

EVOLUȚIA CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE ASUPRA CUTREMURELOR DE PĂMÂNT¹

Mirela-Adriana ANGHELACHE

mirelaadrianaa@yahoo.com

ABSTRACT: This article presents a brief history, from myth to science, of the human reflection about the surveying and the assessment of the earthquakes. It goes until nowadays, when the research assumes the modelling of the destructive potential of earthquakes. The latter one is done in order to avoid human and material loss.

KEYWORDS: earthquakes, plate tectonics, faults, seismic hazard, seismicity, Seismology, prediction.

Introducere

Obișnuim să asociem cutremurele cu dezastre, mai ales cu distrugerea habitatelor în care trăim și de aceea le privim cu teamă, considerând că ne-ar fi mult mai bine fără ele. Privindu-le de la o scară mult mai amplă în timp și în spațiu, vedem că ele sunt semnificative ale evenimentelor geologice din evoluția Pământului, atunci când se formează munții sau oceanele. Tot cutremurele ne atenționează că pe stratul cel mai exterior al crustei, strat pe care noi locuim, piesele care îl construiesc se aranjează ca într-un joc de puzzle și atunci, în timpul acestor ajustări, au loc mișcări mai

¹ Termenul de „cutremure de pământ” se folosește penru a diferenția cutremurele naturale de cele induse de unele activități umane. Pe parcursul lucrării termenele de „cutremure” și „seisme” se vor referi de fapt, la cutremurele de pământ.

puternice sau mai slabe. Făcând eforturi ca să cunoaștem mai bine cutremurele, înțelegându-le cauzele, mecanismele, efectele, nu numai că ne înțelegem mai bine planeta, dar vom reuși să facem față mai bine acestor încercări la care planeta noastră ne supune, uneori, extrem de puternic.

De la mit la „folclorul modern” despre cutremure

Din totdeauna, omul s-a întrebat ce sau cine produce un cutremur. Iată câteva legende despre producerea cutremurelor, mituri care, dincolo de ineditul cauzelor descriu atât de metaforic mișcarea seismică a Pământului.

India: Pământul este susținut de patru elefanți care stau pe spatele unei broaște țestoase. Broasca țestoasă la rândul ei stă în echilibru pe capul unei cobre. Atunci când unul dintre animale se mișcă, se cutremură și Pământul.

Assam (între Bangladesh și China): În interiorul Pământului există o rasă de oameni care din când în când zgâlțâie Pământul pentru a afla dacă la suprafață mai există ceva. Atunci când copiii simt zdruncinătura strigă „Viu, Viu!” pentru ca oamenii din subteran să-i audă și să înceteze zdruncinăturile.

Mexico: El Diablo, diavolul, începe să sfășie Pământul pornind din interiorul său. El și cohorta sa, de draci, folosesc crăpăturile făcute atunci când vor s-o ia pe scurtătură ca să iasă la suprafață și să stârnească din nou necazuri pe Pământ.

Siberia: Pământul stă pe o sanie trasă de un zeu, pe nume Tuli. Căinii care trag sania au purici. Atunci când se opresc să se scarpine, Pământul se cutremură.

Japonia: O pisică de mare uriașă, sau „namazu”, stă încolăcită în noroi, pe fundul mării, având pe spate insula Japoniei. Un semizeu, sau „daimyojin”, ține o stâncă pe capul ei pentru a nu se mișca. Uneori, atunci când prinde un moment de neatenție a semizeului, pisica de mare se mișcă iar Pământul se cutremură.

Mozambic: Pământul este o ființă vie și are aceleași probleme ca și oamenii. Din când în când, el se îmbolnăvește, face gripă cu febră și noi îl putem simți atunci când are frisoane.

Africa de Vest: Pământul este un disc plat, susținut la un capăt de un munte enorm, și la celălalt, de un uriaș. Soția uriașului susține cerul. Pământul tremură atunci când uriașul își îmbrățișează soția.

Letonia: Un zeu, pe nume Drebkuhls, poartă Pământul cu delicatețe în brațele sale, în timp ce merge prin ceruri. Atunci când acesta are o zi proastă, s-ar putea să nu fie atent la cum ține Pământul. Atunci Pământul simte smuciturile.

Columbia: Atunci când Pământul a fost făcut pentru prima oară, a fost fixat pe trei grinzi mari din lemn. Dar într-o zi Chibchacum a decis că va fi mai distractiv să vadă câmpia lui Bogota sub apă. El a inundat terenul și drept pedeapsă a fost forțat să poarte lumea pe umerii lui. Uneori el se enervează și bate din picior, zguduind pământul.

Scandinavia: Zeul Loki a fost pedepsit pentru că și-a omorât fratele, Baldur. El este legat de o stâncă, într-o peșteră subterană. Deasupra feței lui un șarpe își scutură otrava, pe care chiar înainte de a-i atinge fața, sora lui Loki, o strânge într-un bol. Dar, din când în când, ea trebuie să plece ca să golească vasul, lăsând ca otrava să cadă pe fața lui Loki. Pentru a evita acest lucru, el se leagă și răsuțește, iar în acel moment Pământul se zdruncină.

Noua Zeelandă: Mama Pământ poartă în pântec un copil, pe micuțul zeu Ru. Când el se întinde și lovește, așa cum fac bebelușii, el provoacă cutremure.

Africa de Est: Un pește gigantic cară o stâncă pe spatele lui. Pe stâncă stă o vacă, balansând Pământul pe unul din coarneauale sale. Uneori, când începe să o doară gâtul, aruncă globul pământesc de pe un corn pe altul.

America Centrală: Pământul pătrat este ținut la cele patru colțuri ale sale de către patru zei. Atunci când ei decid că Pământul a devenit suprapopulat, aceștia îl răstoarnă pentru a scăpa de surplusul de oameni.

Romania: Lumea se sprijină pe stâlpii divini ai credinței, speranței și carității. Atunci când faptele oamenilor slăbesc unul dintre stâlpi, Pământul se cutremură.

Primele teorii despre cutremure, mai degrabă fizice decât supranaturale, au fost ale filosofilor Romei și Greciei Antice. De exemplu, în secolul al V-lea î.e.n., Democrit atribuia cutremurele acțiunii apei care intra în Pământul cavernos, trecând din zonele în care era în exces în cavernele uscate.

În secolul al IV-lea î.e.n., Aristotel dădea o teorie alternativă, susținând: „... nici apa, nici pământul nu pot fi cauza tremurăturilor, dar poate fi vântul, atunci când este suflat înapoi de unde a venit”. Același lucru, îl susținea mai târziu și William Shakespeare în drama Henric al IV-lea:

*„Diseased nature oftentimes breaks forth
In strange eruptions; oft the teeming earth
Is with a kind of colic pinch'd and vex'd
By the imprisoning of unruly wind
Within her womb; which, for enlargement striving
Shakes the old beldam earth, and topples down
Steeple and moss-grown towers.”*

În secolul al XIV-lea, Mustawfi descria reconstrucția orașului iranian Tabriy, care a fost distrus în anul 1042 e.n. de un cutremur. Reconstrucția orașului includea săparea unor puțuri noi și construcția unui sistem extensiv de apeducte subterane. Mustawfi a atribuit absența activității seismice din regiune până la evenimentul din 1042 faptului că puțurile și apeductele, încă necolmatate, acționau ca niște ventilatoare care permiteau ca vaporii din interiorul Pământului să fie eliberați prin ele, fără a le forța drumul de ieșire printre roci.

Și în zilele noastre, în „folclorul modern” întâlnim mituri în care oamenii au anumite concepții despre cutremure, mai mult sau mai puțin acoperite științific.

Mitul Pământului care înghite oameni: Oriunde pe glob găsești oameni care cred că atunci când se produce un cutremur, se deschide o prăpastie de-a lungul unei falii și oricine care este surprins deasupra ei poate să cadă și să fie înghițit în adâncurile Pământului. Lucru perfect fals, o mișcare instantanee de-a lungul

unei falii poate crea o crevasă nu prea adâncă, dar oamenii nu dispar prin această crăpătură. Terenul se mișcă de-a lungul planului faliei în timpul unui cutremur, dar nu perpendicular pe el. Dacă falia s-ar deschide larg, atunci nu ar exista frecare, iar fără frecare între roci nu ar exista cutremur. Crevasele care se formează în timpul unui cutremur pot provoca alunecări de teren sau tot felul de alte fenomene de alunecare.

Mitul imunității la cutremure: Unii oameni cred că ei sunt protejați de acțiunea unui cutremur mare deoarece locuința lor este deseori zdruncinată de cutremure mici care „eliberează aburul”. Acest lucru nu este adevărat. Un cutremur moderat, de magnitudine 5 pe scara Richter², elimină doar o miime din energia unui cutremur de magnitudine 7. Însă cutremurele moderate pot fi precursore unor cutremure mai mari.

Mitul speculațiilor astrologice: Tot mai mult teren câștigă ideea că planetele Marte, Jupiter și Saturn guvernează acțiunea distructivă a Pământului iar că mările terestre pot declanșa cutremure. Mările terestre apar, deoarece Pământul, în timp ce se rotește, este sub atracția gravitațională a Lunii, respectiv, a Soarelui. Deocamdată, s-au făcut unele constatări că mările terestre pot juca un rol în declanșarea cutremurelor. De exemplu, există studii care pun în evidență acest lucru pentru cutremurele vrâncene din țara noastră. La ora actuală se caută găsirea unor corelații statistice elocvente între parametrii care descriu mișcarea mareicică și intensificarea activității seismice în timpul mareelor.

Tectonica plăcilor și cutremurele – scurt istoric al teoriei tectonicii plăcilor

Apariția cutremurelor este strict legată de teoria tectonicii plăcilor. Părintele *tectonicii plăcilor* este considerat a fi meteorologul german Alfred Lothar Wegner care, în 1915, publică în cartea sa, *The Origin of Continents and Oceans*, o teorie inedită, prezentată

² Magnitudinea pe scara Richter, M, desemnează un număr pentru a cuantifica cantitatea de energie seismică eliberată în timpul unui cutremur și se măsoară pe o scară logaritmică în bază 10.

încă din 1912 într-o ședință a Asociației Geologice Germane, teoria derivei continentelor, conform căreia cu milioane de ani în urmă exista un continent gigant, pe care l-a denumit Pangea, din care s-au desprins celelalte continente, afirmație demonstrată pe baza datelor morfologice și geologice, dar și a celor de ordin geodezic. Încă din anul 1596 cartograful olandez Abraham Ortelius, în a treia ediție a cărții sale, *Thesaurus Geographicus*, observa că nu din totdeauna continentele au avut aceeași poziție.

Deși, aceeași idee a fost susținută și de alți predecesori a lui Wegener, așa cum el însuși menționa în 1929, cum ar fi: Franklin Coxworthy (1848–1890), Roberto Mantovani (1889–1909), William Henry Pickering (1907) și Frank Bursley Taylor (1908), teoria lui Wegener a fost cea mai elaborată și creată independent de aceștia. El eșuează, însă, în modelul derivei continentelor, prezentând continentele ca pe niște aisberguri de granit plutind pe crusta oceanică, care este formată dintr-un material mai dens, din bazalt, dar și în explicarea cauzelor derivei continentelor, atribuindu-le pseudo-forței centrifuge generate de rotația Pământului și forței de inerție care se opune acesteia, precum și, atracției gravitaționale a Pământului de către Lună și Soare.

În 1920, Arthur Holmes, de asemenea suporter al teoriei lui Wegner, a sugerat că joncțiunea crustă continentală – crustă oceanică se află sub mare și mișcarea continentelor este rezultatul curenților de convecție care se formează datorită căldurii rezultate din dezintegrarea rocilor radioactive din interiorul Pământului.

În 1958, geologul tasmanian, Samuel Warren Carey, a publicat *The tectonic approach to continental drift* ca suport pentru teoria expansiunii crustei globale, din aceasta dezvoltându-se teoria tectonicii plăcilor. Conform teoriei, expansiunea se realiza prin ridicarea la suprafață a unor roci noi, de-a lungul dorsalelor oceanice. Fără însă a postula existența zonelor de subducție și a faliiilor transformante, teoria nu a putut explica de ce nu există o expansiune nelimitată a globului terestru.

Acest lucru i-a preocupat îndeosebi pe Harry Hess, geolog de la Universitatea Princeton și amiralul în rezervă, Robert S. Dietz,

om de știință de la U.S. Coast and Geodetic Survey, care au lansat prima oară termenul de *expansiune a fundului oceanic*, asociind expansiunea cu inversiunile repetate de câmp magnetic ale rocilor aflate de o parte și de alta a dorsalelor oceanice, inversiuni dispuse în benzi simetrice, paralele, de magnetizare similară. Remarcabil este că, încă din 1928, G.A.F. Molengraff de la Institutul de Tehnologie din Delft (acum Universitate) a lansat o teorie recognoscibilă în teoria expansiunii fundului oceanic, de mai târziu, pentru a explica deschiderea oceanului Atlantic, dar și a riftului est-african.

Hess s-a gândit că în cazul în care crusta oceanică se răspândește de-a lungul dorsalelor oceanice, atunci ea se micșorează în altă parte. Hess a sugerat faptul că de-a lungul dorsalelor medio-oceanice se răspândește continuu crusta oceanică nouă, într-o mișcare ca pe bandă rulantă, pe care după milioane de ani mai târziu, crusta coboară în șanțurile oceanice care sunt un fel de canioane foarte adânci și înguste de-a lungul marginii bazinului oceanului Pacific. Pe dorsalele medio-oceanice iau naștere prin vulcanism roci noi, formând crusta oceanică nouă, iar crusta oceanică veche ajunge din nou în manta, prin șanțurile oceanice. După Hess oceanul Atlantic se lărgiște în timp ce oceanul Pacific se micșorează. Tot Hess, într-o lucrare publicată în anul 1962, a sugerat o teorie opusă celei a *derivei continentelor* și anume că bazinul oceanic împreună cu acel continent pe care îl mărginește se mișcă pe aceeași unitate crustală sau placă. În același an Robert R. Coats, de la U.S. Geological Survey, a descris principalele caracteristici ale subducției arcului insular al Aleutinelor, dar lucrarea sa a fost considerată un fel de „preștiință”. În 1967, W. Jason Morgan a sugerat că suprafața Pământului este alcătuită din 12 plăci rigide care se mișcă relativ una față de cealaltă, iar două luni mai târziu Xavier le Pichon a publicat un model complet bazat pe 6 plăci majore, aflate în mișcare relativă.

În cele din urmă, pe la sfârșitul anilor '60, se conturează teoria tectonicii plăcilor ca o sinteză a teoriei derivei continentelor din prima jumătate a secolului douăzeci și a conceptului expansiunii fundului oceanic dezvoltată de-a lungul anilor '60. De fapt, anii

'60 au fost ani de acumulări și de triumf în domeniul Științelor Pământului, iar teoria tectonicii plăcilor este una dintre cele mai importante realizări pe tărâm științific ale secolului trecut.

Teoria tectonicii plăcilor susține că litosfera³ este alcătuită din plăci tectonice, șapte plăci majore și multe altele mai mici, care plutesc pe astenosferă⁴ și care pot include fie crustă continentală, fie crustă oceanică, sau pe ambele. Aceste plăci se mișcă dependent una față de alta, ducând la trei tipuri de margini de placă: convergente, atunci când marginile de placă intră în coliziune sau/și o placă se scufundă sub alta, topindu-se încet în manta, divergente, sau când plăcile se depărtează una de cealaltă, și transformante, atunci când plăcile trec una pe lângă cealaltă. De-a lungul marginilor de placă au loc cutremure, fenomene de vulcanism, se formează munții și șanțurile oceanice. Plăcile tectonice se deplasează cu o viteză în jur de 2–12 cm/an.

Mecanismele producerii cutremurelor

În ceea ce privește cutremurele putem spune că teoria plăcilor tectonice formulată ca o teorie coerentă în anii '60, explică cauza de bază a apariției majorității cutremurelor.

Cu 50 de ani mai devreme mecanismul cutremurelor a fost determinat ca o ruptură instantanee a faliiilor geologice.

Cutremurul Mino-Owari din 1891 din Japonia a produs o ruptură de 80 km de-a lungul insulei Honshu și, de asemenea, au fost măsurate pe teren deplasări verticale de 3 m și orizontale de 8 m. Geologul japonez Bunjiro Koto a sugerat că ruptura ar fi de fapt cauza cutremurului.

Cutremurul din 1906 din San Francisco a fost asociat cu ruptura faliei San Andreas pe o distanță mai mare de 400 km. Cei care au investigat cutremurul au consultat evaluările geodezice din

³ Litosferă – cel mai exterior strat al Pământului care este singurul strat casant al planetei, cu o adâncime de 0–60 km, care poate varia local, 0–5 km sau 0–200 km.

⁴ Astenosferă – strat al mantalei superioare de vâscozitate scăzută și rezistență mecanică la forfecare, cu o adâncime de 100–200 km.

nordul Californiei făcute între anii 1851–1865, 1874–1892. S-a descoperit că în decadele anterioare rupturii, punctele de observație de pe laturile opuse s-au deplasat unele față de celelalte.

Deformațiile pre-cutremur s-au potrivit în direcție și magnitudine cu alunecarea măsurată pe ruptura faliei după cutremur.

Principalele concepte-cheie folosite pentru a înțelege cutremurele și undele seismice sunt *stresul* și *strain-ul*, stresul reprezintă raportul dintre forță și unitatea de arie, iar strain-ul reprezintă deformarea într-un solid care a fost indusă de aplicarea unui stres.

Atunci când un material este stresat acesta răspunde în moduri diferite:

se deformează (își schimbă forma și volumul) – aceasta este o comportare *elastică*, când materialul revine la forma sa inițială atunci când stresul este eliminat (în deformarea *plastică* materialul nu revine la forma sa originală). *curge* – aceasta este o comportare *vâscoasă* (fluidă). Un material nu revine la forma sa inițială atunci când este eliminat stresul, având un comportament *ductil*.

fracturează – aceasta este o comportare *casantă* și apare numai în cazul solidelor. Materialul nu revine la forma sa inițială atunci când este eliminat stresul.

În timpul unui cutremur majoritatea energiei de deformare este convertită în căldură, doar câteva procente fiind transformate în unde seismice, dar aceasta este o energie suficientă pentru a zgudui puternic litosfera.

Imediat după cutremurul din 1906 din San Francisco, H. F. Reid a propus o ipoteză pentru a explica apariția cutremurului. Modelul de zvâcnire elastică al lui Reid include apariția unor cutremure într-un ciclu de construire și eliberare a strain-ului. Stresul se aplică unei falii, fiind produs de către mișcarea relativă a plăcilor tectonice. Materialul de lângă falie se deformează ca răspuns la acest stres. Frecarea este forța care rezistă mișcării și ține apropiați pereții faliei. Atunci când stresul devine prea mare, forța de frecare este învinsă, iar falia se fracturează (rupe) și eliberează stresul, având loc un cutremur. Prin urmare un cutremur reprezintă o eliberare, de-a lungul unei falii închise, a energiei de deformare

stocată în roci, aceasta energie provenind din mișcarea plăcilor tectonice determinată de gravitație și de căldura din interiorul Pământului.

Deoarece materialul de lângă falie eliberează energia elastică pe care a acumulat-o, aceasta „saltă” înapoi, la loc. Falia nu „saltă” perfect la loc, iar noua sa configurație crește cu siguranță stresul pe anumite segmente ale ei. Aceste stresuri noi, mai mici, produc *strain-uri* care sunt deseori eliberate în mai multe „salturi”, care provoacă replici într-o *cascadă* de cutremure mai mici.

Cutremurele, însă, nu se produc chiar conform teoriei zvâcnirii elastice. Variațiile rezistenței mecanice a fracturii și variațiile de structură, precum și, interacțiunile dintre falii fac destul de dificilă înțelegerea ciclului de deformare.

Cele mai puternice cutremure sunt provocate de marile fracturi ale crustei, majoritatea au loc în litosferă, care reprezintă singura fracțiune casantă a planetei, dar se pot produce seisme și la adâncimi de aproape 700 de km, însă în blocul de litosferă care se scufundă în manta. De asemenea, cutremurele crustale pot fi asociate cu fenomene de vulcanism. Acest lucru este sugerat de faptul că există o corelație între distribuția epicentrelor și lanțurile vulcanice.

Răspândirea cutremurelor pe glob

În secolul XX, folosirea seismografelor⁵ a permis oamenilor de știință să descopere faptul că în anumite zone de pe glob se produc cutremurele, îndeosebi la marginile de placă (cutremure interplacă): divergente, în zonele de rift, transformante sau de decroșare, când plăcile se deplasează lateral una față de cealaltă, convergente, în zonele de subducție. În zonele de subducție cutremurele nu au loc întâmplător, ele au loc într-un plan înclinat care se extinde pe sute de kilometri, sub crustă. La sfârșitul anului 1920 seismologii au început să identifice aceste zone de cutremure, para-

⁵ Seismograf – un sistem de instrumente care detectează și înregistrează mișcarea pământului ca o funcție de timp. 6 seismogramă – înregistrarea de fapt a mișcării pământului făcută cu un seismograf.

lele cu șanțurile oceanice, care erau tipic înclinate la 40° – 60° . Acestea au fost denumite zonele Wadati-Benioff, sau mai simplu, zonele Benioff, nume dat în onoarea seismologilor care le-au recunoscut prima oară, Kiyoo Wadati din Japonia și Hugo Benioff din SUA.

Studiul seismicității globale a avansat începând din anul 1960, odată cu stabilirea rețelei WWSSN, World Standardized Seismograph Network, o rețea standardizată de seismografe, pentru depistarea cutremurelor din exploziile nucleare, destinată inițial urmării respectării tratatului din 1963 care interzicea testarea la suprafață a armelor nucleare. Datele de la instrumentele WWSSN au permis seismologilor să localizeze precis zonele în care au loc concentrări de cutremure pe glob.

Zona cea mai întinsă de cutremure, din lume, este așa-numitul „Cerc de foc al Pacificului” care mărginește oceanul Pacific, unde au loc peste 81 % din cele mai mari cutremure ale lumii. Cercul începe din Chile, se îndreaptă spre nord de-a lungul coastei Americii de Sud, apoi de-a lungul coastei Americii Centrale, a Mexicului, pe lângă coasta de vest a Statelor Unite, pe la sud de Alaska, prin arhipelagul Aleutine până la Japonia, insulele Filipine, Noua Guinee, către grupul de insule din sudul Pacificului până la Noua Zeelandă.

Al doilea cerc important, Alpidale, se extinde de la Java spre Sumatra, prin Himalaya, Mediterana până la Atlantic. Acesta cuprinde și munții Carpați cu zona seismogenă Vrancea. În acest cerc au loc peste 17 % din cele mai mari cutremure ale lumii, inclusiv cele mai distructive. Iar ar treilea cerc important este cel care urmează Dorsala Medio-Atlantică. Celelalte cutremure puternice au loc în zone diferite de pe glob și pot apărea în zone intraplacă și nu neapărat la margini de placă, explicarea acestui fenomen necesitând îmbogățirea teoriei tectonicii plăcilor pentru a deveni mult mai robustă.

Există și zone unde nu se produc cutremure. Aceste zone, numite *aseismice*, sunt următoarele: scutul baltic, canadian, brazilian, african, australian, platforma rusă, Groelandă ș.a.m.d.

Cutremurele de pământ, hazarde seismice pentru omenire – o lecție învățată

De multe ori cutremurele de pământ sunt asociate cu sfârșitul lumii, deoarece evenimentele catastrofale care au avut loc de-a lungul timpului au făcut multe victime omenești și au provocat mari pagube materiale, îndeosebi în zonele dens populate. Din secolul al XX-lea, cutremurele de pământ puternice sunt o problemă prioritară, odată cu apariția marilor aglomerări urbane. Un cutremur devine hazard seismic atunci când are efecte potențiale distructive asupra unei locații specifice, într-o anumită perioadă de timp. Hazardul seismic devine o componentă a riscului seismic atunci când îl multiplicăm cu *vulnerabilitatea și gradul de expunere*. Dacă hazardul este „controlat de natură”, ultimii doi termeni pot fi controlați de către oameni, de exemplu, prin măsuri de reducere a gradului de vulnerabilitate a elementelor expuse la risc, prin acestea înțelegându-se tot ceea ce constituie habitatul uman. Efectele catastrofale ale unor cutremure depind mult de gradul de dezvoltare a așezărilor umane la momentul producerii evenimentului seismic, de densitatea populației, de gradul de pregătire al populației în vederea reducerii riscului etc.

Rememorând efectele câtorva cutremure puternice din secolul trecut, aflăm că, deși ni se prezintă o lecție tristă pentru omenire, învățămintele trase au constituit pași importanți în înțelegerea modului prin care cutremurele pot deveni hazarde naturale pentru omenire. Și astfel oamenii si-au intensificat eforturile pentru îmbunătățirea metodelor prin care pot preveni dezastrelor provocate de cutremure.

Cutremurul de la San Francisco, din 18 aprilie 1906, cu magnitudinea de 7,9 pe scara Richter, produs în lungul faliei San Andreas, pe o distanță de 430 de km de la San Juan Bautista la Cape Mendocino a fost urmat de un incendiu, provocat îndeosebi de distrugerea conductelor de gaze – incendiu care a distrus parțial orașul. S-au estimat mai mult de 3000 de pierderi de vieți omenești și peste 225.000 de locuitori au rămas fără locuință, pierderile economice ajungând la 400 milioane de dolari la valoarea de atunci.

În urma acestui cutremur s-a lansat prima investigație sub autoritatea guvernului american asupra cutremurelor din Statele Unite. În 1908 a apărut raportul Lawson, o compilație de rapoarte detaliate asupra efectelor cutremurului, strânse de la mai mult de 20 de oameni de știință. Raportul conținea date despre mișcarea sistemului de falii San Andreas, seismograme primite din diferite locații din lumea largă unde au fost înregistrate propagarea undelor cutremurului, cuprindea și date despre geologia din nordul Californiei, dar și numeroase fotografii ale clădirilor avariate și hărți detaliate ale locațiilor clădirilor.

Până în prezent raportul rămâne un document foarte important pentru seismologii, geologii și inginerii din toată lumea și un ghid util pentru investigațiile integrate asupra efectelor cutremurelor din S.U.A. Observațiile din raport au furnizat elementele de bază pentru confirmarea „teoriei zvâcnirii elastice” a profesorului H. F. Reid care pe vremea aceea a făcut parte din comisia Lawson.

Din 1906 până acum, în S.U.A, s-a dezvoltat un program puternic de cercetare asupra cutremurelor, seismografele măsoară intensitatea mișcărilor seismice la peste 1000 de situri din California, instrumentele geodezice și monitorizările repetate urmăresc mișcările plăcilor Pacific și Nord Americane și stresul indus de acestea, precum și deformarea crustei în California. Datele de la aceste rețele de instrumente sunt analizate cu ajutorul computerelor.

Cu ajutorul acestor observații, oamenii de știință și-au format o imagine detaliată asupra localizării și activității sutelor de falii care formează sistemul de falii San Andreas. Ei au înțeles mult mai bine cum faliile pot provoca cutremure puternice, care sunt probabilitățile de apariție pe termen lung ale acestor cutremure și cât de puternice pot fi mișcările seismice. Astfel au fost create primele hărți de hazard seismic care anticipează ariile unde un cutremur va fi puternic, aceste hărți fiind necesare zonărilor regionale și deciziilor pentru amenajarea teritorială a locațiilor școlilor, spitalelor, zonelor rezidențiale, centralelor nucleare, acordându-se îndeosebi atenție structurilor care necesită un grad maxim de siguranță. De la acest cutremur s-au inițiat dezvoltarea codurilor de construcții pentru

clădiri și poduri care să reziste la cutremure și, de asemenea, emiterea polițelor de asigurări de către companiile de asigurări.

Cutremurul de la Kwanto, Japonia, din 1 septembrie 1923, cu o magnitudine de aproximativ 7,9 pe scara Richter, a distrus orașele Tokio și Yokohama.

În urma acestui cutremur și-au pierdut viața 140.000 de oameni și alții, peste 100.000, au fost răniți, iar fără adăpost au rămas peste 1,9 milioane de oameni, pierderile economice depășind 1 miliard de dolari americani la valoarea actuală.

Pentru că acest eveniment a afectat o zonă cu o populație densă, înregistrându-se sute de mii de victime, și pentru a preîntâmpina în viitor acest lucru, s-au lansat programe științifice de urmărire și localizare a cutremurelor, în paralel cu alocarea de fonduri importante pentru culegerea și înregistrarea evenimentelor seismice, și, ulterior, de predicție a acestora. Trebuie subliniat că pe baza studiilor statistice seismologul japonez Omori a atras atenția că în orașul Tokio, în intervalul 1921–1930 va avea loc un cutremur puternic care va produce mari pierderi materiale și de vieți omenești.

Ziua de 1 septembrie a fost desemnată *Ziua pentru prevenirea dezastrelor*, pentru a reaminti oamenilor importanța pregătirilor pentru a preîntâmpina un dezastru.

O lecție care s-a desprins în urma producerii cutremurelor majore este că alunecările de teren reprezintă unele dintre cele mai importante efecte secundare ale cutremurelor, iar cutremurele din Alaska și Niigata au fost cele care au trezit atenția inginerilor asupra lichefierii⁶ terenului, fenomene care apare în timpul cutremurelor.

Cutremurul de la Prince William Sound sau Good Friday Earthquake, Alaska, din 28 martie 1964, de magnitudine 8,5 pe scara Richter a omorât 131 de oameni, a produs pagube materiale de 538 milioane de dolari și a provocat pierderi structurale numeroase din cauza lichefierii terenului.

⁶ Lichefiere – fenomen care apare atunci când depozitele de nisip și silt își pierd temporar rezistența mecanică și se comportă mai degrabă ca fluide vâscoase decât ca solide.

Cutremurul de la Niigata, Japonia, 16 iunie 1964, în urmă căruia 36 de persoane și-au pierdut viața, a distrus 3018 de locuințe și a avariat alte 9750. În urma cutremurului depozitele argiloase pe care era construit orașul și-au pierdut capacitatea portantă, iar numeroase blocuri cu patru etaje s-au înclinat sau chiar răsturnat, dar rămânând intacte. Tot din cauza lichefierii au fost destul de mult afectate șoselele, podurile, căile ferate, lucrările portuare, rafinăriile.

Cutremurul de la El Centro, din 15 octombrie 1979, de magnitudine 6,9 pe scara Richter, a dus la pagube materiale de 30 de milioane de dolari și a rănit 91 de oameni. Aici au apărut așa-numitele fenomene de „sand boils”, „fântâni arteziene” de apă și sedimente, care reprezintă un fenomen aparte al procesului de lichefiere.

O altă lecție învățată este cea care vine din domeniul ingineriei civile, unde inginerii au descoperit că perioadele proprii, diferite de vibrație, ale tipurilor diferite de clădiri, înalte sau joase, atunci când sunt afectate de cutremure pot intra în rezonanță cu perioadele de vibrație ale tipurilor diferite de unde seismice, clădirile cedând când nu mai pot rezista amplitudinilor mărite ale vibrațiilor. Un exemplu ar fi cel de mai jos.

Cutremurul de la Spitak, Armenia, din 7 decembrie 1988, de magnitudine 6,7 pe scara Richter, în care 50.000 de persoane și-au pierdut viața din cauza colapsului clădirilor foarte înalte, extrem de vulnerabile. Undele seismice secundare Rayleigh și Love, fiind și cele mai periculoase unde, provoacă vibrații de perioadă înaltă care afectează cel mai mult clădirile înalte. În aceeași ordine de idei undele primare, compresionale și de forfecare, provoacă vibrații de perioadă joasă care afectează cel mai mult clădirile joase.

Cutremurele de la Valdivia sau Marele Cutremur Chilean, din 22 mai 1960, de magnitudine 9,5 pe scara magnitudinii din moment⁷ și cel **din Oceanul Indian**, cunoscut în comunitatea știin-

⁷ Momentul seismic este o măsură a unui cutremur bazată pe aria rupturii faliei, deplasarea medie în timpul rupturii și forța necesară pentru a depăși forța de frecare care ține rocile alăturate când sunt îndepărtate de ruptură. Acesta descrie întreaga energie eliberată într-un cutremur. Dacă este convertit într-un număr, similar magnitudinilor cutremurelor, printr-o formulă standard, se obține magnitudinea din moment, M_w .

țifică ca **Marele Cutremur Sumatra-Andaman**, din 26 decembrie 2004, cu o magnitudine de aproximativ 9,3 pe scara magnitudinii din moment, au venit însoțite de tsunami, valuri uriașe de până la 30 de m, care pot ajunge la o viteză de circa 700 km/h și care au măturat, în cazul primului coasta chileană, regiunea Hilo Hawaii, dar și coastele Japoniei și Filipine, unde s-au înregistrat valuri de până la 10,7 m, estul Noii Zeelande, sud-estul Australiei și Insulele Aleutine din Alaska. În cazul celui de-al doilea, acestea au afectat coastele țărilor de la Oceanul Indian: Indonezia, Sri Lanka, India și Thailanda, dar și sud-estul coastei Africii, acest cutremur, prin efectele sale, fiind considerat cel mai grav dezastru natural din istorie.

Niciodată nu pot fi înregistrate cu precizie pierderile de vieți omenești sau cele economice în cazul acestor dezastre. Cu aproximație, în cazul cutremurului chilean, s-au înregistrat 6000 de pierderi de vieți omenești și pierderi economice de 2,6 până la 5,2 miliarde de dolari la valoarea din 2005 iar pentru cutremurul asiatic s-a înregistrat aproximativ un total de 230.000 de victime dintre care 190.000 de morți și 40.000 de dați dispăruți, 1,69 de milioane de oameni au rămas fără case, iar pierderile economice sunt încă inestimabile. În plus, la numărul local de rezidenți din arhipieleagul Sumatra dați dispăruți s-au adăugat 9000 de turiști străini, în majoritate europeni, cel mai afectat stat fiind Suedia cu 543 de victime.

La conferința Națiunilor Unite, care a avut loc în ianuarie 2005 la Kobe, în Japonia, a fost propus un sistem de avertizare asupra tsunami din Oceanul Indian, un sistem de avertizare a populației țărilor care se găsesc pe coasta Oceanului Indian, ca un prim pas spre un program internațional de avertizare anticipată a tsunami-urilor. Acest program a fost inițiat în urma cutremurului din 2004 din Oceanul Indian, care a avut ca efect secundar tsunami-ul imens care a făcut atât de multe victime. Foarte mulți analiști consideră că rezultatele dezastruoase ar fi putut fi micșorate dacă ar fi existat un sistem de avertizare efectiv, ca de exemplu cel din Hawaii, de la centrul de avertizare tsunami din Pacific, care operează pe coasta Oceanului Pacific.

Sub îndrumarea UNESCO, sistemul de avertizare din Oceanul Indian a fost activat la sfârșitul lunii iunie 2006 și constă

din 25 de stații seismografice care primesc informații de la 26 de centre naționale de informare asupra tsunami, precum și de la trei senzori de adâncime din ocean. Totuși, UNESCO a atras atenția că pentru ca sistemul să fie efectiv trebuie ca în viitor să existe o coordonare mai bună între guverne și centrele care furnizează informația de avertizare pentru reducerea riscului populației expuse la hazard. Dacă sunt avertizați atunci când trebuie, oamenii pot să se pună la adăpost din timp. Singurul mod efectiv de a micșora impactul unui tsunami este un sistem de avertizare anticipată, deoarece alte metode de protecție cum ar fi zidurile contra tsunami opresc doar o parte din valuri.

Predicția cutremurelor – iluzie sau posibilitate?!

Predicția cutremurelor se referă la specificarea, cu o anumită precizie, a magnitudinii, localizării geografice și timpului de apariție ale unui eveniment seismic viitor.

Predicțiile cutremurelor se clasifică în funcție de intervalul de timp pentru care sunt făcute aceste estimări și avem predicții pe termen lung sau previziuni, care acoperă câțiva ani până la zeci de ani, predicții pe termen mediu, care acoperă luni până la ani, și predicții pe termen scurt, care acoperă zile până la luni.

Primii pași în predicțiile cutremurelor s-au făcut ca răspuns la apariția unor cutremure puternice, cum ar fi cele de la începutul secolului al XX-lea, după cutremurul din Kwanto, sau după cel din San Francisco, când în Japonia și S.U.A. au fost fondate *Institutul de cercetare al cutremurelor*, respectiv, *Societatea seismologică din America*.

Din 1960 s-a început o cercetare sistematică îndreptată spre predicția cutremurelor, inițiată în urma dezastrelor din China, Japonia și Statele Unite.

Afectat de pierderile economice suferite în urma cutremurului din Alaska, din anul 1964, statul american a susținut oamenii de știință ca să-și concentreze eforturile asupra predicției cutremurelor și reducerii hazardului seismic. Aceștia din urmă au propus programe de cercetare pe termen lung. În anul 1977, în

State, a fost legiferat *Actul de reducere a hazardelor seismice*, document care a stabilit obiectivele predicției cutremurelor și reducerii hazardelor.

De asemenea, de la începutul anilor '60, în Japonia, au fost făcute aceleași eforturi, reglementate prin lege, pentru predicția cutremurelor, ca o completare a *legii pentru măsurile de bază pentru prevenirea dezastrelor*, apărută în anul 1961. Această lege a fost adoptată pentru a micșora efectele catastrofelor naturale cum ar fi inundațiile, taifunuri, alunecări de teren, erupții vulcanice, iar mai târziu, și pentru cutremure și tsunami. Eforturile sprijinite material de către guvern pentru predicția cutremurelor au fost intensificate în urma cutremurului din 1964, de la Niigata și după roiul de cutremure de la Matsushiro, din 1965–1967.

China și-a intensificat eforturile pentru predicția cutremurelor, după cutremurul din 1966, de la Xingtai. În aceeași perioadă, Uniunea Sovietică și-a concentrat eforturile pentru predicțiile de cutremure asupra Asiei centrale și regiunilor din Kurile-Kamceatka.

Începând din anii '60 s-au organizat întruniri internaționale pentru a se discuta rezultatele cercetărilor obținute în toată lumea, precum și, pentru a promova colaborarea între diverse organizații științifice implicate în predicția cutremurelor.

Pentru cutremurele interplacă se folosesc predicțiile pe termen lung și se lucrează cu anumite concepte, și anume, cu *lacună seismică* și *periodicitate* sau *intervale de recurență*.

Conceptul de lacună seismică a fost introdus de S.A. Fedotov, care în anul 1965 a investigat cutremurele de mică adâncime, dar puternice, care au apărut de-a lungul marginilor de placă convergente din sudul Japoniei, Kurile și Kamceatka. El a observat că există o legătură între cutremure și zonele în care nu au fost semnalate seisme în intervale de timp recente. În general, segmentele de placă de pe marginile de placă active, transformante sau convergente care nu au suferit pentru o perioadă de timp mai lungă (de obicei câteva decade) cutremure de magnitudine ridicată, pot fi cele unde vor avea loc aceste cutremure.

Conceptul de lacună seismică a fost preluat și îmbunătățit de K. Mogi (1979) și de către alți cercetători. Prin urmare, într-o regiune seismogenă, dacă seismicitatea cunoscută scade sub un nivel considerat „normal”, se poate afirma că s-a intrat într-o fază pregătitoare a unui alt cutremur puternic. Acest lucru ar putea constitui un precursor în predicțiile pe termen lung.

În anul 1979, cercetătorul român V. Mârza arăta că s-a putut stabili următoarea succesiune de evenimente: seismicitate de fond normală, primul stadiu de calm seismic relativ, roiul de cutremure cu caracter precursor, al doilea stadiu de calm seismic și, în cele din urmă, șocul.

Conceptul de lacună seismică a avut succes în predicția pe termen lung în ceea ce privește localizarea și mărimea unui număr de cutremure puternice care au apărut de-a lungul marginilor de placă circum-pacifice.

În ceea ce privește timpul de apariție, care este parametrul cel mai greu de prezis, dar și cu cel mai important impact social, compilarea cataloagelor seismice și a investigațiilor geologice ale sistemelor de falii au dat consistență ideii că există un comportament de recurență uniform al cutremurele puternice de-a lungul multor margini de placă simple. Încorporarea conceptului de intervale de recurență în modelul de lacună seismică a dus la dezvoltarea unor predicții de cutremure dependente de timp, și a unor evaluări probabiliste de hazard seismic. Prin urmare probabilitatea de apariție a unui cutremur pe un segment specific de falie, într-un anumit interval de timp, este funcție atât de timpul care a trecut de când nu s-a mai produs un cutremur puternic dar și de timpul de revenire mediu.

În California pot fi găsite exemple ale acestei abordări de predicție, și anume, la *Grupul de lucru asupra probabilităților de apariție a cutremurelor californiene*, format în anul 1988.

În prezent, periodicitatea observată a cutremurelor moderate, care apar pe secțiunea Parkfield a faliei San Andreas, din California centrală, este folosită ca bază pentru un experiment intensiv de predicție a cutremurelor.

Pentru a estima mai bine timpul de apariție a unui cutremur se cere observarea fenomenelor precursore. Fenomenele precursore se folosesc pentru predicții pe termen mediu și scurt. Precursorii sunt fenomene fizice anormale care apar înainte de cutremure. Tipuri de precursori sunt: deformația crustală, activitatea seismică, anomaliile geochimice și hidrologice, anomalii geomagnetice și geoelectrice etc. În timp ce unele dintre aceste fenomene au fost observate înainte de multe cutremure, niciunul dintre fenomene nu a fost observat să precedă fiecare cutremur. Găsirea unor anomalii, care să apară sistematic înainte de anumite tipuri de cutremure, este una dintre principalele provocări ale seismologiei de astăzi.

Marele cutremur de la Haicheng din China, din anul 1975, cu magnitudinea undelor de suprafață de 7,3 este primul caz de predicție reușită din lume. Deși, cutremurul a produs mari pagube materiale în oraș, nu a făcut nicio victimă, deoarece autoritățile au avut timp să pună la adăpost oamenii. Este un caz de predicție pe termen scurt dar care a luat în considerare și fenomenele de lacună seismică, intervalele de recurență, precum și, comportamentul animalelor, conținutul de gaze radioactive în apele subterane, fluctuațiile în nivelul apelor din fântâni, intensificarea activității seismice înainte de seismul prognozat, apariția unor lumini ciudate pe cer, dar și teoria, pornită de la ideea geologului român Matei Drăghiceanu, care consideră că există „fronturi de deformare” pe anumite direcții și la distanțe mari.

Am lăsat la urma țara noastră pentru că, desigur, suntem mult mai interesați de gradul de expunere la hazardul seismic în propria țară, și, de aceea, vom vorbi mai pe larg despre majoritatea demersurilor științifice care s-au făcut/se fac în țara noastră. Toate aceste demersuri se fac cu scopul de-a preîntâmpina, pe cât posibil, efectele distrugătoare ale cutremurelor de magnitudine ridicată.

România, o țară expusă hazardului seismic

Țara noastră este puternic expusă hazardului seismic, care provine din zona subcrustală Vrancea, deși există și regiuni de cutremure crustale cum ar fi Făgăraș, Banat, Maramureș, dar de

magnitudini care nu depășesc 6 grade pe scara Richter (excepție cutremurul din Făgăraș, din 26 ianuarie 1916 de magnitudine 6,4, pe scara Richter).

Cutremurele de pământ intermediare, care au o adâncime de focar mai mare de 50 de km, provin de la curbura Carpaților Orientali și așa cum rezultă dintr-o analiză statistică a datelor din cataloagele seismice, cele care depășesc 7,2 grade pe scara Richter se repetă cam de două-trei ori pe secol. Aceste cutremure produc pagube materiale substanțiale și multe victime omenești.

Numai dacă studiem evenimentele seismice din secolul al XX-lea din cataloagele seismice, observăm că în România au avut loc două cutremure puternice cu epicentrul în zona Vrancea: pe 10 noiembrie 1940, un cutremur care a avut magnitudinea de 7,4 pe scara Richter și adâncimea focarului⁸ de 130 de km și pe 4 martie 1977, un cutremur cu magnitudinea 7,2 pe scara Richter și adâncimea focarului de 97 de km.

Cutremurul din 4 noiembrie 1940 a provocat prăbușirea blocului Carlton din București (una dintre cele mai grave distrugerii) și a avariat numeroase construcții. Numărul de victime a fost estimat la 1000 de morți și aproximativ 4000 de răniți.

Cutremurul din 4 martie 1977 a fost un eveniment seismic major⁹, după cum indică datele sale de natura seismologică (magnitudine, mecanism de focar etc.), dar și prin efectele sale social-economice.

Conform Raportului Băncii Mondiale P-2240-RO, întocmit imediat după cutremurul din 4 martie 1977, la nivelul întregii țări și-au pierdut viața 1571 de oameni și au fost răniți alți 11300, s-au prăbușit sau au fost grav avariate aproximativ 33.000 de locuințe. Nivelul pierderilor materiale înregistrate de economia românească s-a ridicat la 2 miliarde de dolari, la vremea aceea.

⁸ Adâncimea focală se măsoară de la hipocentrul unui cutremur (locul de unde este eliberată energia de deformare din rocă) la proiecția sa pe verticală, și anume, la epicentru.

⁹ Cutremurele cu $M \geq 7$ sunt considerate evenimente majore (D. Enescu și B. D. Enescu, 1996).

În București s-au prăbușit 32 de blocuri având între 8 și 12 etaje (aproape toate aceste blocuri au fost avariate într-o măsură mai mică la cutremurul din 10 noiembrie 1940), au fost grav avariate aproximativ 150 de clădiri având între 4 și 6 etaje și au fost afectate grav rețelele de alimentare cu energie electrică, apă și gaze.

Experiența cutremurului din 1977 ne arată că în cazul unui cutremur vrâncean peste 2/3 din riscul seismic al României este localizat în București.

Studii de seismotectonică cu privire specială asupra zonei seismogene Vrancea

Studiile de seismotectonică au fost inițiate de geologi cu peste 100 de ani în urmă. În anul 1896 M. Drăghiceanu a arătat că există un proces de migrare a epicentrelor seismelor crustale de-a lungul faliilor active, atribuindu-le proceselor seismotectonice. Problemele specifice studiilor de seismotectonică au fost abordate de către Gr. Ștefănescu (1901) și I. Atanasiu (1961). Mai recent, cercetători cum ar fi C. Radu, D. Enescu, T. Iosif, G. Demetrescu, M. Marcopol, D. Jianu (1963), K. Fuchs, A. P. Bonjer, K. Böck, I. Cornea, A. Norescu, G. Merkler, T. Molodoveanu și G. Tudorache (1979) au făcut studii de seismotectonică, îndeosebi asupra zonei Vrancea, propunând soluții pentru explicarea seismelor intermediare. La aceștia trebuie să subliniem aportul noii generații de seismologi, dintre care se detașează M. C. Oncescu și C. T. Trifu (Visarion, 2004).

La curbura Carpaților Orientali fenomenele tectonice sunt complexe iar explicarea cauzelor apariției cutremurelor implică modele care reușesc parțial să illustreze ceea ce se întâmplă în realitate.

Din punctul de vedere al tectonici globale se pare că în zona Vrancea a avut loc o coliziune de tip continent/continent între plăcile africană și euroasiatică (L. Constantinescu și D. Enescu, 1984). Litosfera oceanică a subdus în trecutul geologic până când s-a produs coliziunea dintre cele două mase continentale, din care una conține resturi ale microplăcii Mării Negre. Din această coliziune s-a desprins un corp de litosferă oceanică, aproape vertical care se scufundă treptat în astenosferă.

Subducția litosferei oceanice a avut loc acum 25 de milioane de ani având o direcție mai întâi spre SV iar mai târziu spre V și NV. Mecanismul principal consta în scufundarea gravitațională a blocului de litosferă subdus care avea o densitate mai mare decât a materialului din astenosferă. După consumarea litosferei oceanice, a început coliziunea continentală, având loc curbări și ridicări ale crustei. Totuși, coliziunea s-a oprit la scurt timp deoarece flotabilitatea crustei mai groase a plăcii Europene a rezistat forțelor de tragere în jos. Dacă în partea de nord a Carpaților, blocul desprins s-a scufundat deja în astenosferă, sub curbura sud-estică a arcului Carpatic, în regiunea Vrancea, ultimul segment al litosferei care se desprinde pare să fie răspunzător de seismicitatea de adâncime intermediară din regiune (Sperner și alții, 2001).

În ultima fază a subducției se pare că desprinderea blocului de litosferă și-a schimbat direcția de la est spre sud-est. Prin urmare, părțile din litosfera subdusă, deja desprinsă, au fost împinse sub platforma Moesică, astfel încât, în zilele noastre, există o zonă seismic inactivă a blocului de litosferă la sud-vest de zona seismic activă a blocului respectiv. Partea de nord-est a corpului este încă cuplată cu litosfera de deasupra, dar mișcările verticale în sus, din această regiune indică o „zonă de contact” slabă, ceea ce înseamnă că blocul de litosferă a început să se desprindă și litosfera de deasupra zvâcnește elastic. Zona de desprindere este identică cu o zonă de seismicitate redusă, la o adâncime de 40–70 km.

Intervalul de adâncime a evenimentelor puternice se găsește în continuare zonei de seismicitate redusă, până la 180 de km. Intervalul de adâncime între 110 și 130 de km a rămas nerupt în ultimii 150 de ani, și acesta este un candidat natural pentru următorul cutremur major din Vrancea.

Bineînțeles, că acesta este doar unul dintre modelele care aproximează ceea ce se întâmplă în zona seismogenă Vrancea. Există în continuare multe semne de întrebare cu privire la ceea ce se întâmplă cu adevărat în adâncime și cercetătorii vin cu modele care să răspundă, pe cât posibil, la cât mai multe întrebări.

Seismicitate și scurt istoric al Seismologiei românești

România fiind o țară expusă hazardului seismic, așa cum am văzut mai sus, era de așteptat să existe și preocupări majore în studiul seismicității și implicit în dezvoltarea seismologiei.

De-a lungul secolului XX activitatea de cercetare și monitorizare a cutremurelor s-a făcut în mai multe etape.

Prima etapă a avut loc la începutul secolului când România se număra printre primele țări ale Europei care aveau o rețea macroseismică, imaginată inițial de Hepites în anul 1892. Prin contribuțiile sale la studiul și monitorizarea cutremurelor, Șt. Hepites poate fi considerat părintele Seismologiei românești. Tot Hepites este cel care în 1901 înființează în țară Serviciul Român de Seismologie.

Urmărirea activității seismice se făcea în 400 de stații de observare ale Institutului Național de Meteorologie, rețea completată în 1902 cu stația seismologică din București care a fost înființată pentru observații continue și sistematice asupra cutremurelor de pământ. Sistemul de culegere de informații despre cutremure a fost luat ca model pentru organizare de rețele de același tip și de alte țări, cum ar fi Bulgaria și Chile.

Din această perioadă începe redactarea catalogului de cutremure de pământ din România. Lucrările lui G. Demetrescu în care se stabilește caracterul intermediar al cutremurelor vrâncene, cea a lui Grigoriu Ștefănescu (1901) „Cutremurele de pământ în România în timp de 1391 de ani, de la anul 455 până la anul 1846”, cât și a lui A. Sieberg (1901) aduc o contribuție importantă la studiul istoriei seismicității din România.

Cutremurul din 10 noiembrie 1940, în care s-au văzut clar efectele distructive ale cutremurelor vrâncene, a marcat începutul unei etape de revizuire a codurilor de construcții și de punere în funcțiune a altor câteva observatoare seismologice. Din păcate, în timpul celui de al doilea război mondial, datele obținute de la aceste observatoare nu au putut fi folosite imediat, cercetarea fiind sistată.

O primă variantă a catalogului de seisme, deși incompletă, a fost realizat în 1958 de către A. Florinescu.

În 1960 Comisia Europeană de la Helsinki a trasat etapele activității de cercetare a seismicității, subliniind importanța realiză-

rii cataloagelor seismice, acțiune coordonată de renumitului seismolog Vit. Karnik. Prin urmare, cercetătorii G. Petrescu și C. Radu, având la dispoziție lucrările predecesorilor, au elaborat în anul 1963 o lucrare în care erau inventariate cutremurele de pământ de intensități seismice ridicate pentru perioade de timp anterioare anului 1800 și perioade cuprinse între anii 1801–1900, lucrare care a contribuit la alcătuirea catalogului seismic național.

Anul 1961 aduce două lucrări importante: „Cutremurele de pământ din România” a lui I. Atanasiu, publicată postum de către Emilia Saulea, lucrare în care, pentru prima oară pentru România, se evidențiază legătura dintre cutremurele de pământ și elementele majore ale structurii geologice și lucrarea lui A. Beleş care a indicat cu mare precizie clădirile afectate de cutremur care se vor prăbuși la un eveniment seismic (Visarion, 2004).

După cutremurul din 4 martie 1977 s-a ajuns într-o etapă în care seismologia a cunoscut un progres considerabil, mai ales că acest eveniment a atras și interesul seismologilor din alte țări. Tot atunci s-a înființat Centrul de Fizica Pământului și Seismologie care are și la ora actuală o contribuție importantă la dezvoltarea seismologiei românești. De asemenea, rețeaua seismologică se modernizează, datele sunt telemetrate la centrul de calcul din București și sunt puse în funcțiune stații noi de achiziție a datelor. De data asta, pentru localizarea cutremurelor de pământ puternice se folosește și o rețea accelerografică¹⁰.

De asemenea, până în zilele noastre, au fost publicate mai multe cataloage seismice, cele mai relevante fiind cele publicate de Purcaru (1979), C. Radu (1979, 1991), Constantinescu și Mârza (1980), Trifu și Radulian (1991). În anul 1988, M. C. Oncescu, V. Mârza, M. Rizescu și M. Popa publică catalogul seismic care cuprinde evenimentele seismice din România din 984 până în anul 1997. La ora actuală cel mai recent, complet, omogen și accesibil catalog seismic, acestea fiind criteriile pe care trebuie să le îndeplinească orice catalog seismic, este cel numit ROMPLUS, un catalog

¹⁰ Accelerograf – aparat care măsoara accelerația de vârf a mișcării puternice a pământului.

on-line, aflat într-o continuă actualizare prin eforturile susținute ale cercetătorilor de la Institutul Național de Fizica Pământului și Collaborative Research Center 461 de la Universitatea din Karlsruhe.

Geofizicianul român, Marius Visarion, spunea în lucrarea sa apărută în anul 2004, „*Istoria geofizicii românești*”¹¹, vol. I, că: „Existența unui catalog de seisme are, din mai multe puncte de vedere, o importanță majoră în studiul seismicității unei țări: stabilirea perioadei medii de revenire a unui eveniment seismic, furnizarea parametrilor necesari pentru elaborarea hărților de risc seismic și, nu în ultimul rând, contribuția pe care o aduce la zonarea seismică a teritoriului dat”.

Predicție pe termen lung și studii de hazard seismic

Faptul că în România, la curbura Carpaților Orientali, apar cutremure de adâncime intermediară, cu o magnitudine ridicată, care constituie un risc seismic de neevitat, a dus la intensificarea eforturilor de predicție pe termen lung a cutremurelor.

S-a observat că seismele de aici au o periodicitate de apariție semnificativă și de aceea cercetătorii români au elaborat lucrări de predicție statistică a lor, cum ar fi cele ale lui I. G. Popescu (1958), L. Constantinescu și D. Enescu (1963), D. Enescu și D. Jianu (1963), C. Radu (1965). Prima lucrare de predicție statistică care a reușit să prezică într-un timp relativ scurt un cutremur major în Vrancea a fost cea a lui G. Purcaru, din anul 1974.

G. Purcaru a studiat cutremurele cu magnitudinea $M \geq 7$, pe scara Richter, de adâncime intermediară, luând în considerare timpul, locul producerii lor, și desigur, magnitudinea, stabilind ciclicitatea relativă a evenimentelor seismice majore. De asemenea, a observat o serie de fenomene asociate celor mai importante șocuri de la adâncime intermediară, pe care mai târziu V. Mârza (1979, 1982) le-a identificat ca lacune seismice, fluctuații în rata seismicității etc.

¹¹ „*Istoria Geofizicii românești*” cuprinde două volume (primul volum apărut în anul 2004, al doilea apărut postum, în anul 2007) și sintetizează toate progresele făcute până acum în domeniul Geofizicii românești.

Tot G. Purcaru a observat și o regularitate care consta în apariția unui cutremur major cu $M \approx 7,25-7,75$, la un superciclu de 300 de ani. De asemenea, cercetătorul român a făcut o predicție a unui cutremur cu magnitudinea peste 7, cu doi ani și câteva luni înainte de cutremurul din 4 martie 1977.

Dacă se folosește metoda acestuia, în secolul al XXI-lea, se așteaptă trei seisme majore cu $M = 6,5-7$, în anul 2005 și în intervalul 2030–2040 și un cutremur cu $M = 7,5-7,75$, în intervalul 2070–2090.

De asemenea, analizând periodicitatea cutremurelor majore, L. Constantinescu și Mârza (1980), au ajuns la concluzia că la fiecare 70–90 de ani, dintr-un secol, are loc un cutremur cu $M = 7,25-7,75$.

Studiind mecanismul din focar al cutremurelor, D. Enescu a calculat soluțiile mecanismului de focar pentru perioada 1930–1979, fapt care a permis predicția cutremurelor de pământ din 30 august 1986 și 30–31 mai 1990.

Recent, în anul 2000, B. Enescu și K. Ito, ocupându-se cu predicția cutremurelor de adâncime intermediară din Vrancea, pe baza analizei catalogului seismic elaborat de M. C. Oncescu, V. Mârza, M. Rizescu și M. Popa și completându-l cu date de pe internet până în anul 1998, au remarcat că din anul 1997 activitatea seismică din țară s-a intensificat și au preconizat cu succes că se va produce un seism cu $M \geq 4,5$. De fapt, pe 27 octombrie 2004, la adâncimea de 95 de km, în zona Vrancea, s-a produs un cutremur cu $M = 6$.

Acestea sunt doar câteva exemple de predicții pe termen lung, fără a intra în detalii, iar cercetătorii români se ocupă atât cu acest tip de predicții, dar și cu cele pe termen mediu și scurt, iar metodele folosite sunt destul de riguroase, bazate pe măsurători și statistici matematice complexe.

A face studii de hazard seismic înseamnă a lua în considerare contribuția tuturor cutremurelor posibile și a calcula probabilitățile ca parametrii, care descriu mișcarea pământului, selectați fie în termeni de magnitudini sau intensități, fie în termeni de parametri

inginerești, cum ar fi accelerația de vârf a pământului etc, să fie depășiți într-un anumit timp de expunere, care este ales în funcție de importanța sitului ales.

Rezultatele unei analize de hazard seismic pentru un sit individual sunt în general vizualizate sub forma unei curbe de hazard seismic – o reprezentare grafică a probabilității anuale de depășire, sau a probabilității perioadei de revenire, a unui parametru specific al mișcării pământului. Dacă analizele sunt completate pentru un model de situri bine delimitate și învecinate, pot fi trasate contururi de amplitudini, de egală mișcare a pământului sau de perioade de revenire (ex. Algermissen et. al., 1982). Aceste așa-numite hărți de hazard furnizează, deseori, bazele pentru dezvoltarea hărților de zonare seismică care sunt în general folosite în codurile de construcții.

Începutul studiilor de hazard seismic din Romania constă în studii statistice de seismicitate, majoritatea fiind bazate pe legea Gutenberg-Richter a distribuției frecvență-magnitudine. Printre acestea, mai importante sunt lucrările lui Constantinescu și Enescu (1963), Enescu și Jianu (1963), Karnik (1964), realizate pentru zona seismică Vrancea. Mai tarziu s-a folosit statistica valorilor extreme de către Enescu și alții (1974), Radu și Apopei (1997), Yegulalp și Kuo (1974), Burton (1979), Pantea și alții (1983). Cele mai recente studii ale lui Nârza și alții (1991), Mantyniemi și alții (1991) sunt studii de estimări ale parametrilor hazardului seismic (magnitudinea maximă, rata de activitate seismică și parametrul b din relația G-R). De asemenea, ale contribuții sunt ale lui Drumea și alții (1971), Radu (1974), Algermissen și alții (1976), Radulian (1981), Constantinescu și Enescu (1985), Ardeleanu (1987), Burlacu și alții (1987), Mândrescu și alții (1988), și Mândrescu (1990).

Există și studii particulare de hazard ale lui Radu și alții (1978), Moldoveanu și Apopei (1980), care realizează evaluarea sitului și estimarea siguranței unor structuri critice (centrale nucleare, baraje inalte etc.). În urma studiului de zonare seismică probabilistă pentru zona balcanică de nord, care a făcut parte din proiectul Copernicus, *Zonarea seismică cantitativă a bazinului*

circum-panonic (EC Project CIPA-CT94-0238), rezultatele obținute au dus la concluzia că cel mai ridicat hazard vine din zona de cutremure intermediare ce apar în Vrancea, aici hazardul depășește 0,4 g la perioade de revenire de 475 de ani.

În loc de concluzie

La ora când sunt scrise aceste rânduri, în China, pe 12 mai 2008, a avut loc deja un cutremur de o magnitudine ridicată, care a făcut extrem de multe victime și a provocat mari pagube materiale. Cutremurul a avut o magnitudine în moment de 7,9 și epicentrul în provincia Wenchuan, afectând cel mai grav zona rurală Sichuan - Yunnan. Conform estimărilor oficialităților chineze s-au înregistrat 71.000 de persoane decedate și de 10 ori mai multe persoane rănite. Din păcate, pe măsură ce sosesc noi rapoarte, se înregistrează un număr tot mai mare de victime. La acestea se adaugă 358 de victime din rândul echipelor de salvare, persoane care au fost omorâte în alunecările de teren care au apărut în timp ce aceștia încercau să repare drumurile. Pierderile materiale se ridică la peste 20 de miliarde de dolari americani. Să fie oare „karma rea” din cauza prigoanei dezlănțuite asupra călugărilor tibetani de către guvernul chinez, așa cum spunea o faimoasă actriță americană, sau faptul că această zonă expusă la cutremure, fiind aflată la vest de Podișul Tibetan, născut în urma coliziunii dintre placa indiană și cea euroasiatică, a fost pur și simplu neglijată din punctul de vedere al dezvoltării economice și prin aceasta devenind vulnerabilă la hazardele naturale, în cazul de față, la cutremure?

Sichuan este o provincie rurală în care fermierii săraci se luptă cu nevoile vieții de zi cu zi și mai puțin cu eforturile de a consolida casele vechi făcute înainte de marele cutremur de la Tangshan, din 1976. În urma acestui cutremur au intrat în vigoare, în China, codurile de construcții care țin cont de necesitatea proiectării clădirilor rezistente la cutremure. Dar, chiar și așa, oamenii nu au respectat standardele impuse de codurile de construcții. Făcute cu resurse puține, nici casele noi nu au fost mai rezistente la cutremur.

După predicția reușită din 1975 a cutremurului din China, modelele de predicție pe termen scurt nu au mai dat rezultate, dar punându-se accent pe datele științifice se pot calcula probabilități de apariție pentru cutremure viitoare. De exemplu, mai multe reviste științifice publicate în anii 2002–2007 au estimat că ar exista o probabilitate ridicată să apară un cutremur puternic în regiunea Sichuan-Yunnan.

Indiferent ce rezultate vor obține oamenii de știință în studiul, analiza și estimarea hazardului seismic ca magnitudine și perioadă de revenire, sau intervale de recurență, pentru zonele expuse hazardului, omenirea nu va fi ferită în totalitate de efectele negative ale cutremurelor.

Și de aceea, ținând cont de părerile cercetătorilor și factorilor de decizie, voi spune la rândul-mi, că trebuie neapărat să fie urmați anumiți pași pentru a micșora aceste efecte. Structurile civile și industriale, precum și infrastructura vor fi construite sau consolidate respectând standardele din codurile de construcții pentru zonele expuse riscului seismic, cu o magnitudine maximă estimată. Trebuie să fie îmbunătățite și extinse sistemele de avertizare la timp a efectelor secundare, a celor care pot fi semnalizate. De asemenea, populația trebuie să fie pregătită nu numai în sensul evitării, pe cât posibil, a stărilor de panică, dar și cum să acționeze într-o situație de risc maxim pentru propria viață, cum este în cazul unui cutremur de magnitudine ridicată.

Bibliografie:

- [1] Bleahu, M. „*Tectonica globală*”, vol. I, Editura științifică și enciclopedică, 1983.
- [2] Bommer, J. „*Basics of Seismology and Seismic Hazard Assessment*”, ROSE School, European School for Advanced Studies in Reduction of Seismic Risk, 2004.
- [3] CERG *Seismic Hazard Assessment*, 2003.
- [4] EERI Committee on Seismic Risk Earthquake Spectra „*The Basic of Seismic Risk Analysis*”, vol. 5, no. 4, 1989.

- [5] Grünthal, G. (1999) „*Earthquake Hazard from Basic Reading Material: Seismicity, Earthquake Hazard, Engineering Seismology*”, CERG 2003.
- [6] Lungu, D., Cornea, T., Nedelcu, C., „*Hazard Assessment and Site-Dependent Response for Vrancea Earthquakes. In Vrancea Earthquakes: Tectonics, Hazard and Risk Mitigation*”, Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [7] Mândrescu, N., Radulian, M., „*Macroseismic field of the Romanian Intermediate – Depth Earthquakes*”, Contributions from the First International Workshop on Vrancea Earthquakes, Bucharest, Romania, November 1–4, 1997, Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [8] Mărușeanu, C., „*Urbanism și Protecția Mediului Geologic*”, Editura Universității București, 1994.
- [9] Mârza, V., Pantea, A., „*Seismic Hazard in Romania*”, Seismological Laboratory, Institute for Earth Physics Bucharest-Magurele, Romania, 1999.
- [10] Musson, R. M. W., „*Probabilistic Seismic Hazard Maps for the North Balkan Region*”, Introduction, Annali di Geofisica, 1999.
- [11] Oncescu, M. C., Mârza, V., Rizescu, M. and Popa, M., „*The Romanian earthquake catalogue between 984–1996*”, Contributions from the First International Workshop on Vrancea Earthquakes, Bucharest, Romania, November 1–4, 1997, Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [12] Radulian, M., Mândrescu, N., Panza, G. F., Popescu, E., Utale, A. „*Characterization of seismogenic zones of Romania, Pure Appl. Geophys*”, 157 (1–2), 57–77, 2000.
- [13] Visarion, M., „*Istoria geofizicii românești*”, vol. I, Editura Vergiliu, 2004.
- [14] Anghelache, M. A. *Efectele induse ale seismelor cu privire specială asupra teritoriului României, Metodologia zonării seismo-tectonice, cu exemple din Romania, Mișcarea seismică puternică a terenului. Ecuatii de atenuare*, (referate) Biblioteca Facultății de Geologie și Geofizică, București, 2000–2004.
- [15] **Cataloge seismice: NEIC EARTHQUAKE SEARCH RESULTS; U.S. GEOLOGICAL SURVEY; EARTHQUAKE DATA BASE; ROMPLUS3.**

Surse internet:

- <http://io.ingrm.it/amminist/annali/musson426.htm>
<http://www.geophys.washington.edu/tsunami>
http://peer.berkeley.edu/course_modules/eqrd/?EQDef/eqdef4
<http://ro.wikipedia.org/wiki/Wikipedia>
http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page
http://www.earthquakes.bgs.ac.uk/hazard/Hazard_guide
<http://earthquake.usgs.gov/regional/neic/>