

СЕИЗМИЧНОСТ НА МАКЕДОНИЈА ВО ПЕРИОДОТ 2010-2020 ГОДИНА

Катерина Дрогрешка, Јасмина Најдовска, Драгана Черних, Моника Андреска, Љубчо Јованов

*Сеизмолошка Опсерваторија, Природно-Математички Факултет,
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје
Архимедова 3, Скопје, Република Северна Македонија
dcernih@yahoo.com*

А п с т р а к т: На основа на сеизмотектонската карта на територијата на Република Северна Македонија со сите случени и лоцирани земјотреси во периодот 2010–2020 г., исцртана на основа на годишните каталози на земјотресите во Сеизмолошката опсерваторија при ПМФ во Скопје, за истиот период направена е анализа на целокупната сеизмичност на оваа територија. Според сите овие податоци, на територијата на Македонија во периодот 2010-2020 г.. Вкупно се случиле 15417 земјотреси, со максимални набљудувани локални Рихтерови магнитуди $M_L \leq 5.3$ и максимален епицентрален интензитет до $I_0 = VIII$. Тоа се земјотреси од класата на минорни до умерено силни земјотреси. Забележлива е невооодначана распределба на земјотресите од разгледуваниот регион и период по магнитудни интервали, со изразито голем број на минорни и слаби земјотреси, со локални Рихтерови магнитуди $M_L \leq 3.0$ и тоа во епицентралните подрачја кои според досегашните истражувања на Сеизмолошката опсерваторија се карактеризираат со слаба до умерена сеизмичка активност: епицентрални подрачја Св. Николе–Штип, Делчево–Берово, Струмица и епицентрално подрачје Велес. Нерамномерното ослободување на акумулираната сеизмичка енергија се должи на изложеноста на геотектонските единици на долготрајните тектонски сили на напрегање на територијата на Македонија. Сложувањето на тектонските податоци со сеизмолошките, укажуваат дека територијата на Македонија се наоѓа во режим на зголемена сеизмичка активност.

Клучни зборови: сеизмичност, земјотрес, епицентрално подрачје

SEISMICITY IN THE REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA DURING THE PERIOD 2010–2020

A b s t r a c t: An analysis of the overall seismicity for the territory of the Republic of Northern Macedonia in the period 2010-2020y was performed according to the seismotectonic map, with all occurred and located earthquakes from the annual catalogs from the Seismological Observatory at the Faculty of Natural Sciences in Skopje. Total of 15,417 earthquakes of the class of minor to moderately strong earthquakes with maximum observed local Richter magnitudes $M_L \leq 5.3$ and maximum epicenter intensity $I_0 = VIII$ were consider. There is an uneven distribution of earthquakes in the examined region and period of magnitude intervals, with a very large number of minor and weak earthquakes, with local Richter magnitudes $M_L \leq 3.0$ in the epicentral areas which according to the current study of seismic activity are characterized with week to moderate activity –epicentral area St. Nikole-Stip, Delchevo-Berovo, Strumica and Veles. The uneven release of the accumulated seismic energy is due to the exposure of the geotectonic units to the long-lasting tectonic forces on the territory of Macedonia. The combination of tectonic data with seismological data indicate that the territory of Macedonia is in a regime of increased seismic activity.

Key words: seismicity, earthquake, epicentral area

ВОВЕД

Територијата на Македонија има богата геолошка и тектонска историја и претставува своевиден геолошки мозаик, во кој што се застапени речиси сите видови на магматски, седиментни и метаморфни карпи. Во тектонска смисла, таа е еден од источните делови на Медитеранската област на Алпско-Хималајскиот ороген појас кој се карактеризира со висока сеизмичка активност, последица на интерактивните

сили на напрегање во времето на постојана колизија помеѓу три големи тектонски плочи: Евро-азиската, Арабиската и Африканската.

Територијата на Македонија, за време на палеотектонскиот развој била изложена на постојани сили на компресија со правец од северо-исток-југозапад до исток-запад. Источниот дел бил изложен на страничните притисоци од дејството на Родопската маса и Карпато-Балканидите, додека западниот дел бил изложен на страничните притисоци од страна на Динаридско–

Хеленидскиот ороген лак (Dumurdžanov et al., 2004, 2005).

Крајот на дејството на постојаните сили на компресија на кои што биле изложени геотектонските единици на територијата на Македонија е всушност почеток на пенепле-низација и формирање на денудациони зарамнини, која траела се до крајот на епохата долен миоцен, кога започнала неотектонската етапа. Тогаш доаѓа до промена на геодинамичките услови во централниот Балкански регион, на којшто припаѓаат и терените на Македонија, така што овој регион бил зафатен со режим на екстензија.

Западните делови од Западно-македонската зона, останале под влијание на субдукцијата помеѓу Јадранската тектонска плоча и Динаридите, што создава сили на компресија со соодветно напрегање, што продолжува и денес, од запад кон исток (Carminati et al., 2004).

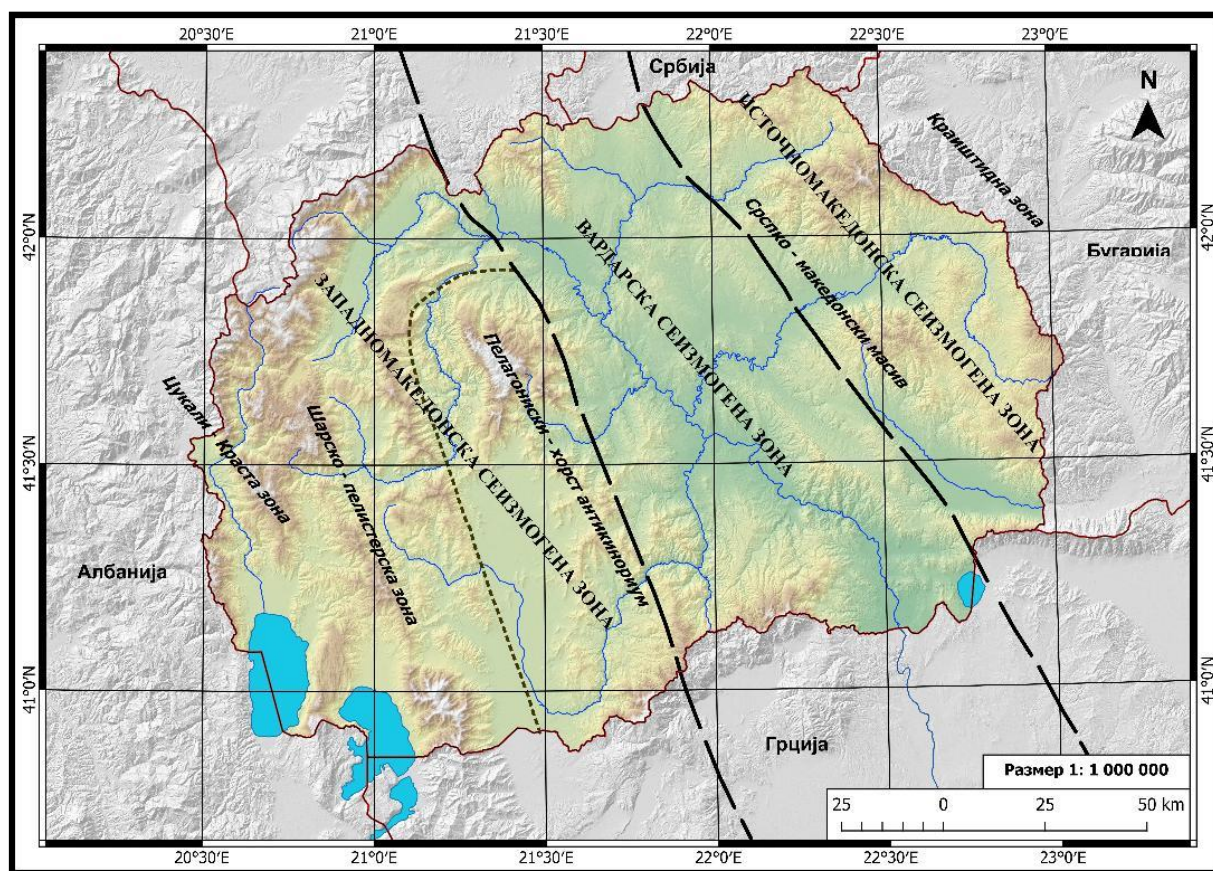
Останатиот дел од Балканот, особено централниот, бил под дејство на сили на растегање долж правецот север-југ и соодветно напрегање, па територијата на Македонија се нашла во режим на јужна екстензија. Оваа екстензија продолжува и денес, а со неа се зафатени и блиските

простори на Р. Бугарија и Р. Грција (Dumurdžanov et al., 2005).

Резултатите од GPS мерењата покажуваат дека целата територија се движи кон југ-југоисток со брзина 2–4 mm годишно (Burchfiel et al., 2006).

Интеракцијата помеѓу јужната екстензија и брзината на движењето на територијата на Македонија е услов, потенцијал за акумулирање на енергија во сеизмичките извори, но и создавање на тектонски земјотреси, преку активирање на нормалните раседни дислокации.

Во рамките на главните тектонски зони егзистираат сеизмогените зони со раседи од различен карактер и насока на протегање, долж кои настануваат земјотресите. Појавата на карактеристичната сеизмичка тектонска активност, во смисла на честотата на земјотресите со одредена јачина, распоредот на земјотресните жаришта како и нивната поврзаност со геолошките и тектонските структури, укажува на можноста на дефинирање на три главни сеизмогени зони: Западно-македонска, Вардарска и Источно-македонска сеизмогена зона (слика 1).



Сл. 1. Главни сеизмогени зони и неотектонски единици на територијата на Македонија

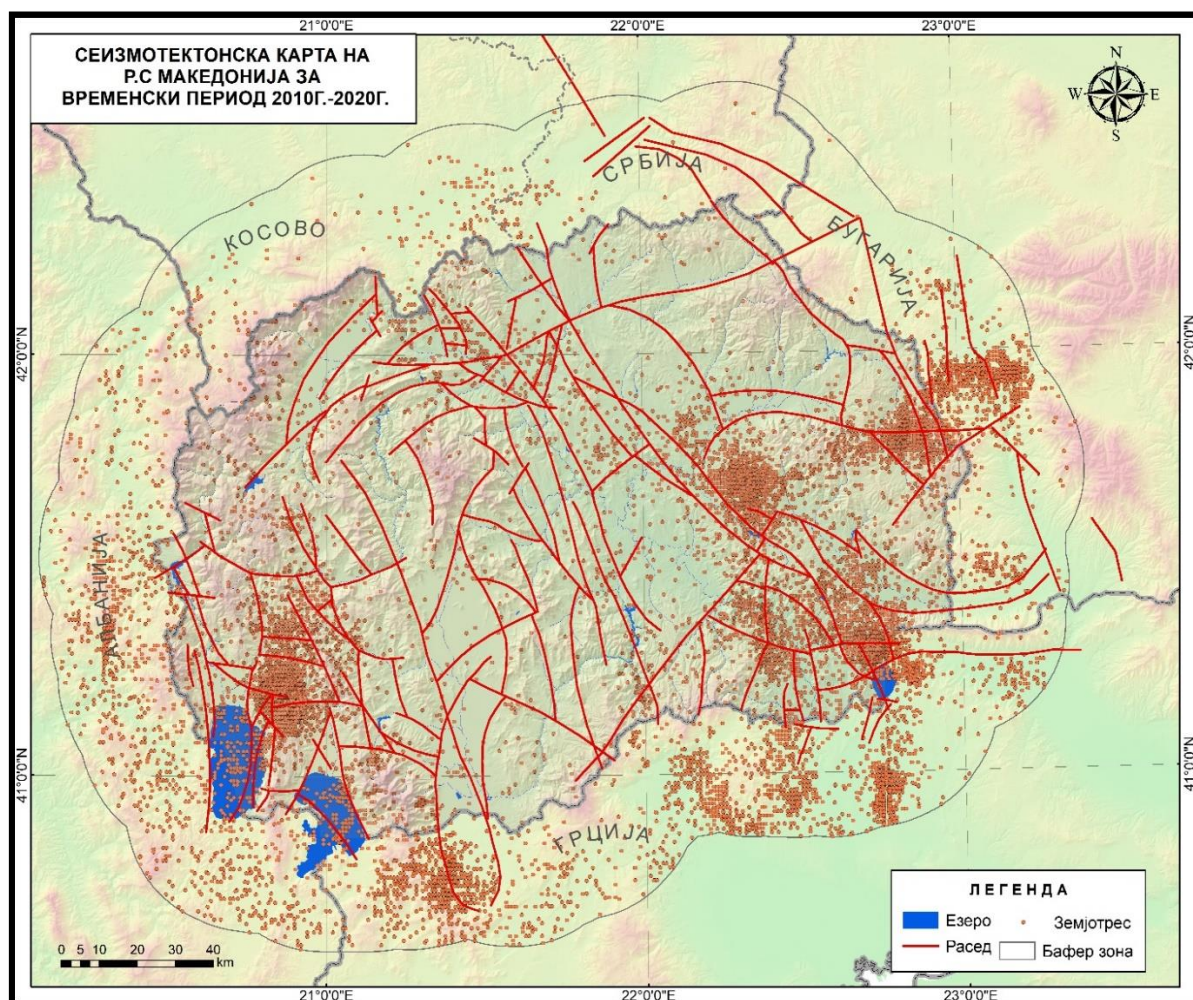
Взаемноста помеѓу набљудуваната сеизмичност и тектонските карактеристики на територијата на Македонија и пограничните предели ги дава сеизмотектонските карактеристики според кои во рамките на сеизмогените зони се јавуваат подрачја во кои што се концентрираат епицентрите на земјотресите – епицентрални подрачја.

АНАЛИЗА НА СЕИЗМИЧНОСТ НА ТЕРИТОРИЈАТА НА МАКЕДОНИЈА ВО ПЕРИОДОТ 2010–2020 ГОДИНА

Според многубројните сеизмолошки истражувања, набљудуваната историска и современа сеизмичка активност на територијата на Македонија и блиските погранични предели (оддалеченост од границата на Р. С. Македонија околу 30 km), главно е тектонска, со исклучок на извесен број на слаби урвински земјотреси.

Долготрајната акумулација на силите на напрегање на кои што се изложени тектонските единици, односно напрегањата врз стенските маси, создава енергетска нерамнотежа до еден одреден момент кога истата се ослободува. Последница на овие нерамнотежни енергетски состојби се процесите на раседувањето кои создаваат земјотрес.

Од сеизмотектонската карта на сликата 2, добиена на основа на годишните каталози на земјотресите во Сеизмолошката опсерваторија, каде се прикажани сите случени и лоцирани земјотреси на територијата на Македонија и блиските погранични подрачја, во разгледуваниот период 2010–2020 година се врши анализа на целокупната сеизмичност на оваа територија во дадениот период, не разгледувајќи ги макросеизмичките ефекти од земјотресите на територијата на Македонија.



Сл. 2. Сеизмотектонска карта на територијата на Р. С. Македонија и блиските погранични подрачја за период 2010–2020 година

При анализата на сеизмичноста се разгледуваат и земјотресите чии епицентри припаѓаат на блиските погранични подрачја не подалеку од 30 km, бидејќи најголемиот дел од нив со локални Рихтерови магнитуди $M_L \leq 4.0$ предизвикуваат макросеизмички ефекти врз територијата на Македонија.

Периодот на кој што се однесува ова истражување, 2010–2020 година, опфаќа регистрација и локација на вкупно 15417 земјотреси од кои 4 се со Рихтерова локална магнитуда $M_L \geq 5.0$. Тоа се земјотреси од класата на умерено силни до силни, прикажани во Табела 1.

Т а б е л а 1

Најсилните земјотреси во периодот 2010 – 2020 година

Датум	Време h min s	Локација			Магнитуда M_L	Интензитет I_0	Епицентрално подрачје
		φ (°)N	λ (°)E	H (km)			
11. 9. 2016	13 10 5	42.00	21.50	3.7	5.3	VII-VIII	Скопје
03. 7. 2017	11 18 18	41.12	20.87	1.7	5.0	VII-VIII	Охрид
11. 11. 2020	3 54 14	41.62	20.86	15.0	5.0	V	Тетово-Гостивар
11. 11. 2020	14 25 12	41.60	20.87	11.8	5.0	V-VI	Тетово-Гостивар

Анализата на сеизмотектонската карта (Слика 2), укажува на забележителна групираниост во распределбата на епицентрите на земјотресите со $M_L \leq 3.0$, односно концентрацијата на земјотресите е во поединечни подрачја, долж раседните дислокации, што може да се сметаат за изолирани извори на сеизмичка енергија.

Тоа се епицентралните подрачја кои според досегашните истражувања на Сеизмолошката опсерваторија се карактеризираат со слаба до умерена сеизмичка активност: епицентрално подрачје Св. Николе–Штип, Делчево–Берово, Струмица и епицентрално подрачје Велес.

Епицентралните подрачја Охрид, Скопје, Дебарца–Плакенска Планина и Тетово–Гостивар во разгледуваниот период 2010–2020 година, го задржуваат трендот на епицентрални подрачја со многу честа појава на слаби земјотреси $M_L \leq 2.9$, но и со честа појава на земјотреси со магнитуди во интервалот $3.0 \geq M_L \leq 5.0$ чии периоди на повторување се од неколку децении до неколку стотици години.

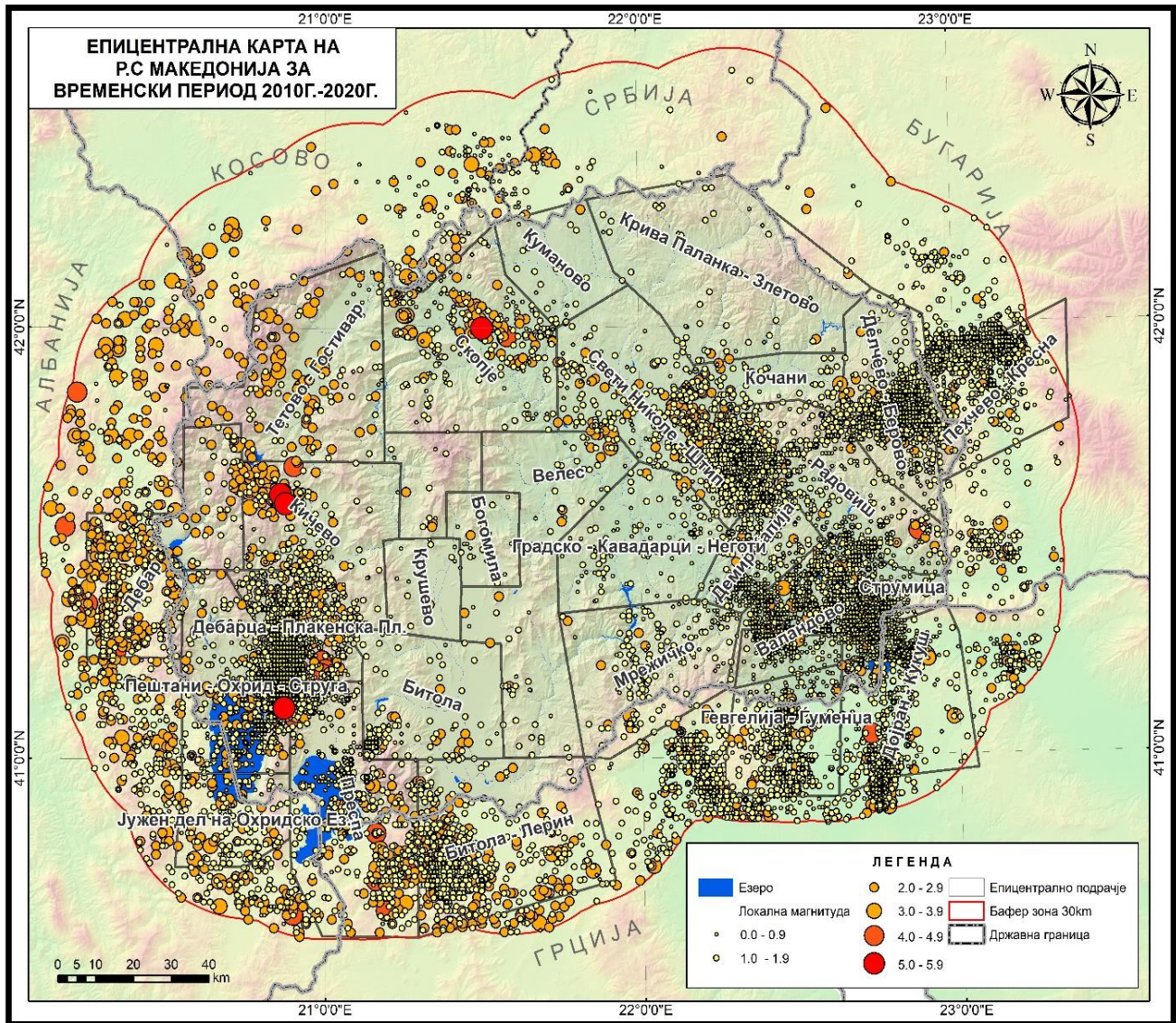
Исклучок претставува подрачјето на Пелагонискиот хорст–антиклинориум, кој иако реликт од прекамбриската Земјината кора на Динаридите–Хелинидите, иако од исток и запад ограничен со длабински донеотектонски регионални раседи, иако испресечен со донеотектонски раседи, овој хорст, покажува одредена слаба сеизмичка активност, во разгледуваниот период 2010–2020 г. Оваа ситуација се должи на еднаквите издигања на деловите на хорстот од рамнина.

Сите земјотреси од разгледуваниот период се прикажани на епицентралната карта (Слика 3).

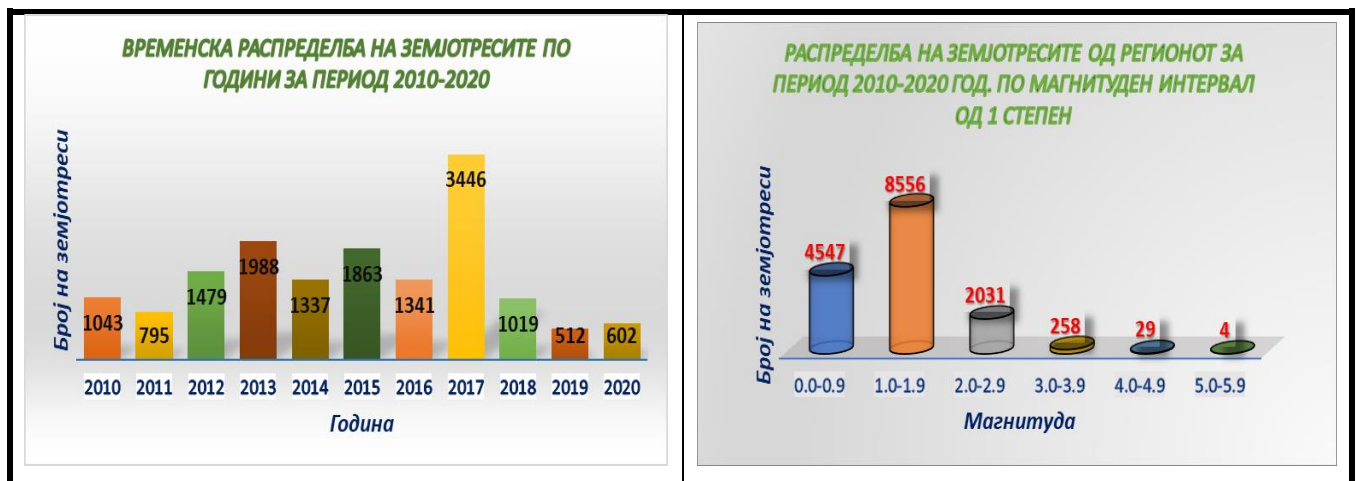
Временска распределба на земјотресите од регионот по години за период 2010–2020 година и нивната распределба по магнитуден интервал од по еден степен според Рихтеровата скала, претставена е на сликата 4.

Во регионот за време на разгледуваниот период од вкупно 15471 земјотреси, најголем е бројот на земјотреси со магнитуди $1.0 \leq M_L \leq 1.9$, вкупно 8556, а потоа бројот на земјотресите со магнитуди $0.1 M_L \leq 0.9$, вкупно 4547. Се случиле вкупно 4 силни земјотреси, со $5.0 \leq M_L \leq 5.9$. Очигледно е опаѓање на бројот на земјотресите со зголемувањето на магнитудата.

Од хистограмската презентација од сликата 4 лево, следува дека бројот на земјотреси во поделните години на разгледуваниот период е различен и се движи од 512 до 3446. Забележливо е дека изразито помал број на земјотреси (512 и 602) постојат во 2019 и 2020 година што укажува на умерена сеизмичност. Во другите години бројот на земјотреси, со исклучок на 2017 година, е прилично изедначен и во просек изнесува над 1000 земјотреси годишно. Треба да се напомене дека, време-траењето на придружната активност на силните земјотреси (форшоковите и афтершоковите) се одредени од типовите на раседите – жаришта на силни земјотреси, како и од геолошко-тектонските структури на кои овие раседи припаѓаат.



Сл. 3. Епицентрална карта на територијата на Р. С. Македонија и блиските погранични подрачја во период 2010–2020 година

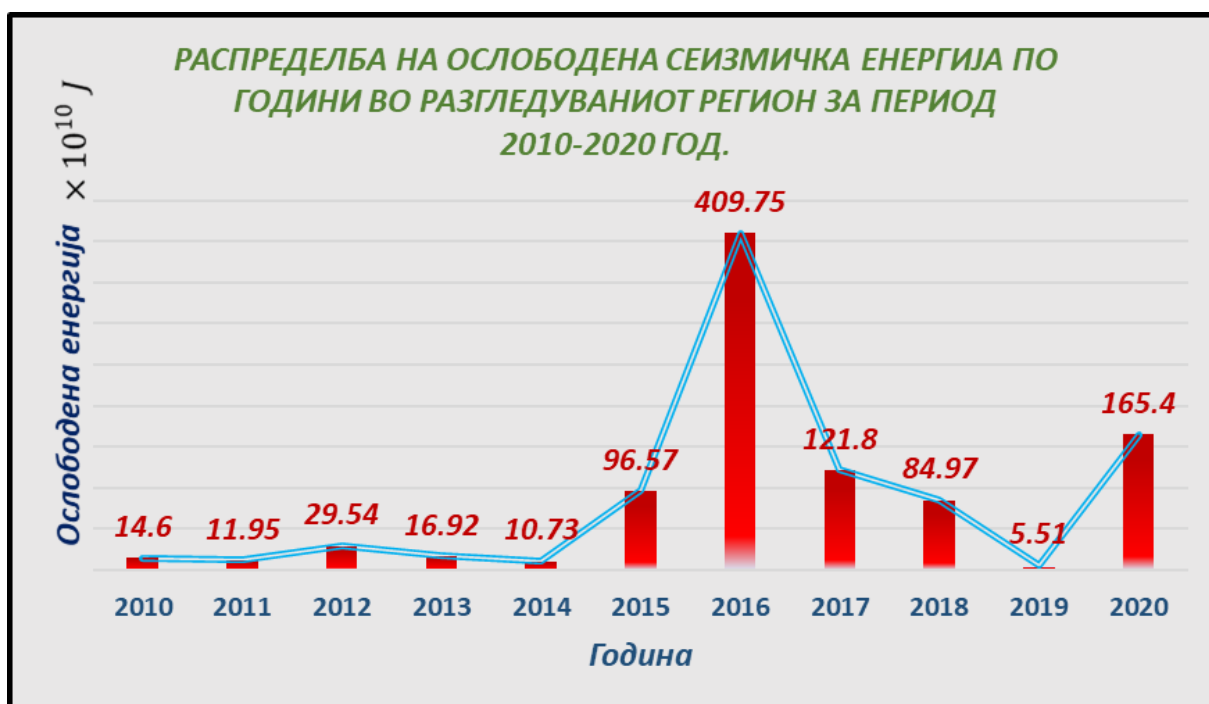


Сл. 4. Временска распределба на земјотресите од разледуваниот регион и период по години и магнитуден интервал од еден степен

Ова следи од тоа што ослободувањето на сеизмичката енергија акумулирана од долго-трајните напрегања во стенските маси е карактеристично за секоја раседна дислокација, односно е нерегуларна појава. Така, силните земјотреси понекогаш се придружени само со афтершокови, односно сеизмичка активност што го следи главниот земјотрес, понекогаш и од форшокови (сеизмичка активност непосредно пред главниот земјотрес) и од афтершокови, при што овие придружни земјотреси имаат најразлични магнитуди, помали од магнитудата на главниот земјотрес. Во 2017 година, земјотресот на 3 јули во 11 h 18 min 18 s (UTC) со локална Рихтерова магнитуда $M_L = 5,0$ и епицентрален интензитет $I_0 = VII-VIII$ EMS-1998 (епицентрално подрачје Пештани–Охрид–Струга), беше придружуван со послаба форшокова но изразена афтершокова сеизмичка активност која во времетраењето на серијата предизвика земјотреси чии магнитуден интервал се движеше од $0,1 \leq M_L \leq 5,0$. Оттаму потекнува и големиот број на земјотреси 3446 како и ослободена сеизмичка енергија $121,8 \times 10^{10}$ J во разгледуваниот регион и период. Во текот на 2016 година од активноста на неколку раседни дислокации кои предизвикаа повеќе од десетина земјотреси со магнитуда $4,0 \leq M_L \leq 5,9$ се ослободи најголема сеизмичка енергија од $409,75 \times 10^{10}$ J.

Од епицентралната карта на територијата на Македонија и нејзините блиски гранични подрачја, во разгледуваниот период 2010–2020 година, јасно се воочува групирањето на земјотресите односно нивната концентрација е во поедини епицентрални подрачја. Некои од нив може да се сметаат за изолирани извори на сеизмичка енергија: епицентралното подрачје Св. Николе–Штип, Делчево–Берово, Струмица и епицентралното подрачје Велес. Но епицентралните подрачја Скопје, Пештани–Охрид–Струга, Тетово–Гостивар и Дебарца–Плакенска Планина имаат очекувана сеизмичка активност чии периоди на повторување на умерено силни земјотреси $M_L \geq 5,0$ (периоди на максимално очекуван интензитет од неколку десетици години) се совпаѓаат со максималните набљудувани интензитети на случените земјотреси во разгледуваниот период 2010–2020 година.

На сликата 5 прикажан е хистограмот на вкупната сеизмичка енергија ослободена по години. Најголемо количество на сеизмичка енергија е ослободено во 2016 година, што се должи на 1341 земјотрес, од кои најсилниот е со Рихтерова локална магнитуда $M_L = 5,3$ но и на сериите на земјотреси од другите сеизмички жаришта. Очигледно е и дека токот на ослободување на сеизмичка енергија го следи појавувањето на силните земјотреси заедно со последователните односно афтершоковата сеизмичка активност.



Сл. 5. Распределба на ослободената сеизмичка енергија во регионот по години за периодот од 2010–2020 година

Во однос на хипоцентралната длабочина на регистрираните и лоцираните земјотреси, преовладува плитката распределба на хипоцентрите на земјотресите, од 1 km до 20 km, а најчесто од 5 km до 15 km. Ова укажува дека сеизмичноста на разгледуваниот регион, односно територијата на Македонија е поврзана со деформациите во горните делови на литосферата, поточно со деструкцијата на Земјината кора условена од тектонските движења.

ЗАКЛУЧОК

Терените со многу сложена геолошка градба, односно различни по старост, генеза и состав на стенските маси, најчесто се одликуваат и со висок степен на сеизмичност.

Оваа сложеност на геолошката градба на територијата на Македонија е предзнак за присуство на интензивни тектонски движења во геолошката еволуција на дадениот простор која продолжува и денес. Просторната положба на раседните дислокации како и влијанијата на геотектонските услови, ја определуваат распределбата на сеизмичката енергија расеана во време и простор како и нејзиното влијание на околните терени.

Интеракцијата помеѓу јужната екстензија и брзината на движењето на територијата на Македонија е услов, потенцијал за акумулирање на енергија во сеизмичките извори, но и создавање на тектонски земјотреси, преку активирање на нормалните раседни дислокации.

Епицентрите на случените земјотреси во разгледуваниот регион и период покажуваат тенденција на просторно групирање. Во таа смисла, сеизмичноста во епицентралните подрачја кои досега се карактеризираа со слаба сеизмичка активност: епицентрално подрачје Св. Николе–Штип, Делчево–Берово, Струмица и епицентрално подрачје Велес во разгледуваниот период 2010–2020 година покажуваат тенденција на зголемена сеизмичка активност со значајна зачестеност на минорните и слаби земјотреси $M_L \leq 3,0$.

Се очекува добиените резултати да бидат солидна основа во истражувањето на современата и очекуваната сеизмичност на територијата на Р. С. Македонија и пограничните предели.

ЛИТЕРАТУРА

- SORM – Сеизмолошка опсерваторија при Природно-математичкиот факултет во Скопје, 2010–2020, *Каталози на земјотресите во Република Македонија и пограничните подрачја за годините 2010–2010*, Фонд на Сеизмолошката опсерваторија при Природно-математичкиот факултет–Скопје.
- Арсовски, М. (1996): *Тектоника на Македонија*, Штип, Рударско-геолошки факултет.
- Dumurdžanov, N., Serafimovski, T., and Burchfiel, B. C. (2004) *Evolution of the Neogene-Pleistocene basins of Macedonia: Geological Society of America Digital Map and Chart Series 1 (accompanying notes)*.
- Dumurdžanov N., Serafimovski T., and Burchfiel B. C. (2005): Cenozoic tectonics of Macedonia and its relation to the South Balkan extensional regime, *Geosphere*, **1**, 1–22.
- Burchfiel, B. C., Todosov, A., King, R. W., Kotzev, V., Dumurdžanov, N., Serafimovski, T., and Nurce, B. (2006): GPS results for Macedonia and its importance for the tectonics of the southern Balkan Extensional regime, *Tectonophysics*, 413, 239–248.
- Carminati E., Doglioni, C., Argnani, A., Carrara, G., Dabovski, Ch., Dumurdžanov, N., Gaetani, M., Georgiev, G., Maufret, A., Nazai, Sh., Sarfori, R., Scionti, V., Scrocca, D., Seranne, M., Toreli, L., and Zarorchev, I. (2004): The TRANSMED ATLAS. The Mediterranean Region from Crust to Mantle. TRANSMED TRANSECT III: Massif Central-Provence-Gulf of Lion-Provençal Basin-Sardinia-Tzrrhenian Basin-Southern Apennines-Apulia-Adriatic Sea-Albanian Dinarides-Balkans-Moesinian Platform, Mediteranian consortium for the 32 nd International Geological-Congress, Firenze, Italia.
- Јордановски, Љ., Пекевски, Л., Чејковска, В., Черних, Д., Христовски, Б. и Василевски, Н. (1998): *Основни карактеристики на сеизмичноста на територијата на Република Македонија*, Скопје Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Природно-математички факултет, Сеизмолошка опсерваторија.
- Дрогрешка, К. (2018): *Примена на теоријата на дислокации во дефинирањето на епицентралните подрачја и тектонските услови на територијата на Република Македонија*, докторска дисертација, Сеизмолошка опсерваторија при Природно-математички факултет, Скопје,