

## Доц. д-р Емил Ботев

НИГГГ – БАН  
 Департамент Сеизмология  
 София 1113,  
 ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 3  
 E-mail: ebotev@geophys.bas.bg



**Ем. Ботев** е завършил специалност Геофизика в СУ (1979). През 1985 г. защитава докторска дисертация в Института по физика на Земята към АН СССР в Москва. Постъпва в ГФИ – БАН, където се занимава с изследване строежа на средата чрез скоростно моделиране. От 1986 г. е включен към НОТССИ (от 1997 до 2005 г. я ръководи). През 1996 г. е избран за ст.н.с. (дн. доц.). През 2002-2005 г. е зам.директор на ГФИ-БАН, а от 2007 г. ръководител на отдела по Сеизмология към ГФИ (от 2010 г. Деп. Сеизмология в НИГГГ – БАН). От 1997 до 2009 г. е научен секретар на Експертния съвет по сеизмична опасност към Правителствената комисия за защита на населението от природни бедствия, аварии и катастрофи. От 2011 г. е член на УС на Фонд „Научни изследвания“. Има над 140 публикации в страната и в чужбина, посветени на сеизмичността, сеизмотектониката, геодинамиката, съставянето и унифицирането на каталози на земетресенията, оценката на сеизмичния риск, изучаването на регионалното сеизмично поле в България, сеизмичното райониране и др.



## МОНИТОРИНГ НА СЕИЗМИЧНОСТТА В БЪЛГАРИЯ

### Националната оперативна телеметрична система за сеизмологична информация (НОТССИ)

НОТССИ е създадена през 1980 г. поради необходимостта от непрекъснато следене на сеизмичността на територията на България и на съседните страни с цел изучаване, прогнозиране и експресно осведомяване на обществеността за своевременни действия при земетръсни бедствия (Самарджиев и др., 1982). Системата оперира на основата на модерна цифрова мрежа от 15 регионални сеизмични станции и 3 локални сеизмични мрежи (ЛСМ) с най-малко 10 станции (ЛСМ „Козлодуй“, ЛСМ „Белене“ и ЛСМ „Провадия“) – фиг.1 (Солаков и др., 2005). В изпълнение на основната задача на НОТССИ – изпращане на бързовременна информация за сеизмичната обстановка към Гражданска защита и Министерски съвет – в Централния оперативен пункт (ЦОП) на НОТССИ (в сградата на НИГГГ – БАН) и в регионалните сеизмични станции е организирано 24-часово дежурство за осигуряване



**Фиг. 1.** Сеизмични станции, използвани от НОТССИ (Национална оперативна телеметрична система за сеизмологична информация)

**Fig. 1.** Seismic stations, used by NOTSSI (National Operative Telemetrical System for Seismic Information)



**Фиг. 2.** Част от сеизмичното оборудване на НОТССИ  
**Fig. 2.** Part of the seismic equipment of NOTSSI



**Фиг. 3.** Непрекъснат мониторинг на сеизмичността – компютърна зала в оперативния център на НОТССИ  
**Fig. 3.** Continuous monitoring of seismicity – computer room in the Operational center of NOTSSI



**Фиг. 4.** Сградата на Геофизична обсерватория "Витоша"  
**Fig. 4.** Building of the Geophysical Observatory "Vitosha"

на непрекъснатата регистрация и анализ на сеизмичните сигнали. Основната задача на квалифицирания екип от дежурни сеизмолози в ЦОП е да определи характеристиките на регистрираните земетресения и в случай на опасност за осезаемо въздействие върху хора, сгради и съоразения на територията на страната, да алармира Щаба на Гражданска защита и Министерския съвет. При по-силни земетресения у нас и на Балканите сеизмичните данни се изпращат в съседни и международни сеизмични центрове. Заедно с това, дежурните сеизмолози в НОТССИ отговарят за обработката, анализа и класификацията на цялостната сеизмична информация в ежедневни бюлетени и банка данни за последващи научни изследвания. Обработеният седмичен сеизмичен бюлетин е в основата на регулярния международен обмен на информация в спокойна сеизмична обстановка.

Специализираната апаратура в НОТССИ е съобразена с необходимостта от непрекъснат мониторинг на сеизмичността и осъществяване на полеви изследвания непосредствено след земетресение с въздействие върху сградите, съоразенията и хората. Най-важните специализирани апаратурни елементи в процеса на изброените дейности са сеизмоприемниците, дигитайзерите, сървърите и някои базови комуникационни елементи. Основните сеизмоприемници в експлоатация са: S13 – 14 бр., Guralp CMG40T – 8 бр., Geophone GS11D – 6 бр., KS 2000 – 3 бр., CMG 3ESPC – 2 бр., STS2 – 2 бр., STS1 – 1 бр., Акселерометър 131A – 1 бр. Основните дигитайзери са: DAS 130 – 20 бр., Q330 – 2 бр., Q380 – 1 бр., GeoSig – 3 бр. Част от изброените устройства се виждат на фиг. 2. В момента при усилена експлоатация в ЦОП работят 2 сървъра SUN (Fire V240) под Соларис и 1 под Линукс, както и множество комуникационни рутери и суичове.

Освен за непрекъснат мониторинг на сеизмичността и осъществяване на полеви изследвания непосредствено след по-силно земетресение, апаратурата в НОТССИ се използва и за сеизмично райониране, сеизмично микрорайониране, сеизмични експертизи, становища и рецензии на национално, регионално и локално нива. Апаратурните и софтуерни възможности позволяват провеждането на дълготраен мониторинг и оценка на сеизмичната опасност (и сеизмичния риск) за различни

обекти в сеизмоактивните зони на страната. Основни потребители са: Министерски съвет, Министерство на Вътрешните работи, ДА „Гражданска защита“, АЕЦ „Козлодуй“, АЕЦ „Белене“, „ПровадСол“, МРРБ, ДП „РадиоАктивниОтпадаци“, Агенция за устойчиво развитие и евроинтеграция (АУРЕ) и др.

За осъществяване на непрекъснатия мониторинг на сеизмичността в НОТССИ се използва най-модерна система за висококачествен пренос на данни в реално време при ниски комуникационни разходи (фиг. 3). Капацитетът на комуникациите позволява в бъдеще да се разшири диапазонът на наблюдаваните геофизични полета, които ще могат да се предават в същата мрежа. В ЦОП са инсталирани специализирани софтуерни програми, осигуряващи пряка връзка с широк спектър от потребители на сеизмологичната информация. Софтуерът осъществява комуникация, контрол на състоянието на станциите и сбор на данните от цялата мрежа в страната, като създава и основната банка данни – както непрекъснати времеви файлове за всеки ден и станция, така и файлове на всяко установено събитие. Той позволява и реално-времева детекция на сигнала на базата на комплекс от процедури. Съществено предимство на софтуерния модул е възможността за намеса на оператора в процеса по всяко време, без прекъсване на автоматичната обработка. Допълнителни модули на софтуера са програмите, които предлагат функции за последващ, специализиран анализ на сигналите, който позволява подобряване на идентификацията на встъплението и локализацията на събитията.

Освен за обслужване и поддръжка на системата за пренос на данни, в НОТССИ се влагат много сили и средства за: поддръжка на сеизмичните станции (фиг. 4), поддръжка на скъпоструваща регистрационна телеметрична техника в ЦОП и станциите; поддръжка и работа при аварийни условия на свързочни средства, акумулатори и агрегати; поддръжка на наблюдения в сеизмични станции при планински условия и извън населени места без регулярен транспорт; непрекъснатата взаимовръзка с Щаба на Гражданска защита и други органи за държавно управление, а така също с международните сеизмични центрове и средствата за масова информация.

Мониторингът на сеизмичността в страната цели непрекъснатото следене и изясняване представата ни за сеизмогенния процес както за територията на България, така и за отделните сеизмоактивни зони. За изясняване природата на земетръсни прояви се предвижда непрекъснато проследяване на пространственото, времево и енергетичното разпределение на сеизмичните събития, както и уточняване на дълбочинния строеж на средата и разпределението на полето на напреженията в нея.

По такъв начин основните цели на мониторинга на сеизмичността биха могли да се формулират като:

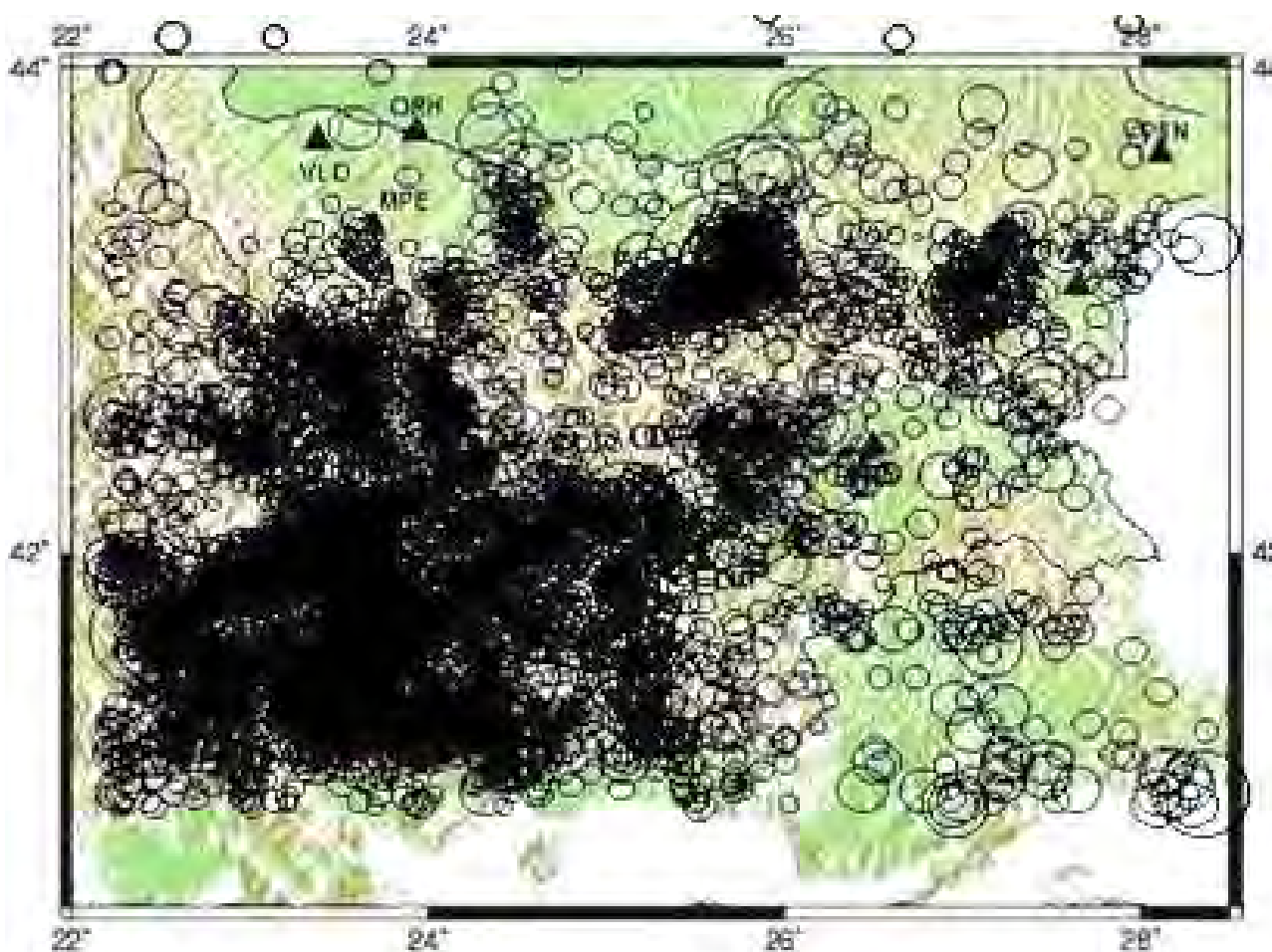
- Систематизация и анализ на цялостната сеизмична информация от националната и локалните сеизмични мрежи;
- Детайлни сеизмологични изследвания на областите с изяви на прояви на слабата сеизмичност за получаване на детайлна картина на сеизмичността в сеизмоактивните зони;
- Изучаване на механизма на земетресенията и определяне полето на напреженията в земните недра за отделните сеизмоактивни зони;
- Детайлизиране строежа на земната кора в сеизмоактивните зони с привличане на нови данни от взривни и сеизмологични източници при регистрация на новите станции и локалните сеизмични мрежи;
- Идентификация и изследване на дълбочинното разпределение на сеизмогенните свойства на отделните активни структури в зоните;
- Комплексна интерпретация на цялостната информация и оценка на развитието на сеизмотектонския процес (и сеизмичния потенциал) в сеизмоактивните зони.

В основата на мониторинга на сеизмичността са заложили основните дейности, извършвани от екипа дежурни сеизмолози в ЦОП на НОТССИ: контрол, поддръжка и обработка на агрегатите, средствата и носителите на аналогова и цифрова сеизмологична информация, която се събира в сеизмологичния център. Обработката на сеизмичната информация от аналоговите и цифровите сеизмограми и последващата интерпретация се осъществява в процеса на съвместна обработка и анализ на данните от всички станции на НОТССИ с крайна цел подготовка на списък с параметрите на сеизмичните събития, регистрирани от мрежата. Тази интерпретаторска функция е възложена на висококвалифициран състав от сеизмолози (като правило, научни сътрудници), който отговаря на изискването резултатите да се използват директно за научни цели. Извършваната ежедневна работа се състои преди всичко в: цялостен анализ на записа на сеизмограмите и оценка на природата на източника на регистрираните сигнали, разпознаване на полезната сеизмична информация (записа на земетресения или експлозии), определяне (и означаване) вида и качеството на записа на регистрираните събития (следи, слабо, локално, регионално, далечно земетресение или взрив); подбиране и описание на различните видове фази на сеизмичните вълни, оценка на тяхното качество и посоката на първото встъпване, прецизно измерване на времето на поява на всяка подбрана фаза; определяне на епицентралното разстояние в km (при наличие на повече от една фаза на сеизмичните

вълни); измерване на видимата продължителност на записа в секунди; измерване на максималната амплитуда и съответстващия и период на Р и S вълните за по-ясно записаните земетресения; подреждане на първичните данни за регистрацията на сеизмичните събития и съставяне на работния сеизмологичен бюлетин; въвеждане на данните в компютър и съвместна интерпретация с помощта на изчислителна програма – всички изчисления на фокалните параметри се извършват с помощта на подбран скоростен модел, а магнитудът е оценен с унифицирани формули по продължителността на записа и амплитудите на Р и S вълните (Christoskov & Samardjieva, 1983; Solakov, 1993); съставяне на каталога и окончателния бюлетин за регистрацията на сеизмичните събития през денонощието; оценка на макросеизмичната ситуация за случаи на възможност за усещане на земетресение в близост с територията на страната; архивиране на резултатите от цялостната обработка във вид на компютърни файлове

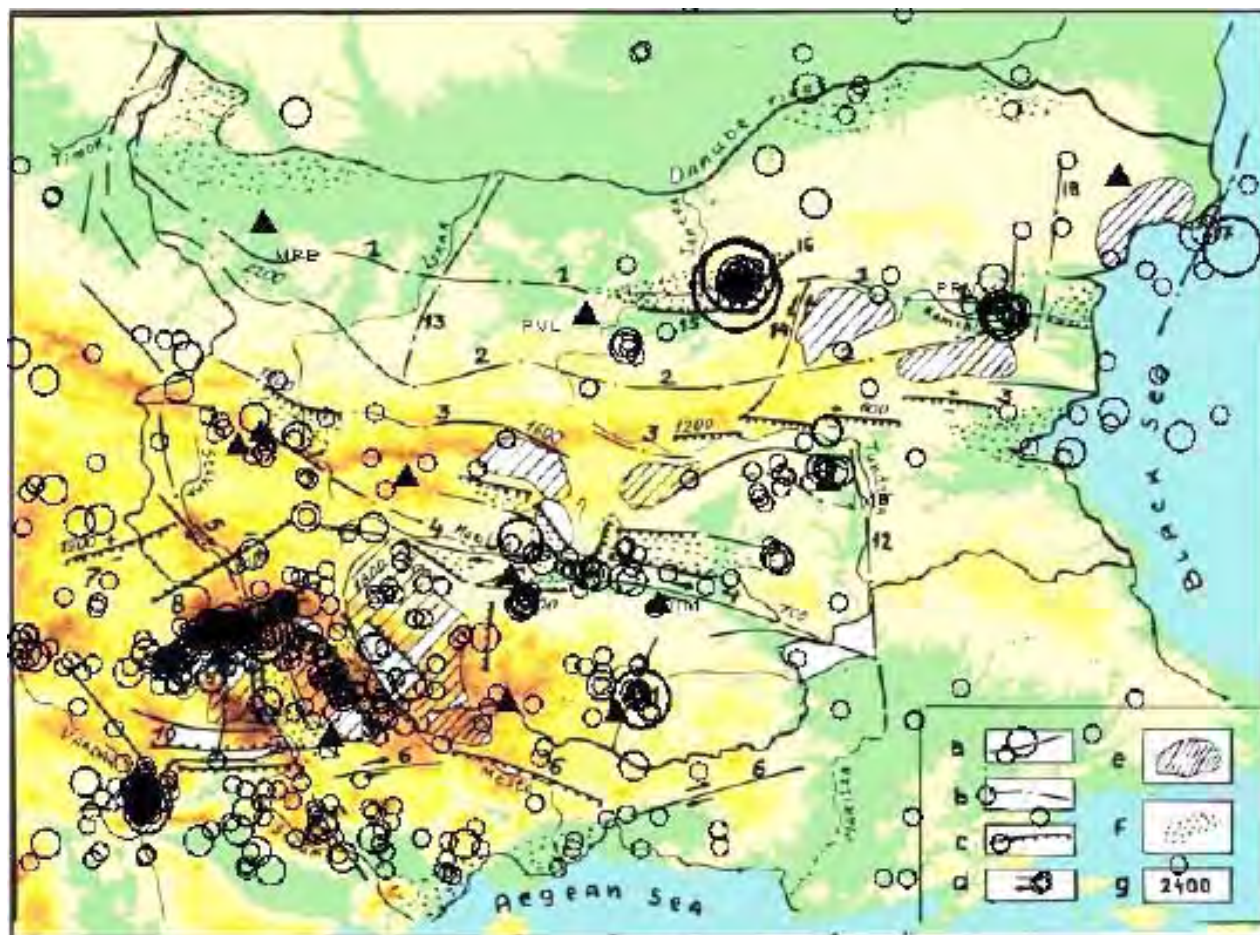
с всички бюлетинни и каталожни данни. В процеса на мониторинга на сеизмичността се осъществява и периодичен (ежеседмичен) контрол на качеството на обработка, анализ и съхранение на сеизмичната информация от аналоговите сеизмограми.

Високата чувствителност на сеизмоприемниците и натрупаният опит в интерпретаторската работа на сеизмолозите позволява уверената локализация на събития с магнитуд  $M > 1,5$  за по-голямата част от страната. При подходящо разположение на епицентрите спрямо геометрията на регистриращата мрежа успешно се локализират и събития с по-нисък магнитуд – до  $M = 0,5$ . По такъв начин за около 30-годишния период от създаването на НОТССИ (през м. юли 1980 г.) на територията на България и прилежащите земи ( $\lambda = 22^\circ\text{--}29^\circ\text{E}$  и  $\varphi = 41^\circ\text{--}44,5^\circ\text{N}$ ) са локализирани със съответната точност 29 960 земетресения с магнитуд  $M > 0,5$  (фиг. 5). Най-силното за този период земетресение с магнитуд  $M = 5,7$  става източно от Стражица на 07.12.1986 г. Преобла-



Фиг. 5. Епицентри на земетресенията, регистрирани от НОТССИ за периода 1980–2010 г.

Fig. 5. Epicenters of earthquakes registered by NOTSSI for the period 1980–2010



**Фиг. 6.** Епицентралното разпределение на земетресенията за 1980–2010 с  $M > 3,0$  на фона на тектонска схема на България и прилежащите земи

**Fig. 6.** Epicentral distribution of earthquakes for 1980–2010 with  $M > 3$ , on the background of the tectonic scheme of Bulgaria and its adhering lands

даващият брой сеизмични събития са реализирани в югозападната част на наблюдаваната територия. Тук са локализирані повечето по-слаби събития (макар и с по-ниска точност), в това число и такива с магнитуд  $M < 1,0$ . Възможно и поради тази причина в югозападната част се наблюдава повсеместно разпределение на епицентрите без явно групиране около известните огнища на земетресения. Тези особености на епицентралното разпределение, както и известните проблеми за разграничаване на записите на най-слабите сеизмични събития от тези на промишлените взривове, ни задължават да се отнасяме с известна предпазливост към резултатите от анализа на най-слабата сеизмичност на България.

### Териториално разпределение на сеизмичността в България

По-долу подробно се анализират данните само за по-силните земетресения (с магнитуд  $M$

$> 3,0$ ), които са с най-висока точност на хипоцентралните параметри и на потенциала за усещане от населението. Техният брой за периода 1980–2010 г. е сведен до 565, най-надеждно регистрирани от НОТССИ в област с координати  $\lambda = 22^{\circ}$ – $29^{\circ}$ E и  $\varphi = 41^{\circ}$ – $44,5^{\circ}$ N. Териториалното им разпределение се корелира с разположението и особеностите на тектонските разломни структури и проявите на съвременни вертикални и хоризонтални движения (фиг. 6).

Като цяло, за територията на страната се наблюдава връзка на сеизмичните прояви с местоположението на по-големите разломни структури. Прави впечатление засебяването на няколко разломни процеса с напречно на Струмската разломна система линеаментиране – около Крупнишкия, Ковачевския и Беласишките разломи. Неотектонската и съвременната активизация на Крупнишкия линеаментен възел е неоспорима – сумарната ам-

плитуда на вертикалните движения по този разлом от кватернера досега се изчислява на повече от 3400 м. Интересна е и разломната тектоника на района, разположен на юг от Крупнишкия възел – наличие на няколко разломни структури с почти паралелно простиране, ограничаващи от юг и север планините Беласица и Огражден. Те отново са разположени напречно на Струмския линеамент и определят засилената сеизмична активност в югозападния “ъгъл” на страната.

Най-високо сеизмична е югозападната част на България. Тук земетръсните прояви са концентрирани в тесните области на контакт между Рила и Пирин и долината на р. Места (контакта между Западните Родопи и Пирин). С Крупнишкия разлом се свързват и двойката земетресения, станали на 4 април 1904 г., едното от които се счита за най-силното корово земетресение в Европа през ХХ в. (Christoskov & Grigorova, 1968). Картата на епицентралното разпределение показва, че сеизмичният процес се развива в почти запад-източна посока. На изток той достига до Разлог, а на запад – до субекваториално разположения разлом към с. Кочани в Македония. На юг от Крупнишкия възел е разположено Валандовското огнище, чиито прояви могат да се свържат със сеизмичната активност на крайните югозападни покрайнини на Петричка област. Това огнище проявява много висока активност след 24 май 2009 г., когато става земетресение с  $M = 4.9$  и продължителна афтершокова серия от над 1500 земетресения. Възможна е връзка на тукашната сеизмичност с най-силните земетръсни прояви в съседство на българска територия – трите земетресения с  $M = 4.0$ , реализирани около Петрич. Основание за това ни дава и разломната тектоника на района – наличие на няколко разломни структури с екваториално простиране, ограничаващи от юг и север Беласица и Огражден. На фона на равномерната слаба сеизмичност по Местенската сеизмична зона може да се набележи засебяване на разломен процес с линеаментиране паралелно на Крупнишкото в района на с. Ковачевица (между Гоце Делчев и Разлог). Най-силното известно досега земетръсно огнище в зоната – Разложкото, известно със земетресението си през 1910 г. с  $M = 5.4$  (VII–VIII степен по МШК-64) (Christoskov & Grigorova, 1968), е в относително затишие.

Мизийската платформа е с относително ниска сеизмична активност, което отговаря на настоящия етап от нейната тектонска еволюция. За изследвания период спорадично се проявява Разградската сеизмична зона, където през 1942 г. е станало земетресение от VII степен по МШК-64. Прави впечатление отсъствието на изявена силна сеизмичност в Шабленската сеизмична зона, известна с

катастрофалните си земетресения отпреди новата ера и в началото на ХХ в. (1901 г.: IX–X степен по МШК-64) (Christoskov & Grigorova, 1968). Областта на контакт на Черноморския басейн с континенталната част на платформата е в относително сеизмично затишие до 5 август 2009 г., когато земетресение с  $M = 4.8$  в акваторията на Черно море разтърсва района на Камен бряг с интензивност от VII степен по МШК-64.

По-висока активност проявява друг тектонски контакт на Мизийската платформа – със северната крайнина на Централни и Източни Балканиди. Епицентрите на земетресенията са разположени в Предбалканската ивица около добре известни огнищни райони. Повече от 30 събития с  $M > 3.0$  са станали около района на гр. Стражица, разположен в източната част на Горнооряховската сеизмична зона (известна със силното си земетресение от 1913 г.: VIII–IX степен по МШК-64, Christoskov & Grigorova, 1968). Реализирането на тези земетресения във времето ни задължава да свържем процеса на активизация тук с афтершоковата поредица, съпътстваща земетресението с  $M = 5.7$  от 1986 г. Тук е очевидно влиянието на разломните структури по източния и южен борд на Ресенския ров. Интересното е, че по-активната Стражишка разломна линия е с косо простиране по отношение на първостепенния Предбалкански разломен линеамент. Аналогична е активизацията на разломите в Провадийската сеизмична зона – епицентралната картина показва раздвижване на субмеридионалните разломи по източния борд на Провадийската депресия – отново косо на първостепенния Предбалкански линеамент. Сравнително висока е сеизмичността и в източната част на Предбалкана – в района на Шумен и Провадия. Повече от 45 са сеизмичните събития в Провадийската сеизмична зона, като 7 от тях са с  $M > 4.0$ , а при последното от тях (2003 г.) бе отбелязана и максимална 7 степен на въздействие по МШК-64. За тази сеизмична зона не са известни данни за катастрофална историческа сеизмичност, но тя представлява голям интерес поради концентрацията на скъпо струващо промишлено и гражданско строителство.

През наблюдавания период се реализира и очакваната по-значима активност по южните маргинални зони на контакт на Балканидния ороген с по-стабилния Родопски срединен масив (Маришка сеизмична зона). Независимо, че по общ брой на земетресенията Средногорската структурна зона превишава Предбалканската, прави впечатление значително по-малък брой на по-силните земетресения. Характерни са двете афтершокови поредици на земетресенията с  $M > 4.0$  в Крумово (Пловдивско) и Ямболско през 2002 и 2001 г., които

предизвикаха безпокойство и уплаха сред населението поради множеството повреди (максимална интензивност на въздействието от 6–7 степен по МШК-64). За отбелязване е уникалното земетресение източно от Хисаря (1992 г.), което въпреки относително високата си магнитуд ( $M = 4,2$ ), не е последвано от афтершокова поредица. Възможно е този феномен да е свързан със сеизмична проява на разлом, съпътстващ Задбалканския разломен линеамент, който е в относително затишие през наблюдавания период.

Известна активност на земетресенията се наблюдава във вътрешността на Родопската сеизмична област. Тук най-силните земетресения са с  $M = 4,5$  (в района на Кърджали, 2006 г.) и с  $M = 4,1$  (в района на Девин, 1994 г.). Характерна за земетресението през 2006 г. бе продължителната следтрусова поредица, довела до значителен обществен резонанс в Кърджали и необосновани граждански "прогнози" за предстоящ катастрофален катакли-

зъм. В тектонско отношение трябва да отбележим, че десетината земетресения в централната част на Родопската област вероятно отразяват съвременните процеси на дезинтеграция на иначе стабилния Родопски масив.

Значителен брой земетресения маркират Маришкия разломен линеамент и неговото продължение на запад – Витошкия разсед. Тези райони са достатъчно известни с катастрофалните си земетресения в района на Пловдив през 1928 г. (X степен по МШК-64 при Поповица и Чирпан) и София през 1858 г. (IX–X степен по МШК-64) (Christoskov & Grigorova, 1968). За отбелязване е продължителното затишие на по-силните сеизмични процеси в Софийската зона, известна с относително честите си прояви на по-силна земетръсност. Последното софийско земетресение с по-силно обществено въздействие е от 15 ноември 2008 г. с максимална интензивност от VI степен по МШК-64 и относително слаб магнитуд ( $M = 3,9$ ).

## Литература

Самарджиев, Д. и др. Национална оперативна телеметрична система за сеизмологична информация. – БГС, 1982, № 4, 5–11.

Солаков Д. и др. Национална сеизмологична мрежа – съвременно състояние и развитие. – Сборник от доклади на Научно-практическата конференция по управление в извънредни ситуации и защита на населението., БАН, С., 2005, 265–272.

Christoskov L. and E. Grigorova. Energetic and space characteristics of the destructive earthquakes in Bulgaria since 1900. – *Izv. BAS*, 1968, vol XII, 65–83.

Christoskov L. and E. Samardjieva. Investigation on the duration of the seismic signals like an energetic characteristic of the earthquakes. – *BGJ*, 1983, vol. IX, N 1, 28–37.

Solakov, D. An algorithm for hypocenter determination of near earthquakes. – *Bulg. Geophys. J.*, 1993, 19 (1), 56–69.

## MONITORING OF SEISMICITY IN BULGARIA

Assoc. Prof. **Emil Botev**, Ph.D.

National institute of Geophysics, Geodesy and Geography – BAS

### Summary

This paper presents a description of the recent seismological network and seismic monitoring in Bulgaria and its adjacent lands for the time since the start of the seismic network (1980) up till now. A map of the epicenters of about 30 000 earthquakes of magnitude  $M > 0.5$  has been presented, covering the Balkan peninsula parts limited between latitude  $41^{\circ} - 44,5^{\circ}$  N and  $22^{\circ} - 29^{\circ}$  E longitude. More detailed analysis is made of the territorial distribution and tectonic correlation of 565 earthquakes with magnitude  $M > 3.0$ .