## INSTITUTUL DE GEOLOGIE ȘI SEISMOLOGIE UNIVERSITATEA DE STAT DIN MOLDOVA

Cu titlu de manuscris C.Z.U: 550.34 (478) (0.43.2)

### CARDANEȚ VLADLEN

## EFECTUL MACROSEISMIC AL CUTREMURELOR CARPATIENE PE TERITORIUL REPUBLICII MOLDOVA CA BAZĂ PENTRU RECUPERAREA PARAMETRILOR CUTREMURELOR ISTORICE

134.10 – GEOFIZICĂ ȘI SEISMOLOGIE

Rezumatul tezei de doctor în științe fizice

CHIȘINĂU, 2025

**Teza a fost elaborată în** Laboratorul de Seismologie al Institutului de Geologie și Seismologie al Universității de Stat din Moldova.

#### Conducător științific:

BURTIEV Rașid, doctor habilitat în științe fizice și matematice, conferențiar cercetător

#### Consultant științific:

ALCAZ Vasile, doctor habilitat în științe fizice și matematice, conferențiar cercetător, Om Emerit al RM

#### Referenți oficiali:

- **1. SEMENOVA Yuliia**, doctor habilitat în științe fizice și matematice, Institutul de Geofizică Subbotin al Academiei Națională a Ucrainei (Kiev, Ucraina).
- **2. GREBENȘCICOV Victor**, doctor în geologie și mineralogie, Universitatea din Tiraspol (Universitatea de Stat din Transnistria T.G. Şevcenko)

#### Componența consiliului științific specializat:

- 1. **BARSUC Alexandr,** doctor habilitat în științe fizice și matematice, profesor universitar, *președintele Consiliului Științific Specializat* (CȘS), Departament Fizică Teoretică, Facultatea de Fizică și Inginerie, Universitatea de Stat din Moldova.
- 2. **GHINSARI Victoria,** doctor în științe fizice și matematice, *secretarul Consiliului Științific Specializat* (CŞS), Laboratorul de Seismologie, Institutul de Geologie și Seismologie al USM.
- 3. **STEPANENCO Nila**, doctor în științe fizice și matematice, conferențiar cercetător, Laboratorul de Seismologie, Institutul de Geologie și Seismologie al USM.
- 4. **ZOLOTCOV Anatolie**, doctor habilitat în științe tehnice, conferențiar universitar.
- 5. **CIOFLAN Carmen Ortanza**, doctor în științe fizice, cercetător științific superior, Institutul Național pentru Fizica Pământului (București, România).

**Susținerea va avea loc la** <u>26 iunie 2025, ora 13.00,</u> în ședința Consiliului științific specializat D 134.10-24-125 din cadrul Institutului de Geologie și Seismologie al Universității de Stat din Moldova (str. Gh. Asachi, 60/3, MD 2028, mun. Chișinău, RM).

Teza de doctor și rezumatul pot fi consultate la biblioteca Institutului de Geologie și Seismologie al USM și pe pagina web a ANACEC (https://www.anacec.md/).

Rezumatul a fost expediat la \_\_\_\_\_

Secretar științific al Consiliului științific specializat, **GHINSARI Victoria,** doctor în științe fizice și matematice

Conducător / Consultant științific:

ALCAZ Vasile, doctor habilitat în științe fizice și matematice, conferențiar cercetător, Om Emerit al RM

#### Autor CARDANEŢ Vladlen

© Cardanet Vladlen, 2025

## **CUPRINS**

REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETÀRII	4
CONȚINUTUL TEZEI	8
CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI	24
BIBLIOGRAFIE	27
LISTA PUBLICAȚIILOR AUTORULUI LA TEMA TEZEI	29
ADNOTARE	30

#### **REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII**

Republica Moldova este amplasată într-o zonă cu activitate seismică ridicată. Prin urmare, actualizarea periodică a evaluărilor privind manifestările seismice ale celor mai puternice cutremure carpatice, atât de pe teritoriul țării noastre, cât și din statele adiacente, este deosebit de importantă. Aceasta se impune în contextul descoperirii unor date noi, mai detaliate, referitoare la manifestarea cutremurelor puternice în regiunea seismică carpatică.

Această actualizare este necesară pentru a rezolva problemele legate de evaluarea hazardului seismic asociat cu siguranța obiectivelor și structurilor de importanță strategică din Republica Moldova. Fără date privind cutremurele majore din trecut, nu poate fi determinat în mod corect hazardul seismic, întrucât acesta implică frecvența cutremurelor puternice și catastrofale, intensitatea maximă a acestora, precum și localizarea zonelor focale.

Este, așadar, esențială colectarea unor informații cât mai complete și fiabile despre evenimentele seismice produse pe acest teritoriu, din cele mai vechi timpuri până în prezent. Lucrarea de față, care urmărește definirea parametrilor și tipurilor de cutremure istorice din regiunea seismică carpatică în vederea elaborării unui catalog istoric mai precis, contribuie la rezolvarea unor sarcini stringente și esențiale pentru țară. Printre acestea se numără evaluarea hazardului seismic pe teritoriul Republicii Moldova, asigurarea siguranței obiectivelor și structurilor deosebit de importante, precum și protecția populației.

În prezent, majoritatea parametrilor cutremurelor sunt determinați prin mijloace instrumentale, însă perioada instrumentală pentru regiunea seismică carpatică începe doar cu cutremurele din anii 1928–1929. Pentru a obține o imagine cât mai completă a seismicității regiunii, este necesară colectarea și analiza tuturor informațiilor despre cutremurele menționate în sursele istorice, pentru toate secolele anterioare. Pe baza acestor date, trebuie calculați aceiași parametri care sunt în mod obișnuit obținuți din datele instrumentale pentru cutremurele moderne.

În cazul cutremurelor istorice, sunt disponibile doar date macroseismice, care constituie baza pentru determinarea parametrilor seismici. Rezultatele obținute sunt comparate cu parametrii bine cunoscuți ai celor mai mari cutremure din perioada instrumentală. Pe baza modelelor seismice identificate în regiune, se determină tipul fiecărui eveniment analizat.

4

**Obiectivul lucrării:** Evaluarea principalilor parametri ai cutremurelor și redefinirea tipului celor mai puternice cutremure istorice din perioada preinstrumentală din zona Vrancea (regiunea seismică carpatică), pe baza unor date macroseismice suplimentare, în vederea revizuirii calitative a catalogului cutremurelor istorice.

#### Pentru atingerea acestui obiectiv, a fost necesară realizarea următoarelor sarcini:

- colectarea tuturor datelor macroseismice disponibile din surse scrise privind cele mai importante evenimente seismice din perioada istorică (secolele XVIII–XX) legate de regiunea studiată, precum și din perioada observațiilor instrumentale;
- verificarea, corelarea şi evaluarea tuturor datelor colectate în conformitate cu scara macroseismică MSK-64, întocmirea tabelelor şi construirea hărților de puncte pentru cutremurele analizate, iar prin interpolare şi corecții ulterioare, crearea hărților izoseismice în sistem GIS;
- efectuarea unei analize comparative a soluțiilor pentru mecanismul focal al cutremurelor din zona Vrancea, obținute prin metoda primei sosiri a undelor P şi metoda tensorului momentului seismic, şi identificarea principalelor tipuri de cutremure pe baza acestor analize;
- investigarea contribuției semnificative a parametrilor suplimentari care caracterizează mecanismul focal la ecuația câmpului macroseismic, utilizând analiza factorială în componente principale;
- calcularea relației dintre magnitudine, adâncime și intensitate în regiunea studiată, folosind coeficienții de atenuare ai ecuației câmpului macroseismic;
- determinarea şi măsurarea în GIS a parametrilor principali şi suplimentari ai cutremurelor analizate;
- analizarea fiecărui cutremur istoric luat în considerare în comparație cu cele din perioada instrumentală și, pe baza modelelor identificate, determinarea tipului fiecăruia.

**Partea teoretică** se bazează pe lucrările: Şebalin N.V. (2003); Şebalin N.V., Hrometskaia E.A. (1988); Burtiev R.Z. (2017); Drumea A.V., Stepanenco N.Ia., Simonova N.A., Alecseev I.V., Cardaneț V.Iu. (2009); Drumea A.V., Ustinova T.I., Șciukin Yu.K. (1964); Şumila V.I. (1983), precum și pe articolele autorului publicate în *Buletinul Institutului de Geologie și Seismologie al Republicii Moldova*. **Materiale factuale** despre cutremure specifice au fost colectate din cronici, rapoarte, cataloage, colecții și buletine informative din Republica Moldova, Ucraina, Rusia, România, Bulgaria și alte țări.

#### Principalele metode utilizate în această lucrare includ:

- metode de colectare și prelucrare a datelor macroseismice;
- metode de calcul al parametrilor seismici pe baza ecuației câmpului macroseismic;
- construirea hărților izoseismice prin interpolare şi determinarea parametrilor suplimentari cu ajutorul instrumentelor SIG;
- metode de determinare a mecanismului focal al cutremurelor;
- metoda componentelor principale în analiza factorială pentru a evalua contribuția parametrilor mecanismului focal la ecuația câmpului macroseismic;
- metode generale: descriptive, comparative, statistice;
- utilizarea datelor obținute prin observații instrumentale.

#### Noutatea științifică a rezultatelor obținute:

- a fost creată o bază de date extinsă a cutremurelor din regiunea carpatică resimțite pe teritoriul Republicii Moldova, pe baza datelor macroseismice colectate și prelucrate;
- au fost realizate hărți de puncte și hărți izoseismice ale cutremurelor analizate, îmbogățite cu date noi;
- a fost efectuată o analiză comparativă a soluțiilor mecanismului focal obținute prin metode diferite (primele sosiri ale undelor P şi tensorul momentului seismic), iar în zona focală a zonei Vrancea au fost identificate trei tipuri de mişcări;
- a fost realizată o analiză factorială a parametrilor cutremurelor, pe baza metodei componentelor principale;
- principalii parametri ai cutremurelor istorice au fost determinați cu o precizie sporită, folosind ecuația câmpului macroseismic;
- au fost calculați parametrii suplimentari ai cutremurelor istorice cu ajutorul SIG;
- prin compararea cu cutremure moderne similare, au fost stabilite tipul şi alte caracteristici ale celor mai puternice cutremure preinstrumentale din regiunea carpatică.

#### Valoarea teoretică a rezultatelor:

- Seismicitatea regiunii carpatice a fost clasificată în funcție de tipurile de mișcare la sursă;
- Au fost descrise aspectele metodologice privind colectarea şi prelucrarea datelor macroseismice în regiunea seismică carpatică;
- Au fost analizate sursele macroseismice relevante pentru teritoriul în cauză;
- A fost realizată analiza parametrilor mecanismului focal pentru determinarea tipului de mișcare la sursă în cazul cutremurelor din zona Vrancea.

#### Valoarea practică a rezultatelor:

- A fost elaborată o bază de date macroseismică pentru cutremurele istorice din regiunea seismică carpatică, conform scării MSK-64;
- Au fost construite hărți izoseismice care includ toate punctele de observație suplimentare identificate;
- Pe baza celui mai adecvat model al câmpului macroseismic pentru regiunea studiată, au fost calculați parametrii principali și suplimentari ai fiecărui cutremur și ai sursei sale, fiind determinat și tipul fiecărui eveniment.

#### Utilitatea rezultatelor pentru cercetări viitoare:

Parametrii obținuți pentru evenimentele seismice studiate contribuie la realizarea unui catalog mai fiabil al cutremurelor istorice, ceea ce va permite:

- o determinare mai precisă a hazardului seismic pentru puncte individuale din Republica Moldova, precum şi pentru alte state din regiunea seismică carpatică;
- elaborarea unor hărți de zonare seismică mai detaliate și exacte.

Totodată, volumul mare de date colectate și prelucrate reprezintă o contribuție semnificativă la baza cercetărilor viitoare privind seismicitatea în regiunea carpatică.

**Autorul** a participat personal la toate etapele de realizare a lucrării în cadrul Institutului de Geologie și Seismologie al USM și a obținut independent rezultatele finale ale cercetării, prezentate în peste 50 de publicații.

#### **CONȚINUTUL TEZEI**

**Introducerea** fundamentează relevanța acestei lucrări de cercetare, stabilește scopul și specifică sarcinile necesare pentru atingerea acestuia. Sunt prezentate noutatea științifică, ipotezele ce urmează a fi susținute, precum și semnificația teoretică și practică a rezultatelor obținute.

**Capitolul I** oferă o prezentare generală a studiilor macroseismice și a seismicității din regiunea carpatică. Teritoriul Republicii Moldova este supus unor influențe seismice de intensitate variabilă, provenind din mai multe zone focale, majoritatea situate în afara țării. În mod convențional, aceste zone sunt incluse în regiunea seismică carpatică, în care un rol determinant îl are zona seismogenă Vrancea. Aceasta determină în mare măsură nivelul de impact seismic resimțit pe teritoriul Republicii Moldova.

Pentru această regiune s-a acumulat o cantitate semnificativă de date macroseismice, însă acestea sunt adesea disparate, necesitând o abordare unificată în procesul de prelucrare, interpretare, sistematizare și, implicit, de catalogare. Această problemă este deosebit de relevantă în cazul cutremurelor istorice. Având în vedere completarea constantă a bazei de date prin descoperirea de noi surse istorice, se impune reevaluarea tuturor informațiilor disponibile. Pe baza acestora, pot fi calculați parametrii cutremurelor istorice, utilizând modele de atenuare rafinate ale câmpului macroseismic.

Înregistrările fragmentare, dar numeroase, ale trepidațiilor seismice în regiunea carpatică sunt cunoscute încă din cele mai vechi timpuri. Totuși, înregistrările sistematice și analiza acestora au început abia în secolul al XIX-lea, când s-au realizat primele hărți izoseismice și s-a determinat epicentrul macroseismic. Robert Mallet a elaborat primul catalog mondial al seismicității, în care pentru fiecare cutremur erau notate: data, locația, numărul de trepidații, direcția, durata oscilațiilor și efectele produse. De asemenea, a introdus prima scală de intensitate seismică, împărțind zonele afectate în patru clase (Mallet R., 1862).

Tot în secolul al XIX-lea a apărut seismologia instrumentală, care a permis evaluări cantitative ale impactului seismic și a deschis o nouă direcție în studiul cutremurelor. Determinarea instrumentală a epicentrului a evidențiat discrepanțe față de localizarea macroseismică (Sandu I., 2012), ceea ce a condus la introducerea conceptului de "sursă seismică" – zonă de ruptură în scoarță însoțită de emisia undelor elastice. Au fost formulate și teorii privind mecanismul sursei, precum modelul dipolului dublu (Vvedenskaya, 1956) și modelul tensorului momentului seismic (Kostrov, 1970) (Voronina E., 2004).

Primele mențiuni despre cutremure în Carpați datează din secolele IV-V. Mărturiile au fost păstrate sub diverse forme: memorii, însemnări de călătorie, cronici, scrisori, articole din ziare și reviste vechi. Sunt menționate, spre exemplu, cutremurele din Rusia Kieveană din anii 1091, 1107, 1122, 1170, 1196, 1230 ș.a. (Ieșanu V. și al., 1988). Totuși, abia începând cu secolul al XVIII-lea, și mai ales în secolul al XIX-lea, datele devin suficient de numeroase pentru a permite o analiză obiectivă. Pentru perioada pre-instrumentală, lucrarea de referință este "Noul Catalog al Cutremurelor Puternice de pe Teritoriul URSS din cele mai vechi timpuri până în 1975" (Новый каталог, 1977), care oferă informații despre locație, dată, adâncime, magnitudine și intensitate, cu o uniformizare a estimărilor conform scalei MSK-64 (Medvedev S. și al., 1965).

Pentru colectarea datelor privind cutremurele ce au afectat teritoriul actual al Republicii Moldova, au fost utilizate surse împărțite în trei categorii:

- 1. Mărturii directe ale martorilor oculari;
- 2. Compilări și sinteze realizate pe baza surselor primare;
- 3. Articole științifice și monografii dedicate Geofizicii și Seismologiei.

Dintre sursele secolului al XIX-lea menționăm: *Catalogul cutremurelor Imperiului Rus* (Muşketov și Orlov, 1893), lucrările rețelei meteorologice din sud-vestul Rusiei (Klossovsky, 1895–1897), rapoartele lui Zașciuk (1862). De asemenea, *Buletinul Comisiei Seismice Centrale Permanente a Academiei Ruse de Științe* (1902–1937), precum și lucrările autorilor Drumea, Ustinova și Șciukin (1964), care oferă date despre cutremurele din Moldova între 1000–1940.

Dintre cercetătorii români remarcăm lucrările și cataloagele semnate de: Hepites (1890), Ștefănescu (1902), Popescu (1938), Florinesco (1958) și Atanasiu (1961). În lucrarea acestuia din urmă se regăsesc liste cronologice, tabele cu puncte și hărți izoseismice pentru perioada 1790–1942. Date similare au fost adunate în Ucraina de către S. Evseev (1961, 1969), iar în Polonia și Ungaria, de Laska (1906) și Retli (1952). *Atlasul Hărților Izoseismice*, publicat sub egida UNESCO (1974), prezintă hărți pentru cele mai puternice cutremure din Carpați între 1790–1965.

Institutul de Geofizică și Geologie al Academiei de Științe a Republicii Moldova a colectat un volum considerabil de date pentru perioada 1091–1940 și a întocmit un catalog macroseismic (Ieșanu V. și al., 1988). Pentru cutremurele moderne, sursele principale sunt: *Buletinul Zonei Teritoriale de Vest a ESSN* (1964–1990), *Buletinul Seismologic al Ucrainei* (1991–2012), *Cutremurele din URSS* (1960–1994) și *Cutremurele din Eurasia de Nord* (1992–2019). Informații actuale sunt disponibile și pe site-urile oficiale ale Centrului

Seismologic Internațional (CSI) și Institutului Național pentru Fizica Pământului (INFP) din România, în catalogul Romplus.

O analiză aprofundată a cercetărilor seismologice, din perspectivă istorică și metodologică, este prezentată de I. Sandu (2015), care discută abordările deterministe și probabilistice, în special în contextul regiunii carpatice.

Studiile macroseismice implică un complex de metode interconectate. Procesul începe cu colectarea informațiilor despre efectele cutremurului, inclusiv limitele geografice unde acesta nu s-a manifestat. Se adaugă datele instrumentale furnizate de stațiile seismice. Pentru o acuratețe crescută, se folosesc patru metode principale: ancheta, sondajul, chestionarul și analiza documentelor oficiale. Rezultatul evaluării intensității macroseismice este harta de tip "punct-intensitate" (PI), reprezentarea principală a câmpului macroseismic. Aceasta este un document de arhivă esențial.

Datele macroseismice sunt utilizate pentru a determina următorii parametri ai sursei (în ordinea priorității): Pentru cutremurele actuale - adâncimea, poziția epicentrului, orientarea, dimensiunea, magnitudinea, momentul seismic; pentru cutremurele istorice poziția epicentrului, magnitudinea, adâncimea și (dacă este posibil) orientarea, dimensiunea, momentul seismic.

Ecuația câmpului macroseismic se bazează pe presupunerea unei schimbări uniforme a proprietăților fizice ale mediului și, în consecință, a unei distribuții uniforme a energiei seismice în spațiu. În acest caz, forma izosemelor ar depinde de geometria sursei în zona apropiată și de cerc în zona îndepărtată. Totuși, în realitate, liniile de intensitate egală diverg de la epicentru sub formă de elipse sau linii curbe de formă arbitrară. În zona apropiată, unde  $r\approx h$  (r – este distanța epicentrală, h – este adâncimea sursei cutremurului), geometria sursei cutremurului are o influență decisivă asupra configurației câmpului macroseismic (Șebalin N. 1961; Сейсмическое районирование 1980).

Seismicitate. Teritoriul Republicii Moldova face parte din zona seismică carpatică, care este o zonă activă separată a centurii orogenice alpine din cadrul regiunii seismotectonice europene, asociată cu interacțiunea plăcilor litosferice eurasiatice și africane și este un segment al centurii seismice alpino-himalayene. În această lucrare, regiunea carpatică este considerată în mod convențional a fi teritoriul aflat la latitudinea  $43^{\circ} - 49^{\circ}$  nord și longitudinea  $22^{\circ} - 31^{\circ}$  est, unde se află cea mai mare parte a României, Moldovei și partea de sud-vest a Ucrainei. Figura 1 prezintă o hartă a regiunii seismice carpatine din Europa, care arată amplasarea zonei seismice Vrancea în curba arcului carpatic, la joncțiunea Carpaților Orientali și Meridionali.



Fig. 1. Hartă a regiunii carpatice din Europa: amplasarea zonei seismice Vrancea în curbura Arcului carpatic.

Din punct de vedere tectonic, regiunea studiată este împărțită în trei zone structurale: platforma precambriană (rusească), platforma epihercinică (scitică) și regiunea geosinclinală alpină. Fiecare dintre acestea este caracterizată prin propriile zone seismogene (ZEP). Focarele de cutremur din regiunea seismică carpatică sunt grupate, în funcție de adâncime, în două niveluri: crustal (până la 60 km) și subcrustal. Cutremurele de crustă sunt distribuite în trei zone tectonice: prima zonă este legată de faliile din fundamentul platformei est-europene (precambriene); a doua – de faliile din fundamentul hercinic-cimmerian din Dobrogea de Nord și zonele adiacente; a treia – de faliile din structurile alpine.

Focarele superficiale ale cutremurelor slabe sunt dispersate pe întreg teritoriul regiunii carpatice. Adâncimea acestora nu depășește grosimea scoarței terestre (până la 50–60 km), iar cele mai puternice dintre ele ating magnitudinea maximă de M = 5,7. Zonele faliilor Dunării și interfluviul Prut–Siret sunt deosebit de active în acest sens. Sursele locale pot genera un efect macroseismic local în epicentru de până la 7 grade (Drumea A., Stepanenco N., 2006). În perioada observațiilor instrumentale, cel mai mare efect macroseismic produs de cutremurele crustale în Republica Moldova nu a depășit 5 grade. Cutremurele subcrustale (intermediare). Cea mai importantă și periculoasă componentă a seismicității din regiunea carpatică este reprezentată de cutremurele subcrustale produse în zona Vrancea, situată la joncțiunea Carpaților Orientali cu cei Meridionali. Această regiune este caracterizată prin mișcări tectonice contrastante, generate la granița dintre sistemul ascendent al Carpaților și zona de afundare a platformei Moesice, în curbura arcului carpatic. Aici, arcul carpatic își schimbă brusc direcția de la nord-vest spre o orientare est-vest, iar structura geologică suferă o tranziție: Carpații Orientali, caracterizați predominant prin formațiuni de tip fliș, trec în Carpații Meridionali, unde predomină formațiunile cristaline și flișul este mai redus (Drumea și al., 1964). La această joncțiune se localizează toate cutremurele puternice ale regiunii, constituind principala sursă de risc seismic pentru Republica Moldova.

Epicentrele focarelor vrâncene sunt concentrate într-o zonă restrânsă, mai mică de un grad geografic ( $1 \times 1^{\circ}$ , aprox.  $60 \times 80$  km) și sunt caracterizate de una dintre cele mai mari densități de cutremure la nivel global. Regiunea epicentrală este delimitată de meridianele  $26^{\circ}-27^{\circ}$  E și paralelele  $45^{\circ}-46^{\circ}$  N (Fig. 1) și coincide geografic cu masivul muntos Vrancea. În adâncime, focarele sunt distribuite între 60 și 180 km în manta, adâncimea scăzând spre est și sud-est. Focarele formează o zonă de ruptură subcrustală care coboară abrupt spre nord-vest, sub Carpați. Cutremurele sunt cauzate în principal de tensiuni compresive aproape orizontale, orientate dinspre nord-vest spre sud-est.

Cele mai puternice cutremure din zona Vrancea (cu intensități de până la 8–9 grade în epicentru) sunt resimțite nu doar în România, ci și în cea mai mare parte a Europei de Est și Centrale: Moldova, Ucraina, Bulgaria, Serbia, Macedonia, Rusia, Belarus, Ungaria, Slovacia, Polonia, Cehia, Grecia și Turcia. Fiecare secol este, de regulă, marcat de două sau trei cutremure cu intensitate apropiată de maximul posibil pentru această zonă focală.

Teritoriul Republicii Moldova, aflat în zona seismică carpatică, este supus unui risc seismic foarte ridicat. Conform scării macroseismice MSK-64, în anumite zone locale din sud-vestul țării pot fi înregistrate trepidații de până la 9 grade.

**Capitolul II** compară soluțiile mecanismului focal obținute prin două metode, identifică tipurile de mecanisme focale ale cutremurelor din regiunea carpatică și analizează influența acestora asupra efectului macroseismic.

În prima metodă, a fost utilizată tehnica standard Vvedenskaya (1969), bazată pe teoria dislocațiilor, pentru a construi mecanismul focal al cutremurelor puternice resimțite în Republica Moldova. Această metodă permite determinarea poziției celor două planuri nodale de ruptură, a orientării mișcării de-a lungul acestora și a direcțiilor principalelor axe de solicitare în momentul producerii cutremurului. Datele inițiale constau în semnele deplasărilor primare ale undelor *P*.

A doua metodă de determinare a mecanismului focal utilizează tensorul momentului seismic (TMS), conform metodei Dziewonski, prin analiza formei de undă de la sosirea undei P până la modurile fundamentale ale undelor de suprafață, înregistrate de stațiile digitale ale rețelei globale (Dziewonski A. et al., 1981). Deoarece mecanismul dedus din semnele undelor P reflectă începutul procesului de ruptură, iar axele principale ale TMS reflectă întreaga evoluție a evenimentului seismic, compararea celor două oferă informații valoroase despre dezvoltarea procesului de ruptură.

În primă instanță, au fost analizate soluțiile mecanismului focal pentru patru evenimente seismice majore cu M  $\geq$  5,9: 4 martie 1977, 30 august 1986, 30 și 31 mai 1990.

Cutremurul din 4 martie 1977 a fost unul multiplu, compus din mai multe rupturi succesive. Epicentrul acestuia este localizat în partea de nord-est a regiunii Vrancea. Direcția de propagare a rupturii poate fi dedusă din coordonatele sursei obținute prin metoda ISC, corelate cu momentul inițial al rupturii. Epicentrul determinat prin metoda TMS este deplasat cu 70–75 km spre sud-vest față de cel calculat pe baza semnalului inițial. În Figura 2, linia punctată reprezintă direcția de propagare a rupturii, iar coordonatele celor patru componente principale ale acestui eveniment multiplu sunt marcate conform Mueller G. et al. (1979).

Discrepanța dintre epicentre se explică prin faptul că metoda TMS reflectă una dintre etapele ulterioare ale procesului de ruptură, întrucât întregul semnal seismografic este utilizat pentru determinarea tensorului momentului seismic, ceea ce duce la o mediere a rezultatelor. Deși natura mișcării – de tip invers – rămâne similară, soluțiile pot diferi în detalii.

Hipocentrul cutremurului din 30 august 1986 este localizat la marginea sud-vestică a regiunii Vrancea, la o adâncime de aproximativ 130 km. Mecanismul focal al acestui cutremur, determinat prin ambele metode (prima sosire a undelor P și tensorul momentului seismic - TMS), este în bună concordanță. Ambele planuri de ruptură posibile au o orientare nord-estică. Direcția rupturii poate fi dedusă din faptul că epicentrul determinat prin metoda TMS este deplasat cu 25–30 km spre nord-est față de cel obținut prin metoda undelor P (Fig. 2). Din aceasta se poate deduce că ruptura s-a propagat dinspre sud-vest spre nord-est.

În 1990 a avut loc un dublu eveniment seismic, în datele de 30 și 31 mai. Locația focarelor este apropiată de cea a cutremurului din 1977. Mecanismul focal al cutremurului din 30 mai este similar cu cel al cutremurelor din 1977 și 1986, fiind caracterizat printr-o mișcare inversă. Orientarea planurilor nodale este tangențială la arcul carpatic. Determinarea

mecanismului focal, atât prin semnele primelor sosiri ale undelor P, cât și prin metoda TMS, a oferit rezultate similare, indicând o continuitate a direcției de ruptură în diferite etape ale procesului seismic. Epicentrul determinat prin metoda TMS este deplasat cu aproximativ 15 km spre nord-est, iar adâncimea focarului scade de la 89 km la 74 km (Fig. 2).



Fig. 2. Comparație între diferite soluții ale epicentrului și mecanismului focal al cutremurelor din 4 martie 1977, 30 august 1986 și 30 mai 1990 (punctele reprezintă epicentrele principalelor șocuri ale cutremurului din 1977, iar săgețile indică direcțiile de propagare a rupturilor).

Analiza mecanismelor focale ale cutremurelor din zona Vrancea, produse în perioada 1977–2014, pe baza semnelor undelor P și a metodei TMS, demonstrează că într-un volum seismogen restrâns se manifestă orientări diferite ale planurilor de ruptură, în concordanță cu distribuția epicentrelor în diverse zone ale arcului carpatic. Majoritatea cutremurelor din Vrancea au avut loc sub acțiunea tensiunilor compresive suborizontale; trei cutremure crustale au prezentat un mecanism de tip izbitor.

Compararea soluțiilor obținute prin metoda undelor P cu cele TMS evidențiază o similitudine practică. Pentru unele cutremure cu același tip de mișcare, se observă doar diferențe minore în orientarea planurilor nodale și a axelor principale de stres. Aceste

diferențe pot fi atribuite utilizării unor metode diferite, care reflectă faze distincte ale procesului de rupere – faza inițială versus faza intermediară. Un mecanism focal determinat în mod fiabil descrie ruptura generală din sursă și permite caracterizarea precisă a structurii profunde a rupturilor geologice active, inclusiv direcția, unghiul de incidență, tipul de deplasare și adâncimea sursei. Prin urmare, pentru o caracterizare completă a surselor seismice din regiunea carpatică, este recomandabilă utilizarea ambelor metode, acestea completându-se reciproc.

Pe baza tipurilor de deplasare ale surselor seismice, se poate evalua natura mişcărilor seismotectonice din regiune. Pentru a determina tipul de dislocație seismică, s-a utilizat sistemul de clasificare a orientării propus de Vermișeva L. și Gangus A. (1977), în care toate tipurile posibile de deplasări sunt împărțite formal în șapte grupe. Fiecare tip este determinat în mod unic de unghiurile dintre verticală (sau orizontală) și axele principale de stres P, B și T. Figura 3 prezintă o histogramă a distribuției tipurilor de mecanism focal al cutremurelor din Vrancea. Mecanismele de forfecare de tip A nu sunt prezentate.

Cele mai multe focare sunt caracterizate prin mișcare de împingere (tipul C). Urmează, în ordine descrescătoare, tipurile D, B1, C1 și E – corespunzătoare mișcărilor de forfecareîmpingere, inversă, normală și normală ușoară cu forfecare. Astfel, majoritatea focarelor prezintă o înclinare a planului nodal.



Fig. 3. Distribuția tipurilor de mișcare în focarele cutremurelor din Vrancea în perioada 1977–2014.
(B – falie normală cu mișcare frontală, B1 – falie inversă, C – falie de împingere, C1 – falie normală, D – falie normală cu mișcare frontală, E – falie normală slabă cu componentă de mișcare frontal).

În diferite sectoare ale arcului carpatic au fost identificate trei tipuri principale de mecanisme focale ale cutremurelor, fiecare asociat cu un efect macroseismic caracteristic:

- *Tipul 1* constă într-o combinație de două planuri înclinate, orientate în direcția nord-vest – sud-est. Acest tip a fost identificat la 25 de cutremure (31%). Se remarcă o creștere a intensității oscilațiilor solului în partea de nord a Republicii Moldova.
- *Tipul 2* este caracterizat de două planuri extinse în direcția vest–est, paralele cu axa Carpaților Meridionali. A fost identificat la 17 cutremure (21%) și determină o intensificare a oscilațiilor în direcția est.
- *Tipul 3* a fost observat la 20 de cutremure (25%) și constă într-o combinație între un plan abrupt și unul ușor înclinat. Direcția planului de ruptură este paralelă cu tangenta la curbura arcului carpatic, cu o creștere a intensității în direcția nord-est.

Pentru 23% dintre evenimentele analizate, soluția mecanismului focal nu s-a încadrat în niciuna dintre categoriile menționate.

Cele mai periculoase cutremure pentru Republica Moldova sunt cele de tip 3, localizate în partea centrală a regiunii Vrancea, la joncțiunea Carpaților Orientali cu Carpații Meridionali. Acest tip de mecanism a fost caracteristic pentru cele mai puternice cutremure ale secolului XX: 10 noiembrie 1940, 4 martie 1977, 31 august 1986 și 30 mai 1990.

A fost realizată o analiză comparativă a două cutremure semnificative din regiunea carpatică, ambele cu magnitudinea  $M_w = 5,7$ , epicentre apropiate, dar adâncimi focale diferite: 22 noiembrie 2014 (h = 41 km) și 23 septembrie 2016 (h = 91 km). Ambele au fost resimțite pe teritoriul Republicii Moldova. Figura 4 prezintă hărțile sumare ale izoseismelor pentru cele două evenimente. Se observă diferențe semnificative în privința suprafețelor afectate de oscilații de intensitate redusă (I = 3). În cazul cutremurului crustal din 2014, limita de perceptibilitate ajunge până la Bugul de Sud, în timp ce în cazul evenimentului de adâncime intermediară din 2016, această limită se extinde până la granițele Rusiei și Belarusului. Totuși, în sud-est, de la epicentre până la țărmul Mării Negre, precum și în nord-vest, izoseismele coincid aproape perfect. Acest fenomen este explicat prin atenuarea rapidă a intensității, cauzată de prezența numeroaselor falii în structurile tectonice ale Dobrogei și Carpaților.



Fig. 4. Comparație a izoseismelor cutremurelor din 22 noiembrie 2014 și 23 septembrie 2016.

Figura 5 prezintă dependența intensității seismice în funcție de distanța epicentrală în direcția nord-est față de epicentru (corespunzător azimutului către Chișinău), pentru două cutremure cu magnitudini similare. Se observă că adâncimea mare a sursei seismice determină o extindere semnificativă a suprafeței afectate de oscilații, ceea ce explică percepția cutremurului pe un areal mult mai vast în cazul evenimentului cu focar profund.



Fig. 5. Atenuarea intensității în direcția Chișinăului pentru cutremurele din 22 noiembrie 2014 și 23 septembrie 2016

O analiză comparativă a cutremurelor cu magnitudine comparabilă, crustal și subcrustal, a arătat că în cazul unui cutremur subcrustal se observă o deviere a focarului instrumental față de cel macroseismic, zona de zguduire maximă fiind deplasată spre nord-est față de epicentru. Deoarece propagarea undelor seismice în direcțiile nord-vest și sud-est este împiedicată de numeroase falii, atenuarea în aceste direcții are loc aproximativ în mod egal.

Iar în direcțiile nord-est și sud-vest, atenuarea intensității de la cutremurele de adâncime intermediară are loc mult mai lent. Prin urmare, tremurele simțite din partea acestora acoperă suprafețe mult mai mari de teritoriu decât în cazul cutremurelor crustale, care sunt caracterizate prin zone concentrice de intensitate regulată, iar odată cu distanța efectul macroseismic scade rapid.

Epicentul macroseismic al cutremurelor crustale este aproape sau coincide cu cel determinat instrumental. Mecanismul focal al cutremurului crustal este de tip "strike-slip", în timp ce cutremurul din Vrancea este de tip "push" și este cauzat de forțe de compresie în direcție orizontală. Mecanismul focal al celor mai puternice cutremure ale secolului XX (10 noiembrie 1940, 4 martie 1977, 30 august 1986 și 30 mai 1990) are o orientare dominantă a planurilor de ruptură de la nord-est la sud-vest, cu o contribuție mai mare sau mai mică a componentei de alunecare de tip ruptură. Această orientare este în bună concordanță cu alungirea izoseismelor spre Platforma Est-Europeană. Cel mai mare ca magnitudine a fost evenimentul distructiv din 1940, cel mai mic a fost cel din 1990. Adâncimile focale ale cutremurelor din 1977 și 1990 sunt de aproximativ 90 km, coordonatele epicentrelor fiind apropiate una de cealaltă. Sursa cutremurului din 1977 a constat din mai multe subsurse (Bune V. et al. 1986, p. 126).

In timpul cutremurelor din 1940 și 1986, direcția rupturii a fost de la sud-vest la nordest. Sursele lor sunt situate la aproximativ 50 km mai adânc, prin urmare, cu aceeași magnitudine, intensitatea la epicentru va fi mai mică decât în timpul cutremurelor de tipurile 1977 și 1990. Evenimentele principale au fost precedate de pre-cutremure din 22 octombrie 1940 și 16 august 1986. Astfel, direcțiile de propagare a rupturii în sursele acestor cutremure sunt pereche opuse. În 1940 și 1986, efectul macroseismic a crescut în direcția de ruptură (spre Chișinău). În 1977 și 1990, procesul de ruptură a fost dinspre nord-est spre sud-vest. Bucureștiul s-a aflat în linia de impactul maxim. Hărți macroseismice generalizate au fost create pentru diferite direcții ale planurilor nodale. Au fost luate în considerare evenimente cu  $M \cong 5$  (Drumea A. et al. 2009, p. 39). Analiza tremurilor observate în funcție de orientarea planului de ruptură a confirmat că cutremurele cu orientarea planurilor nodale spre nord-est – sud-vest sunt cele mai periculoase pentru teritoriul Republicii Moldova.

**Capitolul III** prezintă metodologia utilizată și calculele realizate pentru determinarea parametrilor cutremurelor istorice, pe baza datelor macroseismice disponibile.

Principalii parametri ai unui cutremur includ: coordonatele epicentrului (inclusiv cele macroseismice), adâncimea focarului (H), magnitudinea (M) și intensitatea în epicentru ( $I_o$ ).

Alți parametri relevanți sunt: orientarea planului focal, distanța focală orizontală, distanța focală verticală, înclinarea planului de ruptură, suprafața ariilor de intensitate, azimutul axei majore, distanța până la cel mai îndepărtat punct resimțit etc. Pentru cutremurele moderne, acești parametri pot fi determinați cu precizie pe baza datelor instrumentale. În schimb, pentru cutremurele istorice, acești parametri pot fi estimați exclusiv pe baza informațiilor macroseismice colectate.

Funcția clasică de atenuare a intensității seismice ia în considerare trei parametri principali: magnitudinea, adâncimea și distanța epicentrală. În această lucrare, a fost investigată contribuția parametrilor mecanismului focal asupra ecuației câmpului macroseismic.

Au fost analizate 15 parametri care caracterizează esențial sursa seismică: parametrii principali ai cutremurului, caracteristicile mecanismului focal și geometria sursei din zona Vrancea. Între acești parametri a fost identificată o corelație statistic semnificativă. Pentru a evidenția factorii ascunși care determină aceste relații, s-a aplicat analiza factorială. Pe baza rezultatelor obținute, coeficienții funcției de atenuare au fost calculați utilizând metoda mediei mobile pentru toate zonele seismice analizate.

Baza teoretică pentru determinarea parametrilor unui cutremur din date macroseismice este ecuația câmpului macroseismic, care exprimă dependența intensității într-un anumit punct de magnitudinea și adâncimea focarului. Ecuația are următoarea formă:

$$I_i = aM - b \lg \sqrt{\Delta^2 + H^2} + c \qquad (1),$$

unde M este magnitudinea;  $\Delta$  este distanța epicentrală; H este adâncimea sursei; a, b, c sunt coeficienți constanți.

Pentru cutremurele din regiunea carpatică, N. V. Șebalin (Drumea A., Șebalin N. 1985, p. 169) a derivat empiric coeficienții de atenuare în direcția Chișinău din cutremurele vrâncene de adâncime intermediară. Ca rezultat, s-a obținut următoarea formulă:

$$I_i = 1,5M - 4,5 \lg \sqrt{\Delta^2 + H^2} + 7$$
 (2).

Cunoscând magnitudinea M și adâncimea sursei cutremurului H, putem determina intensitatea Ii într-un punct situat la o distanță de  $\Delta$  km de epicentru.

Pentru evenimentele crustale din regiunea carpatică, se pot utiliza coeficienți globali în formula corespunzătoare (Drumea A., Șebalin N. 1985, p. 95):

$$I_i = 1,5M - 3,5 \lg \sqrt{\Delta^2 + H^2} + 3$$
 (3).

În lucrarea lui R. Z. Burtiev (2017, p. 216), au fost precizați coeficienții de atenuare pentru cutremurele de adâncime intermediară din zona Vrancea, obținuți pentru patru secțiuni azimutale (Tabelul 1). La calcularea coeficienților pe baza celor mai puternice cutremure, s-au utilizat valori ale magnitudinii  $M_W$ .

Interval azimutal	Coeficienți de atenuare			
	a	b	с	
0-90°	1,52	-4,74	6,79	
90-180°	1,63	-5,80	8,24	
180-270°	2,10	-6,94	8,07	
270-360°	1,41	-5,40	8,11	

Tabelul 1. Coeficienți de atenuare pentru cutremure intermediare din zona Vrancea

Direcția orașului Chișinău considerată în această lucrare se încadrează în secțiunea azimutală de 0 - 90°. În consecință, s-au luat coeficienții: a = 1,52, b = -4,74, c = 6,79. Înlocuind valorile, obținem următoarea formulă:

$$I_i = 1,52M_w - 4,74 \lg \sqrt{\Delta^2 + H^2} + 6,79$$
 (4).

Ca rezultat, s-au obținut formule cu două necunoscute: magnitudinea (M) și adâncimea (H). Pentru a determina magnitudinea, este necesar să se stabilească dependența dintre intensitatea în epicentru și adâncimea focarului, utilizând aceste formule.

Pentru acest studiu au fost selectate cutremure istorice produse între secolul al XVIIIlea și începutul secolului al XX-lea, care au fost resimțite pe un teritoriu extins și au atins o intensitate de cel puțin 6 grade în epicentru. De asemenea, au fost luate în considerare doar acele evenimente pentru care există un număr suficient de observații macroseismice. În total, au fost identificate 12 cutremure care corespund acestor criterii. Intensitatea acestora a fost reevaluată conform scalei macroseismice MSK-64, fiind determinată și valoarea intensității în epicentru. Chișinăul, menționat în aproape toate descrierile acestor cutremure semnificative, a fost ales ca punct suplimentar pentru analiză, cu o valoare cunoscută a intensității. Distanța epicentrală ( $\Delta$ ) față de zona Vrancea a fost considerată a fi de 230 km.

Rezultatele calculelor pentru parametrii principali — coordonatele epicentrului, adâncimea, magnitudinea și intensitatea în epicentru — sunt prezentate în Tabelul 2. Coordonatele sunt indicate pentru epicentrul macroseismic, centru al zonei pleistoseismice.

Data	Coordonate		Adâncime	Magnitudine	Intensitate în
cutremurului	N	Ε	(km)	$M_W(M_S)$	epicentru
11-06-1738	45.72	27.24	90–130	6.9–7.3	8
06-04-1790	45.90	27.04	120–130	6.3–6.4	6 (6–7)
26-10-1802	45.18	26.61	120–130	7.6–7.7	8–9
26-11-1829	45.28	27.06	130–140	7.0–7.1	7–8
23-01-1838	45.35	27.32	90–100	6.9–7.0	8
17-08-1893	46.35	27.68	120–130	6.3–6.4	6–7
10-09-1893	46.25	27.58	70–80	5.9–6.0	7
04-03-1894	46.08	27.66	20	5.9 (5.7)	7 (7–8)
31-08-1894	46.29	27.84	70–90	6.2–6.3	7 (7–8)
06-02-1904	46.56	27.59	120	6.0	6
06-10-1908	45.85	27.31	100	6.0	6–7
25-05-1912	45.56	27.22	30	6.2 (6.1)	7

Tabelul 2. Principalii parametri ai cutremurelor istorice

Tabelul 3 compară parametrii rafinați ai cutremurelor istorice cu parametrii prezentați în catalogul Romplus și în Catalogul nou Noul Catalog (1977).

 Tabelul 3. Comparație a parametrilor cutremurelor istorice

 conform datelor din diverse cataloage

Data	Adâncime	Adâncime	Adâncime	Magnitudin	Magnitudine	Magnitudine
cutremurulu	[Новый	conform cat.	calculată de	е [Новый	conform cat.	calculată de
i	каталог	Romplus	autorul	каталог	Romplus	autorul
	1977] (km)	(km)	lucrării (km)	1977] (M)	$(M_W)$	lucrării ( $M_W$ )
11-06-1738	75-200	130	90–130	7.0	7.7	6.9–7.3
06-04-1790	75-200	150	120–130	6.9	7.1	6.3–6.4
26-10-1802	100-170	150	120–130	7.4	7.9	7.6–7.7
26-11-1829	100-170	150	130–140	6.9	7.3	7.0–7.1
23-01-1838	100-170	150	90–100	6.9	7.5	6.9–7.0
17-08-1893	80-150	100	120–130	6.1	7.1	6.3–6.4
10-09-1893	50-150	100	70–80	6.1	6.5	5.9–6.0
04-03-1894	50-150	130	20	5.8	6.5	5.9
31-08-1894	100-170	130	70–90	6.5	7.1	6.2–6.3
06-02-1904	40-90	75	120	5.9	6.6	6.0
06-10-1908	120-180	125	100	6.8	7.1	6.0
25-05-1912	20-80	90	30	6.3	6.7	6.2

Pe lângă acești parametri calculați folosind formule, există o serie de alți parametri importanți. Aceștia au fost deja obținuți direct din hărțile izoseismice. În primul rând, epicentrul macroseismic al fiecărui cutremur, aria zonelor de intensitate și direcțiile axelor principale ale zonelor de intensitate au fost determinate folosind hărțile construite. De asemenea, sunt indicative rezultatele azimuturilor celui mai îndepărtat punct al liniei izoseismice îndepărtate și ale celui mai îndepărtat punct în care a fost resimțit cutremurul, iar distanțele până la aceste puncte au fost măsurate. Toate rezultatele obținute suplimentar sunt incluse în Tabelul 4.

Data	Suprafața	Unghiul axei	Distanța	Azimutul către	Azimutul către
cutremurului	afectată	primei izoseiste	(km)	punctul îndepărtat	izoseista
	$(km^2)$			(grade)	îndepărtată
					(grade)
11-06-1738	420 761*	54	602	57	245
06-04-1790	619 443	51	825	66	70
26-10-1802	2 451 404	64	1 658	14	45
26-11-1829	622 997	47	931	52	48
23-01-1838	979 174	69	1 228	49	48
17-08-1893	220 960	149	471	59	86
10-09-1893	211 048	172	460	48	252
04-03-1894	90 496	65	442	62	84
31-08-1894	203 277	85	608	232	232
06-02-1904	132 716	63	352	63	243
06-10-1908	402 167	56	588	62	17
25-05-1912	126 705	175	596	34	333

Tabelul 4. Parametri suplimentari ai cutremurelor istorice

Figura 6 prezintă un exemplu de hartă izoseismică (23 ianuarie 1838) cu calcule ale parametrilor suplimentari ai cutremurelor.

Parametrii obținuți ai cutremurelor istorice din regiunea carpatică care au avut un efect semnificativ asupra teritoriului Republicii Moldova, comparativ cu modelele identificate din studiile cutremurelor pe parcursul perioadei instrumentale, permit a determina tipul fiecărui cutremur și influența orientării (impactului) sursei asupra direcției efectului maxim.



Fig. 6. Calcule bazate pe harta izoseismică a cutremurului din 23 ianuarie 1838

În urma analizei parametrilor a 12 cutremure istorice, au fost estimate adâncimile focale aproximative ale acestora: zece dintre evenimente s-au dovedit a fi subcrustale, iar două – crustale (4 martie 1894 și 25 mai 1912). S-a constatat că direcția de propagare a rupturii în focarul majorității cutremurelor subcrustale – în special a celor mai puternice – a fost sud-vest – nord-est. Printre acestea se numără patru cutremure (6 aprilie 1790, 26 octombrie 1802, 26 noiembrie 1829 și 23 ianuarie 1838) care au generat un efect macroseismic predominant spre nord-est și alte patru evenimente (11 iunie 1738, 10 septembrie 1893, 31 august 1894 și 6 februarie 1904) care au produs efecte mai accentuate spre sud-vest, având hipocentre situate, în general, la adâncimi de aproximativ 90 km.

Această orientare dominantă a planurilor de ruptură pentru cutremurele puternice este confirmată de studiile realizate asupra seismelor înregistrate instrumental. Astfel, direcția de propagare a rupturii pentru cutremurul din 17 august 1893 a fost sublatitudinală, iar pentru cel din 6 octombrie 1908 – submeridională.

În ciuda posibilelor incertitudini generate de evaluarea intensității macroseismice, precum și de erorile asociate coeficienților ecuației câmpului macroseismic, a fost posibilă determinarea tipului mecanismului fiecărui cutremur istoric și obținerea unor estimări mai precise ale parametrilor acestora. Rezultatele obținute sunt în concordanță cu modelele identificate în cazul cutremurelor instrumentale, ceea ce validează metodologia utilizată în analiza datelor macroseismice și în calculul parametrilor seismici aplicați în această lucrare. Parametrii rafinați ai cutremurelor istorice permit construirea unei imagini mai complete și mai fiabile asupra hazardului seismic din regiunea carpatică, oferind o bază solidă pentru evaluările de risc și pentru elaborarea strategiilor de reducere a vulnerabilității seismice.

23

#### CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

Lucrarea este dedicată unei analize cuprinzătoare a efectului macroseismic al cutremurelor carpatice asupra teritoriului Republicii Moldova și țărilor vecine, investigării mecanismului focal al cutremurelor din această zonă și determinării parametrilor celor mai puternice cutremure istorice din regiunea seismică carpatică, în vederea clarificării și revizuirii catalogului istoric al acestora.

- Lucrarea prezintă metodologia de colectare şi prelucrare a datelor macroseismice, analizând sursele macroseismice ale cutremurelor carpatice. Au fost colectate şi reevaluate date extinse din toate cataloagele istorice şi moderne disponibile, conform scalei MSK-64. Pe baza unei baze de date unificate, au fost elaborate hărți de intensitate şi hărți izoseismice. Totodată, au fost evidențiate particularitățile focarelor cutremurelor intermediare din zona Vrancea.
- 2. Compararea soluțiilor mecanismului focal obținute prin două metode analiza primelor sosiri ale undelor P şi metoda tensorului momentului seismic (SMT) a evidențiat diferențe care reflectă complexitatea proceselor de ruptură şi modificările în timp ale orientării planului de ruptură. Analiza a arătat că focarele seismice sunt situate la adâncimi diferite. Majoritatea cutremurelor din regiunea Vrancea sunt cauzate de tensiuni compresive, în timp ce un singur eveniment a fost generat de tensiuni extensional. Trei cutremure crustale au prezentat mecanisme de alunecare normală.
- 3. Au fost identificate trei regimuri tectonice principale în zona Vrancea:
  - *Tip estic* (nord-estul regiunii Carpații Orientali): caracterizat de compresii suborizontale perpendiculare pe direcția arcului carpatic;
  - *Tip sudic* (sud-vestul regiunii Carpații Meridionali): cu compresii aproape orizontale în direcția nord–sud;
  - *Tip central* (zona de joncțiune a Carpaților Orientali și Meridionali): unde compresiile orizontale sunt orientate perpendicular pe tangenta curburii arcului carpatic (nord-vest – sud-est), asociat cu cele mai puternice cutremure ale secolului XX.
- 4. Au fost identificate modele distincte de manifestare macroseismică pentru cutremurele crustale şi cele subcrustale. Intensitatea maximă a cutremurelor crustale este înregistrată în apropierea epicentrului şi scade rapid cu distanţa. Izoseismalele iniţiale

reflectă forma sursei, iar epicentrul macroseismic coincide, de regulă, cu cel instrumental. În cazul cutremurelor intermediare din Vrancea, se constată discrepanțe între epicentrul instrumental și cel macroseismic, cu efecte mai accentuate spre est. Propagarea undelor este atenuată pe direcțiile nord-vest și sud-est din cauza faliilor multiple, în timp ce pe direcțiile nord-est și sud-vest atenuarea este mai redusă. Cutremurele subcrustale afectează suprafețe mult mai mari decât cele crustale.

Stereogramele cutremurelor intermediare indică zone centrale de compresie, în timp ce cele ale cutremurelor crustale prezintă zone centrale de rarefiere. Mecanismul focal al cutremurelor crustale este de tip alunecare normală, iar cel al cutremurelor intermediare din Vrancea este de tip compresiv, generat de forțe orizontale.

- 5. Prin analiza componentelor principale s-au identificat corelații între parametrii mecanismului focal şi s-a determinat numărul minim de factori relevanți care influențează dispersia datelor. Pe lângă cei trei parametri fundamentali (magnitudine, adâncime, distanță epicentrală), s-a determinat contribuția parametrilor mecanismului focal în ecuația câmpului macroseismic. Coeficienții funcției de atenuare au fost calculați prin metoda mediei mobile, iar parametrii principali şi suplimentari ai celor mai mari cutremure istorice au fost determinați folosind metoda N.V. Şebalin şi ecuația regională a câmpului macroseismic.
- 6. Analiza a 12 cutremure istorice a permis estimarea precisă a parametrilor fiecărui eveniment şi clasificarea acestora: 10 cutremure subcrustale şi 2 crustale. Direcția rupturii pentru majoritatea evenimentelor subcrustale în special cele mai puternice a fost sud-vest nord-est: patru cu efect preponderent spre nord-est şi patru spre sud-vest, cu hipocentre situate în jurul adâncimii de 90 km. Această tendință este confirmată de datele instrumentale şi completează calitativ cataloagele existente.

În ciuda posibilelor erori în evaluarea intensităților și a coeficienților ecuației macroseismice, a fost posibilă determinarea tipului fiecărui cutremur și estimarea mai precisă a parametrilor acestora. Rezultatele sunt în concordanță cu modelele obținute prin studii instrumentale, validând astfel metodologia utilizată.

 A fost elaborată o bază de date macroseismice privind cutremurele istorice din regiunea carpatică, evaluată conform scalei MSK-64. Hărțile izoseismice realizate includ şi punctele suplimentare identificate. Aceste date au fost publicate în colecția de date macroseismice (Kronrod, T., 2013). Rezultatele privind mecanismele focale sunt utilizate și de alți cercetători (Gintov, Folfman) în studiile referitoare la seismicitatea regiunii. Cunoașterea parametrilor cutremurelor istorice contribuie la o evaluare mai precisă a hazardului seismic în regiunea carpatică și vor fi utilizate la actualizarea hărților de zonare seismică ale Republicii Moldova.

Pentru cercetările viitoare, se recomandă o evaluare detaliată a contribuției zonelor focale de mici dimensiuni de pe teritoriul Republicii Moldova și din regiunile limitrofe. Aceasta va constitui o componentă esențială în procesul de microzonare seismică a localităților. Volumul semnificativ de date colectate oferă o bază solidă pentru cercetări viitoare privind seismicitatea regiunii carpatice.

#### BIBLIOGRAFIE

- 1. АЛКАЗ В.Г. Основы прогноза сейсмической опасности и сейсмического риска территории Республики Молдова. Кишинев, 2007, 229 с. ISBN 978-9975-9636-3-3
- 2. БАХТИН А.И., НИЗАМУТДИНОВ Н.М., ХАСАНОВА Н.М., НУРИЕВА Е.М. Факторный анализ в геологии. Казань: Изд-во Казанского университета, 2007, 32 с.
- 3. БУРТИЕВ Р.З. Методология оценки сейсмической опасности. LAP, 2017, 321 с.
- 4. БУРТИЕВ Р.3. Определение расстояния от точки наблюдения до элементарного источника землетрясений. In: *Buletin IGS ASM*. 2014, №1, pp. 23-29. ISSN 1857-0046
- 5. ВВЕДЕНСКАЯ А.В. Исследование напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций. М.: Наука, 1969, 135 с.
- 6. ВЕРМИШЕВА Л.Ю., ГАНГУС А.А. Применение типизации подвижек в очагах землетрясений для решения сейсмотектонических задач. В: *Физика Земли*. 1977, №3, с. 103.
- 7. ВОРОНИНА Е.В. *Механика очага землетрясения*. Спецкурс. Москва: Физический факультет МГУ, 2004, 92 с.
- 8. ГАБРИЕЛЯН Р.Г. Эконометрика: Методическое пособие. М.: Видное, 2008, 85 с.
- 9. ГИНТОВ О.Б., МУРОВСКАЯ А.В., ЕГОРОВА Т.П. и др. Глубинная сейсмогенная зона Вранча как индикатор геодинамического процесса. В: *Геофизический журнал.* № 3, Т. 37, 2015. С. 22-44.
- 10. ДЖАНУЗАКОВ К.Д. Региональные особенности затухания интенсивности сотрясений сильных землетрясений Кыргызстана и прилегающих к нему районов В: Вестник Института сейсмологии НАН КР. Бишкек, 2013, № 2, с. 11–16.
- 11. ДРУМЯ А.В., МОСКАЛЕНКО Т.П., СТЕПАНЕНКО Н.Я. Молдавия. В: Кн. Сейсмическое районирование территории СССР. М.: Наука, 1980, с. 107-109.
- 12. ДРУМЯ А.В., УСТИНОВА Т.И., ЩУКИН Ю.К. Проблемы тектоники и сейсмологии Молдавии. Вып. 2. Кишинёв: Картя Молдовеняскэ, 1964. 120 с.
- 13. ДРУМЯ А.В., ШЕБАЛИН Н.В. Землетрясение: где, когда, почему? Кишинёв: Штиинца, 1985, 196 с.
- 14. ЕВСЕЕВ С.В. Землетрясения Украины. Изд. АН УССР, Киев, 1961. 76 с.
- 15. ЕШАНУ В.М., СКОВИТИН А.И., ЧЕКАН М.С. Каталог карпатских землетрясений (макросейсмические данные). В: Отчёт Молдавской опытно-методической партии. Кишинёв, 1988, Т. 1-4.
- 16. ЗАХАРОВА А.И., ЧЕПКУНАС Л.С., КОЛОМИЕЦ М.В. и др. Сильные землетрясения мира. В: Землетрясения в СССР в 1990 году. РАН. Москва, 1996, с. 217-122.
- 17. Землетрясения в СССР за 1960-1994 гг. М.: Наука, РАН, 1963-2000.
- 18. Землетрясения Северной Евразии за 1995 2019 гг. Обнинск: ГС РАН, 2001-2023.
- 19. Карпатское землетрясение 4 марта 1977 г. и его последствия. Ред. ДРУМЯ А.В. М.: Наука, 1980, 272 с.
- 20. Карпатское землетрясение 1986 г. Ред.: А.В. ДРУМЯ, Н.В. ШЕБАЛИН, Н.Н. СКЛАДНЕВ, С.С. ГРАФОВ, В.И. ОЙЗЕРМАН. Кишинев: Штиинца, 1990, 334 с.
- 21. Каталог карпатских землетрусів за 1955-1967 р. Киев: Наукова думка, 1958-1971.
- 22. КИРОВ К. Земетресения в България през годините 1931-1940. София: Ц.М.И., 1941, 110 с.
- 23. КЛОССОВСКИЙ А. Метеорологическое обозрение. В: Труды метеорологической сети юго-запада России в 1892 1896 гг. Одесса, 1895 1897.
- 24. КРАСНОРАМЕНСКАЯ Т.Г. ГИС в решении задач корреляции разломно-блоковых структур и сейсмичности Алтае-Саянской складчатой области. Иркутск, 2008, 152 с.
- 25. МЕДВЕДЕВ С.В.(Москва), ШПОНХОЙЕР В.(Иена), КАРНИК В. (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK 64. М.: Изд-во МГК АН СССР, 1965, 11 с.
- 26. МУШКЕТОВ И.В., ОРЛОВ А.П. Каталог землетрясений Российской империи. Записки Русского географического общества, т. 26. С-Пб: Тип-фия Императорской АН, 1893, 582 с.
- 27. МХИТАРЯН В.С., АРХИПОВА М.Ю., СИРОТИН В.П. Эконометрика. М.: ЕАОИ, 2008.
- 28. Новый каталог сильных землетрясений с древнейших времён до 1975 г. Ред. Н.В. КОНДОРСКАЯ, Н.В. ШЕБАЛИН. М.: Наука, 1977, 536 с.
- 29.РИЗНИЧЕНКО Ю.В. Энергетика макросейсмики. В: Изв. АН СССР. Физика Земли. Москва, 1974, № 8, с. 3–10. ISSN 0002-3337

- 30. САГАЛОВА Е.А. К вопросу о сейсмическом районировании территории Буковины. В: *Сб. Сейсмичность Украины*. Киев: Наукова думка, 1969, с. 70-80.
- 31. Сейсмологический бюллетень Западной территориальной зоны ЕССН СССР (Крым Карпаты за 1970-1992 гг.). Киев: Наукова Думка, 1980-1995.
- 32. Сейсмологический бюллетень Украины за 1993 2013 гг. Симферополь: ИГ НАНУ, КЭС ОСОБЗ, 1996 2014.
- 33. СТЕПАНЕНКО Н.Я., ДРУМЯ А.В., СИМОНОВА Н.А. Сильнейшие землетрясения Карпатского региона в XVIII – XX вв. В: *Buletinul Instituitului de Geofizică si Geologie al ASM*, 2006, N1, pp. 37-64. ISSN 1857-0046
- 34. ЧЕКУНОВ А.В. Тектоническая модель сейсмоактивного района Вранча. В: Геологический журнал. №4, т.47, 1987. С. 3 11.
- 35. ШЕБАЛИН Н.В. Количественная макросейсмика. Проблемы макросейсмики. В: Вычислительная сейсмология. М.: ГЕОС, 2003. Вып. 34. С. 57–201.
- 36. ШЕБАЛИН Н.В., ХРОМЕЦКАЯ Е.А. Методические аспекты получения и интерпретации макросейсмических данных. В: Землетрясения в СССР. М.: Наука, 1988.
- 37. ATANASIU I. Cutremurele de pământ din România. Acad. RPR, București, 1961. 275 p.
- 38. BASIMOV, M. *Mathematical methods in psychological research*. LAP, Lambert Academic Publishing, 2011, 192 p.
- 39. BONJER, K.P., ONCESCU, L., RIZESCU. T. e. a. Source- and Site-Parameters of the April 28, 1999. In: *Inter. Conf. Earthquake Loss Estimation and Risk Reduction*. Bucharest, 2002. P. 24-26.
- 40. BURTIEV R. Seismic Hazard assessment method based on the stochastic models of seismicity In: *Bulletin of the Intern. Institute of Seismology.* Tsukuba, Japan, 2017. V. 51. P. 22–38.
- 41. Catalogue the earthquake, p. 3. Atlas of isoseismal maps. UNDP-UNESCO. Skopye, 1974. 275 p.
- 42. DZIEWONSKI A., CHOU T., WOODHOUSE J. Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity. In: J. Geophys Res. 1981-86. №B4. P. 2825-2852.
- 43. *European Macroseismic Scale 1998*. Ed. G. GRÜNTAHL. Conseil de L'Europee Cahiers de centre Europeen de Geodinamique et de Seismologie. Vol. 15. Luxembourg, 1998.
- 44. FLORINESCO A. Catalogue des tremblements de terre ressentis sur le territoire de la RPR. Bucuresti, 1958. 167 p.
- 45. ISMAIL-ZADEH A., KEILIS-BOROK V. I., SOLOVIEV A. A. Numerical modelling of earthquake flow in the southeastern Carpathians (Vrancea): effect of a sinking slab In: *Physics of the Earth and Planetary Interiors.* 1999. Vol. 111, Is. 3–4. P. 267–274.
- 46. ISMAIL-ZADEH A., MATENCO L., RADULIAN M., CLOETINGH S., PANZA G. Geodynamics and intermediate-depth seismicity in Vrancea (the southeastern Carpathians): Current state-of-the art In: *Tectonophysics*. 2012. Vol. 530. P. 50–79.
- 47. ISMAIL-ZADEH A., SOKOLOV V., BONJER K. Tectonic stress, seismicity and seismic hazard in the southeastern Carpathians In: *Nat. Hazards. Springer.* 2007. P. 1–22.
- 48. KRONROD T., RADULIAN M., PANZA G. Integrated transnational macroseismic data set for the strongest earthquakes of Vrancea (Romania) In: *Tectonophysics*. 590 (3). 2013. P. 1–23.
- 49. MOSTRYUKOV A.O., PETROV V.A. Catalogue of focal mechanisms of earthquakes 1964-1990. In: *Materials of the World Data Center*. Moskow, 1994. 87 p.
- 50. POPESCU G. Cutremurele de pământ din Dobrogea. In: Analele Dobrogei, an. XIX, v. 1. Cernăuți, 1938. P. 22-26.
- 51. RADU C., UTALE A. The Vrancea (Romania) earthquake of October 26 1802. In: XXXIII General Assembly of the Europ. Seism. Commis. Activity report 1990 1992 and Proceedings. Prague, 1994. V. 1. P. 110 114.
- 52. RADULIAN M., POPESCU E., BALA A., UTALE A. Catalog of fault plane solution for the earthquakes occurred on the Romanian territory. In: *Rom. Journ. Phys.*, 47, 2002. P. 663-683.
- 53. RETHLY A.A Karpatmedencek Foldrengescei (455-1918). Budapest: Acad., Kiado. 1952. 152 p.
- 54. SANDU I. Cronologia evoluției conceptuale asupra seismelor. In: *Buletin IGS ASM*, №1, 2012, P. 47-62.
- 55. SANDU I. Influența parametrilor sursei seismice Vrancea și condițiilor de sol asupra efectului seismic în Republica Moldova. Teza de doctor în științe fiz.-mat. Chișinău, 2015. 170 p.
- 56. SMITH L. I. A Tutorial on Principal Components Analysis. 2002. P. 26.

### LISTA PUBLICAȚIILOR AUTORULUI LA TEMA TEZEI

#### 1. Monografii

- 1. ДРУМЯ А.В., СТЕПАНЕНКО Н.Я., СИМОНОВА Н.А., АЛЕКСЕЕВ И.В., **КАРДАНЕЦ В.Ю.** Атлас карт интенсивности землетрясений Молдовы (XVIII – XXI вв.). Кишинёв, 2009. 154 с.
- 2. СТЕПАНЕНКО Н.Я., **КАРДАНЕЦ В.Ю.** Землетрясения Молдовы. Каталог сейсмических событий очаговой зоны Вранча (с 1738 по 1948 гг.). Кишинёв: Изд-во МолдГУ, 2024. 243 с.

#### 2. Articole în reviste din străinătate

- 3. СТЕПАНЕНКО Н.Я., СИМОНОВА Н.А., **КАРДАНЕЦ В.Ю.** Пространственные вариации осей главных напряжений в очагах землетрясений области Вранча. В: *Сейсмологический бюллетень Украины за 2012 год*. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2013. С. 46-56.
- 4. STEPANENCO N., CARDANET V. Macroseismic effect of the November 10, 1940 earthquake in the territory of Moldova, Ukraine and Russia. In: *The 1940 Vrancea Earthquakes*. Springer International Publishing. Switzerland, 2016. P. 101-112.
- 5. BURTIEV R., ALCAZ V., CARDANETS V. Probabilistic seismic hazard analysis on the base of the stochastic models of seismicity. In: *Indian Journal of Applied Research*. V. 6, issue 8, August 2016. P. 454-466.
- 6. СТЕПАНЕНКО Н.Я., **КАРДАНЕЦ В.Ю.** Сопоставление региональных определений механизмов очагов Карпатских землетрясений с решениями тензора момента центроида. В: *Учёные записки Крымского фед. университета*. Сер. География, Геология. Т. 2(68) №4. Симферополь, 2016. С. 220-248.
- 7. СТЕПАНЕНКО Н.Я., **КАРДАНЕЦ В.Ю.** Сильные землетрясения XXI века в области Вранча и их аналоги в каталоге исторических землетрясений. В: *Учёные записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского.* Сер. География. Геология. Т. 4 (70) №4. Симферополь, 2018. С. 174-196.
- КАРДАНЕЦ В.Ю. Определение параметров исторических землетрясений по макросейсмическим данным. В: *Российский сейсмологический журнал.* 2020. Т. 2, № 1. С. 62–75. Doi: <u>https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.1.06</u>
- 9. БУРТИЕВ Р.З., **КАРДАНЕЦ В.Ю.** Модель главных компонент в сейсмичности зоны Вранча. В: *Геофизический журнал.* № 1, Т. 42, 2020. С. 76-85.
- 10. BURTIEV R., ALCAZ V., TROIAN S., CARDANETS V. Factor analysis in seismology. In: *International Journal of Advanced Research*. (IF: 7,08). 2020, nr. 2.

#### 3. Articole în reviste naționale

- 11. СТЕПАНЕНКО Н.Я., **КАРДАНЕЦ В.Ю**., СИМОНОВА Н.А. Исследование очаговых параметров землетрясений промежуточной глубины области Вранча. În: *Buletinul Instituiului de Geologie și Seismologie*. N2, 2014. Р. 60-72.
- 12. **КАРДАНЕЦ В.Ю.** Вклад И.М. Сухова в макросейсмические исследования Карпатских землетрясений. În: *Buletinul Instituiului de Geologie și Seismologie*. N1-2, 2015. P. 36-41.
- 13. **КАРДАНЕЦ В.Ю.** Особенности макросейсмического проявления карпатских землетрясений в зависимости от механизма и глубины очага. În: *Buletinul Instituiului de Geologie și Seismologie*. N2, 2016. P. 106-112.

#### 4. Teze în culegeri științifice

- КАРДАНЕЦ В.Ю. Основные типы сейсмогенеза в Карпатской очаговой зоне и наблюдаемый эффект для территории Республики Молдовы. În: Conferința Științifică Internațională a doctoranzilor "Tendințe contemporane ale dezvoltării ştiinței: viziuni ale tinerilor cercetători" (teze). UnASM, 10 martie 2015. Chişinău, 2015. P. 98.
- КАРДАНЕЦ В.Ю. Определение параметров исторических землетрясений по макросейсмическим данным. В: Материалы XIV Международной сейсмологической школы «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных» (Тезисы). Кишинёв, 9-13 сентября 2019. Обнинск, 2019. С. 51.

#### ADNOTARE

#### CARDANEȚ Vladlen, "Efectul macroseismic al cutremurelor carpatice pe teritoriul Republicii Moldova ca bază pentru recuperarea parametrilor cutremurelor istorice" – teza de doctor în științe fizice. Chișinău, 2025.

**Structura tezei:** introducere, 3 capitole, concluzii și recomandări, lista de referințe din 127 de surse, 3 anexe. Volumul total al lucrării: 159 de pagini; partea principală: 117 pagini; 74 figuri și 24 de tabele. Rezultatele au fost publicate în 52 de lucrări științifice.

**Cuvinte-cheie:** Regiunea seismică Carpatică, zona Vrancea, câmp macroseismic, intensitate, magnitudine, mecanism focal, parametrii cutremurelor.

**Scopul lucrării:** evaluarea parametrilor principali ai cutremurelor și determinarea tipului celor mai puternice cutremure istorice din perioada pre-instrumentală a zonei Vrancea din regiunea seismică Carpatică, pe baza datelor macroseismice suplimentare, pentru o revizuire calitativă a catalogului cutremurelor istorice.

**Obiectivele cercetării**: colectarea datelor macroseismice disponibile și evaluarea lor pe scara MSK-64; elaborarea hărților de izoseiste ale cutremurelor luate în considerare; efectuarea analizei comparative a soluțiilor mecanismului focal de cutremure din zona Vrancea și identificarea principalelor tipurilor de mișcări; investigarea greutății contribuției parametrilor suplimentari în ecuația câmpului macroseismic; calcularea parametrilor principali și suplimentari ale cutremurelor studiate; analizarea fiecărui eveniment istoric și determinarea tipului acestuia.

**Noutatea și originalitatea științifică:** pe baza datelor macroseismice colectate și prelucrate, a fost creată o bază de date extinsă privind cutremurele din regiunea Carpatică; au fost elaborate hărți de izoseiste actualizate ale cutremurelor studiate; pe baza unei analize comparative a mecanismului focal de cutremur au fost identificate trei tipuri de mișcări în zona Vrancea; parametrii principali și suplimentari ai cutremurelor istorice au fost calculați mai precis; au fost determinate tipul și alte caracteristici ale celor mai puternice cutremure istorice din regiunea Carpatică.

**Problema științifică soluționată:** restabilirea parametrilor și determinarea tipului celor mai puternice cutremure istorice din perioada preinstrumentală a zonei Vrancea din regiunea seismică Carpatică, pentru obținerea unui catalog cu date mai precise ale cutremurelor istorice.

**Semnificația teoretică:** seismicitatea regiunii Carpatice este clasificată în funcție de tipul mișcărilor din focarul cutremurului; sunt descrise aspecte metodologice ale obținerii și prelucrării datelor macroseismice, se efectuează analiza surselor macroseismice ale teritoriului studiat; se efectuează analiza parametrilor mecanismului focal al cutremurelor Vrâncene și se determină tipurile de mișcări în focarul.

Valoarea aplicativă: a fost creată o bază de date macroseismice ale cutremurelor istorice din regiunea seismică Carpatică, estimată pe scara MSK-64; au fost construite hărți de izoseiste ale cutremurelor, inclusiv toate punctele suplimentare găsite; au fost calculați parametrii principali și suplimentari ai fiecărui cutremur și ai focarului acestuia și a fost determinat tipul fiecărui cutremur. Parametrii obținuți asupra evenimentelor seismice cercetate pentru un catalog cu date mai precise ale cutremurelor istorice vor permite determinarea mai precisă a pericolului seismic pe teritoriului Republicii Moldova pentru punctele aparte și elaborarea unor hărți mai precise ale zonării seismice.

**Implementarea rezultatelor:** rezultatele au fost utilizate în lucrările de zonare seismică și evaluarea riscului seismic al teritoriului Republicii Moldova, microzonizarea teritoriului orașelor Chișinău, Cahul și Comrat; în construirea unui model al zonei seismogene a Vrancei în lucrarea lui Gintov și al.; în sinteza macroseismică din zona Vrancea în Kronrod și al.; și vor fi, de asemenea, utilizate în studiile ulterioare ale cutremurelor din regiunea Carpatică în construirea modelelor de seismicitate a Republicii Moldova și a țărilor vecine.

#### ANNOTATION

# CARDANET Vladlen, "Macroseismic effect of Carpathian earthquakes on the territory of the Republic of Moldova as a basis for restoring the parameters of historical

earthquakes." PhD thesis for the degree of Doctor of Physical Sciences. Chisinau, 2025.

**Structure of the thesis:** introduction, three main chapters, conclusions and recommendations, list of references from 127 sources, 3 appendices. The total volume of the work: 159 pages; main part: 117 pages; 74 images and 24 tables. The results have been published in 52 scientific papers.

**Keywords:** Carpathian seismic region, Vrancea zone, macroseismic field, earthquake intensity, earthquake magnitude, focal mechanism, earthquake parameters.

**Purpose of the research:** to evaluate the main earthquake parameters and determine the type of the strongest historical earthquakes of the pre-instrumental period of the Vrancea zone of the Carpathian seismic region, based on additional macroseismic data, for a qualitative revision of the catalog of historical earthquakes.

**Research objectives:** to collect the available macroseismic data and evaluate it according to MSK-64 scale; to create isoseismmal maps of the earthquakes under consideration; to perform a comparative analysis of solutions of the focal mechanism of the Vrancea zone and identify the main types of movements; to investigate the weight of the contribution of additional parameters to the equation of the macroseismic field; to calculate the main and additional parameters of the studied earthquakes; to analyze each historical seismic event and determine its type.

**Scientific novelty and originality:** based on the collected and processed macroseismic data, an extensive database of earthquakes in the Carpathian region has been created; updated isoseismal maps of the studied earthquakes have been elaborated; based on a comparative analysis of the mechanism of the earthquake source, three types of movements in the Vrancea zone have been identified; the main and additional parameters of historical earthquakes have been more accurately calculated; the type and other characteristics of the strongest historical earthquakes in the Carpathian region have been determined.

**Scientific problem solved:** according to the available macroseismic data, the parameters were restored and the type of the strongest historical earthquakes of the pre-instrumental period of the Vrancea zone of the Carpathian seismic region was determined.

**Theoretical significance:** seismicity of the Carpathian region is classified according to the type of movements in the earthquake focus; methodological aspects of obtaining and processing macroseismic data are described, the analysis of macroseismic sources of the studied territory is carried out; the analysis of the parameters of the focal mechanism of the Vrancean earthquakes is carried out and the types of movements in the focus are determined.

**Practical significance:** a database of macroseismic data of historical earthquakes of the Carpathian seismic region, estimated on the MSK-64 scale, was created; earthquake isoseismal maps were elaborated, including all additional points found; the main and additional parameters of each earthquake and its focus were calculated and the type of each earthquake was determined. The obtained earthquake parameters for a more accurate catalog of historical earthquakes will make it possible to more accurately determine the seismic hazard of the RM territory and elaborate more accurate maps of seismic zoning.

**Implementation of the results obtained.** the results were used in works on seismic zoning and seismic risk assessment of the territory of the Republic of Moldova, micro-zoning of the territory of the cities of Chisinau, Cahul and Comrat; in creating a model of the seismogenic zone of Vrancea in the work of Gintov et al.; in macroseismic data set for the strongest earthquakes of Vrancea the work of Kronrod et al.; and they will also be used in further studies of earthquakes in the Carpathian region in elaborating models of seismicity of the territory of the Republic of Moldova and neighboring countries.

#### АННОТАЦИЯ

## КАРДАНЕЦ Владлен, «Макросейсмический эффект карпатских землетрясений на территории Республики Молдова как основа восстановления параметров

исторических землетрясений» - диссертационная работа на соискание учёной степени доктора физических наук. Кишинёв, 2025.

Структура работы: введение, 3 главы, выводы, список литературы из 127 источников, 3 приложения. Общий объём работы: 159 страниц; основная часть: 117 страниц; 74 рисунка и 24 таблицы. Результаты опубликованы в 52 научных работах.

**Ключевые слова:** Карпатский сейсмический регион, Вранча, макросейсмическое поле, интенсивность землетрясения, магнитуда землетрясения, механизм очага.

**Цель исследования:** Оценить основные параметры землетрясений и определить тип сильнейших исторических землетрясений доинструментального периода зоны Вранча Карпатского сейсмического региона, на основе дополнительных макросейсмических данных, для качественного пересмотра каталога исторических землетрясений.

Задачи исследования: собрать имеющиеся макросейсмические данные и оценить по шкале MSK-64; построить карты пунктов-баллов и карты изосейст рассматриваемых землетрясений; выполнить сравнительный анализ решений механизма очага землетрясений зоны Вранча и выделить основные типы подвижек; исследовать весомость вклада дополнительных параметров в уравнение макросейсмического поля; вычислить основные и дополнительные параметры исследуемых землетрясений; проанализировать каждое рассматриваемое историческое землетрясение и определить его тип.

Научная новизна полученных результатов: на основе собранных и обработанных макросейсмических данных создана обширная база данных по землетрясениям Карпатского региона; построены обновлённые карты изосейст исследуемых землетрясений; на основе сравнительного анализа механизма очага землетрясений выявлены три типа подвижек в очаге зоны Вранча; более точно вычислены основные и дополнительные параметры исторических землетрясений; определены тип и другие характеристики сильнейших исторических землетрясений Карпатского региона.

**Решённая научная проблема:** по имеющимся макросейсмическим данным восстановлены параметры и определен тип сильнейших исторических землетрясений доинструментального периода зоны Вранча Карпатского сейсмического региона.

**Теоретическая значимость работы:** классифицирована сейсмичность Карпатского региона по типу подвижек в очаге землетрясения; описаны методические аспекты получения и обработки макросейсмических данных, проведен анализ макросейсмических источников изучаемой территории; проведен анализ параметров механизма очага вранчских землетрясений и определены типы подвижек в очаге.

**Практическая значимость работы:** создана база макросейсмических данных исторических землетрясений Карпатского сейсмического региона, оценённых по шкале MSK-64; построены карты изосейст землетрясений, включающие все дополнительно найденные пункты; вычислены основные и дополнительные параметры каждого рассматриваемого землетрясения и его очага и определяется тип каждого землетрясения. Полученные параметры землетрясений для более точного каталога исторических землетрясений позволит точнее определить сейсмическую опасность территории РМ для отдельных пунктов и построить более точные карты сейсмического районирования.

Внедрение полученных результатов. Результаты были использованы в работах по сейсмическому районированию и оценке сейсмического риска территории РМ, микрорайонированию территории городов Кишинева, Кагула и Комрата; при построении модели сейсмогенной зоны Вранча в работах Гинтова и др., в макросейсмической сводке землетрясений зоны Вранча в работе Кронрод и др.; а также будут использованы в дальнейших исследованиях землетрясений Карпатского региона при построении моделей сейсмичности территории Республики Молдова и сопредельных стран.

#### CARDANEŢ VLADLEN

## EFECTUL MACROSEISMIC AL CUTREMURELOR CARPATIENE PE TERITORIUL REPUBLICII MOLDOVA CA BAZĂ PENTRU RECUPERAREA PARAMETRILOR CUTREMURELOR ISTORICE

## 134.10 – GEOFIZICĂ ȘI SEISMOLOGIE

Rezumatul tezei de doctor în științe fizice

Aprobat spre tipar 27.05.2025 Hârtie ofset. Tipar digital. Coli de tipar 2,1 Format 60 x 84 <sup>1/16</sup> Tiraj 15 ex. Comanda №68/25

Editura USM str. Mateevici, 60. Chişinău, MD - 2009