

СЕЙЗМИЧНОСТ НА ТЕРИТОРИЯТА НА БЪЛГАРИЯ И ПРИЛЕЖАЩИТЕ ЗЕМИ ПО ДАННИ НА НОТССИ ЗА 2021

М. Попова, Е. Ойнаков, Й. Милков, В. Бучакчиев, Д. Драгомиров

Национален институт по Геофизика, Геодезия и География, БАН, ул. "Акад. Георги Бончев",
бл.3, София, България, e-mail: m.popova022@gmail.com

DOI: 10.34975/bgj-2021.44.10

Абстракт. В настоящото проучване е изследвана сеизмичността през 2021 г. Представено е разпределението на епицентрите на 258 земетресения, с магнитуд $M \geq 2.5$, наблюдавани през разглеждания период на територията на България и близките околности (в периметър, ограничен от географска ширина $\phi = 41^\circ - 44.5^\circ N$ и географска дължина $\lambda = 22^\circ - 29^\circ E$), регистрирани от Националната Оперативна Телеметрична Система за Сеизмологична Информация (НОТССИ). Определени са пространствените, дълбочинни и енергетични параметри на разглежданите събития. В изследвания период се наблюдават прояви в почти всички сеизмогенни зони на страната, като е отчетена най-висока активност в югозападната част от територията на България.

Ключови думи: България, земетресение, сеизмичност

Въведение

Земетресението е природно явление, определящо се от голям брой фактори, които не могат да бъдат непосредствено наблюдавани. За сеизмично застрашените области, земетресенията представляват неделима част от околната среда. Ефектите от този тип събития са функция на редица фактори, вариращи в широки граници, които могат да бъдат адекватно моделирани въз основа на физически съображения и надеждни сеизмологични наблюдения.

Балканският полуостров е един от активните райони в Алпо-Хималайския сеизмичен пояс. Основната част от земетресенията в този район са с дълбочини до 60-70 km. Сравнително малката дълбочина на земетресенията силно увеличава

степената на въздействие върху земната повърхност. Междиннофокусни събития (с дълбочина 100-200 km) се генерират само в района на Вранча и Хеленската арка. Хеленската арка се счита за сложна зона на субдукция на Африканската плоча под Евроазиатската. Голямата дълбочина на земетресенията в района на Вранча силно увеличава площта на въздействие.

България е разположена в централната част на Балканския полуостров, който от тектонска гледна точка е част от континенталната граница на Евразия. Тази граница се намира между Европейския континент (Мизийска платформа) на север и офиолитовите структури (Вардар и Измир-Анкара) на юг. Неотектонските движения на Балканския полуостров са контролирани от екстензионалният колапс на късния алпийски ороген и са под влиянието, както на процесите, протичащи зад Егейската арка, така и на сложните вертикални и хоризонтални движения в Панонския регион (Solakov et al, 2019). От сеизмологична гледна точка България е разположена в Алпо-Хималайския сеизмичен пояс, който се характеризира с висока сеизмична активност.

България е страна характеризираща се с умерена сеизмична активност. През вековете на територията на страната са генерирани няколко силни земетресения. Първото добре документирано земетресение на територията на България е земетресението от I в. пр. н. е. в Черно море край град Каварна. В югозападна България на 4 април 1904 г. е регистрирано и едно от най-силните плиткни земетресения на територията на континентална Европа от 20-ти век (в началото на 20 век от 1901 до 1928 г. на територията на страната се реализират 6 силни земетресения с магнитуд по сеизмичен момент $M_w \geq 6.0$).

Началото на българската сеизмология датира от 1891 г. и е поставено от Спас Вацов. По това време той е директор на Централна метеорологична станция в София. Спас Вацов организира мрежа от кореспонденти за наблюдение на усетените земетресения в България (Watzof S., 1902). Периодът на българската историческа ера завършва през 1905 г., когато сеизмографът тип Omorri-Voch е монтиран в първата сеизмологична станция в град София.

Националният институт по геофизика, геодезия и география (НИГГГ) - БАН осъществява непрекъснат мониторинг на сеизмичността чрез Национална сеизмична мрежа – НОТССИ. НОТССИ е основана в края на 1980 г. В началото данните от сеизмичните станции са предавани в реално време чрез аналогови телефонни линии до центъра за данни, а параметрите на регистрираните сеизмични събития са оценявани ръчно. През 2006 г. както сеизмологичната мрежа, така и информационният център са модернизирани със съвременен цифров оборудване и е организирана автоматична обработка на данни (Christoskov, 2019). В центъра данните се събират в реално време от 26 български станции и редица станции от съседни страни, което повишава точността на хипоцентралните оценки. Между 2005 и 2010 г. почти всички станции са модернизирани и оборудвани с широколентови сеизмометри. Данните в Националния Сеизмологичен център в НИГГГ - БАН се предават в реално време. След това те се архивират във формат PASSCAL и допълнително в широко използваемия формат miniSEED. Данните се обработват автоматично (разпознават се съответните сигнали и се оценяват параметрите на земетресението) от

програмата Seismic Network Data Processor - S NDP. През последните години броят на сеизмичните станции нараства значително и в края на 2019 г. е 40. В момента сеизмологичният център е модернизирал със софтуер SeisComP3 за реално времеви трансфер и автоматична обработка на данни, който се използва широко в сеизмологичната общност и центровете за данни (Christoskov, 2019).

Високата чувствителност на сеизмографите позволява регистриране и обработка на голям брой регионални и локални земетресения. Установени са различни по магнитуд долни прагове за надеждно определяне на регионални и локални земетресения: с магнитуд по сеизмичен момент $M_w=2.5$ за територията на България, $M_w=3.0$ за централната част на Балканите и $M_w=5.0$ за регионални събития.

Трябва да се отбележи, че с повишаване качеството на регистрацията на събитията, се подобрява анализа на разпределението им в пространството, времето и се предоставя възможности за прилагане на по-сложни методи като оценка на полето на напрежение (наред с други изследвания в Simeonova 2015 и Protopopova 2020) и оценка на параметрите на сеизмичния източник с помощта на спектралните характеристики (както са представени в Raykova 2019, 2020a, 2020b).

Настоящата работа съдържа обобщена информация за резултатите от обработката и предварителния анализ на изходните данни за регистрираните от НОТССИ сеизмични събития за 2021 година.

Методология при обработка на данните

Основните кинематични параметри и магнитудът на земетресенията се оценяват посредством адаптация на широко разпространения продукт НУРО'71 (Solakov, 1993). По настоящем магнитудът M_p се определя по формулата (Christoskov et al, 2011a, b):

$$M_p = \log \left(\frac{A}{T} \right)_{\max} + \sigma_{BB}(\Delta) + s_j, \quad (1)$$

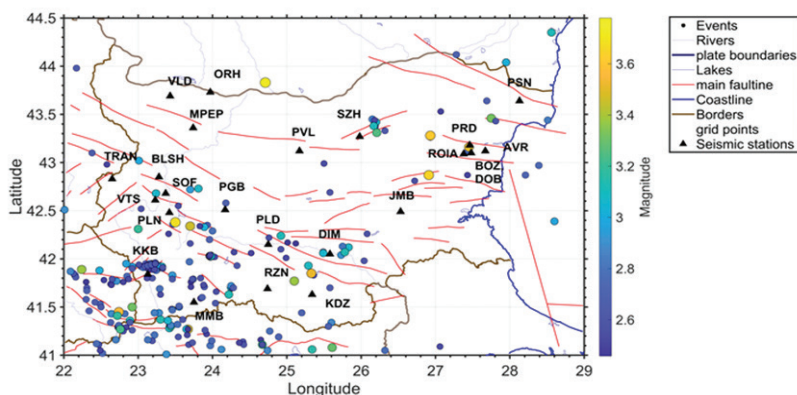
където $\left(\frac{A}{T} \right)_{\max} = \frac{V_{\max}}{2\pi}$, A е амплитудата в μm , T е периода в секунди (s), а $V_{\max}$ е максимална скорост в Р-фазата, регистрирана на вертикалната компонента на широколентовия сеизмограф на епицентрални разстояния по-малки от 10° , $\sigma_{BB}(\Delta)$ е калибровъчна функция; и s_j е j станционна магнитудна корекция.

В настоящето изследване M_p се трансформира в по-надеждната и по-широко използвана магнитудна скала M_w , което би позволило създаването на единен и хомогенизиран каталог на земетресенията, необходим за надеждна оценка на сеизмичния хазарт на територията на страната и околностите. Магнитудът M_p се трансформира в M_w чрез формулата (Solakov et al, 2018):

$$M_w = 0.93 * M_p + 0.31 \quad (2)$$

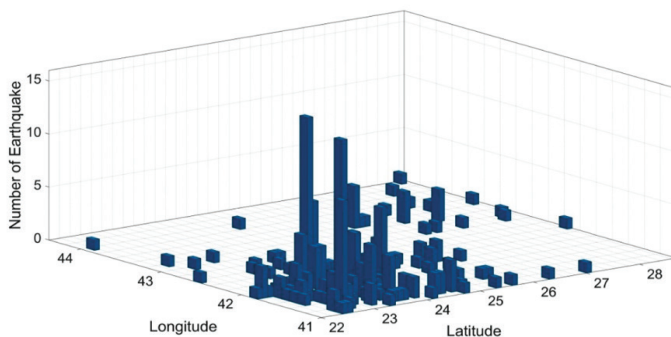
Пространствено – времево и енергетично разпределение на земетресенията

На фигура 1 е представено пространственото разпределение на епицентрите на земетресенията реализирани през 2021 г. Извадката съдържа 258 събития, в магнитуден интервал $2.5 \leq M_w \leq 4.0$, генерирани в пространствен прозорец с координати $41^\circ - 44.5^\circ \text{ N}$ и $22^\circ - 29^\circ \text{ E}$. На картата са изобразени и активните разломи в разглежданата територия по данни от: GEM Global Active Faults (<https://github.com/GEMScienceTools/gem-global-active-faults>).



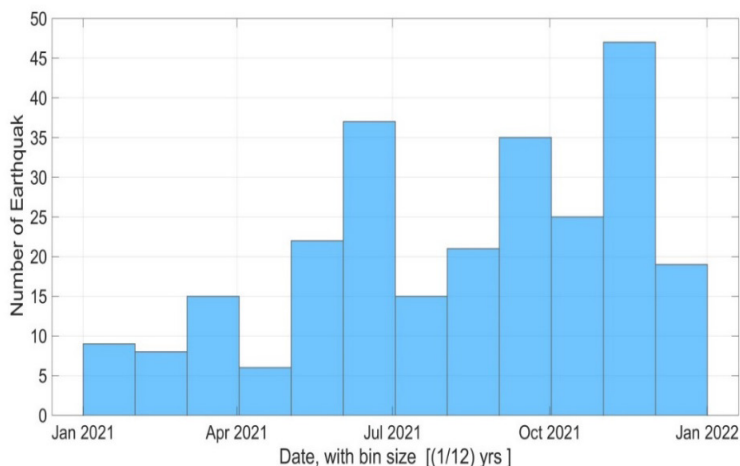
Фиг. 1. Епицентрална карта на земетресенията реализирани на територията на страната и прилежащите земи за 2021 г.

Фигура 1 илюстрира неравномерно пространствено разпределение на сеизмичността в България. Най-голяма концентрация на земетресения за 2021 г. се наблюдава в югозападния район на страната. Този извод се потвърждава и от Фигура 2, която представя пространственото разпределение на броя земетресения в мрежа от клетки с размер $0.1^\circ \times 0.1^\circ$.



Фиг. 2. 3D визуализация на брой земетресения и пространствено разпределение на епицентрите [$0.1^\circ \times 0.1^\circ$]

Фигура 3 илюстрира разпределението на сеизмичността във времето според броя на събитията по месеци. Най - голям брой земетресения се наблюдават през месеците юни и ноември, а най-малко през февруари и април.

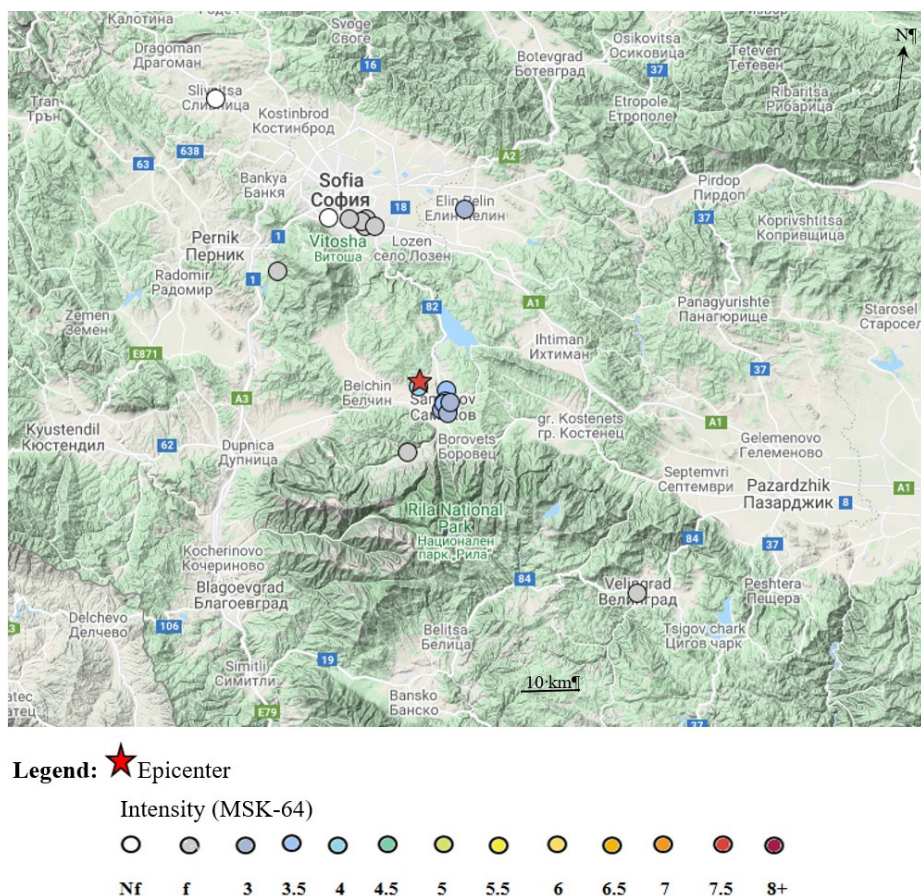


Фиг. 3. Времево разпределение на земетресенията реализирани през 2021 г. на територията на България и околностите и

През месец ноември е регистрирано и най-силното за територията на България земетресение. Земетресението от 25.11.2021 г. с епицентър в близост до град Самоков. Събитието е с магнитуд $M_w=3.7$, дълбочината на огнището 15 km и максималната интензивност в епицентралната зона: $I_{max}=4.0$ степен MSK64. Земетресението е било усетено в района на град Самоков, както и в някои части на град София. На фигура 4 са представени въздействията от земетресението установени след обследване на засегнатата област и оценени по интензивностната скала MSK64.

Повишената активност през месец ноември е свързана и с наблюдаваната сеизмична активност в района на град Велинград. Регистрираните сеизмични събития са в поредица от роев тип (Raykova 2020b). Регистрирани са около 15 земетресения с дълбочина до 15 km., като най-силното събитие от поредица е земетресението от 24.11.2021 г., с магнитуд $M_w=3.2$ и дълбочина 12 km. Според геоложките изследвания при последната оценка на сеизмичната опасност в района на град Велинград са дефинирани структури, които имат потенциал да генерират сеизмични събития (Solakov et al, 2019). В исторически план в този район е наблюдавана умерена сеизмична активност. Най-силното събитие регистрирано там е от 03.11.1977 г., с магнитуд по сеизмичен момент $M_w=5.5$. След земетресението са наблюдавани частични повреди в сградите и изменение в дебита на минералните извори. Последвала е интензивна афтъшокова поредица.

От проследяването на магнитудите на събитията във времето представено на фигура 5 могат да се отбележат и месеците, в които са наблюдавани земетресенията с най-високи магнитудни оценки. Земетресението реализирано през месец януари,

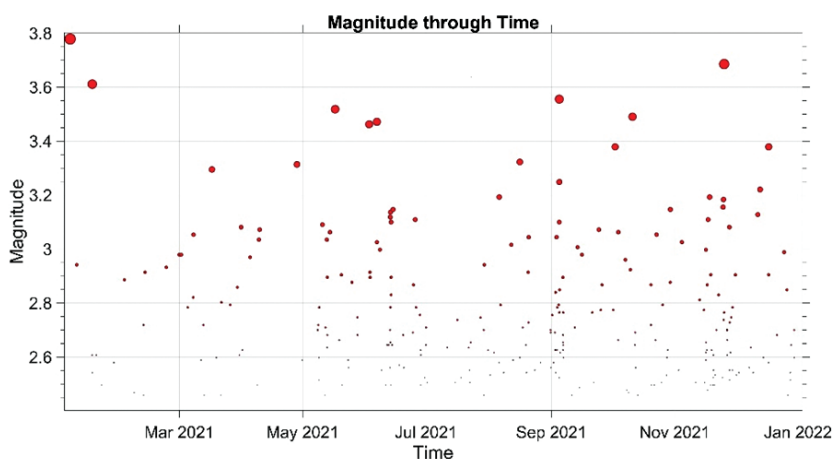


Фиг. 4. Сеизмични въздействия от най-силното за 2021г. земетресение ($M_w 3.7$), реализирано на 25.11.2021г. в близост до град Самоков

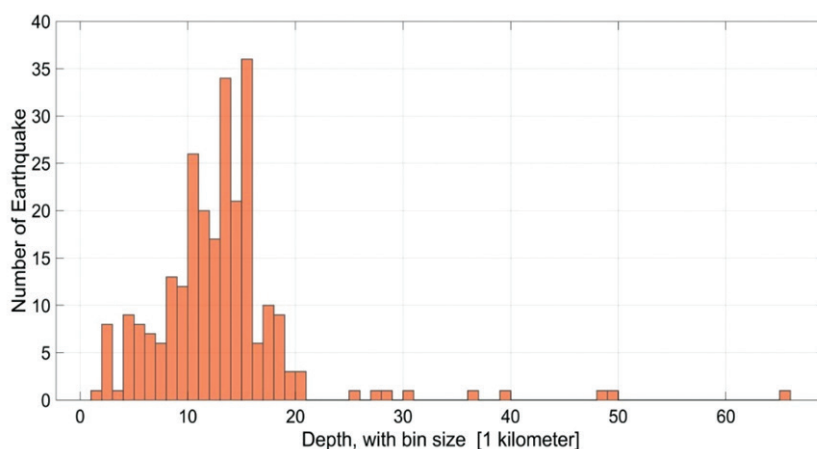
в границите на южна Румъния с магнитуд по сеизмичен момент $M_w = 3.8$, което е усетено с максимална интензивност на територията на страната ни с $I_{max} = 3.5$ МШК64. През месец ноември е регистрирано земетресението в района на град Самоков с магнитуд $M_w = 3.7$ и дълбочината на огнището 15 km. Максималната интензивност в епицентралната зона е $I_{max} = 4.0$ степен MSK64.

Броят на земетресенията групирани в магнитудни интервали: $M_w = 2.5-3.0$ са 204 събития, с магнитуд в интервала $M_w = 3.1-3.5$ са 50 събития и с магнитуд в интервала $M_w = 3.6-4.0$ са реализирани 4 събития (фиг. 5). Подробен анализ на сеизмичността в отделните сеизмични зони е трудно да се извърши поради недостатъчното количество събития и тесния магнитуден диапазон на земетресенията.

Тук нулевото ниво трябва да се счита за относително, имайки предвид, че не са взети под внимание земетресения с магнитуд под 2.5.



Фиг. 5. Магнитудно – времево разпределение.



Фиг. 6. Разпределение на броя събития според дълбочината.

Графиката на дълбочинното разпределение на фигура 6 показва, че по-голямата част от събитията се реализират в диапазона от 5-20 км дълбочина. Броят на събитията не намалява плавно с увеличаване на дълбочината. В същото време броят на земетресенията реализирани на дълбочина 5-15 км е най-голям. Разпределението на магнитудите на събитията в дълбочина позволява да се отбележи известна диференциация на дълбочинните „етажи” с нарастване на магнитуда - максимумите могат да се проследят за интервала на дълбочината от 5 до 20 км. По-силните събития, например с магнитуд $M_w \geq 3.5$, имат дълбочина в диапазона 10-20 км. Всички огнища са разположени в земната кора.

Заклучение

Територията на България, разположена в източната част на Балканския полуостров е типичен пример за район характеризиращ се с висок сеизмична опасност. През вековете на територията на страната са наблюдавани силни земетресения, като едно от тях е най-силното земетресение в Европа през 20-ти век.

От представеният анализ на 258 земетресенията с магнитуд $M_w \geq 2.5$, възникнали в България и околностите през 2021 г., може да се направят следните заключения:

- 2021 г. се характеризира със слаба сеизмичност - доминират събития с магнитуд под 3.0, само четири земетресения са с магнитуд над 3.5, като най-силното от тях е с магнитуд 3.7
- пространствено-временното разпределение на земетресенията в България и околностите е неравномерно;
- хипоцентрите на земетресенията са разположени основно в горната кора (до 20 км). Най-голям брой земетресения са регистрирани в дълбочинния слой между 5 и 15 км;
- наблюдаваната сеизмична активност за разглеждания период е по-висока в сравнение с изминалите години. През 2021 г., са регистрирани 258 събития с магнитуд $M_w \geq 2.5$, което е приблизително два пъти повече в сравнение с 2020 г., и 2019 г. (Popova et.al. 2021).

Благодарности: Авторите изразяват своите благодарности към Е. Ботев, Бл. Бабачкова, Т. Илиев, Р. Вълков, П. Кирилов които са работили в NOTSSI през 2021 г.

Литература

- Christoskov L., L. Dimitrova, D. Solakov, 2011a. Magnitude determinations of P wave by digital broadband seismometers of NOTSSI network for local and regional events. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, Vol 65, No 5, pp. 653-660.
- Christoskov L., L. Dimitrova, D. Solakov, 2011b. Digital broadband seismometers of NOTSSI for practical magnitude determinations of P waves. *BGS. v.XXXVIII*, N1-4/2011, ISSN 1311-753X, 62-72.
- Christoskov L., Dimitrova L., Solakov D., Simeonova S., 2019. FORTY YEARS NATIONAL OPERATIVE TELEMETRIC SYSTEM FOR SEISMOLOGICAL INFORMATION, *Bulgarian Geophysical Journal*, Vol. 42, DOI: 10.34975/bgj-2019.42.8, pp. 83-93.
- Popova Mariya, Dragomir Dragomirov, Emil Oynakov, Valentin Buchakchiev, Yordan Milkov. SEISMICITY IN BULGARIA AND SURROUNDINGS IN THE FIRST 20 YEARS OF THE TWENTY-FIRST CENTURY. 21th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2021, под печат 2021.
- Protopopova, V., Botev, E., 2020. Evaluation and comparative analysis of stress and deformations in seismic hazard zones in Bulgaria and adjacent lands, *Annals of Geophysics*, 63(2), SE224, pp. 1-15.

- Raykova P., Solakov D., Simeonova S., 2019. Seismic moment, stress drop and source radius for the seismic cluster of the 2009 earthquake in Valandovo seismogenic zone, Problem of geography, BAS, ISSN:2367-6671, 0204-7209, pp. 29-40.
- Raykova P., 2020 a). ESTIMATION OF EARTHQUAKE SOURCE PARAMETERS USING P AND S-WAVES SPECTRA CASE STUDY THE 2012 SEISMIC CLUSTER IN SOFIA SEISMOGENIC ZONE, Bulgarian Geophysical Journal, Vol. 43, DOI: 10.34975/bgj-2020.43.6, pp. 71-80.
- Raykova P., 2020 б) Estimation of source parameters for swarm type of seismicity, Bulgarian Geophysical Journal, Vol. 43, DOI: 10.34975/bgj-2020.43.10, pp.110-122. (in Bulgarian)
- Simeonova, S., Solakov D., Aleksandrova I., Raykova P., Protopopova V., 2015. The 2012 Mw5.6 earthquake in Sofia seismic zone and some characteristics of the aftershock sequence, Bulgarian Chemical Communications, 47, spec. issue B, pp. 397-404.
- Solakov D., Simeonova S., Trifonova P., Georgiev I., Raykova P., Metodiev M., Aleksandrova I., [2019] Building Seismic Risk Management, Part 1: Probabilistic Seismic Hazard Assessment BAS Publ. House, S., ISBN 978-954-322-988-8, 13-110 (in Bulgarian).
- Solakov D., S. Simeonova, P. Raykova, I. Aleksandrova, 2018. Empirical relations converting Md and Mp magnitudes applied in Bulgarian seismological routine practice to moment and magnitude. Comptes rendus de l'Acad'emie bulgare des Sciences, 71, 8, DOI:10.7546/CRABS.2018.08.09, 1076-1085.
- Solakov, D., 1993. An algorithm for hypocenter determination of near earthquakes. Bulg. Geophys. J. 19 (1), 56-69
- Styron, Richard, and Marco Pagani. "The GEM Global Active Faults Database." Earthquake Spectra, vol. 36, no. 1_suppl, Oct. 2020, pp. 160-180, doi:10.1177/8755293020944182.
- Watzof S., 1902. Earthquakes in Bulgaria during XIX century, Central Meteorological Station, Imprimerie de l'Etat, Sofia, pp. 93. (in Bulgarian and French).

Seismicity on the territory of bulgaria and the adjacent lands recorded by notssi in 2021

M. Popova, E. Oynakov, Y. Milkov, V. Buchakchiev, D. Dragomirov

Abstract. Spatial and temporal distribution of the seismicity observed on the Bulgarian territory in 2021 is presented. The list includes 258 earthquakes with magnitude $M > 2.5$, observed in Bulgaria and the surrounding area within latitude 41° - 44.5° N and longitude $\lambda = 22^{\circ}$ - 29° E which are registered by the National Operating Telemetry System for Seismological Information (NOTSSI). 2021 is characterized by weak seismicity - dominated by events of magnitude less than 3.0. Only four earthquakes had magnitudes larger than 3.5, the strongest of which happened on the 25.11.2021 with $M_w=3.7$. As observed in the previous years, the highest activity is reported in the southwestern part of the territory of Bulgaria.

Key words: Bulgaria, earthquake, seismicity