

## КОМПЛЕКСНИ ГЕОФИЗИЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ – ОСНОВА ЗА ПОСТРОЯВАНЕТО НА ГЕОДИНАМИЧЕН МОДЕЛ И ИЗГРАЖДАНЕ НА СИСТЕМА ЗА СЕИЗМИЧЕН МОНИТОРИНГ В РАЙОНА НА ГРАД ПЕРНИК – ПРОЕКТ СИМОРА

**Бойко Рангелов<sup>1</sup>, Ради Радичев<sup>1</sup>, Стефан Димовски<sup>1</sup>, Иванка Паскалева<sup>2</sup>, Християн Цанков<sup>1</sup>, Атанас Кисъев<sup>1</sup>, Миглена Янкова<sup>1</sup>, Тихомир Илиев<sup>1</sup>, Маргарита Василева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София; [branguelov@gmail.com](mailto:branguelov@gmail.com)

<sup>2</sup>Европейски политехнически университет, 2300 Перник

**РЕЗЮМЕ.** Представени са резултатите от изпълнението на първия етап на проект СИМОРА. Обработени и интерпретирани са данните за потенциалните геофизични полета, сеизмичността в района и основните параметри на силното земетресение от 22 май, 2012 г. – М5.8. Изследвано е поведението на следтрусовата сеизмична активност. Въз основа на тези данни е построен геодинамичен модел на огнището на силното земетресение. Показано е, че в условията на екстензия, се е проявило ясно листрично, антидетично разломяване, което добре обяснява концентрацията на последвалите трусове и ефектите от генерирането на широкоспектърни силни земни движения. Изяснен е сеизмогенезисът и са очертани основните сеизмогенни структури. Демонстрирани са взаимните връзки в контекста на регионалния модел на екстензия доминиращ в пространството на Северните Балкани. Планирано е изграждането на система за мониторинг на силни сеизмични движения.

### COMPLEX GEOPHYSICAL INVESTIGATIONS – BASICS TO THE GEODYNAMIC MODEL AND SEISMIC MONITORING SYSTEM IN PERNIK REGION – PROJECT SIMORA

**Boyko Ranguelov<sup>1</sup>, Radi Radichev<sup>1</sup>, Stefan Dimovsky<sup>1</sup>, Ivanka Paskaleva<sup>2</sup>, Christian Tzankov<sup>1</sup>, Atanas Kisiov<sup>1</sup>, Miglena Yankova<sup>1</sup>, Tihomir Iliev<sup>1</sup>, Margarita Vassileva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; [branguelov@gmail.com](mailto:branguelov@gmail.com)

<sup>2</sup>European Polytechnic University, 2300 Pernik

**ABSTRACT.** The results of the first part of the SIMORA Project are presented. Measurements and interpretations of the natural geophysical fields together with the seismicity studies of the main parameters of the earthquake M5.8 (22/05/2012) are demonstrated. On the basis of the complex geophysical investigations a new geodynamic model is created. It is clear that in the regional field of extension proved by the recent GPS measurements the listric antithetic faulting generated the wide spectrum seismic strong ground motions. The main dilemma is – the wide spectrum due to the wave generation or wave propagation must be considered. Our response is – seismic wave's generation process is responsible to the spectral content of the strong motions registrations. The seismic monitoring and quasi early warning system is under design.

### Въведение

Тектонската позиция на основните структурни зони в района е изследвана от много автори (Гочев и др., 1970; Стоянов, 1981). Дават се множество и различни интерпретации (Батанджиев и др., 1966; Моев, 1967; и др.). Често може да се отбележи обаче, че почти всички говорят за разломи и разломни снопове със СЗ-ЮИ посока. Те са пресечени от почти перпендикулярни на тях напречни, но значително по-къси разломи. Тази регматична мрежа е в основата на съгласието на почти всички автори, че районът има сложен блоков строеж. Много от разломите са описани като активни, включително и сеизмоактивни. Независимо от това, няма единна позиция за сеизмогенния потенциал на тези разломни структури. Последното земетресение от 22 май 2012 година се явява изненада в този смисъл, защото всички досегашни данни говорят за

по-малък сеизмогенен потенциал на този район (Рангелов, 2012).

### Анализ и връзка на геофизичните полета, геоложката и тектонска обстановка със сеизмогенезиса в района

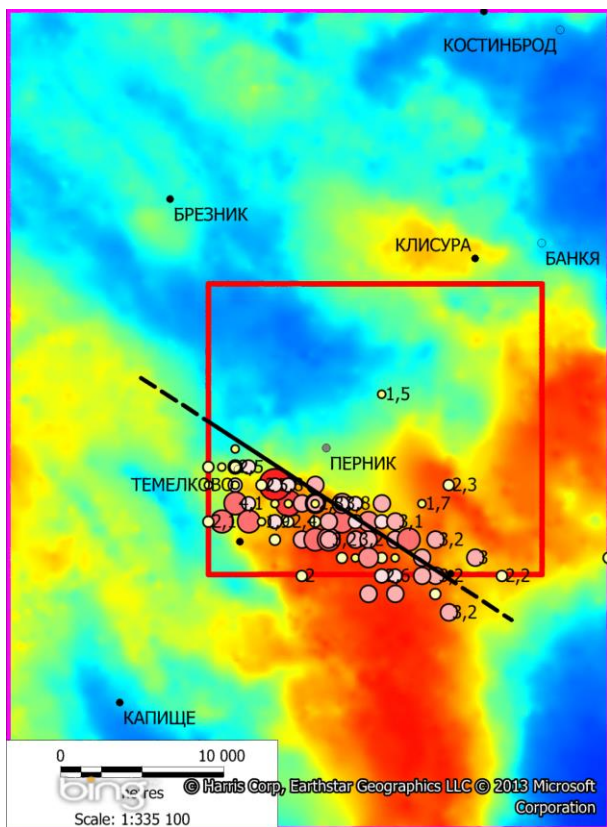
Получените резултати от това изследване показват следните общи закономерности:

- разположението на областите на екстензия и компресия съвпадат с общите тенденции, установени за Балканите (и България) и потвърдени от всички станали по-силни земетресения в региона, включително тези от Кресна, 1904 г., Пловдив, 1928 г., Валандово, 1932 г. и др. (Рангелов, 2012);

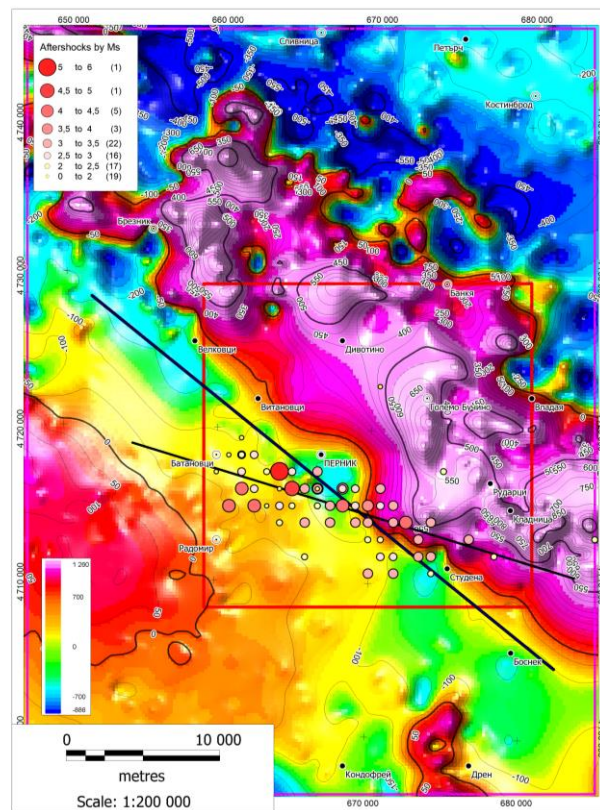
- масовите GPS измервания също потвърждават общите тенденции на екстензия и компресия, диктувани от “протачащото” действие на Северноанадолския трансформен разлом, като основна геодинамична и съвременно активна разломна структура на Балканите (заедно с Егейската субдукционна зона, с която са в конфликт), обуславяща съвременната геодинамика в нашите земи;

- общият геодинамичен модел на сеизмично активната субдукционна зона, разположена в най-южната част на колизията Европа-Африка (Егейската арка) и големият сеизмогенен трансформен Северноанадолски разлом с неговите сателити в Северна Егея (Рангелов, 2012), потвърждават север-североизточната и юг-югозападна вергенция на екстензия по нашите земи и в контекста на наблюденията, развитието на афтершоковата серия и дълбочинно-пространственото поведение на огнището на труса, показват основната причина в сеизмогенезиса на земетресението от 22 Май, 2012 г.;

- това са сили на опън (С-СИ – Ю-ЮЗ), довели до гигантско пропадане на сеизмоактивния блок по разломна повърхност, разположена в южната част на Пернишкия грабен, на границата с масива Голо бърдо (с максимална нормална компонента на сеизмогенната разломна повърхност) и създаване на условия за ефективна листрична тектоника в дълбочина, с изяви на повърхността – сеизмогенни остатъчни деформации по североизточния борд на грабена (Радулов и др., 2012).



Фиг. 1. Гравитационна карта (аномалия Буге) в изследвания район



Фиг. 2. Карта на магнитното поле (делта Z – в гами) в изследвания район

### Съставяне на сеизмотектонски модел

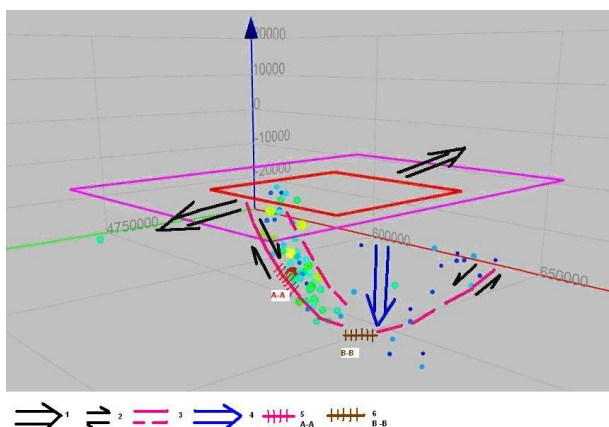
За създаването на сеизмотектонския модел на земетръсното огнище на земетресението с магнитуд 5.8 в района на гр. Перник са привлечени данни за съвременната тектоника, за потенциалните геофизични полета (фиг. 1, 2), отразяващи дълбочинния строеж и сеизмологични данни, “отговорни” за геодинамиката и сеизмотектониката.

Доминиращите сили на екстензия в СИ-ЮЗ посока са довели до коритообразно антитетично разкъсване с ярка проява на листрични ефекти в дълбочина. 3-D визуализацията в дълбочина ясно говори за подобен сеизмотектонски модел. Тук трябва да се отбележи, че за повишаване на точността в определяне на дълбочината на трусовете е въведена “корекция за релеф” и всички стойности са приведени към максимално точния геоид.

Този подход позволява да се каже, че най-дълбоките трусове достигат дълбочини 15-16 km, където листричните разломи вече имат ъгъл на залягане практически равен на 0°. И ако разломяването е започнало с наклони от около 60-70° (което се подкрепя и от ъгъла на залягане изведен от гравиметричните построения), то в дълбочина последващото развитие на сеизмогенезиса, постепенно намалява ъгъла на разкъсване, изклинвайки до нула.

Както е добре известно (Григорова, Григоров, 1964), пространственото разположение на следтрусовете очертава зоната на релаксиране на средата на огнището след разрушението в дълбочина, предизвикано от основното земетресение.

Така се достига до представата, че практически целият обем на средата, е извършил едно бързо, рязко пропадане от няколко сантиметра с коритообразна форма до дълбочини 15-16 km. Това ясно личи от решенията на механизма на главния трус, публикуван от международните сеизмологични центрове, без практически отклонения – движение по чист разсед, без почти никаква хоризонтална компонента. Характерно за случая е наличието на асиметрия в листричното разломяване, особено ясно подчертано в посока Ю-ЮИ. Напречно на тази посока и в рамките на самото огнище (размери на блока 18 x 10 x 15 km) симетрията е значително по-ясно изразена. (Ranguelov, 2013; Ranguelov, Iliev, 2013).



Фиг. 3. Сеизмотектонски модел в 3D проекция: 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 (смята се за източник на относително по-високочестотните колебания); 6 – най-ниска зона на пропадането (смята се за източник на относително по-нискочестотните колебания)

Хипоцентрите на главния трус и последвалите афтершокове са дадени с разноцветни кръгчета. Тяхното пространствено разположение очертава зоната на листрично разломяване. Размерът им е пропорционален на магнитуда. Описанието на динамиката при труса и последвалата афтершокова редица е свързано с използваните символи в легендата на сеизмотектонския модел (фиг. 3).

Големите хоризонтално разположени черни стрелки показват основните сили на екстензия в района. Те са насочени според получения механизъм на труса в посока СИ-ЮЗ. Червените линии (непрекъснати и пунктир) показват границите на антитетичното листрично разломяване. Очертани са на основата на пространственото разположение на следтрусовите, станали в първите десетина дни след главния трус и динамиката на афтершоковия процес. Черните едностранни стрелки показват посоките на движения на блока, пропаднал при земетресението, както и относителното непреместване на неподвижния блок, ограждащ дълбочинната зона на труса. Синята голяма вертикална стрелка е схематично представяне на посоката на пропадане на целия коритообразен блок. Червената щрихирана област А-А е зоната на разрушаване на средата по време на труса и източник на високочестотните

колебания. Кафявата щрихирана зона В-В – е източник на нискочестотните колебания, поради ударния характер на пропадналата част в “дъното” на “котлована”.

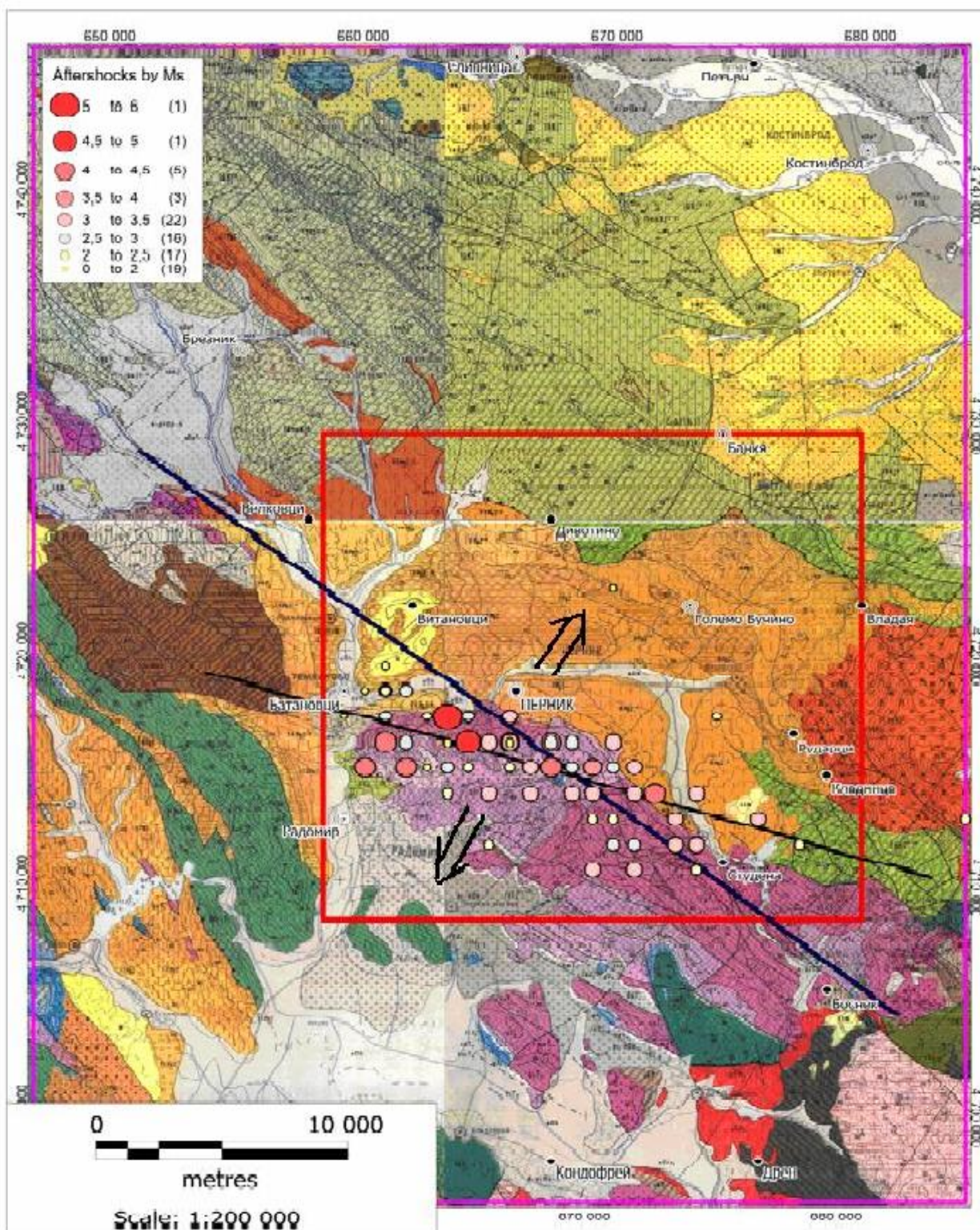
Пространственото разположение на следтрусовата сеизмична активност – “близки и отдалечени” афтершокове, подкрепя създадения модел. Липсата на повърхностни деформации, установена от лазерната интерферометрия се обяснява с относително слабата сила на труса и “поглъщането” на остатъчните деформации, вследствие уплътняване на средата в дълбочина.

### Следтрусова активност – времеви и пространствени особености

Използвани са допълнителни данни за разпределението на афтершоковете (следтрусовите), регистрирани от националната и международни сеизмологични мрежи. Известно е, че разпределението в пространството на следтрусовите свързани с главния трус (особено в първоначалното време на затихване на афтершоковата редица), локализират размера и особеностите на огнището на главното земетресение. В този смисъл, международната практика изисква за по-точна локализация на афтершоковете и следене във времето на следтрусовия процес, в района на епицентъра на всяко по-силно земетресение, да се инсталира локална сеизмична мрежа. Нейните задачи са няколко:

- да регистрира максимален брой следтрусове (това е важно за следене на закона за затихване на афтершоковете) и пространственото им поведение;
- да подпомогне повишаването на точността на определяне на хипоцентрите за по-точно и правилно оконтурване на областта на разрушение на земната среда в огнището на земетресението; това е информация, която има значение не само в близко време, но и в бъдеще, при оценка на подобни по сила трусове; освен това дава знания за това кой сегмент от съответния разлом е активизиран и може ли да се очаква по-силен трус, ако съответната разломна структура има по-голям сеизмогенен потенциал, отколкото е генерирала с главния трус;
- да проследи динамиката във времето и пространството на афтершоковия процес, с което може да укаже по-бързо или по-бавно от средностатистическите параметри на подобни трусове по света се развива процесът; това има сериозно значение за информиране на населението и административните власти, за предприемане на спасителни и възстановителни операции, както и за успокоение на населението.

За изследване на пространственото поведение на афтершоковата активност са използвани данни от различни национални и международни сеизмологични центрове. Независимо от факта, че в района на труса не е разположена допълнителна мобилна локална сеизмологична мрежа за по-точно определяне на местоположението на хипоцентрите на афтершоковата поредица, общите тенденции, установени в дълбочинното и времево-пространствено положение, могат да бъдат доловени и анализирани. Резултатите от това изследване са показани на фиг. 4 и 5.



Фиг. 4. Разположение на афтершоковата активност от 22 май до 31 май, 2012 г.

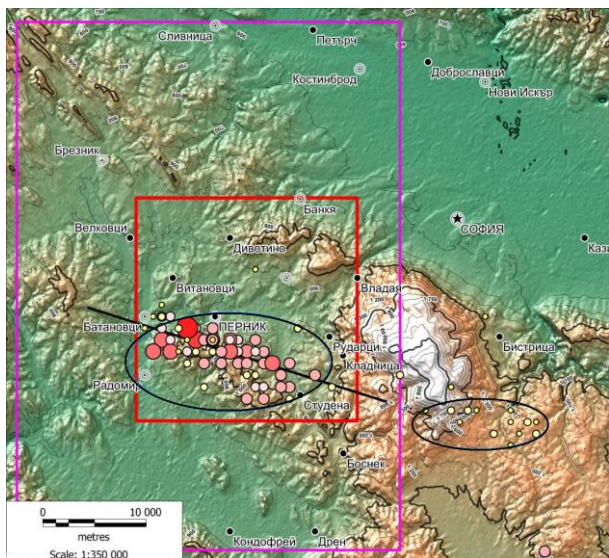
Методологията на това изследване включва:

- анализ и локализиране на първоначалните афтершокове; известно е, че при земетресение с подобен магнитуд, първите десетина дни след главния трус очертават достатъчно добре активизиралото се огнище и отразяват поведението на релаксиращата земна среда;
- изобразяване на епицентрите на главния трус и афтершоковете на фона на геоложката карта на района;

подобно изображение дава по-точна информация за размерите на земетръсното огнище и неговата геометрична конфигурация на повърхността и в дълбочина;

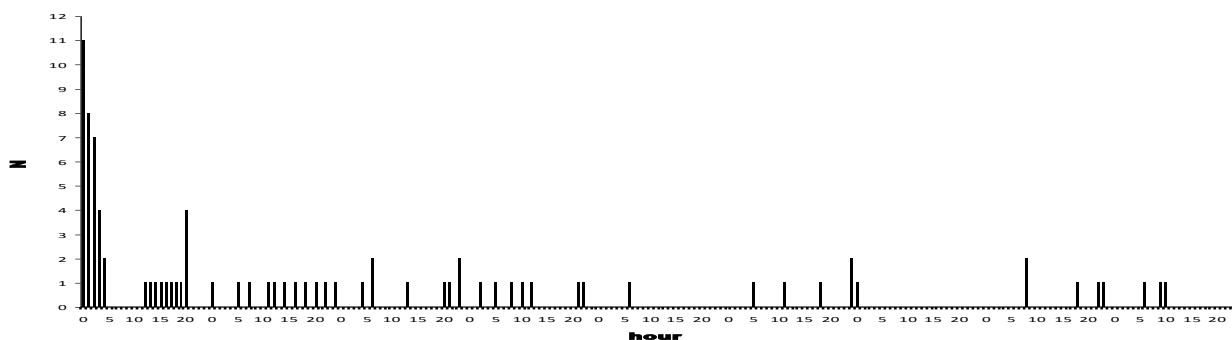
- анализ на разломните структури, които са се активизирали вследствие на земетресението;
- възможна връзка с дълбочинния строеж на района и потенциална връзка с разломи (или други подобни)

структури, намерили отражение в потенциалните геофизични полета – магнитно и гравитационно.



Фиг. 5. Географска карта с изолинии на релефа

Кръгчетата показват епицентри на главния трус и последвалите афтершокове. Размерите на кръгчетата са пропорционални на магнитуда  $M_s$  на сеизмичните събития (в скоби е даден техния брой). Червеният правоъгълник показва размерите на т.н. “малка площ”, а виолетовият – “голямата площ”, в която са локализираните комплексните геофизични изследвания. Черните стрелки показват посоката на екстензионните сили в района. По-късата и по-полегатата черна линия е осредняващата виртуална права за наблюдаваните афтершокове, а по-дългата – виртуалната линия, прокарана по максималните градиенти на потенциалните геофизични полета (гравитационно и магнитно). Разликата между тях е около 20 градуса – точност, напълно приемлива при подобни геофизични изследвания. Черните елипси определят приблизително размерите на огнището на главния трус (западната по-голяма елипса – приблизителни размери – 18 x 10 x 15 km) и размера на областта на “отдалечените” афтершокове (източната, по-малка елипса – приблизителни размери 12 x 5 x 12 km).

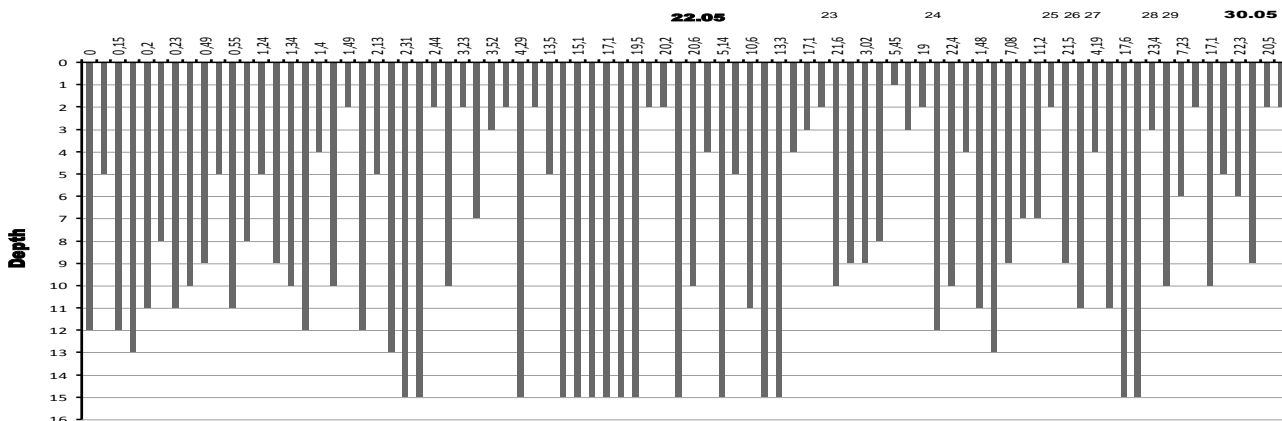


Фиг. 6. Брой на сеизмичните събития във времето до 31 май

### Зависимости между параметрите на афтершоковата активност

Развитието на афтершоковата поредица след земетресението от 22 май, показва значителни особености във времето (фиг. 6). След масовата активност първите 5 часа (над 30 труса – средно по 6 събития на час), следва относително затишие, продължило още толкова. Последващите трусове показват вяла активност, средно по 1-2 земетресения чак до 31 Май. Наблюдаваната зависимост практически не се подчинява на закона на Омори след основния трус, а по-скоро има характер на Поасоново разпределение. Възможно е това специфично поведение да се дължи на листричната тектоника, която не предполага натрупване на нови напрежения (освобождавани от последващи вторични афтершокови серии), а плавен спад на отделяне на сеизмичната енергия. Такъв процес е най-благоприятен сценарий за намаляване на разрушителния характер на афтершоковете. Всеки друг вариант би донесъл допълнителни, доста по-значителни разрушения на вече повредените сгради и съоръжения.

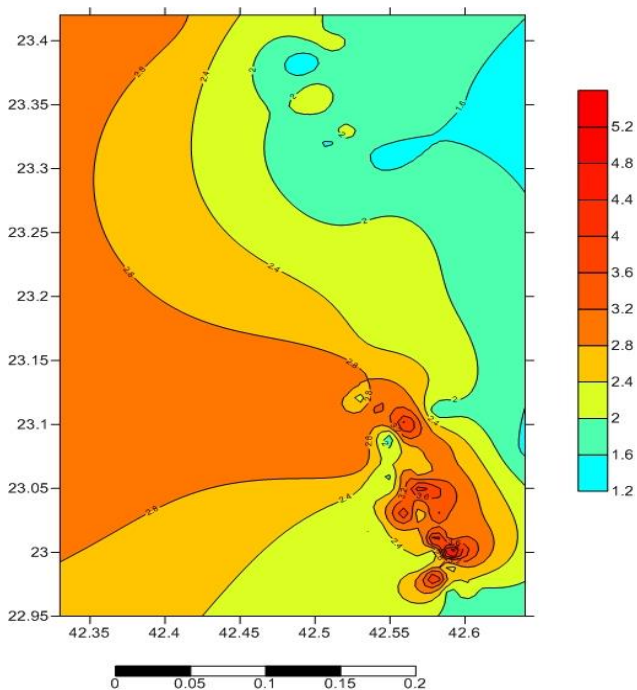
Дълбочинното разпределение във времето на последващите трусове (фиг. 7), подкрепя идеята за антидетично листрично разломяване в огнището на главния трус. Вижда се, че отделената сеизмична енергия има осцилиращо поведение по отношение на дълбочината. Активизира се целият слой на разрушената среда – в целия дълбочинен диапазон. Подобно поведение е продиктувано от екстензионния режим, който очевидно продължава през цялото време на афтершоковия процес. В края на първия ден, сеизмичната активност достига най-дълбоките хоризонти до около 15-16 km и там, като че ли започва да затихва. В следващите дни, все по-рядко се активизира тази най-дълбока част от сеизмогенния разрез. Остро впечатление прави рязката дълбочинна граница от около 15-16 km. Това означава, че под нея сеизмична енергия практически не се натрупва – т.е. дезинтеграцията на земната кора достига своя максимум и няма никаква потенциална възможност да продължи надолу. По общи геофизични съображения, това най-вероятно е долната граница на кристалинния фундамент, притежаващ и най-крехките якостни свойства. Дълбочината на разломяването подкрепя тезата за дълбочинен характер на Пернишкия разлом, но го ограничава в посочените дълбочини.



Фиг. 7. Темпорално дълбочинно разпределение на следтрусовата активност до 31 май

Пространственото поведение на афтершоковете по магнитуд (фиг. 8), представлява аналог на натрупаното и отделено напрежение по време на афтершоковия процес. Вижда се, че максимална сеизмична енергия, емитира областта разположена Ю-ЮИ от СЗ-ЮИ линия на разломяване, оформена от дълбочинното разпределение на след-трусове.

Това показва, че потенциално най-опасна е била именно тази зона. При разполагане на локална наблюдателна мрежа в района на труса и определяне на поведението на хипоцентрите на афтершоковете, с голяма достоверност може да се прогнозира поведението на сеизмична активизация – т.е. кои части от разломната структура и на каква дълбочина е възможно да се активизират и да генерират усетени последващи трусове.

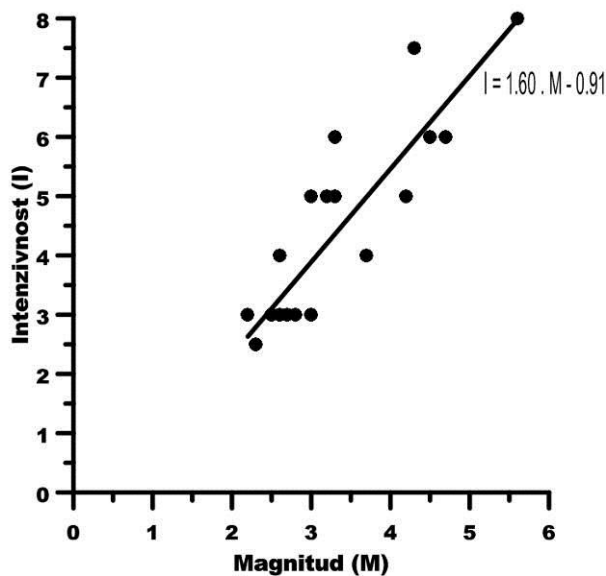


Фиг. 8. Пространствено поведение на напреженията вследствие на следтрусовата активност – разпределение по магнитуд

### Изследвания на усетените следтрусове

Тези изследвания са в пряка връзка с идеята да се конструира и инсталира мрежа за силни земни движения в района на земетръса.

Зависимостта на фиг. 9 дава възможност да се установи линейна връзка с коефициент на корелация 0.92 между магнитуда и наблюдаваната интензивност.



Фиг. 9. Зависимост между магнитуда и интензитета на усетените следтрусове

Корелационното уравнение е:

$$I = 1.6M - 0.91 \quad (1)$$

Тази зависимост показва, че в близката локална област, дори слаби земетресения с магнитуд около 2.0 могат да предизвикат усещания от 2-3 степен. Това, разбира се, може да бъде регистрирано от всеки регистратор на силни земни движения, което е и целта на това изследване. Това разбира се, зависи от тригериращото ниво за всеки прибор, но е достатъчно показателно, че подобна мрежа може да има висока ефективност за района на гр. Перник.

## Заклучение

Проведени са комплексни геофизични изследвания в района на земетресението от 22 май, 2012 г.

Изследвано е поведението на потенциалните геофизични полета (гравитационно и магнитно), на сеизмичността и следтрусовата активност.

Установено е наличието на изтеглениост в СЗ-ЮИ посока на земетръсното огнище, в условията на регионална екстензия с перпендикулярна посока – СИ-ЮЗ.

Построен е сеизмотектонски модел, обясняващ наблюдаваните и регистрирани широкоспектърни силни земни движения. Показано е, че в огнището на труса е развито листрично, антитетично разломяване достигащо до дълбочини 15-16 km.

Демонстрирани са особеностите на труса от 22 май, 2012 година и неговата следтрусова активност.

*Благодарности.* Изследванията са финансирани от Фонд "Научни изследвания", МОН, договор №ДФНИ-Т01/0003.

## Литература

Батанджиев, И., М. Матова, С. Савов. 1966. Пернишкото земетресение (1965 г.) и някои тектонски въпроси. – *Изв. Геол. инст., Сер. Геотект.*, 15, 3, 313-329.

Гочев, П., В. Костадинов, М. Матова, И. Велинов. 1970. Структура на част от южната ивица на Западното Средногорие. – *Сп. Бълг. геол. д-во*, 31, 3, 289-301.

Григорова, Е., Б. Григоров. 1964. *Епицентрите и сеизмичните линии в България*. С., Академично издателство "Проф. Марин Дринов", 81 с.

Моев, М. 1967. Върху тектонския строеж на Голо бърдо. – *Год. ВМГИ*, 13, 5, 147-164.

Радулов, А., М. Янева, С. Шанов, К. Костов, В. Николов, Н. Николов. 2012. Косеизмични геоложки ефекти, свързани с Пернишкото земетресение на 22 май 2012 г., Западна България. – В: *Национална конференция с международно участие "ГЕОНАУКИ 2012"*, Българско геологическо дружество, Сборник Разширени резюмета, 121-122.

Рангелов, Б. 2012. *Разгневената Земя – природните бедствия*. С., Академично издателство "Проф. Марин Дринов", 294 с.

Стоянов, И. 1981. Геоложки строеж и развитие на Западното Средногорие. – *Год. Ком. геол.*, 22, 77-87.

Хаджийски, К., С. Симеонов, Е. Ботев. 2012. Сеизмично въздействие на земетресението от 22. 05. 2012 за София. – *Инженерен форум*, 7, 28-34.

Rangelov, B. 2011. *Natural Hazards – nonlinearities and assessment*. Academic Publishing House "Prof. Marin Drinov", Sofia, 327 p.

Rangelov, B. 2013. Initial steps to the early warning systems in Bulgaria – earthquakes, tsunamis, marine hazards. – In: *Geophysical Research Abstracts*, 15, European Geophysical Union, 8239.

Rangelov, B., T. Iliev. 2013. Geography aspects of the monitoring and early warning seismic system in Bulgaria. – In: *3<sup>rd</sup> International Geography Symposium. 10-13 June, Kemer, Turkey, Proceedings*, 287.