен слой, последван от по-високоомна квази-хоризонтална среда (напр. профили 17, 18).

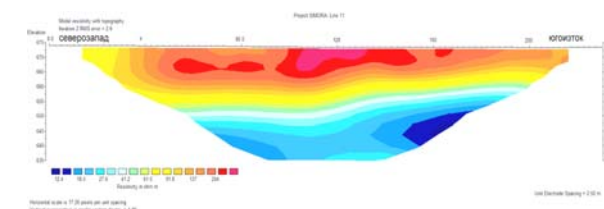
Голяма част от електротомографските профили, отразяват електрически нехомогенности предизвикани от различните електрически свойства на скалните комплекси в района. Подобни примери са профили 15, 16, 4-6 и др.

**Георадарни измервания.** Георадарните измервания са проведени с апаратура *Георадар (модел SIR-3000)* и съответната му антена (фиг. 7). Доколкото георадарът е устройство, излъчващо електромагнитни вълни с висока честота, неговата дълбочинност е силно ограничена. Най-добра разделителна способност и контрастност се получава

на малки дълбочини от 0 до 10-15 метра. Методът е високо ефективен при търсене и проучване на силно проводящи и силно изолаторни среди, затова е използван за уточняване на проводящи (съпротивителни) нееднородности в най-горната част на геоложкия разрез (фиг. 8). Почти всички профили са разположени върху или успоредно на електро-томографските измервания. Направени са и опитно-методични работи за измервания от автомобил, където това е възможно, например в банкета на (не)асфалтиран път. Получените резултати силно се влияят от повърхностните почвени условия, влажност, плътност, така че тези пречещи фактори не могат да бъдат избегнати.

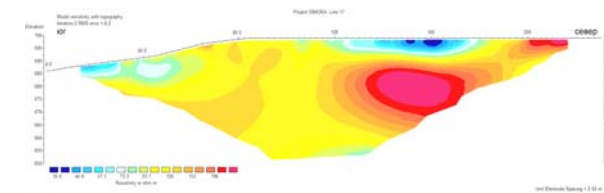


Профил 7

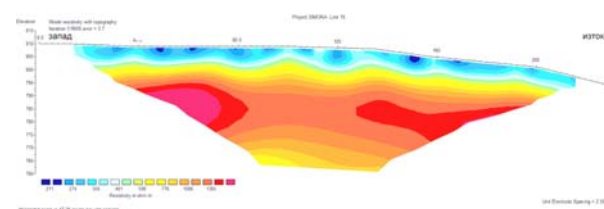


Профил 11

Фиг.5. Профили 7 и 11 - субхоризонтална високоомна среда последвана в дълбочина от по-нискоомна – вероятен признак за подпочвени грунтови води в седиментите



Профил 17



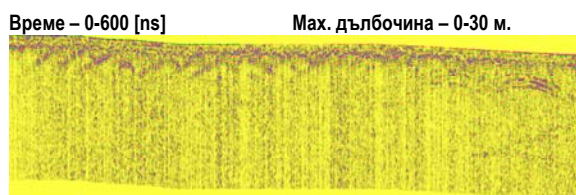
Профил 18

Фиг.6. Профили 17 и 18 – проводяща среда подстилана от по-високоомна – индикация за вероятни повърхностни карстови ефекти в карбонатите

На фиг. 9 е показано пространственото разположение на георадарните профили върху геоложката основа на района. Детайлната корелация на наблюдаваните аномалии с електротомографските профили е направена с отчитане на валежните условия по време на измерванията.



Фиг.7. Георадар с антена.



Фиг. 8. Типичен георадарен профил – дълбочина на проникване с добра разделителна способност - около 10 м

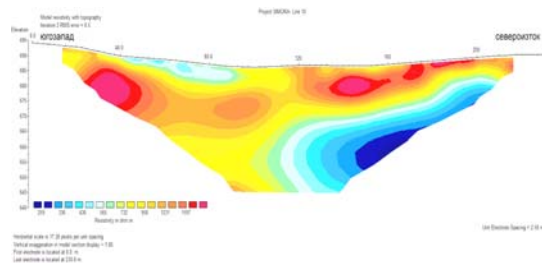


Фиг. 9. Географско разположение на георадарните профили върху геоложката основа

Нехомогенностите в електроматгнитните свойства на повърхностния геоложки строеж се дължат на множество различни фактори: скали с различни свойства (карбонати, основна скала и седименти), граници и контакти между тях, наличие на по-едри валуни в седиментите, наличие на

карст, наличие и отсъствие на грунтови води, смутители от техногенен характер и мн. др.

Типични представители на тези нехомогенности се наблюдават на много от профилите. Доколкото дълбочинността на метода е по-малка, пряка корелация с електротомографията не бива да се търси. И все пак, наличието на електросъпротивителни нехомогенности се потвърждава и с редица профили от георадара – напр. профили 5, 6, 9, 10, 17, 20 и др.



Профил 10

Фиг. 10. Сравнителен анализ на профил 10 – електротомография и георадар – виждат се границите на скалните комплекси в дълбочина (в средата на профила) и високоомния обект – вляво на профилите

За пълнота на комплексните геофизични изследвания са проведени и точкови измервания на магнитната възприемчивост и радиоактивността главно в карбонатния комплекс на Голо Бърдо. Установено е, че липсват значителни аномалии в района. Стойностите на радиационния фон са в рамките на 0,09-0,12 mSv/h (интегрална доза), което е нормално за варовици и ниски стойности на магнитната възприемчивост – в рамките на  $0,08-0,16 \times 10^{-3} \text{SI}$  (за варовиците) и  $0,003-0,006 \times 10^{-3} \text{SI}$  (за чист калцит в калцитните жили).

## Изводи и заключение

- Геофизичният комплекс от повърхностни методи (георадар и електротомография) дава възможности за изучаване на приповърхностния разрез в огнището на земетресението от 22 Май, 2012г. в околностите на гр. Перник на дълбочини от няколко до няколко десетки метри.
- Установените закономерности от електротомографските измервания, позволяват уверено да се правят обосновани изводи за повърхностния строеж на разреза и неговото отражение върху съпротивителното поле: наличие на грунтови води, разломяване от листричен тип, нехомогенности доминирани от геоложкия строеж и скалните разновидности.
- Повърхностните условия са важен фактор за наблюдаваните ефекти от земетресението – специфично разпределение на полето на интензивностите (установени по наблюдаваните разрушения на сгради

и съоръжения) и взаимната връзка с относително плитко залягащите хоризонти от геоложката среда.

*Благодарности:* Тази разработка е подкрепена от Проект СИМОРА (ДФНИ Т01/0003)

## Литература

Рангелов, Б. и др., 2013. Комплексни геофизични изследвания в района на Перник., XIII межд.н.конф. ВСУ, 2013. VI-7 - VI-11.

Рангелов, Б., И. Паскалева. 2013. Огнището на земетресението и моделиране на сеизмични ефекти в района на Перник. - XIII межд. н. конф. ВСУ,. VIII-20 - VIII-24.

Рангелов, Б., Р. Радичев, С. Димовски, И. Паскалева, Хр. Цанков, А. Кисъов, М. Янкова, Т. Илиев, М. Василева., 2013. Комплексни геофизични изследвания – основа

за построяване на геодинамичен модел и изграждане на система за сеизмичен мониторинг в района на град Перник – Проект СИМОРА. - *Ann. of M&G University*, 56, 1, 150-157.

Rangelov, B., 2013a. Pernik Earthquake of 21<sup>st</sup> May, 2012 and SIMORA Project., - *Сб. Докл. „Дни на Физиката – ТУ, 16-20 Април, 2013“*, София. 141-146.

Rangelov, B. 2013b. Seismological and Geodynamic Investigations in the area of Pernik and Surroundings. - *XXIII International Symposium “Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields., November 7 – 8, 2013, Sofia.*

Rangelov, B., I. Paskaleva, R. Radichev, S. Dimovsky, Ch. Tzankov, A. Kisiov, M. Yankova, T. Iliev, M. Vasileva. 2013. Complex geophysical investigation for development of seismic monitoring and quasi EWS around Pernik city. - *Proc. 7<sup>th</sup> Balkan Geophysical Congress., Tirana, 7-10<sup>th</sup> October, 2013 (on CD).*

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