

DISERTATIONES GEOLOGICAE UNIVERSITAS LATVIENSIS

Nr. 10



**VALĒRIJS ŅIKUĻINS**

**LATVIJAS SEISMOTEKTONISKIE APSTĀKĻI  
UN SEISMISKĀ BĪSTAMĪBA**

PROMOCIJAS DARBS

Rīga, 2007

DISERTATIONES GEOLOGICAE UNIVERSITAS LATVIENSIS

Nr. 10



**VALĒRIJS ŅIKUĻINS**

**LATVIJAS SEISMOTEKTONISKIE APSTĀKĻI  
UN SEISMISKĀ BĪSTAMĪBA**

PROMOCIJAS DARBS

doktora grāda iegūšanai ģeoloģijas nozarē

LATVIJAS UNIVERSITĀTE

Promocijas darbs izstrādāts

Latvijas Universitātes Ģeoloģijas nodaļas Lietišķās ģeoloģijas katedrā no 2006. gada līdz 2007. gadam

Promocijas darba vadītājs: **Valdis Segliņš**, profesors, Dr. geol. (Latvijas Universitāte)

Recenzenti:

**Guntis Eberhards**, emeritētais profesors, *Dr. habil. geogr.* (LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Rīga)

**Nikolajs Šarovs**, *Dr. geol.* (Krievijas Zinātņu Akadēmijas Karēlijas Zinātniskais Centrs, Petrozavodska)

**Algimantas Grigelis**, profesors, *Dr. habil. geol.*, (Lietuvas Zinātņu Akadēmija, Viļņa, Lietuva)

Promocijas padomes sastāvs:

**Vitālijs Zelčs**, profesors, *Dr. geol.* – padomes priekšsēdētājs

**Ervīns Lukševičs**, profesors, *Dr. geol.* – padomes priekšsēdētāja vietnieks

**Guntis Eberhards**, emeritētais profesors, *Dr. habil. geogr.*

**Laimdota Kalniņa**, *Dr. geogr.*

**Māris Kļaviņš**, profesors, *Dr. habil. chem.*

**Uldis Sedmalis**, profesors, *Dr. habil. chem.*

Padomes sekretārs: **Ģirts Stinkulis**, *Dr. geol.*

Promocijas darbs pieņemts aizstāvēšanai ar LU Ģeoloģijas promocijas padomes 2007. gada 24. septembra sēdes lēmumu nr. 3/2007

Promocijas darba atklāta aizstāvēšana notiks LU Ģeoloģijas promocijas padomes sēdē 2008. gada 18. janvārī (15.00) Alberta ielā 10, Jāņa un Elfrīdas Rutku auditorijā (313. telpa).

Ar promocijas darbu ir iespējams iepazīties Latvijas Universitātes Zinātniskajā bibliotēkā Rīgā, Kalpaka bulvārī 4 un Latvijas Akadēmiskajā bibliotēkā Rīgā, Lielvārdes ielā 4.

Atsauksmes sūtīt: Dr. Ģirts Stinkulis, Latvijas Universitātes Ģeoloģijas nodaļa, Raiņa bulvāris 19, LV-1586, Rīga. Fakss: +371 733 2704, e-pasts, [Ģirts.Stinkulis@lu.lv](mailto:Ģirts.Stinkulis@lu.lv)

Latvijas Universitāte, [www.lu.lv](http://www.lu.lv)

© Valērijs Ņikuļins, 2007

© Latvijas Universitāte, 2007

## ANOTĀCIJA

Seismotektonisko pētījumu un seismiskās bīstamības izvērtēšanas aktualizācija Latvijā ir saistīta ar seismisku aktivitāti Baltijas reģionā pēdējos 30 gados, ar rūpniecības un enerģētikas attīstību (īpaši atomenerģētikas), kā arī ar lielu inženiertehnisku objektu būvniecību un tehnogēnās iedarbības palielināšanos uz ģeoloģisko vidi.

Vēsturiski veidojušies priekšstati par platformu teritoriju, kā stabilu un noturīgu Zemes garozas nogabalu tika atkārtoti izvērtēti balstoties uz jaunākiem ģeoloģijas, ģeofizikas un seismoloģijas datiem, kā arī mūsdienu atklājumiem par superintensīvām zemes virsmas deformācijām lūzumu zonās [Kuzmins, 2002], inducētām zemestrīcēm platformu teritorijās [Gough D.I., Gough W.I., 1970b; Drakopoulos, 1974; Simpson, Negmatullaev, 1978; Gupta, Rastogi, 1979; Anglin *et al.*, 1985; Van Eck *et al.*, 2006], zemestrīces atkārtotāšanās biežuma grafika universālumu kontinentiem [Kagan, 1997, 1999].

Autora veiktie seismotektoniskie pētījumi, izmantojot jaunākās metodes zemes garozas seismotektoniskā potenciāla novērtēšanai, Latvijas teritorijā ļauj izdalīt 17 seismogēnas zonas, noteikt to statusu un parametrus. Seismiskuma ģeoloģisko un ģeofizikālo priekšnosacījumu analīze norāda uz Zemes garozas mobilu nogabalu aktivizācijas iespējām Latvijas ziemeļaustrumos. Kā īpaši informatīva izceļama Zemes garozas izostatiskā stāvokļa, kā arī Zemes garozas mūsdienu un neotektonisko kustību analīze.

Seismiskā režīma parametru analīze ļāva iegūt maksimāli iespējamās magnitūdas novērtējumus Baltijas reģiona zemestrīcēm, kā arī zemestrīču izcelšanās biežumu īpaši aktīvajā Baltijas jūras piekrastes zonā. Tas ļāva novērtēt arī nogulumiežu segas inženierģeoloģisko īpašību ietekmi uz reģiona zemestrīču seismisku satricinājumu intensitāti.

Latvijas teritorijas seismiskās rajonēšanas rezultātiem ir nozīmīga lietišķa nozīme. Seismiskās rajonēšanas karte iekļauta Latvijas būvnormatīvos (LBN 005-99). Tā ļauj noteikt teritorijas drošai būvniecībai.

## ANNOTATION

Actualization of seismotectonic researches and estimation of seismic danger of Latvia is related to seismic activity in the Baltic region in the last 30 years, with development of industry and energy especially atomic, building of large technical structures and growth of industrial influence on a geological environment.

Existent opinion about platform territory, as about the stable and safe regions of the earth's crust was exposed to the overvalue after appearance of new geological, geophysical, seismological information about the deep tectonic structure, opening of modern superintensive deformations of earthly surface in the areas of platforms faults [Kuz'min, 2002], induced seismicity [Gough D.I., Gough W.I., 1970b; Drakopoulos, 1974; Simpson, Negmatullaev, 1978; Gupta, Rastogi, 1979; Anglin *et al.*, 1985; Van Eck *et al.*, 2006], universality of parameters of magnitude-frequency relationship for continents and their distinction only in intensity of stream of earthquakes [Kagan, 1997, 1999], and at regional level also after two strong earthquakes of the Baltic region in 1976 and 2004 years.

Seismotectonic researches allowed exposing on territory of Latvia of 17 seismogenic areas, estimating their status and parameters, taking new methodical approach for the estimation of seismotectonic potential of cells of the earth's crust. The analysis of geological and geophysical pre-conditions of seismicity showed possibility of activation of mobile areas of the earth's crust in the northeast Latvia. The analysis of the isostatic conditions of the earth's crust, actual and neotectonic motions of the earth's crust appeared especially «effective».

Researches of parameters of the seismic regime allowed to get the estimations of maximally-possible magnitude of earthquake in the Baltic region and magnitude-frequency relationship in the most active, off-shore part of Baltic. Influence of engineering - geological properties of sedimentary cover is appraised on intensity of seismic oscillations from the earthquakes of the Baltic region.

Results of Latvian seismic zoning there is an important practical value. The seismic zoning map was included Latvian Building Standard (LBN 005-99). It allowed to define safe territories for building.

## SATURS

<b>Anotācija latviešu valodā</b>	1
<b>Anotācija angļu valodā</b>	2
<b>Saturs</b>	3
<b>Ievads</b>	5
<b>1. Teritorijas seismotektoniskā un ģeofizikālā izpēte</b>	15
1.1. Ģeoloģisko, ģeofizikālo un tektonisko apstākļu apskats	16
1.1.1. Dziļo slāņu ģeoloģiskā uzbūve	16
1.1.2. Kristāliskā pamatklintāja un nogulumiežu segas ģeoloģiskais un tektonikas raksturojums	23
1.1.3. Zemes garozas neotektoniskās un mūsdienu kustības	28
1.1.4. Ģeofizikālo apstākļa apskats	31
1.2. Pārskats par seismoloģiskiem pētījumiem	33
1.2.1. Vēsturiskās zemestrīces	33
1.2.2. Seismiskās rajonēšanas pētījumu apskats	38
<b>2. Pētījumu metodes un izmantotie materiāli</b>	46
2.1. Latvijas seismiskumu ģeofizikālie un ģeoloģiskie priekšnoteikumi: materiāli un metodes	46
2.1.1. Zemes garozas izostatiskā stāvokļa modelēšana	48
2.1.2. Zemes garozas un litosfēras biezuma novērtējums	55
2.1.3. Zemes garozas sašķeltības vērtējums	57
2.1.4. Zemes garozas neotektoniskās un mūsdienu kustības	58
2.2. Latvijas seismiskā rajonēšana un tās komponenti	61
2.2.1. Seismostatistika	61
2.2.2. Zemes garozas seismotektoniskā potenciāla modelēšana	63
2.2.3. Seismogēnu zonu noteikšana satricinājuma intensitātes novērtējums	65
2.3. Seismiskā režīma novērtējums	71
<b>3. Rezultāti</b>	75
3.1. Latvijas seismiskuma ģeofizikālie un ģeoloģiskie priekšvēstneši	75
3.1.1. Zemes garozas izostatiskais stāvoklis	76

3.1.2.	Zemes garozas un litosfēras biezums	79
3.1.3.	Zemes garozas attīstības tipi	82
3.1.4.	Tektonisko lūzumu blīvums	85
3.2.	Latvijas seismotektoniskā rajonēšana un tās komponenti	86
3.2.1.	Seismotektoniskais potenciāls	87
3.2.2.	Seismotektoniskie apstākļi	89
3.2.3.	Seismogēnās zonas un to raksturojums	91
3.3.	Baltijas reģiona neotektoniskās kustības un seismiskums	95
3.4.	Baltijas reģiona seismiskais režīms	98
3.5.	Seismiskā bīstamība Baltijas reģionā	103
<b>4.</b>	<b>Diskusija</b>	107
4.1.	Seismiskā rajonēšana	107
4.2.	Seismiskuma ģeoloģiskie un ģeofizikālie priekšnosacījumi	113
<b>5.</b>	<b>Secinājumi</b>	116
	<b>Noslēgums</b>	121
	<b>Literatūra</b>	123
	<b>Pielikumi</b>	
	Pielikums 2.1. Latvijas un tai piekļautās teritorijas zemestrīču katalogs ( $\varphi = 51,0^{\circ}\text{N} - 60,0^{\circ}\text{N}$ ; $\lambda = 18,0^{\circ}\text{E} - 34,0^{\circ}\text{E}$ ).	151
	Pielikums 3.1. Zemes garozas tektoniskais tips un elementāro šūnu seismotektoniskais potenciāls	159
	Pielikums 3.2.1. Latvijas lūzumu zonu ģeoloģiskie un seismotektoniskie parametri	161
	Pielikums 3.2.2. Latvijas seismogēno zonu seismotektoniskie un ģeoloģiskie parametri	162
	Pielikums 3.2.3. Latvijas seismogēno zonu un seismotektoniskie parametri	163

## IEVADS

Zemestrīces pēc to radītiem postījumiem un ekonomiskiem zaudējumiem ieņem vienu no galvenajām vietām starp citām dabas stihijām. Pēc cilvēku upuru skaita tās atpalciek tikai no taifūniem, viesuļvētrām un ūdens plūdiem. Īpaši lieli zemestrīču radītie zaudējumi ir seismiski aktīvos apgabalos, un šajā ziņā Eiropa ieņem otro vietu aiz Āzijas. No 1901. g. līdz 2003. g. Eiropā ir notikušas 204 zemestrīces ar nopietnām sekām, un šo zemestrīču laikā bojā gājušo skaits pārsniedz 367 tūkstošus cilvēku un radītie zaudējumi tiek vērtēti kā aptuveni 75 miljardi ASV dolāri [<http://www.em-dat.net/disasters/>].

Ģeoloģijā platformu teritorijas ilgstoši tika uzskatītas par dinamiski stabiliem un vāji seismiskiem apgabaliem [Gutenberg, Richter, 1954; Anan'in, 1980; Rajendran K., Rajendran C. P., 1999; Lee *et al.*, 2001; Sandiford, 2002]. Latvija atrodas senās Austrumeiropas platformas ziemeļrietumu daļā, bet tomēr arī šeit notiek zemestrīces. Mūsdienu zemestrīces ar intensitāti 6 – 7 balles 1976. gadā notika Igaunijā - Osmusāres salā un 2004. g. Krievijas Kaļiņingradas apgabalā. Tas ne tikai tieši apstiprina faktus par vēsturiskām zemestrīcēm Baltijas valstu teritorijās, bet arī liek pārskatīt viedokli par seismisko bīstamību platformu teritorijās [Husebye, Mantyniemi, 2005b; Wiejacz, Debski, 2005; Wiejacz *et al.*, 2006].

Promocijas darbs ir veltīts seismotektoniskiem pētījumiem un seismiskās bīstamības novērtējumam Latvijā un piegulošās teritorijās, kā arī satur rekomendācijas būvniecības normatīvu bāzes pilnveidei un lielu inženiertehnisku būvju seismiskās drošības paaugstināšanai.

Autora personisks ieguldījums Latvijas seismotektonisko nosacījumu un seismiskās bīstamības pētījumos ir atspoguļots publikācijās, kuru sagatavošanā promocijas darba autors ir veicis Baltijas valstu seismiskās statistikas apkopojumu, realizējis seismiskā režīma parametru aprēķinus un tos novērtējis, autors ir veicis korelatīvo atkarību analīzi starp ģeoloģiskiem un ģeofizikāliem parametriem, no vienas puses, un Moho robežu, litosfēras parametriem un izostatiskā līdzsvara stāvokli, no otras puses, kā arī sniedzis šo korelāciju novērtējumu. Veikta arī Zemes garozas neotektonisko un mūsdienu kustību kompleksa analīze, sniegts mūsdienīgs zinātnisks ģeodinamisko apstākļu novērtējums iecirkņos ar traucētu izostatisko līdzsvaru. Svarīgi izcelt, ka autors veicis analīzi, kas ļauj konkrētajos pētījuma



teritorijas apstākļos ievērojami precīzāk veikt zemestrīču cilmvietu rašanās zonu identifikāciju, sagatavotas oriģināla Latvijas seismotektoniskās un seismiskās bīstamības kartes un realizēts Kaļiņingradas zemestrīču seismiskās iedarbību novērtējums Latvijas teritorijā.

### **Pētījumu objekts**

Pētījumu objekts ir platformas teritorijas seismotektoniskie procesi, kas norisinās Zemes garozā un augšējā mantijā, kā arī zemes garozas dinamiskās kustības un ar tām saistītā seismiskā bīstamība.

### **Pētījumu priekšmets**

Pētījumu priekšmets ir platformas teritorijas seismotektoniskie procesi, kas norisinās zemes garozā un augšējā mantijā, kā arī zemes garozas dinamiskās kustības un ar tām saistītā seismiskā bīstamība Latvijas teritorijā. Pētījuma specifika ir pētītās teritorijas atrašanās Austrumeiropas platformas ziemeļrietumu daļā ar tai raksturīgām ģeoloģiskām un ģeofizikālām īpatnībām, tektoniskiem un seismoloģiskiem apstākļiem. Šo īpatnību un apstākļu pētījumi un analīze ļauj identificēt seismogēnās zonas un izvērtēt teritorijas seismisko bīstamību tieši platformas apstākļos, kas līdzšinēji ir uzskatīti par vāji seismisku apgabalu.

### **Darba mērķis un uzdevumi**

Pētījuma mērķis ir seismotektonisko apstākļu vispusīga izpēte un seismiskās bīstamības novērtējums Latvijas teritorijai, balstoties uz seismogēno zonu identifikāciju, seismiskuma priekšnosacījumu un mūsdienu seismiskā režīma analīzi, kā arī stipru zemestrīču seismisko ietekmju īpatnību izvērtējumu Baltijas reģionā.

Mērķa sasniegšanai bija nepieciešams atrisināt vairākus uzdevumus:

1. Analizēt un novērtēt ģeoloģiskos, tektoniskos, neotektoniskos, ģeofizikālos un ģeodinamiskos seismiskuma priekšnosacījumus Latvijā un, pamatojoties uz to sistēmisku analīzi, izstrādāt ģeodinamisko apstākļu attīstības scenāriju.
2. Vispusīgi izvērtēt Latvijas un tai piekļauto teritoriju seismotektoniskos apstākļus ar mērķi identificēt seismogēnās zonas un noteikt to parametrus.
3. Novērtēt Latvijas teritorijas seismisko bīstamību.
4. Novērtēt Latvijas un tai piekļautās teritorijas seismiskā režīma parametrus un seismisko aktivitāti.

### **Darba aktualitātes**

No seismiskās bīstamības viedokļa Latvijas teritorija atrodas salīdzinoši mierīgos apstākļos senās Austrumeiropas platformas (turpmāk tekstā - AEP) ziemeļrietumos, un vēl salīdzinoši nesēn dominēja uzskats, ka šādu platformu teritorijas ir vāji seismiskas [Anan'in, 1980; Liu, 2001; Prasanta *et al.*, 2005; Boyce, Morris, 2002].

Līdz pat 1976. gadam reģionālais seismiskums Baltijas valstu teritorijā (turpmāk tekstā – Baltijā) netika pētīts, neskatoties uz sarežģīto ģeoloģisko uzbūvi [Suvejzdis, 1979; Ankudinov *et al.*, 1991; Ostrovsky *et al.*, 1994; Ostrovskij, 1995] un ģeoloģiskās attīstības visai dinamisko vēsturi [Vetrennikov, 1988, 1991; Cocks, Torsvik, 2005]. Tomēr pat nesēnā ģeoloģiskajā vēsturē daudzkārtējie ledus laikmeti, kurus nomainīja deglaciācijas posmi, būtiski ietekmēja zemes garozas izostatisko līdzsvaru, ko apstiprina dati par neotektoniskām un mūsdienu zemes garozas kustībām [Artem'ev, 1975; Husebye, Mantyniemi, 2005a; Garetsky *et al.*, 1999].

Baltijas teritorijas seismoloģijas pētījumu apjomus un attīstību būtiski ietekmēja divi faktori - 1976.gada Osmušāres zemestrīce Igaunijā [Bulin *et al.*, 1980; Kondorskaya *et al.*, 1988] un arī enerģētikas nozares attīstība visā reģionā, īpaši Ignalinas AES celtniecība un plāni būvēt vēl arī citas AES.

Jauni pētījumi pagājušā gadsimta nogalē ģeoloģijas, ģeofizikas un seismoloģijas jomā [Brangulis, Kaņevs, 2002; Lyubalin, 1996; Boborykin *et al.*, 1995], kā arī dati par tektoniskām struktūrām ievērojamā dziļumā Baltijā [Ankudinov *et al.*, 1991; Doody *et al.*, 1999; Ostrovskij, 1995], konstatētas mūsdienu superintensīvās zemes virsmas deformācijas Austrumeiropas platformas lūzumu zonās [Kuzmins, 1996] un zemestrīču atkārtojamības grafika universālums kontinentos [Kagan, 1997; 1999] kopumā lika pētniekiem pārskatīt līdzšinējo viedokli attiecībā par seismotektonisko bīstamību platformu teritorijās [V'ezhach *et al.*, 2006; Wiejacz *et al.*, 2007].

Minētie apstākļi kopumā veicināja seismoloģijas pētījumu uzsākšanu ar mērķi novērtēt Austrumeiropas platformas vai tās daļas seismiskumo bīstamību [Anan'in, 1968, 1980, 1991; Garetskij *et al.*, 1997]. Šo pētījumu rezultātā seismiskā bīstamība Latvijas teritorijā tika novērtēta pastarpināti, ievērojami plašākas teritorijas seismiskās rajonēšanas kontekstā [Buné, 1980c; Grünthal *et al.*, 1996; Garetskij *et al.*, 1997; Ulomov, 1999]. Tomēr šie pētījumi neļāva detalizēt virkni seismogēnu zonu Latvijas teritorijā un novērtēt to parametrus. Latvijas teritorijā nebija pētīti un nebija pieejami ģeoloģiskie (Zemes garozas lūzumu blīvums), ģeofiziskālie (siltuma plūsma) un

seismoloģiskie parametri, kā arī Zemes garozas neotektonisko un mūsdienu kustību novērtējumi un izostatisko anomāliju saikne ar seismiskām parādībām. Nav arī pētījumu, kas novērtētu seismiskuma bīstamības faktoros – potenciālo zemestrīču maksimālās magnitūdas, seismiskā režīma un inženierģeoloģisko apstākļu ietekmi uz seismiskā satricinājuma līmeni no Baltijas reģiona zemestrīcēm [Nikuļins, 1998, 2006, 2007a].

Seismiskuma bīstamību ir nepieciešams ņemt vērā saimnieciskās dzīves un reģionu attīstībā, jo vairākas apdzīvotās vietas (Rīga, Liepāja, Ventspils, Bauska, Daugavpils, Jelgava) atrodas vēsturisko zemestrīču (ar magnitūdu līdz 4,5) epicentru tuvumā [Doss, 1898, 1909, 1910; Avotinya *et al.*, 1988; Boborykin *et al.*, 1993, 1995], un pastāv risks, ka te zemestrīces var atkārtoties arī nākotnē.

Svarīgi ir novērtēt seismisko bīstamību lielākajām inženierbūvēm Latvijā (piemērām, Pļaviņu HES un Inčukalna dabasgāzes pazemes krātuve) un visā Baltijas reģionā, kas izvietotas iecirkņos ar nelabvēlīgiem seismotektoniskiem un ģeodinamiskiem apstākļiem. Šādi nelabvēlīgi apstākļi ir zināmi Ignalinas AES apkārtnē, kur netālu, pie Daugavpils, bija vēsturiskās 1908.gada zemestrīces epicentrs [Doss, 1909, 1910]. Turklāt, jāņem vērā, ka Ignalinas AES atrodas subparalēli orientētā Kurzemes – Polockas tektonisko lūzumu zonā [Karataev *et al.*, 1993d, 1993e].

Lielu inženiertehnisku objektu (ūdenskrātuves un aizsprosti, atomelektrostacijas, ogļūdeņražu pazemes glabātavas, derīgo izrakteņu ieguves karjeri) tehnogēnā slodze pēc savas ietekmes ir salīdzināma ar dabiskiem ģeoloģiskiem procesiem [Gupta, Rastogi, 1979; Van Eijs *et al.*, 2006; Van Eck *et al.*, 2006]. Šāda iedarbība rada izmaiņas vidē un aktivizē virkni bīstamu procesu, kā arī veicina jaunu ģeoloģisko procesu un parādību veidošanos un attīstību [Dai *et al.*, 2005]. Starp minētiem bīstamākais ir inducētais seismiskums, teritorijas sēšanās (iegrimšana), pārplūšana, karsta un sufozijas kriteņu veidošanās, tehnogēno ģeofizikālo lauku veidošanās un tamlīdzīgi [Buchbinder *et al.*, 1981; Chandler, 1990; Fourmaintraux *et al.*, 1997; Massonnat, Roland, 1997; Maury, 1997; Lipponen *et al.*, 2005].

Tehnogēnā iedarbība var veicināt sprieguma uzkrāšanos zemes garozā, palielinot zemestrīču biežumu jeb arī izlādēt uzkrāto spriegumu, kas ir kā “slēdzis” zemestrīču izraisīšanai. Šāds inducēts seismiskums bieži veidojas pie lielu ūdenskrātuvju izveidošanas, kā arī fluīdu iesūkņēšanas dziļajos zemes slāņos [Sheng *et al.*, 1973; Wang *et al.*, 1975; Simpson, 1976; Leblanc, Anglin, 1978; Gupta,

Rastogi, 1979; Simpson *et al.*, 1992]. Tā pasaules seismoloģijas praksē ir zināmi inducētu zemestrīču gadījumi [Drakopoulos, 1974; Gough D. I., Gough W. I., 1970a, 1970b] ūdenskrātuvju un aizsprostu rajonos: Hsinfengkiang – Ķīna 1962.gads (M=6.1), Kariba – Rodēzija – Zambija 1963.gads (M = 5.8), Kremasta – Grieķija 1966.gads (M = 6.3) un Koina – Indija 1967.gads (M = 6.5).

Līdz ar tehnogēnas slodzes pieaugumu uz zemes garozu un jaunām tās izpausmēm, kas saistītas ar inducētas zemestrīces rašanos rūpnieciski attīstītās teritorijās, ir nepieciešams detalizēti novērtēt seismotektoniskās bīstamības pakāpi.

Kaļiņingradas zemestrīce 2004.gada 21.septembrī bija nozīmīgs papildus arguments, kas aktualizēja seismoloģijas pētījumus visā Ziemeļeiropā, arī Latvijā, jo tā apdraudēja cilvēkus un radīja ekonomiskos zaudējumus (aptuveni 5.3 milj. ASV dolāru vērtībā) ne tikai Krievijas Federācijas Kaļiņingradas apgabalā, bet arī Latvijā [Nikulin, 2005].

Tādējādi darbu aktualitāti nosaka nepieciešamība izzināt seismiskuma priekšnoteikumus mazaktīvos platformu apgabalos, seismisko režīmu, mūsdienu seismotektonisko aktivitāti un inženierģeoloģisko apstākļu ietekmi uz satricinājuma intensitāti no stiprām zemestrīcēm Baltijā, kā arī iegūt detalizētas ziņas par seismogēnām zonām un to parametriem, lai novērtētu seismisko bīstamību un nākotnē to atspoguļotu Latvijas būvnormatīvu dokumentos.

### **Zinātniskā novitāte:**

Darba zinātniskā novitāte:

1. Veikta Latvijas teritorijas seismiskā rajonēšana [Safronovs, Ņikuļins, 1999], Austrumeiropas platformas ziemeļrietumu daļas seismotektoniskā analīze un seismogēno zonu identifikācija, noteiktas 17 seismogēnas zonas, zemestrīču maksimālas magnitūdas un minimālais dziļums.
2. Pētījuma rezultātā pirmoreiz ir noteikta seismiskuma un neotektonisko kustību horizontālā gradienta summārās amplitūdas savstarpējā saikne Baltijas jūras akvatorijas piekrastei un jūrai piekļautajai sauszemes daļai. Zemestrīces un summārās amplitūdas gradienti norāda uz deformācijas procesa turpināšanos jūras akvatorijas neotektonisko struktūru malējas daļās [Nikulin, 2007c].
3. Pirmo reizi Baltijas reģionā ir pielietota Zemes garozas izostatiskā līdzsvara novērtēšanas metode Mohorovičiča robežas līmenī, kas ļāva iegūt jaunus datus par pozitīvo izostatisko anomāliju savstarpējo saistību ar zemes garozas mūsdienu

vertikālām un neotektoniskām kustībām, identificēt 5 Zemes garozas iecirkņus ar traucētiem izostatiskā stāvokļa rādītājiem, kā arī novērtēt Zemes garozas attīstības virzību šajos iecirkņos [Nikulīns, 1997, 1999].

4. Iegūti jauni dati par Baltijas jūras piekrastes daļas seismisko režīmu, un instrumentālo pētījumu periodam novērtēta zemestrīču biežuma un magnitūdas sakarība [Nikulīns, 2007c].
5. Pirmo reizi sniegta neotektoniskās struktūras Lietuvas – Igaunijas monoklinālē un Baltijas jūras akvatorijas piekrastes zonā maksimāli iespējamo magnitūdu novērtējums [Nikulīns, 1998].
6. Baltijas reģionā pirmoreiz atklāta izostatiskās anomālijas zonas saistība ar kristāliskā pamatklintāja plaisainību starp Kalnciemu un Valmieru [Nikulīns, 2006].
7. Balstoties uz Zemes garozas izostatiskā stāvokļa analīzi, kristāliskā pamatklintāja plaisainību un ģeodēzisko reperu pārvietošanos horizontālā virzienā, pirmo reizi izvirzīta hipotēze par iespējamo Zemes garozas deformācijas rašanos ziemeļaustrumu Latvijā starp Cēsīm un Valmieru [Nikulīns, 2006].

### **Pētījumu ticamība**

Latvijas seismiskās rajonēšanas rezultātu ticamību apstiprina Baltkrievijas un Ukrainas seismoloģijas speciālistu un ģeologu grupas iepriekšējos gados sagatavotā Baltkrievijas un Baltijas reģiona seismiskās rajonēšanas karte mērogā 1: 1 500 000 [Garetskij *et al.*, 1997]. Tā tika sastādīta, izmantojot atšķirīgu metodiku, faktiskā materiāla bāzi un teorētisko pamatojumu. Vairāku seismogēno zonu (Irbes, Rīgas, Pārdaugavas, Bauskas, Kokneses un daļēji Madonas) konfigurācija praktiski sakrīt abās kartēs, bet diskutējama varētu būt zemestrīču izcelsmes avota - Daugavpils zonas - telpiskā orientācija.

Latvijā seismiskai rajonēšanai izmantotās metodikas efektivitāti apstiprina realizētās prognozes [Safronov *et al.*, 2005] par Kaļiņingradas zemestrīču izcelsmes avota zonas ziemeļu apakšzonas atrašanās vietu, kuras tiešā tuvumā notika 2004.gada 21.septembra Kaļiņingradas zemestrīce [Wiejacz, Debski, 2005; Wiejacz *et al.*, 2007]. Agrāk, izmantojot līdzīgu metodiku arī baltkrievu un ukraiņu speciālisti atklāja šo zonu [Garetskij *et al.*, 1997].

Iecirkņos ar pozitīviem izostatiskā līdzsvara rādītājiem Zemes garozas attīstības tipa ticamību (piemēram, Inčukalna izostatiskā anomālija) pierāda Zemes virsmas

pacēlums un Zemes garozas robežas pazeminājums (zemes garozas attīstības virzienu 2 tipi). Inčukalna izostatiskā anomālija telpiski sakrīt ar anomāliju Ieriķu rajonā, kur zemes garozas mūsdienu vertikālās kustības ātrums (3,5 mm/gadā) un Moho virsmas ieguluma dziļums (pēc dziļuma seismiskās zondēšanas darbu rezultātiem) ir zem vidējā līmeņa, kāds raksturīgs platformu teritorijām. Tas apstiprina piedāvātā izostatiskās kompensācijas modeļa mehānismu.

Arī Roņu salas – Limbažu megakodola blīvuma samazināšanās [Lyubalin, 1996] teritorija telpiski aptver izostatiskās anomālijas zonu gar Kalnciema – Valmieras virzienu un tas arī liecina par ģeoloģiskas vides īpašību noteiktām likumsakarībām.

Izostatisko pozitīvo anomāliju zonas un tektonisko lūzumu blīvumu zonas kristāliskajā pamatklintājā orientētas vienādā, dienvidrietumu – ziemeļaustrumu, virzienā no Kalnciema līdz Valmierai. Šis virziens sakrīt ar nogulumiežu segas Liepājas– Rīgas – Pleskavas lūzuma zonas segmenta virzienu (Olaines – Inčukalna un Slokas – Cēsu lūzumu). Tas parāda, ka pozitīvo izostatisko anomāliju zonām nav gadījuma raksturs.

### **Aprobācija**

Pētījuma rezultāti aprobēti 8 starptautiskās un 5 vietējās zinātniskajās konferencēs. Pētījumu rezultāti ir publicēti 10 starptautiskos recenzējamos izdevumos, tie atspoguļoti 14 zinātniskās publikācijās, kā arī npublicētos pētījumu pārskatos. Pētījums veikts aktīvi iesaistoties starptautiskās programmās: IGCP Project N346 “*Neogeodynamica Baltica*” 6th (Minsk, Belarus, 1996) and 7th (Wawrzkowizna, Poland, 1997) International Working Meetings; the “*Eurobridge*” Project, Deep Seismic Sounding in 1995 and 1996 (Vilnius – Dubingiai, Lithuania, 1997). Dalība šajos pētījumos ļāva autoram ne tikai pārlicināties par sava pētījuma kvalitāti un zinātnisko pamatotību, bet arī apgūt jaunas pētniecības metodes un izmantot kolēģu iegūtos materiālus datu savstarpējiem salīdzinājumiem.

Disertācijas tēma daudzkārt aplūkota konferencēs, darba tikšanās skolās un semināros, kā arī starptautiskās konferencēs. Pētījuma autors piedalījās sekojošās konferencēs, darba grupās:

1996.g. – IGCP projektā N 346 “*Neogeodynamoca Baltica*”. 6 th International Working Meeting. Minsk, Belarus. Referāts – Preliminary estimations isostatic balans of earth’s crust along of profile Sovetsk – Riga – Kohtla-Yarve.

1997.g. – IGCP projektā N 347 “Neogeodynamoca Baltica”. 7 th International Working Meeting. Wawrzkowizna, Poland, 2 – 6 June 1997. Referāts – Correlation between isostatic anomalies and neotectonic movements in Latvia [Nikulin, 1999].

1997.g. – projektā “Eurobridge”: Deep Seismic Sounding in 1995 and 1996. “Eurobridge” seismic Working group. Vilnius – Dubingiai, Lithuania, 12 – 16 June 1997. Referāts – Preliminary results of isostatic conditions estimation of Earth crust in Latvia [Nikulin, 1997].

2000.g. – Latvijas Universitātes 58. zinātniskajā konferencē, Rīga. Referāts – Mūsdienu seismotektoniskā situācija Pļaviņu HES rajonā [Nikuļins, 2000].

2000.g. – starptautiskajā konferencē “Geophysics in the Baltic region: Problems and prospects for the new millenium”. Tallinn, Estonia. 26 – 30 September 2000. Referāts – Problems of seismicity investigations in Latvia [Nikulin, 2000].

2004.g. (13. – 18. septembrī) – Viskrievijas konferencē Ekoloģisko problēmu institūtā Ziemeļu Arhangeliskas zinātniskā centra UN KZA (Arhangelka) “*Ziemeļu reģionu apkārtējā vidē ģeodinamika un ģeoloģiskās izmaiņas*”. Referāts - Seismisku procesu pētījums Austrumeiropas platformas rietumu daļā [Nikulin, 2004].

2005.g. – Latvijas Universitātes 63. zinātniskā konference, Rīgā. Referāti: 1) Baltijas reģiona seismisko procesu īpatnības telpā un laikā. 2) Kaļiņingradas 2004.gada 21.septembra zemestrīces seismiskās sekas Latvijā [Nikuļins 2005].

2005.g. – darba grupā “Kaliningrad earthquake September 21, 2004.” Tartu University, Estonia. 12 – 13 May 2005. Referāts – Estimation of seismic effects in Latvia from the Kaliningrad earthquake September 21, 2004 [Nikulin, 2005].

### **Būtiskākās publikācijas**

**Nikulin V.G., 1992.** Sovremennaya ènergeticheskaya nasyshchennost' zemnoj kory Latvii. *Belorusskij sejsmologicheskij byulleten'*. Minsk, IGiG, 2, 84 – 91. (In Russian).

**Nikuļins V., 1996.** Latvijas vēsturisko zemestrīču seismotektoniskā pozīcija. *Latvijas ģeoloģijas vēstis*. 1, 22 – 29.

**Nikuļins V., 1998.** Dažu Baltijas reģiona seismisko parametru novērtējums. *Latvijas ģeoloģijas vēstis*. 4, 29 – 35.

**Nikulin V., 1999.** Correlation between isostatic anomalies and neotectonic movements in Latvia. *Tehnika Poszukiwan Geologicznuch. Geosynoptyka i Geotermia*. Krakow, 1 (195), 68 – 76.

**Nikulin V., 2005.** Estimation of seismic effects in Latvia from the Kaliningrad earthquake of September 21, 2004. In: Joeleht A. (ed) *Kalinigrad earthquake September 21, 2004*. Institute of Geology, University of Tartu – Geological Survey of Estonia, Tartu, pp. 30 – 31.

**Ņikuļins V., 2006.** About some geological and geophysical indicators seismotectonic conditions in Latvia. In: *Lietišķo ģeoloģisko pētījumu lauku metodes un instrumenti*. Konferenču tēzes. Lodesmūiža, 21 – 24.

**Nikulin V.G., 2006.** Sovremennoe sostoyanie seismicheskikh nablyudenij v stranakh Baltii. In: Malovichko A.A., Assinovskaya B.A., Gliko A.O., Gol'din S.V., Levin B.V., Mekhryushev D.Yu., Nikolaev A.V., Pojgina S.G., Sobolev G.A., Starovojt O.E. *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii sejsmologicheskikh dannyykh*. Obninsk, 113 – 117. (In Russian).

**Ņikuļins V., 2007a.** Kaļiņingradas zemestrīču seismiskās ietekmes novērtējums Latvijā. *Latvijas Universitātes 65. Zinatātniskā konference*. Tēzes. 176 – 178.

**Ņikuļins V., 2007b.** Seismological researches in Latvia and prospects of their development. *Rīgas tehniskās Universitātes 47. Starptautiskās zinātniskās konferences*. (in print).

**Nikulin V.G., 2007c.** Sejsmichnost' territorii stran Baltii. In: Sharov N.V., Malovichko A.A., Shchukin Yu.K. *Zemletryaseniya i mikrozejsmichnost' v zadachakh sovremennoj geodinamiki Vostochno-Evropejskoj platformy*. Karel'skij NTS RAN, Petrozavodsk. Kniga 1, 364 – 368 (In Russian).

### **Darba struktūra**

Promocijas darbs iekļauj: anotāciju, ievadu, pamata teksta piecas nodaļas, kopsavilkumu un izmantotās literatūras sarakstu (307 nosaukumu), kopējais darba apjoms ir 122 lpp., 33 attēli, 9 tabulas un tam ir pievienoti 3 pielikumi.

Ievadā ir sniegts pētījuma pamatojums, īss pētījuma objekta un priekšmeta raksturojums, pētījuma mērķis, izklāstīta būtība, formulēta problēmas aktualitāte, zinātniskā novitāte, zināšanu pašreizējais līmenis apskatāmajā problemātikā, risinājumu nevienuzīmīgums atsevišķos aspektos, pētījuma virzieni un metodes.

Pirmajā nodaļā “Seismotektoniskais un ģeofizikālais raksturojums” īsi raksturota Zemes garozas dziļo slāņu ģeoloģiskā uzbūve, ģeofizikālie lauki, neotektoniskie un zemes garozas mūsdienu kustības Latvijas teritorijā. Apskatīts



seismoloģisko pētījumu stāvoklis, izvērtēta seismiskā bīstamība Latvijā un Baltijas reģionā kopumā.

Otrajā nodaļā “Izpētes metodes un sākotnējie materiāli” sniegti metodiskie apraksti izvirzīto uzdevumu risināšanai, galvenie pētījumā izmantotie materiāli seismisko notikumu katalogu veidā, Latvijas neotektoniskās un zemes garozas mūsdienu kustības karte, kā arī dziļo slāņu ģeoloģiskais griezumš gar seismiskās zondēšanas profilu u.c.

Trešajā nodaļā “Pētījumu rezultāti” atspoguļoti iegūtie galvenie rezultāti: raksturots zemes garozas izostatiskais stāvoklis, novērtēts zemes garozas un litosfēras biezums, noteikta zemes garozas attīstības virzība atsevišķos anomālos iecirkņos, izteikta ziemeļaustrumu Latvijas ģeodinamisko apstākļu attīstības hipotēze, izvērtēts zemes garozas seismotektoniskais potenciāls. Sagatavota seismotektoniskā karte un balstoties uz to izdalītas 3 dažādu gradācijas līmeņu seismogēnās zonas, kurās novērtēti to galvenie parametri un seismiskās iedarbības pakāpe, noskaidrota saikne starp seismiskumu un zemes garozas neotektoniskām kustībām Baltijā, izvērtēti seismiskā režīma parametri Baltijas reģionā ietverot maksimāli iespējamās zemestrīces magnitūdas, novērtēti inženierģeoloģiskie faktori, kas ietekmē seismiskuma bīstamību.

Diskusiju sadaļā kritiski analizēti iegūtie pētījuma rezultāti salīdzinājumā ar iepriekšējos gados veiktiem novērojumiem, pētījumiem, datu interpretāciju, kā arī pieņēmumiem un hipotēzēm.

Secinājumos sakopotas un formulētas galvenās atziņas un pētījuma rezultāti, ieskicēts arī rezultātu iespējamais praktiskais pielietojums.

## **Pateicības**

Metodisku un praktisku palīdzību darba daļā, kas saistīts ar Latvijas seismisko rajonēšanu, ir sniedzis Ukrainas Nacionālās Zinātņu Akadēmijas S.Subbotina vārdā nosauktā Ģeofizikas institūta Seismoloģijas daļas speciālists O.N.Safronovs.

Autors ir pateicīgs darba zinātniskajam vadītājam, ģeoloģijas doktoram, Latvijas Universitātes profesoram, Dr.ģeol. V.Segliņam par metodiskajām rekomendācijām, teksta koriģēšanu un konsultācijām, kas ļāva strukturēt un optimizēt darba saturu, kā arī izveidot iegūto rezultātu izklāsta sistēmu.

Pētījums Latvijas teritorijas seismiskā rajonēšana veikts pateicoties Valsts ģeoloģijas dienesta finansējumam.

# 1. TERITORIJAS SEISMOTEKTONISKĀ UN ĢEOFIZIKĀLĀ IZPĒTE

Platformu seismiskās aktivitātes (turpmāk tekstā – seismiskums) attiecas uz izkliedētu, iekšplātņu seismiskumu [Illies, 1976; Talwani, 1989, 1999; Kuang *et al.*, 1989; Talwani, Rajendran, 1991; Johnston, 1996a, 1999b, 1996c; Rajendran K., Rajendran C. P., 1999; Dentith, Featherstone, 2003; Liu, 2001; Lu, 2005], no kurām tikai neliela daļa ir spēcīgas zemestrīces. Tomēr tās notiek, piemēram, tādas bija *New-Madrid* zemestrīces 1811. un 1812.gadā Ziemeļamerikas platformā, kad to magnitūdas sasniedza 7,8 – 8,1 [Hough, Martin, 2002].

Platformu teritoriju, it īpaši senu platformu, seismiskumam īpaša uzmanība tika pievērsta tikai pēdējo gadu desmitu laikā, jo līdz šim tās uzskatīja par stabilām ģeoloģiskām struktūrām [Gutenberg, Richter, 1954; Andreev, 1956; Salop, Scheinmann, 1969; Anan' in, 1980; Sengör, 1999]. Svarīgu inženiertehnisku un vienlaikus ekoloģiski bīstamu objektu (atomelektrostacijas, hidroelektrostacijas, ūdenskrātuves u.t.t.) izveidi platformu teritorijās nosaka paaugstinātas prasības, lai būtu pēc iespējas pilnīga seismiskā un ģeodinamiskā drošība [Morozov *et al.*, 2001]. Platformu seismiskie pētījumi īpaši tika aktualizēti pēc Zemes garozas mūsdienu kustību jaunas klases - parametriski-inducētās, tektoniskās deformācijas atklāšanas, kas novērojama lūzumu aseismiskajās zonās [Kuzmin, 2002].

Latvijas teritorija atrodas senās Austrumeiropas platformas (AEP) ziemeļrietumu daļā, kura rietumos *Tornquist - Teisseyre* zonā [Gregersen *et al.*, 2002] robežojas ar relatīvi jaunu Rietumeiropas platformu [Garetsky *et al.*, 1999; Cloetingh, Cornu, 2005; Cloetingh *et al.*, 2006]. Veikto ģeoloģisko, ģeofizikālo, ģeomorfoloģisko, hidroģeoloģisko, neotektonisko u.c. darbu rezultātā Latvijas teritorija kopumā ir ļoti labi izpētīta (Rugevich, 1891; Kraus, 1930, 1933; Dreimanis, 1935; Asatkin, 1944; Kudryavtsev, 1946; Alekseev, 1947; Bogomolov, 1947; Dikenshtejn, 1959; Liepin'sh, 1950; Kuzik, 1970; Berzin'a, Ozolin'a, 1970; Indans, 1961; Brangulis, Brio, 1981) [Brio, Stetsyun, 1973; Mozhaev, 1973; Suveizdis, 1979; Suveizdis *et al.*, 1979a, 1979b; Brangulis, Brio, 1984; Brangulis, Kaņevs, 2002].

Ņemot vērā iepriekšējos gados veikto pētījumu visai lielo apjomu, turpmāk apskatīti tikai tie ģeoloģiskās vides raksturlielumi, kuri ir tieši saistīti ar promocijas darbā izvirzītajiem uzdevumiem.

### **1.1. Ģeoloģisko, ģeofizikālo un tektonisko apstākļu apskats**

Izmantojot Zemes garozas un augšējās mantijas pētījumu ģeoloģiskās un ģeofiziskās metodes, bija iespējams veidot salīdzinoši pamatotus priekšstatus par Latvijas teritorijas ģeoloģisko uzbūvi [Vetrennikov, 1988; Ankudinov *et al.*, 1991; Brangulis, Brio, 1981; Karataev *et al.*, 1993a, 1993b, 1993c, 1993d, 1993e; Doody *et al.*, 1999; Brangulis, Kaņevs, 2002].

Ģeoloģisko un ģeofizikālo apstākļu apskatā ietvertie materiāli par Zemes garozas dziļo slāņu ģeoloģisko uzbūvi, kristāliskā pamatklintāja un nogulumiežu segas tektoniku, kā arī pētījumi par Zemes garozas neotektoniskām un mūsdienu kustībām, kopumā veido galvenos elementus, kas ir tieši vai pastarpināti saistīti ar seismoģenerējošo struktūru atklāšanu [Safronovs, Ņikuļins, 1999] un to eksistences priekšnoteikumiem [Nikulins, 1992, 1999; Ņikuļins, 2006a; Nikulin, 2006b].

Ģeofizikālie parametri (gravitācija, magnētiskais lauks), siltuma plūsma un tektonikas īpatnības (Zemes garozas sašķelšanās un dinamika) aplūkota no seismiskuma priekšnoteikumu viedokļa Latvijā un tai piekļautajā teritorijā.

#### **1.1.1. Dziļo slāņu ģeoloģiskā uzbūve**

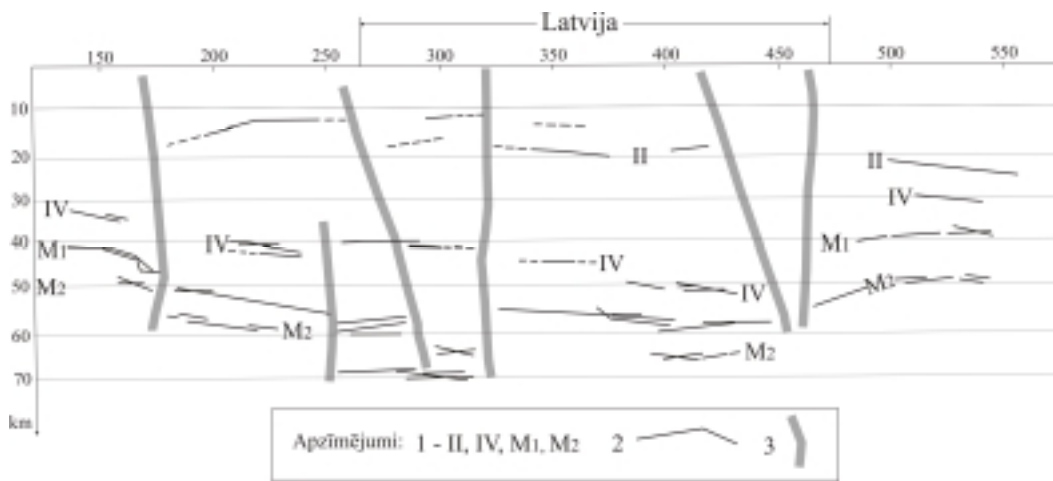
Zināšanas par Zemes dziļo slāņu ģeoloģisko uzbūvi zem kristāliskā pamatklintāja pamatnes Baltijas reģionā balstās galvenokārt uz seismiskiem [Ankudinov, 1991; Doody *et al.*, 1999], magnētiski telūriskās zondēšanas [Kovtun, 1989], gravimetriskās un magnetometriskās kartēšanas pētījumiem, kā arī uz tālu zemestrīču seismisko viļņu ierakstu analīzi [Hot'ko, 1974, Proskuryakova *et al.*, 1976].

Pirmās ziņas par litosfēras vertikālā sadalījuma īpatnībām Baltkrievijas - Baltijas reģionā tika iegūtas pēc virsmas seismisko viļņu ierakstiem, kas reģistrēti seismiskajās stacijās "Plešenica" un "Baldone" pēc Releja un Ļava viļņu fāžu ātrumu dispersijas analīzes, kā arī pēc garenvilņu un šķērsvilņu ātruma tajos [Hot'ko, 1974,

Proskuryakova *et al.*, 1976]. Šie pētījumi atklāja, ka Zemes garozas biezums Baltijas - Baltkrievijas reģionā vidēji ir 37 km, bet 115 - 315 km dziļumā atrodas V un VI slānis, kuriem ir pazemināts viļņu ātrums.

Dziļās seismiskās zondēšanas (DSZ) metode ļāva noteikt vairākas robežas Zemes garozā un augšējā mantijā. Baltijas reģionā DSZ pētījumi veikti profilos: Sovetska - Rīga - Kohtla-Jarve 1986.g. [Ankudinovs *et al.*, 1991] un EUROBRIDGE 1995.- 1997.g. [Doody *et al.*, 1999].

Pētījumu rezultātā 1986.g. tika noteikts, ka Baltijas reģionā Zemes garozai ir blokveida uzbūve un sarežģīta, slāņaina struktūra, atklājot dziļus garozas-mantijas lūzumus. . Konstatēja [Ankudinov *et al.*, 1991], ka Baltijas reģionā Zemes garozai ir pieci bloki: Ziemeļu, Rīgas, Kurzemes, Kuršu un Nemunas.



**1.1. att. Baltijas reģiona Zemes garozas bloku izvietojums, pēc Ankudinova u.c. [Ankudinov *et al.*, 1991].**

Apzīmējumi: 1 – II, IV, M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> – Zemes garozas ģeoloģisko robežu indeksi (M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> – Moho augša un apakša robeža); 2 – ģeoloģiskās robežas; 3 – dzīļu lūzumi.

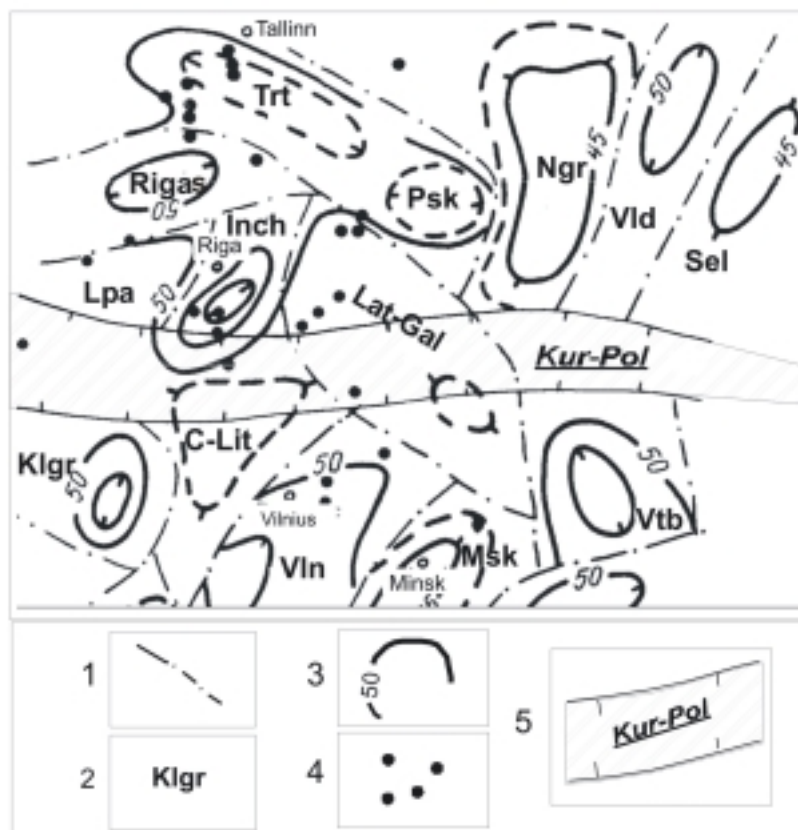
Zemes garozas vertikālā griezumā tika izdalītas vairākas subhorizontālas starpslāņu robežas: II robeža - starp granītu – metamorfo iežu un diorītu - granulītu slāni, IV robeža - starp diorītu – granulītu un bazītu - granulītu slāni. Tā Ziemeļu bloks (1.1. attēls) ietver Austrumigaunijas monoklināli, Veru sedlieni un Valmieras – Lokno izcilni, kas atrodas Baltijas vairoga dienvidu nogāzē.

Ziemeļu bloku no dienvidiem norobežo stāva krituma lūzums, kas vērsts ziemeļu virzienā, un tas pieder pie Liepājas – Rīgas – Pleskavas lūzumu zonas, kurā ir iekļauts arī Slokas – Cēsu lūzums. Zemes garozas biezums bloka ietvaros ir 46 – 50 km. Zemes garozas pamatne tur ieguļ ar nelielu kritumu uz dienvidiem. Rīgas bloks atrodas Baltijas sineklīzes ziemeļdaļā, - no dienvidiem to norobežo vertikāls lūzums, kas trasē galvenokārt pa Zemes garozas pamatni. Šajā blokā Zemes garoza ir biežāka, salīdzinot ar Ziemeļu bloku, un ziemeļos tā sasniedz 59 km, bet dienvidos tā ir nedaudz plānāka - līdz 57 km. Moho virsma šajā blokā ieguļ samērā mierīgi. Kurzemes bloks ziemeļos robežojas ar Rīgas bloku, bet no dienvidiem to norobežo stāva krituma dziļlūzums, kas trasē pa Moho virsmu. Kristāliskajā pamatklintājā tā turpinājums ir Tauraģes – Ogres lūzums. Šim blokam raksturīga visbiežākā Zemes garoza (64 km) un pārejas slānis (24 km). Savukārt Kuršu bloku norobežo Dienvidšilāles dziļlūzums, bet bloka ietvaros Zemes garozas biezums samazinās no 60 līdz 50 km dienvidu virzienā .

EUROBRIDGE pētījumu rezultāti [Doody *et al.*, 1999] rāda, ka pētītajā profilā Moho virsmas vidējais dziļums Baltijas reģiona robežās mainās no 43 km Rietumlietuvas granulītu apgabalā līdz 52 km Austrumlietuvas joslā.

Balstoties uz DSZ rezultātiem (Sadov, Penzina, 1986), N.Ozoliņa un V.Kovrigins (1986) Sovetska – Rīga – Kokhtla-Jerve profilā veica gravitācijas modelēšanas pētījumus. Tika noskaidrots, ka Baltijas reģionā paliekošā gravimetriskā laukā galvenokārt tiek atspoguļots  $M_1$  un IV robežu hipsometriskais stāvoklis. Noteikta arī cieša korelācija starp gravitācijas lauka lieluma progresiju un dziļumiem līdz norādītajām robežām, bet negatīvā nogulumiežu segas ietekme novērota kristāliskā pamatklintāja augšējā un apakšējā daļā. Tika konstatēts, ka Zemes garozas horizontālo neviendabīgumu nosaka uzbūves atšķirības [Girin, 1993], un atbilstoši tiek izdalīti Zemes garozas attīstības tipi: protookeāna ( $AR_1$ ), pārejas ( $AR_2 - PR_1$ ) un kontinentālā ( $PR_1$ ) [Girin, 1993; Karataev *et al.*, 1993c, 1993d].

Tajā pašā laikā citu modeļu pētījumi, kuri galvenokārt interpretēja gravitācijas lauka novērojumus [Karataev *et al.*, 1993a], reģionālo magnētisko anomāliju un kristāliskā pamatklintāja virsmas reljefa kopsakarības ar Moho virsmas dziļumu, ļāva iegūt salīdzinoši precīzu Mohorovičiča virsmas reljefa shēmu (1.2.att.) Baltkrievijas - Baltijas reģionam [Karataev *et al.*, 1993b; 1993c; Garetskij *et al.*, 1993; Karataev, Furs, 1997].



**1.2. att. Baltijas reģiona Zemes garozas bloku izvietojuma shēma**

[Karataev *et al.*, 1993b].

Apzīmējumi: 1 – Zemes garozas lūzumi, kuri šķeļ nogulumiežu segu; 2 – Zemes garozas bloku nosaukumi (Trt – Tartu, Rigas – Rīgas, Inch – Inčukalna, Psk – Pleskavas, Ngr – Novgorodas, Vld – Valdajas, Sel – Selīģeras, Lpa – Liepājas, Lat-Gal – Latgales, Klgr – Kaļiņingradas, C-Lit – Centrālās Lietuvas, Vln – Viļņas, Msk – Minskas, Vtb – Vitebskas); 3 – Moho robežas dziļums (km); 4 – vēsturisko zemestrīču epicentri; 5 – Kurzemes – Polockas lūzumu tektoniskā zona.

Šie pētījumi ļāva Baltijas reģiona robežās izdalīt [Apirubite *et al.*, 1993; Garetskij *et al.*, 1993; Karataev *et al.*, 1993c; Pashkevich, 1993b] vairākus Zemes garozas evolūcijas tipus: DK ir senas konsolidācijas (Tartu un Pleskavas bloks) Zemes garozas tips, DP - senas konsolidācijas pārveidots agrā proterozojā (nav Baltijas reģionā), NK ir Zemes garozas (Latgales un Liepājas bloks) nepabeigtas attīstības stadijas tips, PA ir platformu aktivizācijas tips (Novgoroda), DCHP ir Zemes garozas pārejas tips, kas ieņem vidus stāvokli starp DK un DP (Rīgas bloks), bet NCHA ir Zemes garozas pārejas tips starp NK un PA (Kurzemes – Polockas zona). Tādējādi Baltijas reģionā tika konstatēti dažādi Zemes garozas evolūcijas tipi

un viena Kurzemes – Polockas zona (1.2. attēls) ar mantijā izvietotu subparalēli orientētu dziļlūzumu sistēmu [Karataev *et al.*, 1993b; Karataev, Furs, 1997].

Zemes garozas (DCHP) pārejas tipu raksturo Rīgas bloks, kas atrodas Rīgas jūras līcī un Kurzemes ziemeļos. Šī bloka robežās Zemes garozas biezums sasniedz  $56 \pm 4$  km, bet tās atsevišķo daļu slāņa biezumi ir: bazalta -  $29 \pm 3$  km, diorīta -  $13 \pm 2$  km un granīta -  $14 \pm 1$  km [Karataev *et al.*, 1993b, 1993c; Karataev, Furs, 1997].

Zemes garozas (DK) senās konsolidācijas tipu raksturo Inčukalna bloks, kura maksimālais Zemes garozas biezums ir 63 km, kā arī Zemes garozas bloks, kura garenass orientēta Tartu - Pleskavas virzienā. Šo bloku robežās bazalta slāņa biezums  $31 \pm 4$  km, diorīta -  $13 \pm 2$  km, granīta -  $13 \pm 1$  km [Karataev *et al.*, 1993b, 1993c; Karataev, Furs, 1997].

Zemes garozas nepabeigtās attīstības stadijas (NK) bloki atrodas Latvijas rietumu daļā (Liepājas bloks) un austrumos (Latgales bloks). To robežās ir salīdzinoši plāna Zemes garoza:  $38 \pm 2$  km, kuru veido  $7 \pm 2$  km biezs bazalta,  $16 \pm 2$  km - diorīta un  $15 \pm 1$  km biezs granīta slānis. Zemes garozas Latgales bloku šķērso Kurzemes – Polockas dziļlūzumu sistēma, bet bloka garākā ass ir vērsta ziemeļrietumu - dienvidaustrumu virzienā.

Zemes garozas nepabeigtās attīstības stadija ir raksturīga šī bloka ziemeļrietumu un dienvidaustrumu malām, bet Centrālā daļa, kas sakrīt ar Kurzemes – Polockas dziļlūzuma sistēmu, attiecas uz Zemes garozas starptipu, kuram raksturīgi  $18 \pm 2$  km bieza bazalta,  $15 \pm 2$  km - diorīta un  $15 \pm 1$  km - granīta slāņi. Latgales bloka centrālā daļā Zemes garozas kopējais biezums sasniedz  $48 \pm 2$  km [Karataev *et al.*, 1993b, 1993c; Karataev, Furs, 1997].

Visiem augstāk minētajiem Zemes garozas evolūcijas tipiem ir specifiska galveno slāņu biezumu un savstarpējā attiecība (tab.1.1.).

**Tabula 1.1. Zemes garozas ģenētisko tipu ģeofizikālais raksturojums**  
[Karataev *et al.*, 1993c].

Tipa Nr.	Zemes garozas sastāvs (ieži)	Kodola pamatsastāva tips	Bloka lielākās lūzuma zonas nosaukums	Slāņu un garozas kopējais biezums, km			
				Bazalts	Diorīts	Granīts	Garozā kopā
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Bāziskie	Vissenākās konsolidācijas	Tartu	$31 \pm 4$	$13 \pm 2$	$13 \pm 1$	>50

1	2	3	4	5	6	7	8
1	Bāziskie	Vissenākās konsolidācijas	Inčukalns	31±4	13±2	13±1	>57
1	Bāziskie	Vissenākās konsolidācijas	Pleskava	31±4	13±2	13±1	>50
1	Bāziskie	Vissenākās konsolidācijas	Viļņa	31±4	13±2	13±1	>50
1	Bāziskie	Vissenākās konsolidācijas	Kaļiņingrada	31±4	13±2	13±1	>50
1	Bāziskie	Vissenākās konsolidācijas	Vitebska	31±4	13±2	13±1	>50
2	Pārsvarā bāziskie	Vissenākais konsolidācijas ar daļēju pārstrādi agrajā proterozojā	Rīga	29±3	13±2	14±1	56±4
4	Vidēja sastāva	Garozas nepabeigta attīstības stadija	Centrālīetuva	25±2	14±2	14±1	53±2
5	Vidēja sastāva	Garozas nepabeigta attīstības stadija ar daļēju platformas aktivizāciju	Latgale	18±2	15±2	15±1	48±2
6	Pārsvarā skāba sastāva	Garozas nepabeigta attīstības stadija ar ievērojamu platformas aktivizāciju	Novgoroda	11±2	17±2	15±1	43±2
7	Skāba sastāva	Nobriedušas garozas etaps	Liepāja	7±2	16±2	15±1	38±2

Kurzemes – Polockas zona (1.2.att.) ar mantijā veidotu subparalēli orientētu dziļlūzumu sistēmu ietver vairākus Zemes garozas attīstības jeb evolūcijas tipus: pārejas tipu (NCHA) starp garozas attīstības nenoslēgtas stadijas (NK) un platformu aktivizācijas (PA) tipu. Uz dienvidiem no Kurzemes - Polockas zonas atrodas Pripetes dziļo lūzumu zona. Šajā subparalēli orientētajā zonā aktivitātes izpaužas kā vulkānisms. Vulkāniskais materiāls tika pārveidots uz Zemes garozas un mantijas robežas, izraisot garozas–mantijas slāņa veidošanos un jauna Moho [Garetskij, Klushin, 1987; 1989] rašanos. Dziļlūzumu subparalēli orientētā sistēma var liecināt par Zemes garozas dinamiski nestabilu nogabalu [Girin, Karataev, 1993] un atspoguļo Zemes garozas ģeodinamisko aktivitāti šīs lūzumu sistēmas ietvaros [Girin, Karataev, 1993].



Baltijas jūras akvatorijā pētījumu rezultāti atklāja tektonisko zonu, kas ir saistīta ar seno riftu veidošanās procesu teritorijā, kura mūsdienās ir Baltijas jūras centrālā daļa [Ostrovskij, 1995]. Riftu veidojuma (Gotlandes sala - Šaulai) ass virziens sakrīt ar *Tornquist - Teisseyre* zonas virzienu, Ladogas - Botnijas zonas asi, Bugē anomālijas gravitācijas izolīnijām [Balling, 1984], ar dažiem dziļajiem un sekļajiem lūzumiem Baltijas reģiona centrā [Floden, 1984].

Iepriekš izklāstītais apliecina, ka Zemes garozas ģeoloģiskā būve Latvijā pētīta kompleksi, izmantojot seismiskās, gravimetriskās, magnētiskās metodes. Latvijas teritorijā ir vairāki Zemes garozas bloki: Ziemeļu, Rīgas un Kurzemes. Zemes garozas vertikālā griezumā var izdalīt pamatklintāja augšējo un apakšējo virsmu, bazalta-granulīta slāņa (IV) un Moho M1 un M2 robežas (1.1. att.). Zemes garozas vidējais biezums tur ir 40 - 46 km, bet maksimālais ir konstatēts tās centrālajā daļā, sasniedzot 64 km.

Konstatēts, ka Latvijas teritorijai ir raksturīgi vairāki Zemes garozas bloki un to tipi (Rīgas, Tartu, Inčukalna, Liepājas, Latgales un Kurzemes – Polockas lūzuma zona. Tiem ir dziļuma iedalījuma robežas un galveno struktūrstāvu atšķirīga attiecība (1.1.tabula). Latvijas teritorijas ģeoloģiskās attīstības vēsture norāda [Vetrennikov, 1988] uz tektonisko procesu sarežģītību, kas saistīta ar Kurzemes un Novgorodas mini-plātņu [Vetrennikov, 1988] kontakta zonu gar Jelgavas dziļlūzumu. Tikpat sarežģīti tektoniskie apstākļi iezīmējas Latvijas rietumos, Baltijas jūras akvatorijā paleorifta zonas platums sasniedz 100 - 150 km, bet ass orientēta dienvidaustrumu virzienā un šķērso Liepājas rajonu [Ostrovskij, 1995].

Secinājumi: Pēc DSZ datiem Baltijas reģionā Zemes garozā izdalīti pieci bloki: Ziemeļu, Rīgas, Kurzemes, Kuršu un Nemunas [Ankudinov *et al.*, 1991]. Pēc gravimetriskās modelēšanas rezultātiem izdalīti dažādi Zemes garozas ģenētiskie tipi, 11 Zemes garozas bloki un viena Kurzemes-Polocka lūzumu zona [Karataev *et al.*, 1993a, 1993b, 1993c; Pashkevich, 1993b]. Zemes garozas maksimālais dziļums sasniedz 64 km un ir konstatēts tās centrālajā daļā..

### 1.1.2. Kristāliskā pamatklintāja un nogulumiežu segas ģeoloģiskais un tektonikas raksturojums

Austrumeiropas platformas kristāliskais pamatklintājs pēc nogulumu stratigrāfiskā vecuma, to metamorfisma un deformētības pakāpes tiek iedalīts trīs struktūru megastāvos: apakšarhajs, augšarhajs - apakšproterozojs un augšproterozojs - apakšrifejs [Aksamentova, 1990]. Tie atbilst kontinentālas Zemes garozas veidošanās trijiem galvenajiem megaetapiem: protookeāniskajam, pārejas un kontinentālajam [Aksamentova, 1990].

Saskaņā ar 1984.gada pētījumiem [Brangulis, Brio, 1984], Latvijas teritorijas ģeoloģiskajā griezumā izdala divus struktūrelementus, kas raksturīgi senajām platformām: kristālisko pamatklintāju un nogulumiežu segu. Savukārt katrs no tiem iedalās struktūrkompleksos. Kristāliskais pamatklintājs ietver 1) Pirmssvkofena - Karēlijas struktūrkompleksu; 2) Svekofena - Karēlijas krokojuma pārveidotais Pirmssvkofena - Karēlijas struktūrkomplekss, 3) Svekofenas - Karēlijas un 4) senās platformas stabilizācijas etapa kompleksu.

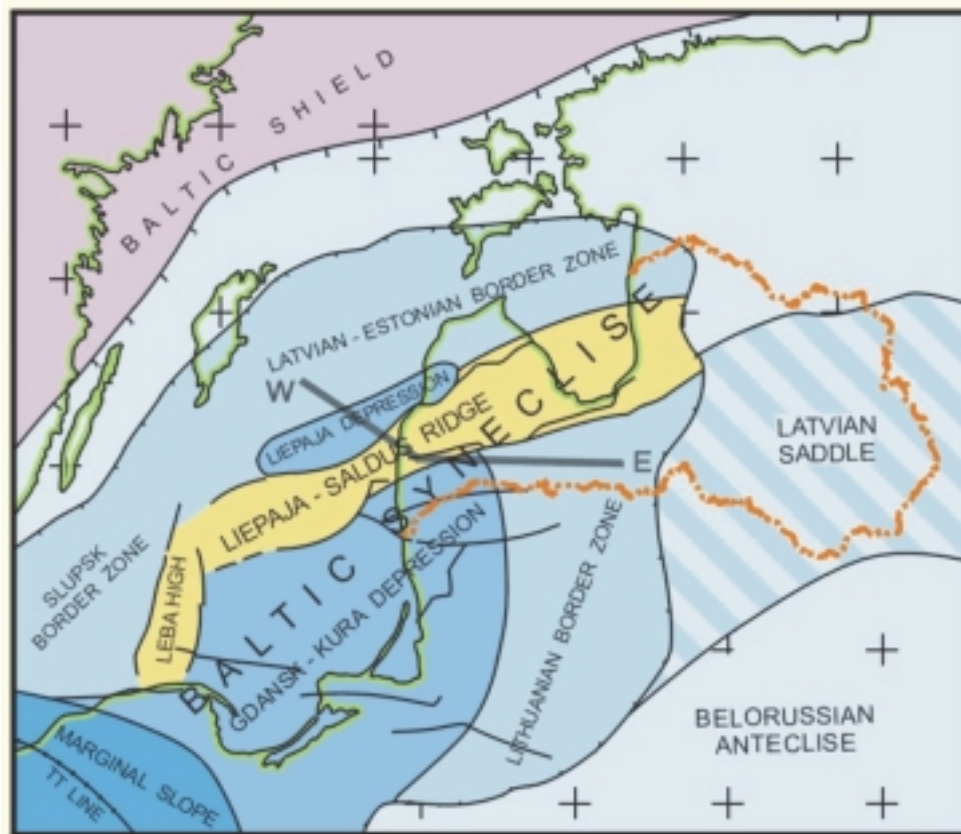
Tomēr jaunāko pētījumu dati [Puura *et al.*, 1997] liecina, ka kristāliskā pamatklintāja pirmskembrija formācijas veido Svekofennas orogēnie ieži (to vecums novērtēts 1800 - 1900 milj.g.), paleoproterozoja ieži (1600 - 2500 milj.g.) un mezoproterozoja ieži (1000 - 1600 milj.g.).

Nogulumiežu segu iedala četrās apakšvienībās [Brangulis, Brio, 1984; Brangulis, Kaņevs, 2002], kuras kārtotas secīgi: Baikāla, Kaledonijas, Hercīnijas un Alpu struktūrkomplekss. Baikāla struktūrkomplekss sastopams tikai Latvijas austrumdaļā un nelielā areālā Kurzemes ziemeļrietumos. Kaledonijas - izplatīts visur, tam raksturīga sarežģīta uzbūve un daudzveidīgi struktūrelementi. Hercīnijas kompleksa nogulumi ar leņķa diskordanci parklāj Kaledonijas kompleksa dažāda vecuma iežus, bet Alpu struktūru kompleksa veidojumi ir sastopami tikai Latvijas dienvidrietumos.

Baltijas reģiona lielākā tektoniskā struktūra ir Baltijas sineklīze (1.2. att.), un tā atrodas Krievijas plātnes ziemeļrietumu nomalē. Ziemeļos Baltijas sineklīze robežojas ar Baltijas vairoga dienvidu nogāzi, bet austrumos - ar Latvijas sedlieni. Dienvidos un dienvidaustrumos tā robežojas ar Mazuru - Baltkrievijas anteklīzi. Latvijas teritorijā, Valmieras rajonā ir atrodas savdabīgs tektonisks mezgls, kurā savienojas nogulumiežu segas Baltijas reģionāla ranga lielākās struktūras: Baltijas sineklīze, Latvijas sedliene

un Baltijas vairoga dienvidu nogāze. Valmieras - Lokno izcilnis atrodas visai savdabīgā tektoniskajā mezglā.

Kristāliskā pamatklintāja virsma Baltijas sineklīzes Latvijas daļā pazeminās dienvidrietumu virzienā, - tā robežojas ar Dānijas - Polijas ielieci [Suveizdis, 1979]. Kopumā Baltijas sineklīze ir vērsta ziemeļaustrumu virzienā, - tās garums aptuveni ir 700 km, bet platums - 450 km. Kristāliskā pamatklintāja virsma sineklīzes nogāžu daļās ieguļ no - 300 – 500m līdz - 700 - 1000 m dziļumā, bet ass daļā no - 1000 m līdz - 4000 - 5000 m. [Suveizdis, 1979]



**1.3. att. Baltijas reģiona ģeoloģisko struktūru galvenie elementi, pēc Branguļa un Kaņeva [Brangulis, Kaņevs, 2002].**

Latvijas sedliene (1.3.att.) gandrīz pilnībā atrodas Latvijas teritorijā, un to no ziemeļiem ierobežo Valmieras - Lokno, bet no dienvidiem - Vilejas izciļņi, kā arī Oršas ielieces ziemeļrietumu mala. Minētā struktūra ir orientēta platuma virzienā, tās

garums 250 - 300 km, bet vidēji sasniedz 200 km. Kristāliskā pamatklintāja virsmas dziļums - 800 - 1050 m zem jūras līmeņa, turpretī Vilejas izciļņa tuvumā tā virsma lēzeni paceļas līdz - 600 - 500 m, ziemeļu daļā tā ir vāji viļņota un atrodas aptuveni 900 m dziļumā.

Baltijas vairoga dienvidu nogāze ietver tikai nelielu teritoriju Austrumlatvijas ziemeļdaļā, kā arī Valmieras – Lokno izcilni, bet Baltijas vairogs ir viena no lielākajām kristāliskā pamatklintāja pirmās pakāpes pozitīvajām struktūrām visā Baltijā [Suveizdis, 1979].

Pirmskembrija kristāliskā pamatklintāja pētījumi ir saistīti ar dzelzsrūdu formāciju izpēti, tie deva iespēju izstrādāt vienu no kristāliskā pamatklintāja [Vetrennikov, 1991] tektoniskās rajonēšanas pēdējām versijām, kuras pamatā ir paleotektonikas analīze [Vetrennikov, 1988]. Latvijas okeāna robežās eksistēja vulkāniskā salu loka un okeāniskās litosfēras absorbēšanas zona, kas sniedz priekšstatus par reģiona ģeoloģiskās attīstības gaitu. Salu loka atliekas saglabājušās kā protovulkaniskās joslas. Okeāniskās garozas absorbēšanas zona sakrīt ar Jelgavas dziļlūzumu, kas ir Benioffa - Zavaricka zonas analogs. Kurzemes mini plātne pa šo lūzumu iegrīma zem Novgorodas plātnes malas [Vetrennikov, 1988, 1991].

Lūzumi (disjunktīvās dislokācijas, pārrāvumi) ir ļoti plaši izplatīti Latvijā [Brangulis, Brio, 1984; Brangulis, Kaņevs, 2002], tiem ir būtiska loma kristāliskā pamatklintāja un nogulumiežu segas uzbūvē. Pēc to veidošanās laika izšķir: pirmsplatformas un platformas posma (etapa) lūzumus. Pirmsplatformas posma lūzumi veidojušies ne vēlāk kā pirmskembrija beigās, turklāt tie konstatējami tikai kristāliskā pamatklintāja iežos. Platformas posma lūzumi lielākoties sastopami Baikāla un Kaledonijas struktūrkompleksa iežos. Tie biežāk izpaužas kā nomati, retāk - uzmati un pārbīdes. Daļa no tiem redzami Hercīnijas un Alpu struktūrkompleksos kā fleksūras jeb mazas amplitūdas nomatu sērija.

Latvijas teritorijā vislielākā subreģionālā disjunktīvā dislokācija ir Liepājas – Rīgas - Pleskavas lūzuma zona kristāliskajā pamatklintājā un nogulumiežu segā. Zonas vidējais platums ap 8 - 10 km, bet dažviet sasniedz 20 km. Pārrāvumi izpaužas kā nomati ar nolaistiem dienvidu spārniem un ar mainīgu nobīdes amplitūdu pa to vērsumu. Maksimālas vertikālās nobīdes (līdz 600-700 m) ir konstatētas Latvijas rietumu daļā un uz austrumiem no Valmieras - Lokno pacēluma. Centrālā daļā (Rīgas apkaimē) nomatu vertikālās nobīdes amplitūda nepārsniedz 100-150 m. Lūzuma zona

sastāv no Liepājas - Saldus, Dobeles - Babītes, Olaines - Inčukalna, Slokas – Carnikavas un Smiltenes – Apes lūzumiem [Brangulis, Kaņevs, 2002].

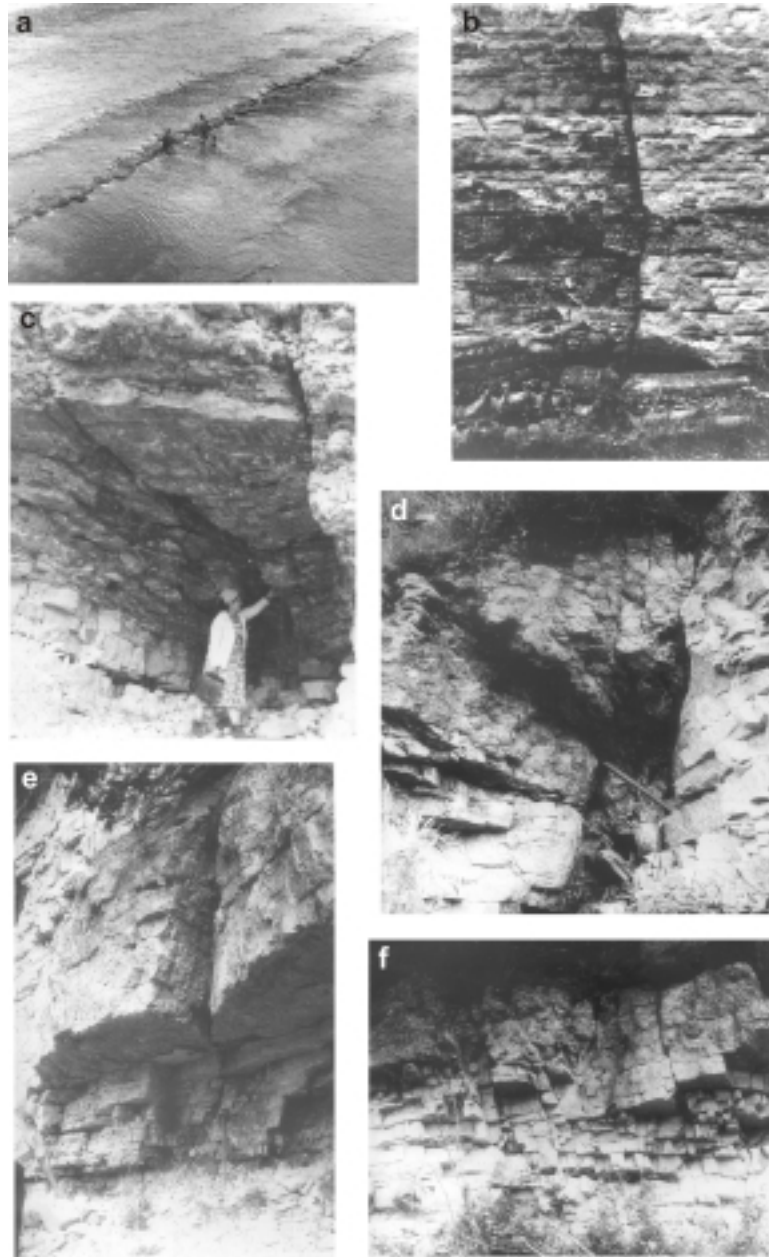
Minēto lūzumu garums ir 100–150 kilometri, bet dziļums aprobežojas ar dažiem kilometriem, atsevišķos gadījumos tie sasniedz „granīta” slāni.

Seismiskie pētījumi, kas galvenokārt saistīti ģeoloģisko struktūru meklēšanu Baltijas jūras akvatorijā saistībā ar naftas meklēšanas darbiem, ļāva atklāt lokālos pacēlumus Kaledonijas un Hercīnijas struktūrkompleksā un konstatēt disjunktīvas dislokācijas, kuras ir Liepājas – Rīgas – Pleskavas lūzumu zonas turpinājums dienvidrietumu virzienā [Brangulis, Kaņevs, 2002].

Kvartāra nogulumiežu segā lūzumus diagnosticēt ir ievērojami sarežģītāk. Devona nogulumi ir pārklāti ar kvartāra, nekonsolidētu 5 - 310 m biezu nogulumu slāni. Kvartāra nogulumu lielāko daļu veido glaciģēnie, glaciofluviālie, glaciolimniskie, aluviālie, limniskie, eolie, kā arī holocēna jūras, ezeru un citi nogulumi. Pirmskvartāra virsmā lielākoties atsedzas devona nogulumi: smilšakmeņi, māli, aleirolīti, dolomīti, dolomerīti (dolomītmerģelis), ģipsis, dolomitizēts kaļķakmens un kaļķakmens [Kisneryus *et al.*, 1980].

Pēc fizikālām un mehāniskām īpašībām pirmskvartāra nogulumieži pārsvarā ir vairāk konsolidēti un izturīgāki [Terkot, Shubert, 1985], turpretī vāji konsolidētie nogulumi var „izturēt” lielāku spriedzi uz lielāka materiāla plastiskuma rēķina. Šādos ģeoloģiskās uzbūves un iežu īpašību apstākļos disjunktīvās dislokācijas praktiski nav konstatējamas kvartāra nogulumu virsmā. Tomēr dažkārt vizuāli tās atklājamas vietās, kur kvartāra nogulumu segas biezums ir neliels - visbiežāk atsegumos gar upju gultnēm (1.4.att.).

Lūzums Pļaviņu rajonā (1.4.att.) ir uzskatāms piemērs un pievērš uzmanību ar to, ka iznāk līdz zemes virsai un pārliedzinoši ir trasējams, jo tur manāmi arī sīkāku pārrāvumu fragmenti galvenā lūzuma abās pusēs. Nogulumiežu segas vertikālais lūzums ir parādīts 1.3b.att. Lūzuma spārnu nobīdes attiecībā vienam pret otru praktiski nav konstatējamas. Paaugstinātā dolomītu plaisainība redzama 1.4c. - 1.4f. attēlos, bet 1.4d. attēlā lūzums aizpildīts ar tektonisko un karsta brekčiju.



**1.4. att. Disjunktīvās dislokācijas nogulumiežu segas virsmā  
un atsegumos Latvijā**

*a = Plaviņu ūdenskritums (Liepiņa P.L., Jaunputniņa A.J., Majores M., 1954.g. pārskats); b = foto attēls Nr. 9 (Liepiņa P.L., Jaunputniņa A.J., Majores M., 1954.g. pārskats); c = Bebrulejas ala Daugavas svītas dolomītos (Varfolomejevas O., Savvaitovas L., 1961.g. pārskats.); d = Dakteru struktūras dolomītu lūzums, kas aizpildīts ar tektonisko un karsta brekčiju (Varfolomejevas O., 1963.g. pārskats.); e = Lūzums Plaviņu svītas dolomītos (Varfolomejevas O., 1963.g. pārskats.); f = Daktera zonas sadrupinātie ieži (Varfolomejevas O., 1963.g. pārskats).*

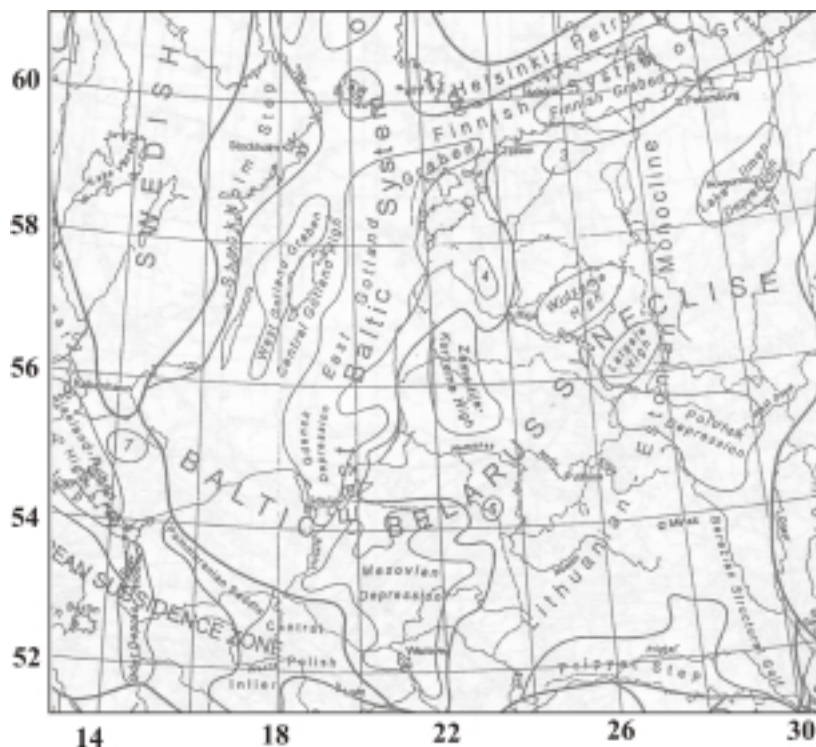
Secinājumi: Pēc iežu stratigrāfiskā iedalījuma, to metamorfisma un deformācijas pakāpes Latvijas kristāliskajā pamatklintājā tiek izdalīti daži struktūrkompleksi un arī nogulumiežu segā ir četri struktūrkompleksi. Galvenā nogulumiežu segas īpatnība ir lielu reģionālu, tektonisko struktūrelementu - Baltijas sineklīzes, Latvijas sedlienes un Baltijas vairoga dienvidu nogāzes savienojums Latvijas teritorijā. Lūzumi ir veidojušies pirmsplatformas un platformas attīstības posmā. Pirmsplatformas posma lūzumi konstatējami tikai kristāliskā pamatklintāja iežos, turpretī platformas posma lūzumi šķeļ pamatklintāju un nogulumiežu segu, bet ne visā tās biežumā.

### 1.1.3. Zemes garozas neotektoniskās un mūsdienu kustības

Zemes garozas neotektoniskās un, vēl jo vairāk, mūsdienu kustības atspoguļo deformāciju procesus, kurus bieži pavada seismiska aktivitāte [Gregersen, Basham, 1989; Krinitzsky, Slemmons, 1990; Slemmons, 1991; Fakundiny *et al.*, 2002; Van Balen *et al.*, 2005]. Neotektoniskās kustības aptver ģeoloģiskas attīstības pēdējo, īpaši dinamisko posmu 35 - 37 miljonu gadu laikā [Garetsky *et al.*, 1999.] Austrumeiropas platformas rietumos. Baltijas reģionā ar atšķirīgu kontrastainību izceļas pirmspleistocēna, pleistocēna un holocēna laikā veidotās formas, kuras var atbilst teritorijas neotektoniskajiem attīstības jeb evolūcijas pamatposmiem un nosacīti šādas formas jeb virsmas (pakāpienus) var uzskatīt par izlīdzināšanas virsmām [Garetsky *et al.*, 1999].

Izmantojot oligocēna (Rupelian) nogulumus kā iespējamās izlīdzināšanas virsmas rādītāju un citus agrā oligocēna ģeoloģiskajā griezumā zināmās raksturīgās korelatīvās slāņu virsmas un slāņus, kā arī neotektoniskās struktūras Baltijas - Baltkrievijas sineklīzes robežas austrumos, ir izdalītas vairākas nozīmīgas struktūras [Garetsky *et al.*, 1999]: Mazovijas un Gdaņskas – Polijas depresija, kā arī Austrumgotlandes, Rietumgotlandes un Somijas grābeni, Centrālās Gotlandes, Žemaitijas – Kurzemes, Vidzemes un Latgales augstienes un Polockas depresija. Konstatēta arī submeridionālā virzienā orientēta Lietuvas-Igaunijas monoklināle Baltijas - Baltkrievijas sineklīzes austrumdaļā (1.5. att.).

Stratigrāfiski agrā oligocēna nogulumiežu vecums Latvijas teritorijā ir aptuveni 33,7 miljoni gadu [Remane *et al.*, 2000; Stinkulis, 2003].



**1.5. att. Eiropas ziemeļu, centrālās un austrumu (Baltijas reģiona) daļas neotektonisko struktūru kartes fragments, pēc Garecka u.c. [Garetsky *et al.*, 1999].**

Skaitļi uz kartes apzīmē: 3 = Pandeveres pacēlums; 4 = Rīgas depresija; 5 = Alandes pacēlums; 6 = Alitas pacēlums; 7 = Arkonas depresija.

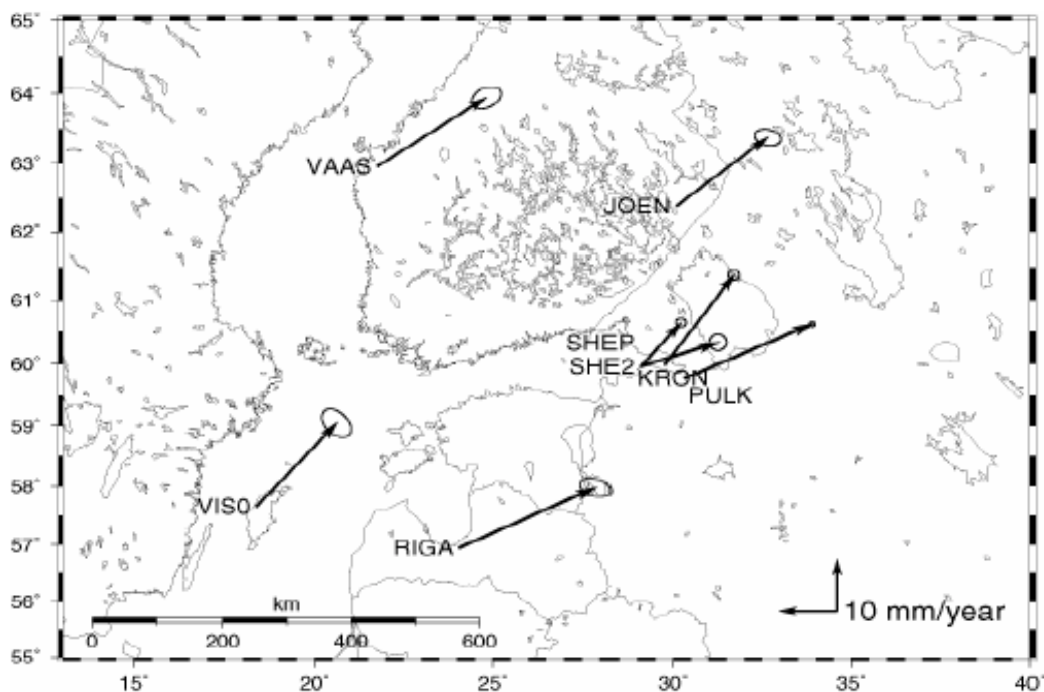
Neotektoniskās struktūras un attiecīgi, neotektoniskās kustības [Indans *et al.*, 1960] ir cieši saistītas ar seismogēnām zonām un ir seismiskuma priekšnoteikumi. Neotektonisko kustību intensitāte sasniedza dažus simtus metru Baltijas jūras centrālajā daļā [Garetsky *et al.*, 1999].

Zemes garozas mūsdienu vertikālās kustības (ZGMVK) Latvijā pētītas, balstoties uz atkārtotas nivelēšanas precizitātes klasēm (precīza, īpaši precīza un citām) [Aberberg, 1960; Zhelnin, 1975]. Līdz šim pētniekiem pieejamās [Randyarv, 1968, 1975; Serebryanyj, Setun'skaya, 1975; Zhelnin, 1975] Zemes garozas mūsdienu vertikālās kustības karšu visai atšķirīgās versijas tomēr norāda, ka pacēlumu apgabali atrodas uz ziemeļaustrumiem un austrumiem no Rīgas, kā arī Daugavpils apkaimē [Zhelnin, 1975; Serebryanyj, Setun'skaya, 1975]. Austrumeiropas Zemes garozas mūsdienu vertikālo kustību kartē minētajiem Zemes garozas nogabaliem atbilst pacelšanās vidējais ātrums no 2 mm līdz 4.5 mm gadā [Lesis, Gudelis, 1961; Randyarv, 1968; Serebryanyj, Setun'skaya, 1975; Suveizdis *et al.*, 1994].



Atkārtotās nivelēšanas rezultāti, kas iegūti no 1935.gada līdz 1965.gadam (pārskats – Kovaļevskis M., Bērziņa L. u.c., 1966), lai noskaidrotu Zemes garozas mūsdienu un jaunāko kustību likumsakarības Latvijā, uzrāda anomālu pacēluma apgabalu tikai uz ziemeļaustrumiem no Rīgas. Zemes garozas mūsdienu vertikālās kustības Ieriķu rajonā sasniedz 3.5 mm gadā. Tas ir mūsdienu vertikālo kustību maksimālais ātrums Latvijā. Precizitāte 1.klases nivelēšanas pētījumiem ( $\pm 0.45 - \pm 0.53$  mm) bija augstāka nekā 2.klasei ( $\pm 1.0 - \pm 1.86$  mm) [Ozol, 1960], kas ir jāņem vērā, interpretējot šos datus.

Citi atkārtotās nivelēšanas dati, kas iegūti no 1963. līdz 1970. gadam, norāda uz Zemes garozas pieaugušo dinamiku Pļaviņu ūdenskrātuves rajonā (Āboltiņš O., 1971.) Pļaviņu poligonā kā raksturīga Zemes garozas dinamikas īpatnības tika atzīmētas īsa perioda svārstību kustības ar periodu aptuveni 5 gadi, pārsvarā uz kopīgā iegrimis fona. Lielākie kustību ātrumi fiksēti Pļaviņu HES rajonā ne tikai paleozoja un neotektonisko struktūru robežās, bet arī iecirkņos, kur šīs struktūras nav atklātas (saskaņā ar 1971.gada Āboltiņa O. pārskatu).



**1.6. att. Horizontālu pārvietojumu ātrumu vektori.  
ITRF 2000 sistēma. Baltijas reģions 1999.g.–2002.g.**

*Apzīmējumi: JOEN, RIGA, VAAS, VIS0, SHEP, SHE2, KRON, PULK – GPS reperu punkti. Bultiņa ir reperu pārvietošanās ātruma vektors, tās garums atkarīgs no pārvietoējuma ātruma. Elipses atbilst pārvietoējuma vektora 95% varbūtībai.*

Līdz ar globālās pozicionēšanas sistēmas (GPS) attīstību kļuva iespējams šos datus izmantot ģeodinamiskiem pētījumiem, piemēram, balstoties uz GPS reperu kustības ātruma novērtējumiem. Šo novērtējumu rezultātus var saņemt ar EUREF. Galvenā EUREF (<http://www.epncb.oma.be/dataproducts/timeseries/index.php>) tīkla datu interpretācijas rezultāti rāda, ka Austrumeiropā (Latvija, Lietuva, Krievija, Polija, Ukraina) horizontālā pārvietoējuma vektora azimuts ir  $56^{\circ} - 61^{\circ}$  (1.6.att.), bet tā horizontālais ikgadējs lielums sasniedz aptuveni  $24 \pm 0.4$  mm gadā [Galaganov *et al.*, 2004]. Konstatētais zemes virsmas vertikālais pārvietoējums Latvijas teritorijā pie mērījumu reperiem lielākoties ir negatīvs, t.i., tiek konstatēta to atzīmju samazināšanās, kas interpretējamas kā virsmas iegrimšana. Ir zināmi tikai divi izņēmumi - reperi LAME (Polijā) un RIGA, kur zemes virsmas vertikālais pārvietoējums līdz šim nav novērots.

**Secinājumi:** Pētītajā teritorijā neotektoniskās kustības ir saistītas ar ledāja segas spiediena izzušanu, izraisot glacioizostatiskas kustības, kuru amplitūda krītas laika gaitā. Ir zināmas neotektoniskas struktūras Baltijas jūras akvatorijā un apkārtējā sauszemes daļā. Neotektonisko kustību maksimālā amplitūda attiecas uz Baltijas jūras centrālo daļu. Zemes garozas mūsdienu vertikālās kustības Latvijā konstatētas ar maksimālu amplitūdu  $3,5 - 4,5 \pm 0.53$  mm gadā, arī Pļaviņu ūdenskrātuves rajonā fiksēta palielināta Zemes garozas dinamika. GPS reperu pārvietošanās ātrumi ir instrumentāli novērtēti kā aptuveni  $24 \pm 0.4$  mm gadā un to augstākā intensitāte vērsta dominējoši ziemeļaustrumu virzienā.

#### 1.1.4. Ģeofizikālo apstākļu apskats

Ģeofizikālais raksturojums ir viens no svarīgākajiem elementiem seismoģenerējošo, risinot struktūru identifikācijas jautājumus un nosakot seismiskos priekšnoteikumus [Ryaboj, Shchukin, 1975; Buné *et al.*, 1980a; Ivanovskaya *et al.*, 1988]. Tādēļ šajā sadaļā aplūkoti ģeofizikālie apstākļi Austrumeiropas platformā - AEP rietumu daļai, un tie šajā pētījumā iekļauj gravitācijas un magnētiskos dabiskos laukus, ģeotermisko lauku un seismisko viļņu ātrumus Zemes garozā.

Ģeofizikālie dati mūsdienās plaši tiek izmantoti zemes garozas dziļi iegulošo slāņu ģeoloģiskās uzbūves interpretācijai, kā arī sniedz informāciju par to dinamiskām īpašībām un saistību ar seismiskumu. Vairāki pētņieki atzīmē [Yudahin *et al.*, 2003] tādas seismiskuma ģeofizikālās pazīmes kā magnētiskā lauka anomālijas, smaguma spēka dziļās anomālijas, ģeopotenciāla atvasinājums, pievilkšanās spēka vertikālā gradienta anomālijas, siltuma plūsmas anomālijas, ģeotermiskais gradients, seismisko garenvilņu robežātrums uz Moho un citām virsmām. Maksimālie korelācijas koeficienti ar klasificējošo pazīmi (seismiskumu) ir atzīmēti [Ivanovskaya *et al.*, 1988] ģeotermiskam gradientam (0.86), kā arī siltuma plūsmas (-0.8), smaguma spēka vertikālā gradienta (0.77) un smaguma spēka (-0.48) anomālijām, saposmotai Zemes garozai (-0.73), mantijas bloku biezuma diferenciācijas anomālijām (0.51).

Baltijas reģiona ģeofizikālo lauku pētījumi tika uzsākti jau 1927.gadā ar mērķi pētīt dziļu uzbūves [Suvejzdis *et al.*, 1979]. No XX gadsimta 60-tajiem gadiem visā Baltijas reģiona teritorijā trests “Specģeofizika” veica gravimetriskās un aeromagnētiskās kartēšanas darbus mērogā 1:200000, kas ļāva realizēt dziļu un vispusīgu ģeofizikālo lauku analīzi [Fajtel’son, 1965; Fursov, 1962; Lapina Fajtel’son, 1970]. Fizikālo lauku saikne ar ģeoloģiskajiem apstākļiem norādīja, ka to raksturs un Baltijas reģiona potenciālo lauku intensitāte pamatvilcienos ir atkarīga no kristāliskā pamatklintāja bloku petrografiskajām neviendabīguma un, mazāk nozīmīgi, no struktūru īpatnībām. Kristāliskajā pamatklintājā izdalīta virkne lielu blāķu un bloku, kas atšķiras pēc morfoloģijas un ģeofizikālo lauku intensitātes, kā arī atklātas dziļas tektoniskās šuves, pa kurām dažādā laikā notika bloku kustības. Sniegts [Lapina, Fajtel’son, 1970] arī kristāliskā pamatklintāja daudzstāvu struktūru raksturojums. Turpmākajos pētījumos Baltijas reģiona anomālie potenciālie lauki tika analizēti, lai noteiktu to saistību ar reģiona ģeoloģiskās uzbūves īpatnībām. Šajā jomā jāpiemin Rafarova R., 1963.g., Golovina I., 1966.g., Apirubītes R., Ražinskas A. u.c., 1966.g., Ozoliņas N., 1966 – 1968.g., Lapinas J. un Faitelsoņa A., 1970.g., Brio H. un Stecjuna P., 1973.g., Apirubītes R. un Ozoliņas N., 1980.g., Kovrigina V., 1980.g. un 1986.g. un citi pētījumi. Tie apstiprināja iepriekšējos secinājumus par Zemes garozas blokveida slāņaino struktūru un petrogrāfisko neviendabīgumu tās virsējai daļai un anomālo lauku intensitāti. Liela mēroga gravimetriskās kartēšanas analīze parādīja, ka virkne pozitīvu struktūru paleozoja apakšējā daļā atspoguļojas anomālā gravitācijas laukā. Šo anomāliju orientācija atbilst galveno struktūru virzienam un potenciālu

lauku paaugstināto gradientu lineārajām zonām. Anomālā magnētiskā lauka analīze ļāva [Brio, Stetsyun, 1973] noteikt kristāliskā pamatklintāja uzbūvi trīs stāvos ar robežām 6, 12 un 22 km dziļumā.

Ģeoloģiskās un ģeofizikālās vides modelēšana līdz šim veikta tikai ierobežotām teritorijām. Par vispilnīgāko pētījumu uzskatāma Salaspils reaktora teritorijas modelēšana, lai novērtētu seismiskās bīstamības pakāpi. Tika konstatēts, ka platformas nogulumiežu sega vāji izpaužas gravimetriskā laukā, pozitīvo lokālo gravitācijas anomāliju avoti ir senie augsta blīvuma bloki, kurus veido femiska sastāva metamorfie ieži kristāliskā pamatklintājā [Lyubalin, 1996]. Tika atklāts arī platformas nesablīvējums, kuru izskaidroja ar tektonisku „uzirdināšanu” [Lyubalin, 1996], atzīmēts, ka ar nesablīvētiem megakodoliem, piemēram, kā Roņu salas - Limbažu seismoaktīvais iecirknis, ir saistītas seismiski viļņveidīgas un paaugstinātās elektrovadītspējas anomālijas.

Secinājumi: Iepriekšējos gados ir veikti ļoti plaši potenciālo ģeofizikālo lauku pētījumi. Atklāta to saistība ar iežu petrogrāfisko neviendabīgumu, pamatklintāja struktūru īpatnībām un Zemes garozas blāķveida struktūrām. Kristāliskajā pamatklintājā ir atklāts nesablīvēts Roņu salas – Limbažu megakodols. Minētais izceļ ģeopotenciālā lauka kā ģeoloģisku un tektonisku apstākļu indikatora nozīmi.

## **1.2. Pārskats par seismoloģiskiem pētījumiem**

Mūsdienīgu seismotektonisko un seismiskās bīstamības pētījumu un novērtējumu svarīgākais nosacījums ir apskatāmā jautājuma apzināšanas vēsture, ievērojot informācijas pirmavotus un katalogus par vēsturiskām zemestrīcēm, kā arī agrāk veikto seismisko rajonēšanu.

### **1.2.1. Vēsturiskās zemestrīces**

Līdz pagājušā gadsimta 60-to gadu vidum galvenais informācijas avots par Baltijas teritorijas seismiskumu, bija vēsturisko zemestrīču dati. Senākie pētījumi, kas saistīti ar seismiskumu Baltijas valstīs, tika uzsākti XIX gadsimtā. Ziņas par zemestrīcēm Baltijā atzīmē vācu profesors Bruno Doss un krievu pētnieki I.Mušketovs un A. Orlovs [Mushketov, Orlov, 1893]. Rīgas politehnikuma profesors B.Doss vāca informāciju par seismiskām parādībām Baltijas valstīs, savus pētījumus

viņš dibināja uz senu baznīcas manuskriptu analīzi, seismisku parādību aculiecinieku aptaujām un preses ziņām. Pētījumu rezultātus par vēsturiskajām zemestrīcēm B.Doss publicēja žurnālos [Doss, 1898, 1905, 1909], bet pietiekami sīki aprakstīja tās zemestrīces, kuru laikabiedrs viņš izrādījās pats [Doss, 1910, 1911, 1912].

Pirmo vēsturisku zemestrīču katalogu B.Doss sastādīja Austrumbaltijas provincē [Doss, 1909], t.i. Baltijas valstu mūsdienu teritorijai. Satricinājumu intensitātes novērtējumam autors izmantoja 9 ballu *Rossi - Forel* intensitātes skalu [Doss, 1909; Richter, 1958], kā arī 5 ballu akustisko skalu [Doss, 1909].

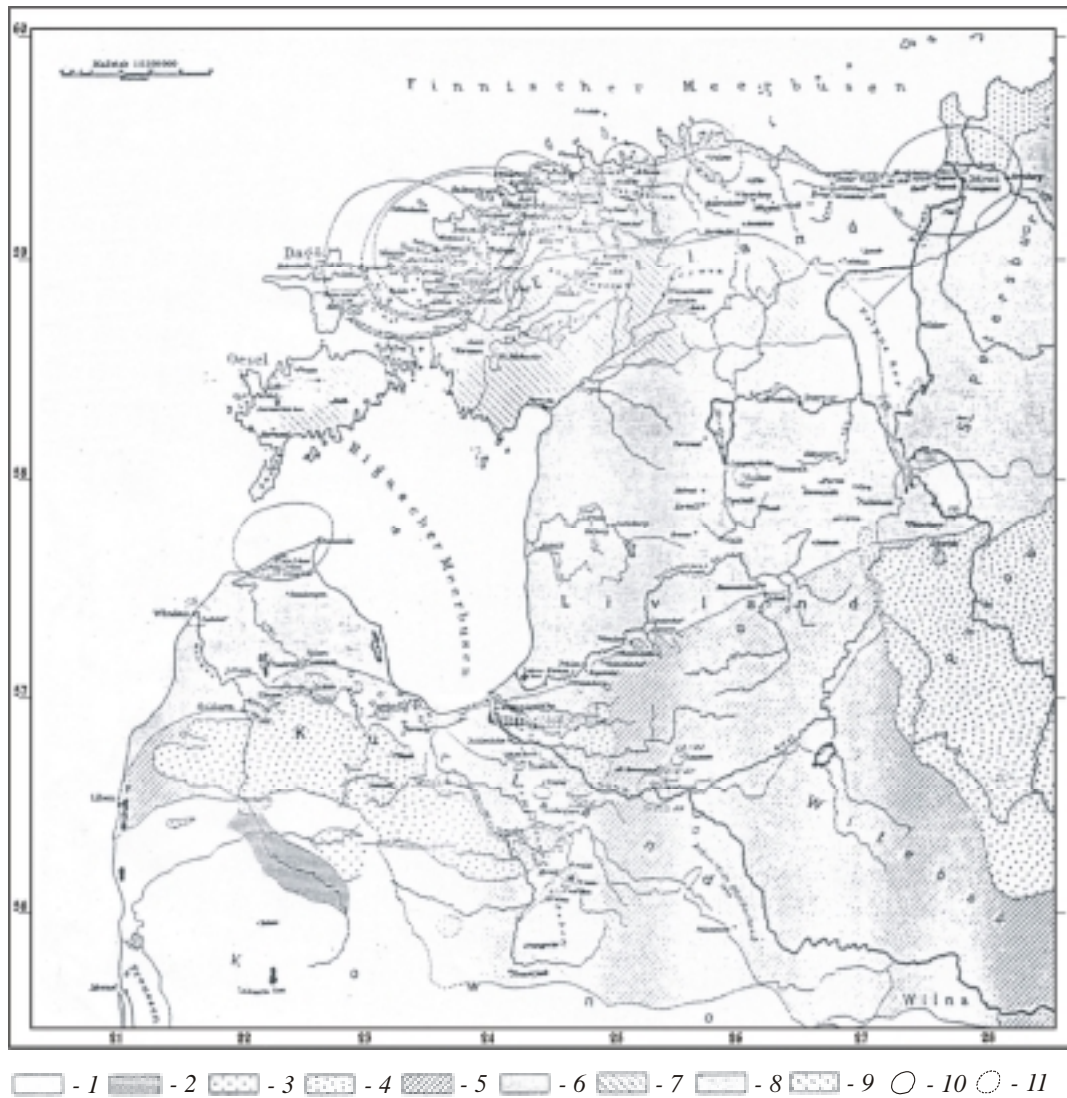
**Tabula 1.2. Vēsturiskās zemestrīces un seismoakustiskie fenomeni Latvijas teritorijā, pēc B. Doss (1909)**

Zemestrīces vieta	Datums	Intensitāte, pēc <i>Rossi-Forel</i> skalas	Makroseismiskais raksturojums
1	2	3	4
Semgallen (Zemgale)	1616.30.06.	VII	Dārdoņa līdzīga pērkonam. Satricinājums jūtams Kurzemes austrumos un Kowno apgabalā. Māju drebēšana. Laukā ļaudis un dzīvnieki sajuta zemes virsmas satricinājumus.
Schlock (Sloka)	1783.??03.	?	Dažas dienas pazemes pērkons. Schlock apkārtnē. Izveidojās iebrukums 45 m dziļš un apmēram 5600 m <sup>2</sup> platībā.
Windau (Ventspils)	1785.30.- 31.10.	V	Windau (Ventspils) pilsētā un tās apkārtnē. Pārvietojās galdi, gultas un krēsli. Priekšmetu krišana.
Rīga	1807.23.02.	IV	Satricinājums aptvēra daļu no pilsētas. Grūdienus izjuta ļaudis, kas bija nomodā.
Kokenhusen (Koknese)	1821.20.- 23.02.	до VIII	Stiprs klikšķis un duna. Līdz 10 km Kokenhusen apkārtnē. Gulošie izbīlī, bet nomodā esošie ar grūtībām noturējās uz kājām, lai nenokristu. Ēku svārstības. Sienu apmetumā izveidojās plaisas.
Oberkurland	1844.12.- 13.01.	-	Precīza vieta nav zināma. Notikums nav pietiekami apstiprināts.

Sausсен (Sausnēja)	1853.05.02	VI	Sausсен apkārtnē. Labu māju svārstības un dārdoņa.
1	2	3	4
Rīga	1853.29.12. – 1854.05.01.	VI	Sprādzieni, līdzīgi lielgabalu šāvieniem un pēc tam dārdoņa. Ierobežota pilsētas daļa Petersburger Vorstadt (Rīgas Pēterburgas priekšpilsēta). Gulošie pamostas. Priekšmetu sadursme. Mēbeļu pārvietošanās. Grīdā veidojas plaisas. Fiksēta klēts dēļu sienas pārbīde.
Irben (Irbe)	1857.18.05.	VIII	Klikšķis, līdzīgs dārdoņai. Vieta Kurzemes ziemeļos. Satricinājuma laukuma garums apmēram 40 km, bet platums ap 10 km. Šūpojas spoguļi un citi priekšmeti. Sabrūk atsevišķi vecāki jumti.
Rīga	1870.06.02.	V	Rīgas Pēterburgas priekšpilsēta. Izkrīt stikli no logiem.
Mitau (Jelgava)	1896.20.09.	V	Pazemes sprādzieni. Tuvējā Mitau apkaime. Glāžu un citu trauku sadursme un šķindoņa.

Pirmā zināmā (dokumentētā) zemestrīce Baltijā (tab.1.2.) notika 1616.gada 30.jūnijā. Tā pieminēta sludinātāja *Georgius Mancelius (Georg Manzel)* baznīcas grāmatā [Doss, 1909]. *Bodeckerschen Chronik* tāpat ir ieraksts arī par to, ka Kurlandē bija sajūtama spēcīga zemestrīce, satricinājumu sajuta daudzās Zemgales hercogistes vietās, bet nosaukta tikai viena – Wollhof (Valle).

Seismisko iedarbību no zemestrīces Bauskas rajonā B.Doss [Doss, 1909] aprakstīja šādi: “Kurlandē, aiz Bauskas atgadījās plaša zemestrīce. To sajuta Zemgales hercogistes dažādās vietās. Zemestrīce bija tāda spēcīga, ka kratījās mājas. Grūdienu sajuta ļaudis un ļoti ganībās. Zemes iekšpusē bija dzirdams smags troksnis, kas salīdzināms ar pērkonu. Grūdienu sajuta Vallē un kaimiņteritorijās Kauņā un Biržai”.



**1.7. att. Austrumbaltijas provinces seismoģeoloģiskā karte, pēc B.Dosa [Doss, 1909].**

*Nogulumu vecuma apzīmējumi:*

*1–kvartārs; 2–jūra; 3–perms; 4–augšdevona smilšakmens, māls un dolomīts; 5–vidusdevona dolomīts; 6–vidusdevona smilšakmens; 7–augšsilūra kaļķakmens un dolomīts; 8–apakšsilūra kaļķakmens; 9–kembrija smilšakmens un māls; 10–seismisko satricinājumu vienādas intensitātes drošā līnija; 11–seismisko satricinājumu vienādas intensitātes paredzamā līnija.*

Īpašu uzmanību B.Doss veltīja datiem par iežu ģeoloģisko vecumu un litoloģiju, tas ļāva tam ģeoloģiskos apstākļus seismiskās iedarbības skatījumā novērtēt kā nelabvēlīgus. Pētījumu rezultātā B.Doss sastādīja pirmo Austrumbaltijas provinces

seismoģeoloģisko karti (1.7. att.) un tajā ir atzīmēti vēsturisku zemestrīču epicentri un šo zemestrīču izoseistu prototipi [Doss, 1909]. Kartē ir atzīmēti ģeoloģiskie apstākļi (nogulumi), un B.Doss uzmanību pievērta arī meteoroloģiskiem apstākļiem. Īpaši, svarīgi izrādījās dati par meteoroloģiskiem apstākļiem pēc tam, kad 1908.gada decembra beigās notika jūtami pazemes grūdieni Rīgā un citviet (Daugavpils, Madona) Latvijā [Doss, 1910]. Šie grūdieni bija sajūtami neilgi pēc katastrofālās zemestrīces ar magnitūdu  $M_s = 7.3$  *Calabro Messinese* (Itālija) [Martinelli, 1909; Omori, 1909].

Tolaik, dažas avīzes, piemēram, avīze „*Daugava*”, ziņojot par 1908.gada 28.decembra zemestrīci starp 8 un 11<sup>3</sup>/<sub>4</sub> Rīgas Kaiserwald (Mežaparks) priekšpilsētā, uzskatīja, ka bija jūtama nevis lokāla zemestrīce, bet ļaudis varēja sajust zemes svārstību, kas radās plaisājot sasalušai zemei, t.i. svārstības bija saistītas ar spēcīgu salu. Līdzīgu viedokli vēlāk izteica arī profesors A.Ņikonovs [Ņikonov, 1995]. Atspēkojot avīzes „*Daugava*” apgalvojumus, B.Doss sniedz datus par temperatūru un gaisa spiedienu, kā arī par augsnes temperatūru šo apakšzemes grūdienu laikā [Doss, 1911].

Satricinājuma zonu shēmas (1.6.att.) B.Dosam izdevās sagatavot pamatojoties uz mūsdienās plaši izmantojamo izoseistu metodi, faktiski izstrādājot tās prototipu. Kopumā profesora Bruno Dosa pētījumu rezultāti bija tas pamats, kas ļāva nākamajiem pētniekiem precizēt zemestrīču intensitāti, noteikt epicentru koordinātas, kā arī papildināt Baltijas vēsturisko zemestrīču katalogu ar citiem seismiskiem parametriem (magnitūda un hipocentra dziļums). Tādējādi tika sagatavots pamats zemestrīču parametriskā kataloga sastādīšanai un Baltijas reģiona seismiskiem pētījumiem, tai skaitā arī Latvijai.

Baltijas zemestrīču pētījumi atsākās pagājušā gadsimta 80-to gadu vidū, kad baltkrievu ģeofiziķis Aleksandrs Boborikins, kopīgi ar Baltkrievijas ZA Ģeofizikas un Ģeoķīmijas institūta un Baltijas valstu speciālistiem analizēja 39 literatūras avotus par zemestrīcēm un to novērojumiem Baltkrievijā un Baltijas valstīs [Avotinya *et al.*, 1988]. Šo pētījumu rezultātā tika pilnveidots Baltkrievijas un Baltijas valstu vēsturisko zemestrīču katalogs, noteiktas vēsturisko zemestrīču koordinātas, novērtēta seismisko satricinājumu intensitāte pēc MSK-64 skalas, kā arī novērtēti zemestrīču magnitūdas un zemestrīču hipocentru dziļumi [Avotinya *et al.*, 1988; Garetsky *et al.*, 1989; Boborykin *et al.*, 1995]. Turpmāk tika publicēts Baltkrievijas un Baltijas valstu vēsturisko zemestrīču katalogs [Avotinya *et al.*, 1988] ar makroseismiskās iedarbības



īsu aprakstu 40 zemestrīču epicentrālās zonās, grunts satricinājumu intensivitātes lieluma novērtējumu ballēs, pēc 12 ballu starptautiskās MSK-64 skalas. Tai pašā laikā veica Igaunijas vēsturisko zemestrīču pētījumus, un sagatavoja zemestrīču parametrisko katalogu [Nikonov, Sildvee, 1988].

Instrumentālo seismisku novērojumu periods Baltijas reģionā iesākās tikai XX gadsimta 60-to vidū līdz ar īsa perioda seismiskos staciju izveidi reģionālam monitoringa [Mantyniemi *et al.*, 2004] vajadzībām. Pirmās īsa perioda seismiskās stacijas Baltijas valstīs izveidoja pēc 1976.gada Osmussāres zemestrīces [Ņikuļins, 2007c], tomēr staciju tīkla blīvums joprojām palicis nenozīmīgs [Wiejacz *et al.*, 2007; Ņikuļins, 2007d], stacijas aprīkotas ar dažāda tipa aparatūru [Nikulīn, 2006] un tādēļ tās spēja fiksēt tikai tādas kā daudzkārt aprakstītās 2004. gada pietiekami spēcīgas zemestrīces. Minēto iemeslu dēļ lielākā daļa vāju Baltijas reģiona zemestrīču nav reģistrētas Baltijas stacijās. Tās reģistrēja Skandināvijā, pateicoties tur pieejamām jaunām instrumentālām tehnoloģijām - seismiskiem masīviem (angl. *seismic array*) [Green *et al.*, 1965; Schweitzer *et al.*, 2002]. Tomēr, seismisko masīvu iespējas arī ir ierobežotas.

Kopumā, vēsturiskas zemestrīces joprojām sniedz būtisku ieguldījumu Baltijas reģiona seismiskajā statistikā un pienes savu “artavu” Baltijas valstu seismiskās bīstamības pētījumos.

Minētais norāda, ka Latvijā vairākkārt ir notikušas zemestrīces, tās ir zināmas arī no senākiem laikiem, kad vēl nebija ieviesta to instrumentāla reģistrācija. Šo vēsturisko zemestrīču maksimālā intensitāte ir novērtēta kā 7 balles pēc MSK-64 skalas. Spēcīgas zemestrīces izraisīja jumtu sagraušanu, plaisas akmeņu būvēs un gruntī. XX gadsimtā Baltijas zemestrīces ir pētītas un ir sastādīti to parametriskie katalogi, kuros sniegts zemestrīču magnitūdu un hipocentru dziļumu novērtējums [Avotinya *et al.*, 1988; Boborykin *et al.*, 1993; Boborykin *et al.*, 1995; Nikonov, Sildvee, 1986; Nikonov, Sildvee, 1988; Ņikuļins, 1996].

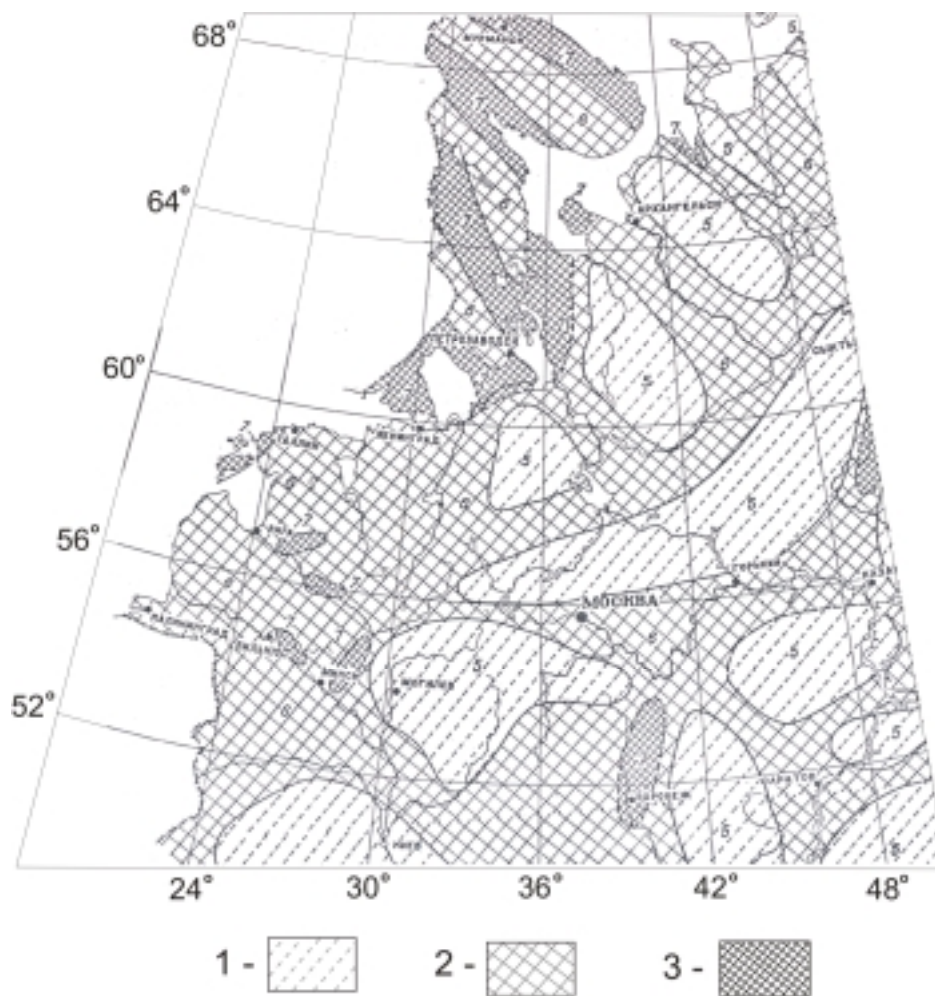
### 1.2.2. Seismiskas rajonēšanas pētījumu apskats

Pēc 1948.gada postošās Ašhabadas zemestrīces pieauga seismisko pētījumu nozīme seismoaktīvās zonās [Gorshkov, 1987], tomēr, platformu teritorijas kā iepriekš uzskatīja par mazseismiskām un tām neveltīja pienācīgu uzmanību vēl daudzus gadus.

Situācija mainījās tikai pēc Osmussāres zemestrīces 1976.gadā. Tā bija pavērsiena sākums Austrumeiropas platformas rietumu daļas seismiskās bīstamības pētījumiem. Seismoloģiskie pētījumi bija nepieciešami [Nikulīn *et al.*, 2004] arī saistībā ar enerģētikas attīstību un īpaši atomelektrostaciju būvniecību, jo 1978.gadā iesākas Ignalinas atomelektrostacijas (AES) būvniecība Lietuvas austrumos. Bet priekšdarbi, kas saistīti ar Ignalinas AES būvniecību iesākās jau 1974.gadā, kad, saskaņā ar projektu, bija iecerēts uzbūvēt 4 energoblokus, katru ar jauda 1500 MW. Jau tajā laikā Starptautiskās Atomenerģētikas aģentūras prasības paredzēja seismotektoniskā režīma pētījumus 200 km rādiusā no AES. Stingrākas normatīvo aktu prasības attiecībā uz seismisko drošību nenozīmē pilnīgu aizliegumu enerģētisku objektu būvniecībā, bet gan normatīvu izmaiņas, kas galu galā rezultātā atspoguļojas objekta vērtībā. Tā, piemēram, radioaktīvu materiālu glabātavas būve Japānā iznāk 8 reizēs dārgāk, nekā Francijā, un 13 reizēs dārgāk, nekā Lielbritānijā [Saegusa, 1999].

Jau 1978.gadā tika sagatavota PSRS seismiskās rajonēšanas karte mērogā 1:2 500 000 (SR-78) [Buné, 1980c]. Minētā karte tika sastādīta balstoties uz reģionālajām kartēm, kas aptver visas seismiski bīstamās zonas, kurās satricinājuma intensitāte var sasniegt 6 balles un vairāk, bet pārējā - intensitāte tiek novērtēta ar 5 ballēm un mazāk. Atbilstoši šai kartei, Baltijas teritoriju uzskatīja par aseismisku, kurā satricinājuma intensitāte nav lielāka par 5 ballēm pēc MSK-64 skalas.

Nākošajā pētniecības posmā kā būtisks Austrumeiropas platformas seismiskās bīstamības novērtējuma rezultāts jāmin I. Anaņina I., V. Vladimirova un D.Štanges veiktais Eiropas PSRS daļas seismiskā rajonēšanas pētījums 1987.gadā M. Sadovska vadībā (pārskats – Vladimirov V.G., 1988). Izstrādātā karte tika papildināta ar vairākiem pielikumiem un shēmām. Tā piemēram, shēma mērogā 1:5 000 000 tika veidota kā sākotnējais materiāls detalizētai seismiskai rajonēšanai, tā atspoguļoja arī darbojošo, būvējamo un projektējamo AES izvietojuma laukumu seismiskai mikrorajonēšanai. Shēmā (1.8.att.) ir atspoguļotas iespējamās zemestrīces maksimālās intensitātes, kuras nosacīti ir pieņemtas apzīmēt kā MRZ - maksimāli aprēķinātas zemestrīces ar atkārtotāmību 1 reizi 10000 gados.



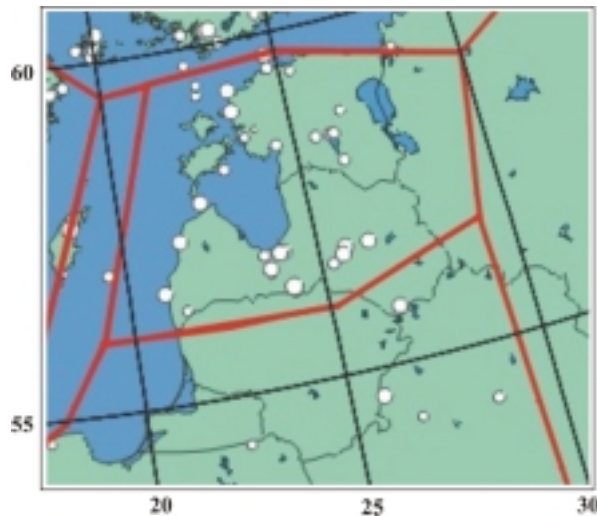
**1.8.att. PSRS Eiropas daļas seismiskas rajonēšanas shēma mērogā 1:5 000 000, pēc Vladimirova V.G. materiāliem (pārskatu) (Vladimirov, 1988).**

*Apzīmējumi: 1 = 5 ballu zona; 2 = 6 ballu zona; 3 = 7 ballu zona.*

Šo pētījumu rezultātā, Baltijas reģionā, ir kartētas dažas 7 balles stipra satricinājuma zonas, arī Latvijas teritorijā izdalīta divas 7 balles satricinājuma zonas (1.8.att.). Vienas no šādu satricinājumu zonas ass virziens ir Aizkraukle - Madona, bet otras zonas ass virziens ir aptuveni Daugavpils - Krāslava.

Blakus minētajām divām 7 balles stiprām satricinājuma zonām, arī Latvijai piegulošajās teritorijās tika ieskicētas vēl trīs šāda satricinājuma zonas: uz rietumiem un dienvidrietumiem no Tallinas, uz austrumiem un dienvidaustrumiem no Viļņas, kā arī uz austrumiem un ziemeļaustrumiem no Minskas. Baltijas reģiona teritorijas pārējā daļa tika iekļauta 6 ballu satricinājumu zonā.

Starptautiskās programmas *Global Seismic Hazard Assessment Program* (GSHAP), ietvaros no 1992.gada līdz 1999.gadam (<http://www.seismo.ethz.ch/GSHAP/>) veikta seismiskā rajonēšana praktiski visas planētas teritorijai. Šo programmu atbalstīja arī Apvienoto Nāciju Organizācija dabas izraisīto risku samazināšanas *Starptautiskās desmitgades* ietvaros (United Nation / International Decade for Natural Disaster Reduction. Resolution 49/22 13 December 1994) (<http://daccessdds.un.org/doc/UNDOC/GEN/N94/601/17/PDF/N9460117.pdf?OpenElement>).

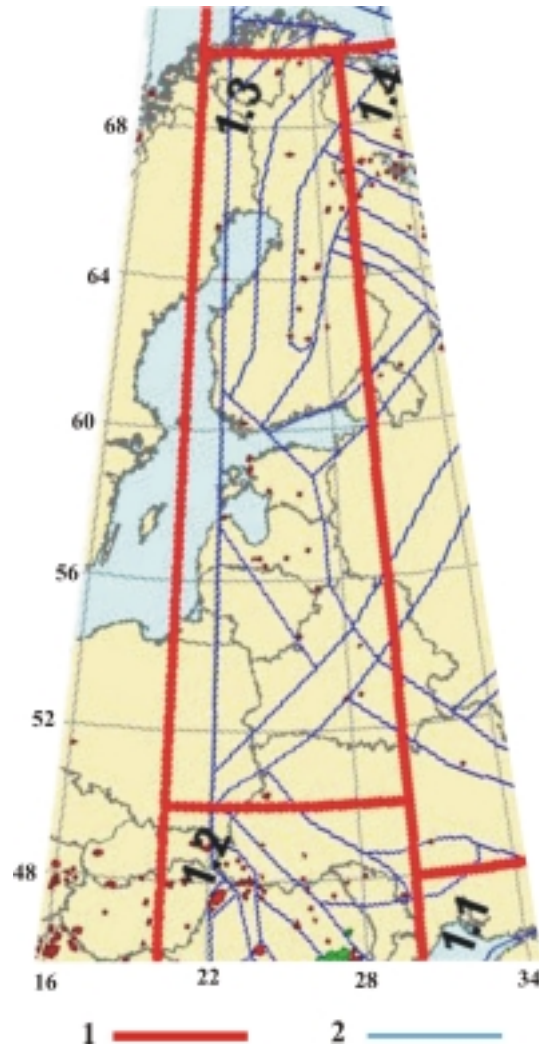


**1.9. att. Eiropas reģiona N 3 seismiskās kartes fragments (pēc GSHAP materiāliem)**

(<http://www.seismo.ethz.ch/gshap/ceurope/fig3.jpg>)

*Apzīmējumi: baltie aplīši atbilst zemestrīču epicentriem, aplīšu izmērs ir proporcionāls zemestrīces (momenta)  $M_w$  magnitūdai.*

Baltijas valstu teritorijas (1.9.att.) tika iekļautas seismiskās rajonēšanas kopējos rezultātos, ko sniedza divas darba grupas: seismiskās rajonēšanas darba grupa Eiropas (N3 reģions) [Gruntahl, 1996] un Krievijas darba grupa Ziemeļeiurāzijas seismiskā rajonēšana (7 centrs GSHAP) [Ulomov, 1997]. Eiropas pētnieciskā grupa, N3 reģiona ietvaros, kas ierobežota uz dienvidiem līdz  $46^\circ$  N, bet uz austrumiem līdz  $32^\circ$  E, noteica seismotektoniski viendabīga laukumu konfigurāciju. Seismotektoniskās rajonēšanas rezultātā izdalīti 196 seismiski reģioni, to kontekstā Baltijas valstu seismiskie reģioni attēloti 1.9.att.



**1.10.att. Seismotektoniskās reģionalizācijas kartes fragments, pēc GSHAP materiāliem**

<http://www.seismo.ethz.ch/gshap/neurasia/quak2.jpg>

*Apzīmējumi: 1 = reģionu robežas; 2 = seismotektonisko domēnu robežas*

Šajā pētījumā seismiskie reģioni tika identificēti, balstoties uz seismotektoniskajiem kritērijiem. Latvijas teritorijas lielākā daļa, kopīgi ar Igaunijas teritoriju, veido vienu Baltijas seismisko reģionu. Daugavpils rajona daļa tika iekļauta citā seismiskajā reģionā, kurā ir arī Baltkrievijas teritorijas liela daļa, Lietuva, Kaļiņingradas apgabals (Krievija) un neliela Polijas ziemeļaustrumu daļa.

Citi seismotektoniskās rajonēšanas pētījumi Baltijas valstis (1.10.att.) ietver ziemeļu Eirāzijas reģionā [Ulomov, 1999] un atbilstoši šai seismotektoniskās rajonēšanas versijai, Baltijas valstu teritorija ir iekļauta 1.3. reģionā, kur izdalīti īpaši nogabali - tā saucamie domēni ar viendabīgiem seismotektoniskiem apstākļiem.

Atbilstoši šim pētījumam Latvijas teritorijā izdalīja vairākus domēnus. Centrālais domēns aptver Latvijas teritorijas lielāko daļu, tāpat daļēji ziemeļu un ziemeļrietumu Igaunijas teritoriju, kā arī ziemeļaustrumu Lietuvu un ziemeļrietumu Baltkrieviju. Latvijas austrumdaļa iekļauta domēnā ar dienvidrietumu - ziemeļaustrumu vērsumu, kurš ietver arī Krievijas ziemeļrietumu daļu. Latvijas rietumu teritorija daļēji iekļauta trijstūra formas domēnā.



**1.11.att. Eiropas seismiskās bīstamības kartes fragments ar horizontālo paātrinājumu lielumiem [<http://www.seismo.ethz.ch/gshap/ceurope/>]**

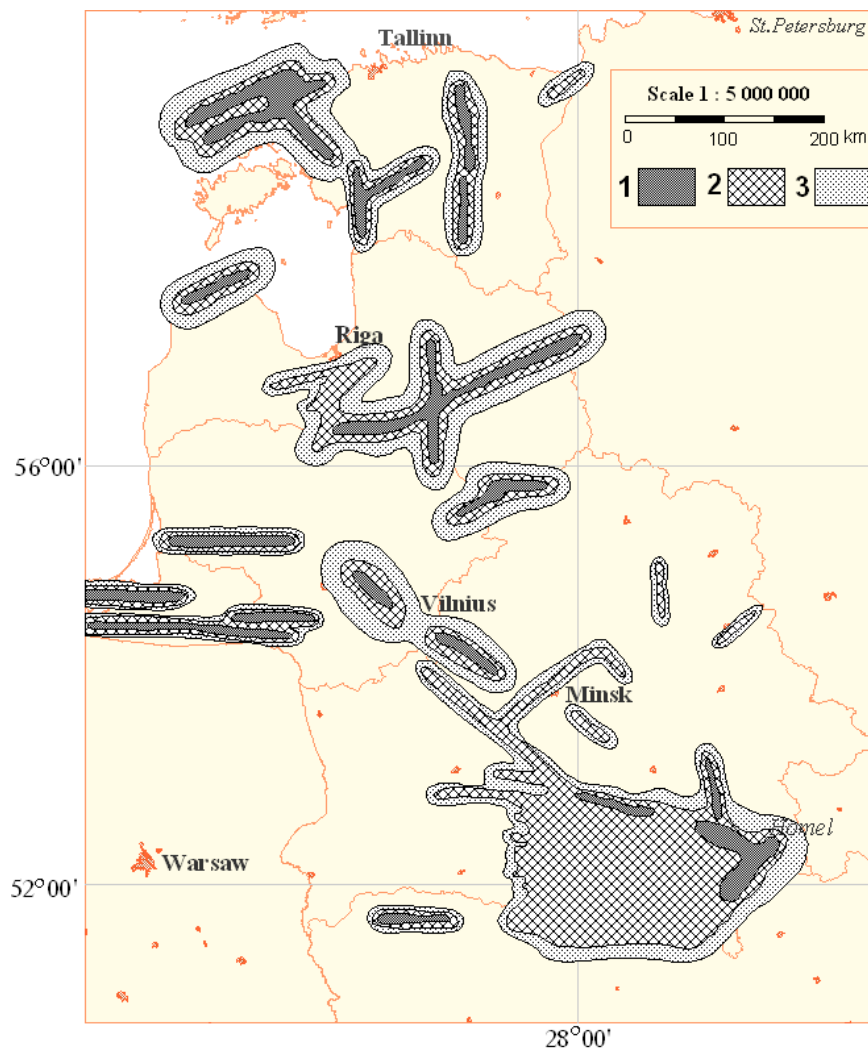
*Iesvītrotās zonas norāda 10 % varbūtību 0.2 m/c<sup>2</sup> paātrinājuma pārsniegšanai 50 gadu laikā*

Kā viens no programmas GSHAP mērķiem bija seismiskā riska unificēts novērtējums, t.i., satricinājumu intensitātes novērtējuma pārveidošana paātrinājuma vienībās un tādu satricinājumu atkārtošanas varbūtības novērtēšana noteiktā laika periodā. Šādiem mērķiem visbiežāk tiek izmantots 50 gadu periods, kas tiek uzskatīts par ēku ekspluatācijas optimālu ilgumu, bet seismiskais risks tika novērtēts darba grupā pēc Ziemeļeirāzijas seismiskās bīstamības rajonēšanas pieredzes.

Saskaņā ar pētnieku kolektīva izstrādāto Eiropas seismiskās bīstamības karti (<http://www.seismo.ethz.ch/gshap/ceurope/>), Baltijas valstu teritorijā (1.11.att.) ir identificētas trīs seismiskās bīstamības zonas ar satricinājumu intensitāti 0,2 m/c<sup>2</sup>, kas ir ekvivalenta 0,02 g (aptuveni mazāk nekā 6 ballu pēc MSK-64 satricinājuma skalas). Tādējādi tika konstatēts, ka seismiski bīstamajās zonās 50 gadu laikā var rasties seismiski satricinājumi, kuri ar 10% varbūtību var pārsniegt paātrinājuma

lielumu, kas ir vienāds ar  $0,2 \text{ m/c}^2$ . Atbilstoši šim pētījumam īpaši liela seismiski bīstama zona atrodas Igaunijas un lielā daļā Latvijas teritorijas. Šīs zonas kontūra savieno Pērnavu, Saulkrastus, Aizkraukli, Jēkabpili un Smilteni. Otrā šāda zona atrodas uz dienvidiem no pirmās, - pie Latvijas un Lietuvas robežas, Pandeles pilsētas apkārtnē, bet trešā bīstamā zona ir izdalīta Baltkrievijas teritorijā, Naročas pilsētas rajonā.

1995.gadā Baltkrievijas Zinātņu Akadēmijas Ģeofizikas un Ģeoķīmijas institūts kopīgi ar Ukrainas Zinātņu Akadēmijas Ģeofizikas institūta seismologiem veica Baltkrievijas un Baltijas valstu seismisko rajonēšanu ( 1.12.att.).



**1.12.att. Baltkrievijas un Baltijas valstu seismiskas rajonēšanas karte, pēc Garecka u.c. [Garetskij *et al.*, 1997].**

Apzīmējumi: seismiskā satricinājuma zonas: 1 = 7 balles; 2 = 6 balles; 3 = 5 balles.



Baltijas reģiona seismiskās rajonēšanas pētījumi tika iesākti vēl bijušās PSRS laikā Austrumeiropas platformas rietumu daļas seismiskās rajonēšanas darbu ietvaros [Garetskij, Boborykin, 1989, 1992]. Atbilstoši 1995.gada pētījumiem [Garetskij *et al.*, 1997] Latvijas teritorijā tika noteiktas 4 zemestrīču cilmvietu zonas ar augstu ticamību: Irbe, Rīga, Austrumlatvija un Daugavpils. Trijās zemestrīču cilmvietu zonās (Irbe, Daugavpils, Austrumlatvija) satricinājumu intensitāte ir novērtēta ar 7 ballēm [Garetskij *et al.*, 1997].

Secinājumi: Baltijas reģiona seismiskās rajonēšanas pētījumu gaita bija atkarīga gan no tautsaimniecības (īpaši atomenerģētikas) attīstības, gan no dabā notiekošajām zemestrīcēm un to ietekmēm (šajā gadījumā izšķiroša bija Osmussāres 1976.gada zemestrīce). 1995.gadā rajonēšanas rezultātā noteica vairākas aktīvas seismiskās zonas, bet pirmo divu zemestrīču cilmvietu zonu atklāja 1987.gadā. Tomēr 1987.gadā pārējā teritorija bez pietiekama pamatojuma tika iekļauta 6 ballu zonā. GSHAP projekta izpildes laikā atklāja zemestrīču cilmvietu zonu, kas orientēta virzienā Pērnavā – Jēkabpils, novērtējot šajā zonā seismiskās iedarbības intensitāti līdz 0.02g. Vēlāk Baltkrievijas un Baltijas valstu seismiskā rajonēšana 1995.gadā ļāva identificēt 4 augstas ticamības, kā arī zemestrīču cilmvietu potenciālas zonas. Trijās no tām satricinājumu intensitāte novērtēta ar 7 ballēm pēc MSK-64 skalas [Garetskij *et al.*, 1997].



## **2. PĒTĪJUMU METODES UN IZMANTOTIE MATERIĀLI**

Lai realizētu pētījumā izvirzītos uzdevumus: seismiskuma ģeoloģisko un ģeofizikālo priekšnosacījumu analīze, Zemes garozas ģeodinamisko procesu un rezultātu apzināšanu, - seismiskā režīma raksturojumam, kā arī seismiski bīstamo seismogēno zonu identifikācijai un parametrizācijai tika izmantotas seismiskās rajonēšanas un seismiskās bīstamības novērtējuma metodes. No vairākām zināmajām pētniecības metodēm tika izvēlētas tās, kas ļautu sasniegt izvirzītos uzdevumus, balstoties uz pētījumam pieejamajiem sākotnējiem ģeoloģiskajiem un ģeofizikālo pētījumu rezultātiem, to apkopojumiem un citiem materiāliem. Uz pētījuma faktoloģiskās bāzes pirmavotu materiāliem attiecas zemestrīču katalogi, dati par Zemes garozas uzbūvi, tektoniskie, neotektoniskie, ģeomorfoloģiskie, ģeodēziskie, ģeotermiskie, gravimetriskie, magnetometriskie un citi dati.

Pētījums veikts, izmantojot gan citu zinātnieku izstrādātos metodiskos paņēmienus, gan arī izstrādājot jaunus paņēmienus. Tika izmantota metodika Zemes garozas Arhimeda līdzsvara novērtēšanai Moho robežas līmenī, lai Zemes garozas novērtētu seismotektonisko potenciālu (magnitūdas vienībās). Izstrādāta seismogēno zonu paplašināta klasifikācija, kas iekļauj zemestrīču cilmvietu drošas ticamības zonas, zemestrīču cilmvietu potenciālās zonas un seismotektoniskās zonas.

### **2.1. Latvijas seismiskuma ģeofizikālie un ģeoloģiskie priekšnoteikumi**

Seismiskuma ģeoloģisko un ģeofizikālo priekšnoteikumu analīze ir pētītās teritorijas svarīgs seismiskās bīstamības novērtējuma sākotnējais posms. Pirmkārt tādēļ, ka ģeoloģiskās un ģeofizikālās īpatnības atspoguļo Zemes dzīlēs notiekošos endogēnos procesus. Ģeoloģiskās un ģeofizikālās īpatnības savukārt ir atkarīgas no enerģijas, kas izdalās, Zemes vielām pārveidojoties smaguma spēka, kā arī Zemes rotācijas kustības ietekmē. Tādēļ ģeoloģiskais un ģeofizikālais raksturojums var tikt izmantots kā netieša pazīme jeb dzīļu dinamisko procesu indikators. Tas sniedz iespēju novērtēt spriedzes uzkrāšanas procesus noteiktā ģeoloģiskās vides apgabalā un potenciāli seismogēno zonu veidošanās iespēju.

Priekšstati par ģeoloģisko un ģeofizikālo raksturojumu kā nevienmērīgas ģeoloģiskās vides veidošanās potenciāla indikatoru [Buné, 1980a, 1980d; Ivanovskaya, 1988; Yudakhin *et al.*, 2003] un seismotektoģenēzes parādības rašanos balstās uz zemestrīces cilmvietas fiziku [Aki, 1972; Brady, 1974; Ida, 1975; Kostrov, 1975; Myachkin *et al.*, 1975a; Tyupkin, 2007]. Mūsdienāzemestrīces cilmvietas fiziku apskata kā nepārtrauktu Zemes materiāla dinamiski kustīgu pārvāpumu, kas rodas un uzkrājas tektonisku deformāciju pārbīdes procesā [Myachkin, 1978].

Ģeoloģiskās vides vienlaidu defragmentācijas mehāniku nosacīti var sadalīt trīs posmos: 1) vienmērīga plaisāšana (defragmentēšana) pilnībā visā deformējamā ķermenī; 2) plaisu sabiezējums un saplūšana; 3) maģistrāla plīsuma veidošanās un vēršanās plašumā. Katram vides defragmentēšanas posmam atbilst raksturīgas ģeofizikālo parametru izmaiņas [Anderson, Whitcomb, 1973; Myachkin, 1978; Planinič *et al.*, 2001; Wen *et al.*, 2007]. Zemestrīču fizikālie priekšvēstneši (indikatoru) ir: viļņu ātrumu attiecība, radona koncentrācija, pazemes ūdens līmenis, deformācijas, vertikālās kustības un arī citi mazāk informatīvi parametri [Myachkin, 1978; Nur, 1972; Mjachkin *et al.*, 1975b; Chi-U-King, 1978; Dobrovol'skij *et al.*, 1979; Kissin, 1981; Vojtov, Popov, 1989; Telesca *et al.*, 2007].

Ģeoloģiskie un ģeofizikālie indikatoru ir atšķirīgi pēc to eksistences ilguma - īstermiņa un ilgtermiņa [Keilis-Borok *et al.*, 2004; ]. Ilgtermiņa indikatoru un iespējamie seismoģenēzes procesi izpaužas ilgstošā laika periodā, nereti tiem pieskaita arī Zemes garozas vertikālās kustības [Anan'in *et al.*, 1973; Ivanovskaya *et al.*, 1988].

Seismiskās parādības ir Zemes garozas dinamikas īpašs gadījums, kas ģenētiski saistīts ar Zemes garozas vertikālajām kustībām [Fuju, 1974; Nikonov, 1979]. Par citām ilglaicīgām pazīmēm, kas varētu raksturot zemestrīču rašanās priekšnoteikumus, vairāki pētnieki uzskata [Ivanovskaya *et al.*, 1988; Shchukin, 2001]: magnētiskā lauka anomālijas, zemes virsmas reljefa augstumu, Moho virsmas dziļumu, konsolidētās garozas bloku sadalījumu, garozas - mantijas bloku blīvuma diferenciācijas, smaguma spēka anomālijas, ģeoloģisko veidojumu iežu blīvumu, ģeopotenciāla atvasinājumu, smaguma spēka gradienta anomālijas, siltuma plūsmas anomālijas, ģeotermisko gradientu, vertikālu kustību ātruma gradientu, seismisko garenviļņu robežātrumu uz Moho virsmas, seismisko aktivitāti, izostatiskās anomālijas u.c.

Ģeoloģisko un ģeofizikālo datu analīze, kas saistīta ar seismogēno zonu veidošanos, Latvijas teritorijā balstās uz izostatisko anomāliju un ar tām saistīto litosfēras struktūru, tektonisko lūzumu blīvuma, Zemes garozas neotektonisko un mūsdienu kustību novērtējumu.

#### 2.1.1. Zemes garozas izostatiskā stāvokļa modelēšana

Zemes garozas izostatiskais stāvoklis raksturo tās noturības un stabilitātes līmeni, bet izostatiskā līdzsvara traucējumi ir potenciāls priekšnoteikums Zemes garozas jebkura nogabala aktivitātei, kas var izpausties gan kā Zemes garozas mūsdienu kustības, gan vulkānisms vai seismiskums [Artem'ev, 1973]. Īpaši aktuāli tas ir attiecībā uz tādiem Zemes garozas nogabaliem, kuri bijuši pakļauti vairākkārtēju apledojuumu iedarbībai [Husebye, Mäntyniemi, 2005]. Baltijas reģionu vairākkārtīgi ietekmējis ledājs. Pēdējā ledus laikmetā, kas noslēdzās aptuveni pirms 10 000 gadiem, ledāja sega no centra Skandināvijā izplatījās līdz pat 6000 km attālumā, pārsedzot Austrumeiropas platformas ziemeļdaļu un Baltijas reģionu līdz Viļņas platumam [Grachev, Dolukhanov, 1970; Aseev, 1974, Grosval'd, 1983; Kaufmann *et al.*, 2000]. Ledāja segas vairākkārtīgu iedarbību rezultātā tika traucēts litosfēras izostatiskais līdzsvars, un to pavadīja intensīvas Zemes garozas kustības. Ledājam atkāpjoties, lielo ledāju vietā palika depresijas, kuru dziļums Fennoskandijā, Kanādā un citos ziemeļu reģionos sasniedza vairākus simtus metru. Svarīgi, ka šīm depresijām ir izostatiskas pazīmes [Gutenberg, 1941; Artyushkov, 1966; Ekman, Makinen, 1996]. Pēc ledāju izkuššanas minētās teritorijas strauji cēlās, turklāt izostatiskās kustības būtiski dominēja pār citas ģenēzes tektoniskajām kustībām [Artem'ev, 1975; Nikonov, 1977]. Tomēr ģeoloģiskā laika gaitā izostatisko kustību intensitāte samazinājās [Meshcheryakov, 1963; Nikolaev, 1967; James *et al.*, 2000].

Tādējādi glacioizostatiskais sasprindzinājuma komponents papildināja Zemes garozas kopējo sasprindzinājumu Baltijas reģionā. Summārais sasprindzinājuma lauks ir atkarīgs no spiediena, kuru rada Vidusatlantijas grēda, kā arī no lokālā lauka sasprindzinājuma, kam bieži ir mozaīkveida raksturs un kuru izraisa vides blokveida struktūra [Husebye, Mäntyniemi, 2005a, 2005b]. Izostazijas izpēte var sniegt noderīgu informāciju par ģeodinamiskajiem procesiem Zemes garozā un litosfērā kopumā.

Traucētā izostatiskā līdzsvara atjaunošanās procesā notiek kompensāciju kustības, un to tips ir atkarīgs no faktoru kompleksa, starp tiem būtisks ir Moho virsmas stāvoklis Zemes garozas konkrētajā iecirknī [Fajtel'son, 1973; Rezanov, Fajtel'son, 1973].

Glacioizostatiskais process izraisīja pēcglaciālo triecienlūzumu (*thrust*) veidošanos, kas ir aprakstīti literatūrā, piemēram, ziemeļu Skandināvijā [Lundqvist, Lagerback, 1976; Lagerback, 1979]. Šādu lūzumu ģeomorfoloģiskās īpatnības raksturo nobīdes amplitūdas 15 - 25 m, kas atbilst zemestrīces magnitūdai  $M = 8$  [Husebye, Mantyniemi, 2005].

Klasiskās izostāzijas shēmas [Airy, 1855; Gutenberg, 1959; Mudretsova, 1990] paredz topogrāfiskas masas (virssvara vai nepietiekamas) kompensācijas noteiktā dziļumā no jūras līmeņa pēc Prattu [Gutenberg, 1959; Mudretsova, 1990] vai kontinentos no fiziskās virsmas un akvatorijās no jūras dibena - pēc Heiforda [Mudretsova, 1990]. Šajā gadījumā kompensācijas dziļums ir 113,7 un 122 km attiecīgi astenosfēras slānī.

Pastāv arī citi priekšstati par traucētā izostatiskā līdzsvara kompensācijas dziļumu. Tā A. Fajtelsons un I. Rezanovs (1973) izteica pieņēmumu par Zemes garozas attīstības divu tipu eksistenci [Rezanov, Fajtel'son, 1973]. Pirmajam attīstības tipam ir raksturīga visas Zemes garozas pacelšanās vai nolaišanās un Moho robežas pārvietošanas pretējā virzienā, kompensējot šīs kustības. Otrā Zemes garozas attīstības tipa laikā Moho robežai ir aktīva loma, - tā pārvietojas uz augšu vai leju līdz ar Zemes garozas svārstībām. Lubalina [Lyubalin, 1996] pētījumi apstiprina, ka Zemes garoza var attīstīties pēc otrā tipa.

Izostāzijas kustības un pašu parādību visbiežāk pēta pēc smaguma spēka anomālijām, t.i., tiek noteikta starpība starp reālo smaguma spēku konkrētajā punktā un tā teorētisko vērtību [Anan'in, Popov, 1973]. Otrais novērtējuma veids balstās uz Zemes garozas griezuma zināšanām un tās fizikālajām īpašībām (blīvumu) pēc dziļās seismiskās zondēšanas datiem [Fajtel'son, 1973].

Aplūkojot Zemes garozas Arhimeda līdzsvara stāvokli, tiek izšķirtas divas atšķirīgas situācijas - viena, ja līdzsvarojums tiek ierobežots no apakšas ar Moho robežu (A līdzsvars), atšķirībā no tradicionālā izostatiskā līdzsvara tipa, kad spiedes izlīdzināšana notiek zināmā kompensācijas dziļumā, t.i., astenosfēras līmenī (P līdzsvars) [Fajtel'son, 1973].

Zemes garozas līdzsvara nosacījumus izsaka šādi vienādojumi:

$$m_M - m_C = \Delta m \quad (2.1)$$

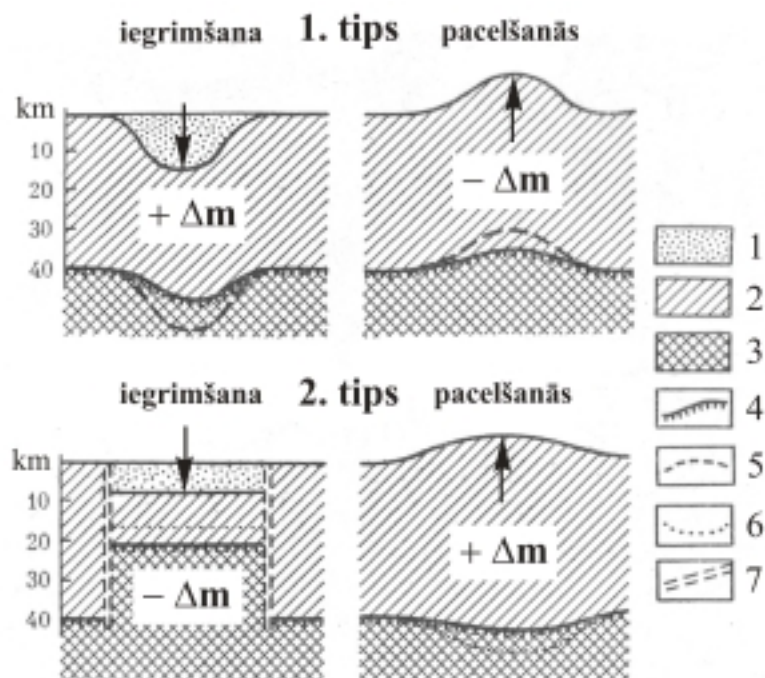
$$-\rho_m h_t + \sum \Delta\rho_{mi} H_i = \Delta m \quad (2.2)$$

$$-\rho_m h_t + \Delta\rho_{mw} H_w + \rho_{mS} H_S + \Delta\rho_{mg} H_g + \Delta\rho_{mb} H_b = \Delta m \quad (2.3)$$

kur,  $m_M$  - mantijas masa, ko izspiedusi Zemes garoza;  $m_C$  - garozas masa;  $\Delta m$  ir  $A$  - Zemes garozas līdzsvara traucējumu rādītājs;  $h_t = h + T_o$ ;  $h$  - apvidus altitūda;  $T_o$  - paredzamais absolūtais dziļums līdz mantijai ar nosacījumu, ka nav Zemes garozas slodze.  $\Delta\rho_{mi} = \rho_m - \rho_i$ ;  $\Delta\rho_{mw} = \rho_m - \rho_w$ , kur  $\rho_m, \rho_i, \rho_w, \rho_S, \rho_g, \rho_b$ , - augšējās mantijas ( $m$ ),  $i$  - slāņi; ūdeņu ( $w$ ), nogulumiežu ( $S$ ), „granītu” ( $g$ ) un „bazaltu” ( $b$ ) slāņa blīvums;  $H_i, H_w, H_S, H_g, H_b$  - Zemes garozas slāņu biezums.

Biezumu attiecību daudzveidību starp Zemes garozas dziļumu un virsmas struktūrām var traktēt kā garozas attīstības pamattipu atšķirīgas stadijas [Rezanov, Fajtel'son, 1973]. Šie Zemes garozas attīstības tipi (2.1.att.) atšķiras pēc dominējošiem procesiem un to rakstura, kas arī nosaka Zemes garozas attīstību [Rezanov, Fajtel'son, 1973].

Zemes garozas attīstības pirmā tipa vadošais process ir pārvietojuma (kustības) process uz augšu jeb leju pa garozas vertikāli - no zemes virsmas līdz Moho robežai. Teorētiski šim procesam vajadzētu radīt saskaņotu Zemes garozas visu slāņu ieliekumu vai izliekumu, kā arī atbilstošas izmaiņas Moho robežā. Garozas pacelšanai parasti atbilst dziļāks, bet iegrimšanai - ne tik dziļš Moho robežas stāvoklis [Rezanov, Fajtel'son, 1973]. Tādējādi Moho robeža it kā pārvietojas pa griezumu pretēji Zemes garozas kustības virzienam, t.i., visai garozai ceļoties, Moho robeža iegrimst (garozas biezums palielinās no apakšas), bet, garozai iegrimstot, - Moho robeža paceļas (garozas biezums samazinās no apakšas). Šādam garozas struktūru attīstības raksturam ir tendence it kā uzturēt Arhimēda līdzsvara stāvokli. Tādējādi garozas biezuma izmaiņas no apakšas vajadzētu uzskatīt par kompensācijas procesu, kas atjauno tās līdzsvaru [Rezanov, Fajtel'son, 1973].



**2.1.att. Zemes garozas kustības mehānisma tipi**

1 – nogulumiežu sega; 2 – konsolidētā Zemes garoza; 3 – augšējā mantija; 4 – Moho robeža; 5 – Moho robežas iespējamais stāvoklis gadījumā, ja Zemes virsma iegrimst vai paceļas (1. attīstības tips), atbilst vienlielas Moho robežas iegrimšana vai pacelšanās; 6 – Moho robežas stāvoklis gadījumā, ja Moho robežas nobīdi pa griezumam (2. attīstības tips) nepavada pretimnākoša visas Zemes garozas iegrimšana vai pacelšanās; 7 – lūzums.

Zemes garozas attīstības otrā tipa vadošais process ir Moho robežas pārvietošanās lejup vai augšup (2.1.att.), t.i., garozas biezuma izmaiņas no apakšas: biezuma palielināšanās vai samazināšanās, kas izjauc Arhimeda līdzsvaru. Šīs biezuma izmaiņas ir saistītas izostatisko garozas kustību, kas vērstas uz tās līdzsvara atjaunošanu [Rezanov, Fajtel'son, 1973; Rezanov, 1974].

Izostazijas  $\Delta m$  parametra fizikālo jēgu nosaka tā proporcionalitāte attiecībā pret *Arhimeda* spēku darbību, kuru izjūt Zemes garoza, ja izspiestās mantijas masa ( $m_M$ ) nav vienāda ar garozas masu ( $m_C$ ). Starpība starp izspiesto mantijas masu un garozas masu raksturo Zemes garozas struktūru attīstības intensitāti. Teorētiski ir izstrādāta šāda stāvokļu eksistences varbūtība [Fajtel'son, 1973 ]:

- 1)  $m_M - m_C = 0$ . Saglabājas Zemes garozas līdzsvara nosacījums.
- 2)  $m_M > m_C$ . Zemes garozas biezuma palielināšanās gadījums, kad ir relatīvs līdzsvara stāvoklis un  $\Delta m$  - pozitīvs.

3)  $m_M < m_C$ . Zemes garozas biezuma samazināšanās gadījums, kad ir relatīvs līdzsvara stāvoklis un  $\Delta m$  - negatīvs.

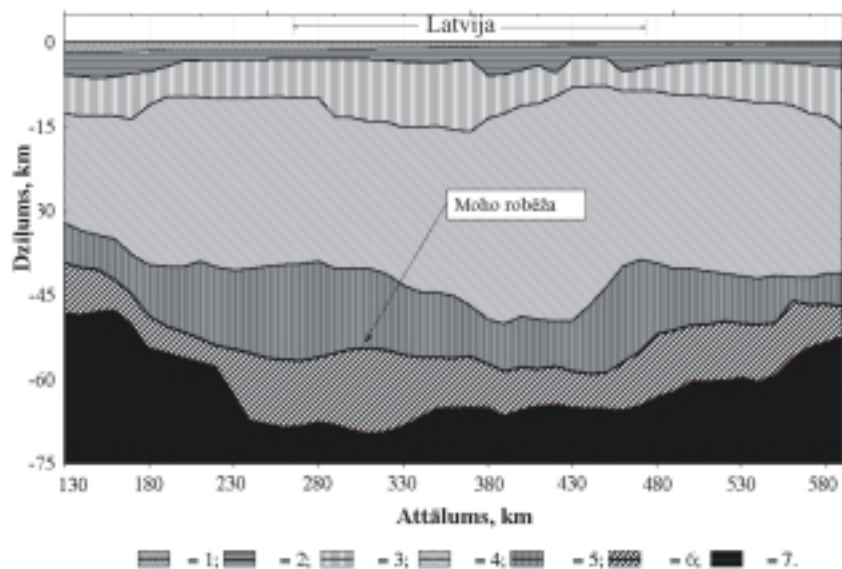
Zemes garozas attīstības dominējošā procesa virziens ir pacelšanās, kas saistīta ar garozas biezuma palielināšanos no apakšas, bet, samazinoties biežumam no apakšas, - iegrimē. Tādējādi augšupvērstās un iegrimstošās struktūras ar vienu un to pašu  $\Delta m$  vērtību raksturo garozas attīstības dažādus tipus. Par garozas attīstības tipu attīstības var spriest pēc struktūru (+S pacēlums un -S ieplaka) zīmes attiecību garozas virsējā daļā (tās kustības virziens) un  $\Delta m$  zīmes.

### 2.1. tabula Zemes garoza attīstības tipi un vadošo procesu virzieni

Attīstības tipi	Vadošo procesu virziens	Zīmju attiecība	
		S	$\Delta m$
1	Zemes garozas iegrimšana	-	+
1	Zemes garozas pacelšanās	+	-
2	Zemes garozas biezuma samazināšanās no apakšas	-	-
2	Zemes garozas biezuma palielināšanās no apakšas	+	+

Zemes garozas līdzsvara traucējuma rādītāja aprēķins veikts, pamatojoties uz 1986.g. veiktās dziļās seismiskās zondēšanas (DSZ) rezultātiem profilā Sovetska – Rīga – Kohtla-Jerve [Ankudinov *et al.*, 1991]. Pētījuma rezultātā izveidotais garozas uzbūves modelis (3.1.att.) sastāv no 5 slāņiem: nogulumiežu slānis, granītu un metamorfo iežu slānis, kas sastāv no kristaliskā pamatklintāja augšējās un apakšējās daļām, diorīta un granulīta slānis – starp robežām II un IV (IV - slānis) un granulītu un bazītu slānis, intervālā starp IV robežu un ar pirmo Moho robežu -  $M_1$  ( $M_1$  - slānis).

Pētījumā vispirms aprēķināja izostatiskā  $\Delta m$  līdzsvara traucējuma rādītāju DSZ profilam Sovetska – Rīga – Kokhtla-Jerve (2.2.att.).



**2.2.att. Zemes garozas modelis gareniski DSZ profilā**

**Sovetska - Rīga - Kokhtla-Jerve.**

1 – nogulumiežu sega; 2 – kristāliskā pamatklintāja augšējā daļa; 3 – kristāliskā pamatklintāja apakšējā daļa; 4 – IV slānis; 5 –  $M_1$  slānis; 6 –  $M_2$  slānis; 7 – augšējā mantija.

Tika prognozēts, ka seismiskā robeža garozas iekšpusē atspoguļo robežu starp Zemes garozas slāņiem ar dažādu petroķīmisko un minerālo sastāvu. Šādam pētījumam bija pieejami Zemes garozas seismiskā modeļa vidējie parametri Lietuvas, Latvijas, Igaunijas teritorijā, tie ir sniegti 2.2.tabulā

**2.2.tabula. Zemes garozas vidējais ātruma modelis**

**DSZ profilā Sovetska - Rīga - Kokhtla-Jerve.**

Slāņa Nr.	Slāņa nosaukums	Intervāls	Slāņa pamatnes dziļums, km	Slāņa biezums, km	Vidējais garenviļņa ātrums, km/sek
1	Nogulumiežu slānis	0 – I	1	1	2.6
2	Granītu un metamorfo iežu slānis	I - II	22	21	6.0
3	Diorīta un granulītu slānis	II - IV	42	20	6.3
4	Bazaltu jeb granulītu slānis	IV - M	54	12	7.3
5	Gabro – peridotītu – piroksenītu slānis	> M	> 54		8.0



Nākamajā Zemes garozas izostatiskā stāvokļa pētījuma posmā veikta  $\Delta m$  ekstrapolācija no DSZ profila Sovetska – Rīga – Kohtla-Jerve visai Latvijas teritorijai. Analizējot izostatiskā parametra  $\Delta m$  saistību ar dažādiem ģeoloģiskiem un ģeofizikāliem parametriem gar profilu, tika pētīta  $\Delta m$  korelatīvā saite ar gravitācijas lauka smaguma spēka anomālijām Bugē redukcijā -  $\Delta g_b$ , ar gravitācijas lauka anomāliju horizontālo gradientu - hor grad  $\Delta g_b$ , kā arī ar siltuma plūsmas blīvumu  $Q$  un magnētiskā lauka anomālijām  $T_a$ .

Atzīmēta izostāzijas ( $\Delta m$ ) parametra cieša saistība ar gravitācijas lauka horizontālo gradientu (*hor grad  $\Delta g_b$* ) un siltuma plūsmas blīvumu ( $Q$ ). Kopumā norādīto parametru saistības novērtējumam ar izostāzijas  $\Delta m$  traucējuma rādītāju izmantoja vairākkārtēju korelāciju:

$$\Delta m = a + bx + cy + dx^2 + exy + fy^2 \quad (2.4)$$

kur  $a, b, c, d, e, f$  – konstantes;  $x = \text{hor\_grad\_}\Delta g_b$ ;  $y = Q$ .

Šādi aprēķinātais vairākkārtējās korelācijas koeficients sasniedza vērtību 0,55.

Izostāzijas  $\Delta m$  traucējumu rādītāju salīdzināja ar tiem ģeoloģiskajiem un ģeofizikālajiem raksturlielumiem, kas ietekmē Zemes garozas dinamiku. Daļēji izmantoja šādus ģeofizikālo, neotektonisko, ģeodēzisko, ģeotermisko, ģeoloģisko un seismoloģisko pētījumu datus:

1. Gravitācijas lauka Bugē redukcija (R.Apirubite, 1980.g. pārskats);
2. Magnētiskā lauka anomālijas (R.Apirubite, 1980.g. pārskats);
3. Neotektonisko kustību summārās amplitūdas  $A_{nm}$  [Garetsky *et al.*, 1999];
4. Mūsdienu vertikālo kustību ātrums  $V_{vm}$  (M. Kovalevskij, L. Berzinya, 1966.g. pārskats);
5. Siltuma plūsmas blīvums (A.Zazimko, L.Sokurenko, 1994.g. pārskats);
6. Zemes garozas biezums (A.Sadova, V.Penzinas, 1986.g. pārskats; V.Vetreņņikova, 1996.g. pārskats; [Doody *et al.*, 1999]);
7. Vēsturisku zemestrīču un mūsdienu seismisku notikumu epicentri (pielikums 2.1.).

Neotektonisko kustību summārās amplitūdas  $A_{nm}$  ir Zemes garozas kustības integrāla izteiksme, kas uzkrāta Zemes garozas attīstības neotektoniskās attīstības periodā, kura sākums attiecas uz agro *Rupelian*. Saskaņā ar Latvijas teritorijas stratigrāfisko shēmu, *Rupelian* vecums ir 33,7 miljoni gadu [Stinkulis, 2003].

Mūsdienu vertikālās kustības ātrumi  $V_{vm}$  ir iegūti, pamatojoties uz atkārtotu nivelēšanu, kas tika veikta 1932./36.g. un 1965.g. Šiem pētījumiem par nulles atskaites punktu ir pieņemts repers, kas atrodas Rīgā, bet galvenās nivelēšanas trases izvietotas virzienā Rīga - Ieriķi - Gulbene un Rīga - Pļaviņas - Gulbene – Alūksne (Kovalevskij *et al.*, 1966).

Siltuma plūsmas blīvuma lielumi attiecas uz Zemes virsmu.

Informācijas avoti par vēsturiskajām zemestrīcēm Latvijā un apkārtējā teritorijā ir B.Dossa 1909.g. un 1910.g. publicētie dati [Doss,1909,1910], kā arī mūsdienās sagatavotie zemestrīču katalogi [Avotinya *et al.*, 1988], kuros ir sniegts atsevišķu zemestrīču parametru izvērtējums. Informācija par mūsdienu seismiskajiem notikumiem ir galvenokārt Somijas un Norvēģijas reģionālā seismiskā tīkla dati (<http://www.seismo.helsinki.fi/english/index.htm>; <http://www.norsar.no/index2.html>).

Secinājumi: Latvijas Zemes garozas izostatiskā stāvokļa pētījumiem ir izmantota izostatiskā līdzsvara novērtējuma metode *Moho* robežas līmenī. Metode balstās uz *Arhimeda* līdzsvara principu, kas ļauj novērtēt Zemes garozas attīstības tipu un virzienu, kam ir svarīga nozīme, novērtējot ģeodinamiskās aktivitātes tajā vai citā Zemes garozas nogabalā.

### 2.1.2. Zemes garozas un litosfēras biezuma novērtējums

Lai izprastu Zemes garozas attīstības mehānismu un interpretācijas rādītājus par tās izostatisko stāvokli Latvijā, ir nepieciešams iegūt ziņas par litosfēru iedalījumu un tās galvenajām robežām. Šo virsmu reljefs sniedz izpratni ne tikai par Zemes garozas attīstības tipu un virzienu, bet ir arī viena no seismiskuma pazīmēm, kas zināmā mērā var būt seismisku izpausmju intensitātes rādītājs [Artem'ev, 1973]. Platformas tipa garozas tradicionāli tiek raksturotas kā vāji seismiskas, ja vien nav konstatētas deformācijas izpausmes uz Moho virsmas. Tomēr deformācijas (stāvi slīpumi, lūzumi, iekšējo struktūru sarežģījumi u.c.) sniedz iespēju prognozēt seismiskās aktivitātes adekvātu pastiprināšanos Zemes garozā [Gorshkov, Krestnikov, 1980.]. Īpaši kustīgām tektoniskām struktūrām ir raksturīga blokveida uzbūve un Zemes garozas kopējā un atsevišķu slāņu dažādi biezumi.

Latvijas Zemes garozas biezuma līdzšinējie novērtējumi (pārskati – Kovrigin, Ozolin'a, 1986; Luosto, 1991; Vetrenņikovs, 1996) [Garetsky *et al.*, 1999; Yudakhin *et al.*, 2003] ir visai shematiski, - nevienādi detalizēti izstrādāti un atšķiras arī ar mazu

mērogu. Tādēļ bija nepieciešams detalizēti izvērtēt Zemes garozas biezumu Latvijā un tai piegulošajā teritorijā. Šādam mērķim izmantoja datus par pētāmās teritorijas ģeoloģisko uzbūvi un Moho virsmas dziļumu (pārskats – Sadov A.S., Penzina V.N., 1986), kas iegūti seismiskās zondēšanas profilā Sovetska – Rīga – Kohtla-Jerve (N.Ozoliņa, V.P. Kovrigin, 1986.g. pārskats).

Latvijas Zemes garozas modelis novērtēts, pamatojoties uz korelatīvo saikni starp datiem no profila DSZ (pārskats – Sadovs A., Penzina V., 1986), *Moho* virsmas ieguluma dziļumu un citu ģeofizikālo, ģeotermālo un ģeomorfoloģisko pētījumu rezultātiem. Papildus daļēji izmantoti šādi parametri: 1) novērotais gravitācijas lauks Bugē redukcijā -  $\Delta g_{obs}$ , mG; 2) virsmas siltuma plūsmas blīvums -  $Q$ , mW/m<sup>2</sup>; 3) reljefa augstums virs jūras līmeņa -  $h_{rel}$ , km.

Norādīto parametru izvēles lietderība balstās gan uz zināmām sakarībām starp Zemes garozas biezumu (*Moho* dziļums), gan anomālijām Bugē redukcijā (vai ar reljefa ietekmes ievērtēšanu) [Demenitskaya, 1975]. Gravitācijas lauka lielumi Bugē redukcijā  $\Delta g_{obs}$ , gar DSZ profilu Sovetska – Rīga – Kokhtla-Jerve tika noteikti ar intervālu 10 km.

Siltuma plūsmas dati iegūti no attiecīgas kartes ar soli 10 km gar DSZ profilu, kā arī izmantojot jaunākos ģeotermisko pētījumu materiālus (A.Zazimko, L.Sokurenko, 1994.g. pārskats).

Reljefa augstuma atzīmes virs jūras līmeņa saņemtas no NASA datu bāzes (<http://edc.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/gtopo30.html>), kas šādus novērtējumus sniedz par teritorijām ar minimāliem laukumiem 10' x 10'.

Pāru korelācijas sakarība starp Zemes garozas biezumu un katru augstāk norādīto parametru atsevišķi nav devušas nozīmīgus korelācijas koeficientus, tādēļ tika izmantots regresīvs modelis ar gabalu-lineāru aproksimāciju.

$$H = (55.8391 - a_1 \Delta g_{obs} + b_1 Q - c_1 h_{rel}) \times (H_{Moho} \leq 54.6556) \\ + (57.3512 + a_2 \Delta g_{obs} + b_2 Q - c_2 h_{rel}) \times (H_{Moho} < 54.6556) \quad (2.5)$$

kur,  $a_1 = 0.1366$ ;  $b_1 = 0.2255$ ;  $c_1 = 192.327$ ;  $a_2 = 0.042$ ;  $b_2 = 0.0238$ ;  $c_2 = 14.8485$ .

Tas ļāva iegūt vairākkārtējās  $R(H \leftrightarrow \Delta g + Q + h_{rel})$  korelācijas koeficientu = 0.955.

Litosfēras biezums ir vēl viens parametrs, kas ļauj interpretēt Zemes garozas attīstības virzienu.

Maksimālais litosfēras biezums zem senajām platformām ir vairāk nekā 150 - 200 km, bet litosfēras apakšējās robežas dziļums ir visai saistīts ar siltuma plūsmas lielumu uz Zemes virsmas [Crough, Thompson, 1976]. Šī atkarība ļāva [Pollack, Chapman, 1977] aprēķināt temperatūru Zemes garozā un augšējā mantijā, kā arī novērtēt litosfēras biezumu globālā mērogā. Litosfēras biezuma detalizēts salīdzinājums ar siltuma plūsmas blīvumu (uz laukuma ar šūnu izmēriem  $5^\circ \times 5^\circ$ ) ļāva [Levi, Lysak, 1986] iegūt šādu atkarību:

$$L = 261.6 \exp(-0.15\bar{q}) \quad (2.6)$$

kur,  $\bar{q}$  - siltuma plūsmas blīvums ( $\text{mW}/\text{m}^2$ ).

Svarīgi, ka šo sakarību korelācijas koeficients ir 0,87. Litosfēras biezuma novērtēšanai Latvijā izmantota formula (2.6).

Secinājumi: Zemes garozas biezuma lauka kartēšanai izmantota korelatīvā saite starp Zemes garozas biezumu gar DSZ profilu Sovetska – Rīga – Kohtla-Jerve un trīs īpaši informatīviem parametriem: gravitācijas lauku Bugē redukcijā, siltuma plūsmas blīvumu uz zemes virsmas un reljefa augstumu. Aprēķiniem izmantojot diskretu gabalu un lineāru aproksimāciju, tika iegūta šo parametru saistība ar korelācijas koeficientu 0,955. Siltuma plūsmas blīvums labi atspoguļo litosfēras biezumu, un tas ļāva novērtēt tās parametrus.

### 2.1.3. Zemes garozas sašķeltības novērtējums

Cietos Zemes apvalkos tektoniska sasprindzinājuma uzkrāšanās dēļ notiek ģeoloģiskās vides deformācija. Deformāciju pavada vides vienlaidu defragmentācija, kuras laikā notiek vienmērīga deformējamā ķermeņa plaisāšana visā apjomā, plaisu sabiezinašanās un saplūšana, kā arī maģistrālā pārrāvuma veidošanās un vēršanās plašumā. Tādējādi ģeoloģiskā vidē vienlaikus izpaužas dažāda mēroga neviendabīgums (lieli tektoniski lūzumi, plaisas un sīkplaisas) [Sadovskij, 1979; Krasnyj, 1984; Sadovskij *et al.*, 1987; Goryainov *et al.*, 1997].

Sašķeltība raksturo Zemes garozas deformācijas pakāpi un ar to saistīto parādību – zemestrīci. Austrumeiropas platformas sašķeltā Zemes garoza atzīmēta [Yudakhin *et al.*, 2003] kā viens no potenciālajiem seismiskuma priekšnoteikumiem. Tās korelācijas koeficients ar seismiskumu sasniedz - 0,73. Vairākos pētījumos kā

tektoģenēzes indikators tika izvērtēts tektonisko lūzumu blīvums, - šim nolūkam izmantoti dati par kristāliska pamatklintāja tektoniku, mērogā 1:200000 (pārskats – Vetrennikov V.V., Stetsyun P. A, 1984).

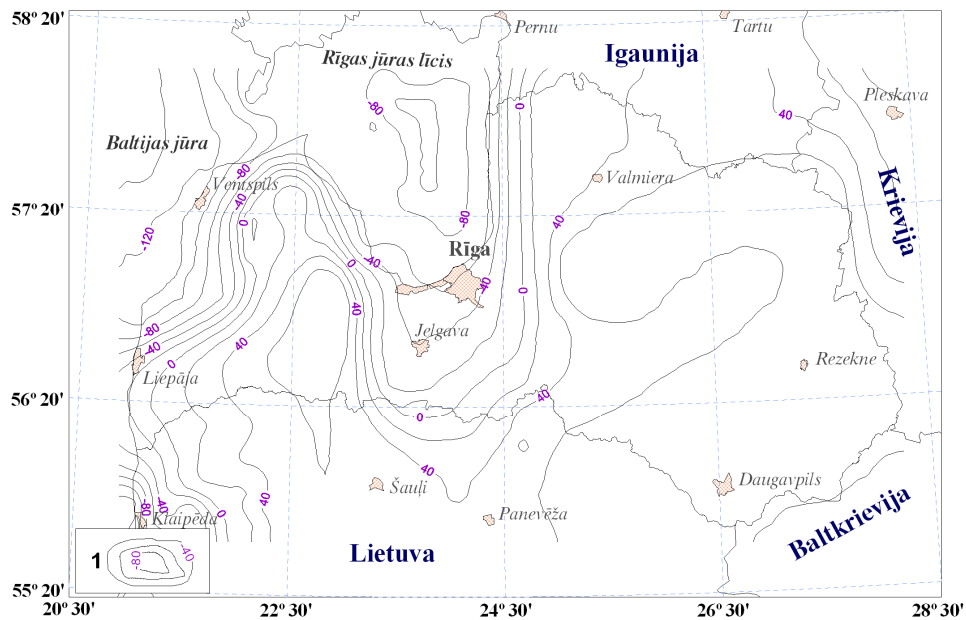
Secinājumi: Zemes garozas sašķeltība ir aplūkojama kā viens no perspektīviem tektoģenēzes indikatoriem. Šis indikators atšķiras ar augstu AEP seismiskumu korelācijas koeficientu. Zemes garozas sašķeltība ir atspoguļota arī Latvijas kristāliskā pamatklintāja tektonisko lūzumu blīvumā.

#### 2.1.4. Zemes garozas neotektoniskās un mūsdienu kustības

Svarīgs seimotektonisko aktivitāšu rādītājs var būt Zemes garozas neotektoniskās kustības, jo tās ļauj pārlicinošāk interpretēt Zemes garozas izostatiskā līdzsvara rādītāja izmaiņas, ņemot vērā garozas galveno robežu stāvokli un litosfēras pamatni.

Neotektonisko aktivitāšu pētījumiem Baltijas teritorijai savulaik izmantoja neotektonisko kustību vertikālās amplitūdas [Garetsky *et al.*, 1999]. Šādos pētījumos par balsthorizontu, attiecībā pret kuru noteiktas neotektonisko kustību amplitūdas, tika pieņemti agrā *oligocēna* nogulumi - *Rupelian* slāņi, kas plaši izplatīti un identificēti ģeoloģiskajā griezumā [Garetsky *et al.*, 1999]. Latvijas teritorijā neotektoniskās stadijas ilgums tiek vērtēts ap 33,7 miljoni gadu [Remane *et al.*, 2000; Stinkulis, 2003]. Neotektonisko kustību amplitūdu summārā karte ir parādīta 2.3.att.

Neotektonisko vertikālo kustību summāro amplitūdu kartē (2.3.attēls) atzīmētas daudzas paaugstināta horizontālā  $\Delta A_{RH}$  gradienta zonas. Tās atrodas galvenokārt jūras krastu līnijas tuvumā neotektonisko struktūru malās.



**2.3.att. Neotektonisko vertikālo kustību summāro amplitūdu karte, sākot ar *Rupelian* (pēc UNESCO projekta pētnieciskas grupas datiem N 346 “Neogeodynamica Baltica [Garetsky *et al.*, 1999]).**

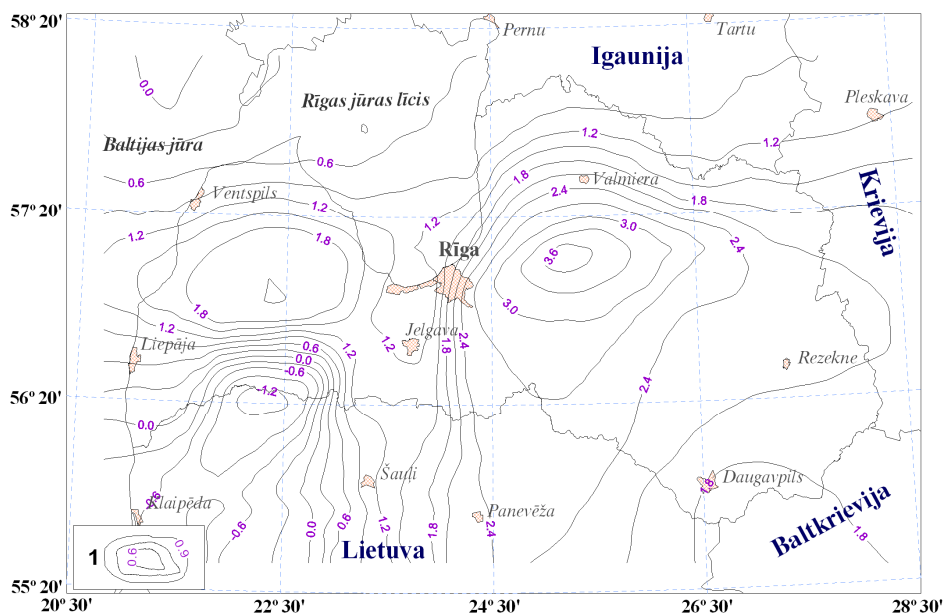
Apzīmējumi: 1 – summāra amplitūda, m.

Zemes garozas mūsdienu vertikālās kustības (ZGMVK) raksturo mūsdienu dinamiku un Zemes garozas mobilitāti. To novērtējumi balstās uz atkārtoti veiktas, precīzas nivelēšanas datiem un sniedz priekšstatu par Zemes garozas mūsdienu kustību raksturu. Šādu pētījumu datu virkne liecina [Setun'skaya, 1961], ka ZGMVK Krievijas platformas daži augstas amplitūdas iecirkņi atrodas Latvijas teritorijā. 2935 km garajā profilā, kas vērsts no rietumiem uz austrumiem, šķērsojot Krievijas platformu un Urālus (Liepāja - Rīga – Veļikije Luki - Bologoje - Vologda - Kirova - Perma - Sverdlovska), ZGMVK pozitīvi lielumi ir raksturīgi Liepājas – Veļikije Luki iecirkņim. Baltijas sineklīzes apgabalā ZGMVK nepārsniedz + 2 mm/gadā, bet virzienā uz Latvijas sedlieni ir novērojama ZGMVK pakāpeniska ātrumu palielināšanās, sasniedzot savu maksimumu + 6 mm/gadā Pļaviņas, Rēzeknes un Indras rajonā [Setun'skaya, 1961]. Latvijas sedlienes rajonā konstatēts vislielākais vidējais ZGMVK gradients gar profila līniju (3,8 mm/gadā uz 100 km).

Detalizētāku priekšstatu par ZGMVK īpatnībām Latvijas teritorijā sniedz atkārtotā nivelēšana, kas veikta 1935.g. un 1965.g. (pārskats - Kovalevskij M., Berzinya L., *et al.*, 1966). Šie dati izmantoti Latvijas Zemes garozas izostatiskā

līdzsvara rādītāja interpretācijā, un tie ļauj izprast kustību raksturu un virzienu. ZGMVK Latvijā ir parādīts 2.4.att., apliecinot, ka Latvijas teritorijā skaidri izceļas ZGMVK pozitīvie lielumi Ieriķu rajonā (2.4.att.). Šeit  $V_{ZGMVK} = + 3,6$  mm/gadā. Pacelšanās maksimālā ātruma zona ir atzīmēta uz dienvidiem no Cēsīm un uz austrumiem no Siguldas, Vidzemes augstienes rietumu malā. Diemžēl atkārtota zemes virsmas nivelēšana visā Latvijas teritorijā līdz šim nav veikta, tādēļ mūsu pētījumā bija iespējams izmantot tikai iepriekš norādītos pētījumu datus, kas ir uzskatāmi par nepietiekami pilnīgiem.

Cita mazāk intensīva Zemes garozas pacelšanās zona ir konstatēta Kurzemes pacēluma austrumdaļā.  $V_{ZGMVK}$  amplitūda = + 1,8 – 2,1 mm/gadā. Vēl viena ZGMVK atrodas Latvijas un Lietuvas robežas apkaimē, - starp Mažeikiem un Nīgrandes un Ezeres pagastu (Latvijā). Tur Zemes garozas iegrimšanas ātrums sasniedz – 1,2 mm/gadā.



**2.4.att. Latvijas Zemes garozas mūsdienu vertikālo kustību ātrumu karte  
(Kovalevskij M., Berzina L. et.al., 1966).**

Apzīmējumi: 1 – kustību ātrums, mm/g.

Zemes garozas mobilitātes indikators ir iecirkņi ar maksimālu ZGMVK horizontālo gradientu [Gzovskij *et al.*, 1972]. Latvijā atklāti vairāki šādi iecirkņi.

Submeridionālā virzienā maksimālais ZGMVK horizontālais gradients (*grad*  $\Delta V$ ) fiksēts starp ezeri un Lutriņiem, tā lielumam sasniedzot 0,077 mm/gadā uz katru kilometru. Subparalēlā virzienā starp Imantu un Juglu (Rīgas pilsētas robežās) *grad*  $\Delta V$  sastāda 0,065 mm/gadā uz katru kilometru.

Vēl viena būtiska ZGMVK izmaiņa atzīmēta ziemeļrietumu - dienvidaustrumu virzienā, - starp Liepupi un Līgatni. Tur ZGMVK (*grad*  $\Delta V$ ) gradients ir vienāds ar 0,044 mm/gadā uz katru kilometru.

Secinājumi: Zemes garozas neotektoniskās kustības var izmantot, salīdzinot ar teritorijas seismiskumu. Mūsdienu aktivitāšu svarīga pazīme ir neotektonisko struktūru malējie nogabali ar paaugstinātiem neotektonisko kustību horizontālajiem gradientiem. Zemes garozas mūsdienu vertikālās kustības Latvijā konstatēja pēc 1935.g. un 1965.g. atkārtotās nivelēšanas materiāliem. Neotektonisko struktūru malējie nogabali raksturo Zemes garozas jaunākās deformācijas.

## **2.2. Latvijas seismiskā rajonēšana un tās komponenti**

Seismiskās rajonēšanas mērķis ir noskaidrot seismogēno zonu izvietojumu un to parametru noteikšana, kurā ietilpst zemestrīču maksimālo magnitūdu novērtējums, zemestrīču hipocentru dziļums, zemestrīču atkārtotamības periods vai to rašanās varbūtība noteiktā laika intervālā [Peláez *et al.*, 2005; Eurocode 8, 2004]. Seismiskā rajonēšana balstās uz seismoloģijas pētījumu rezultātiem kompleksā ar citiem datiem, starp kuriem svarīgi ir ģeoloģiskie un ģeofizikālie, tektoniskie, neotektoniskie un ģeodēziskie. Tomēr datu izvēle katra pētījuma vajadzībām ir atkarīga no teritorijas ģeoloģiskās izpētes un izmantotajām metodēm.

### **2.2.1. Seismostatistika**

Zemestrīču statistika ir seismiskās rajonēšanas galvenais izejas materiāls [Kondorskaya, Shebalin, 1980]. Tā kā platformas ir mazāk seismiskas salīdzinājumā ar orogēniem apgabaliem, tad arī zemestrīču statistika par šīm teritorijām ir visai ierobežota. Zemestrīču epicentru blīvums platformās ir zems, bet paši zemestrīču epicentri laukumā izvietoti salīdzinoši nevienmērīgi [Nikulin, 2007c].



Pētījuma teritorijas seismiskās rajonēšanas sākumposmā izveidoja zemestrīču un ar tām identificētu seismisku notikumu katalogu (2.1. pielikums), kas vēlāk tika papildināts ar datiem, aptverot arī blakus esošās teritorijas. Rezultātā katalogā iekļauti dati par zemestrīcēm Latvijā un tai piegulošajās teritorijās, kā arī Baltijas jūras akvatorijā (platums no 51.0° N līdz 60.0° N, garums no 18.0° E līdz 34.0° E). Zemestrīču datu izmantošana par šādu paplašinātu teritoriju ir svarīga divu iemeslu dēļ. Pirmkārt, zemestrīces aiz Latvijas teritorijas robežām varētu būt ģenētiski saistītas ar Zemes garozas tektoniskām struktūrām un daļēji atrasties arī Latvijas teritorijā, tās raksturo kopīga ģeoloģiskas attīstības vēsture un seismiskais režīms.

Otrkārt, lielas reģionāla mēroga ģeoloģiskas struktūras raksturo noteikts seismiskais režīms un zināšanas par to ļauj novērtēt maksimāli iespējamās zemestrīču magnitūdas.

Plašākas informācijas piesaistīšana par Baltijas zemestrīcēm ir nepieciešama, jo tā sniedz iespējas novērtēt Zemes garozas seismotektonisko potenciālu, kā arī, var tikt izmantot dažādos salīdzinājumos un vērtējumos [Rejsner *et al.*, 1991].

Pētījuma gaitā izveidotais katalogs (2.1. pielikums) ir sagatavots pēc publicētās informācijas avotiem ar atbilstošām atsaucēm. Vēsturisko zemestrīču dati iegūti no profesora B.Dossa publikācijām [Doss, 1898, 1905, 1909, 1910, 1911, 1912] un citiem vēlākiem katalogiem [Avotinya *et al.*, 1988; Garetsky *et al.*, 1989; Boborykin *et al.*, 1993; Boborykin *et al.*, 1995; Nikonov, Sildvee, 1986, 1988; Nikulins, 1996]. Informācijas avoti par mūsdienu zemestrīcēm ir Starptautiskā seismoloģijas centra ISC (Edinburga - Ņjuberi) biļeteni, kurus papildina Baltkrievijas un Baltijas valstu zemestrīču katalogi.

Katalogā sniegti galvenie zemestrīču parametri: zemestrīču izcelsmes laiks, epicentra koordinātas, intensitāte epicentrā, hipocentra magnitūda un dziļums. Šie parametri ņemti gan no pirmavotiem, gan no vēlākiem informācijas avotiem, kuros tika precizētas koordinātas, novērtēta satricinājumu intensitāte, kā arī hipocentra magnitūda un dziļuma jeb veikta agrāk zināmo parametru izvērtēšana.

Magnitūda  $M_{LH}$  tika pieņemta par pamatmagnitūdu. Sākot ar 1964.gadu, par aplūkojamā reģiona seismiskuma galvenās informācijas avotu, kalpo ISC katalogi. Šajos katalogos sniegtas magnitūdu  $m_b$  vērtības un tikai par retām  $M_S$  (zemestrīcēm, kuru  $m_b \geq 5.0$ ). Skandināvijas vājām reģionālām zemestrīcēm to novērtēšanai pielietota lokāla magnitūda  $M_L$ .

Magnitūdu unificēšanai izmantoja attiecību starp magnitūdām  $M_{LH}$  un  $m_b$ ,  $M_L$  un  $m_b$ , kas iegūtas Barenca jūras reģionā [Assinovskaya, 1994].

Kopsakarības vienādojums starp  $M_L$  un  $m_b$  iegūts, izmantojot datus par 50 zemestrīcēm:

$$M_{LH} = (0.93 \pm 0.02)m_b + (0.1 \pm 0.1) \quad (2.7)$$

Attiecība starp Skandināvijas zemestrīču lokālo magnitūdu  $M_L$  un magnitūdu  $m_b$ , kas iegūta no datiem par 45 zemestrīcēm:

$$M_L = (0.78 \pm 0.02)m_b + (0.74 \pm 0.11) \quad (2.8)$$

Turpmāk iegūstama sakarība starp  $M_{LH}$  un  $M_L$ :

$$M_{LH} = 1.19(M_L - 0.74) + (0.1 \pm 0.1) \quad (2.9)$$

Tādējādi tika atrisināts magnitūdu unificēšanas jautājums, un to izteiksme tiek realizēta ar  $M_{LH}$ . Līdz ar to iespējams unificēt datus, kas saņemti dažādos laika periodos un no dažādām seismoloģijas aģentūrām.

#### 2.2.2. Zemes garozas seismotektoniskā potenciāla modelēšana

Seismogēno zonu svarīgs raksturojums ir zemestrīces maksimālā magnitūda, tomēr platformas apstākļos, sakarā ar vājo seismisko aktivitāti, ir jāsaskaras ar seismostatistisko datu nepietiekamību. Līdz ar to ir apgrūtināta seismogēno zonu un it īpaši zemestrīces maksimālās magnitūdas parametru novērtēšana. Seismiskās bīstamības zonu noteikšana ar tradicionālām metodēm, kas balstās vispirms uz reprezentablu zemestrīču statistiku, minēto iemeslu dēļ platformu reģionos nav iespējama.

Tradicionālas metodes, piemēram, analogiju metodi [Borisov *et al.*, 1975; Ivanovskaya *et al.*, 1988; Rejsner *et al.*, 1991] izmanto Zemes garozas lieliem masīviem, bet tā nav piemērota lokālu seismiskās bīstamības nogabalu konstatēšanai.

Šādām vajadzībām ir nepieciešami augstākas detalizācijas pētījumi, kas ļautu salīdzināt sīkākus Zemes garozas iecirkņus, kuros var tikt novērtēts seismotektoniskais potenciāls. Tādēļ svarīgs seismogēno zonu parametrs ir maksimālā magnitūda, kas novērtēta pēc seismotektoniskā potenciāla un izteikta magnitūdas vienībās [Rejsner *et al.*, 1991].

Zemes garozas seismotektoniskā potenciāla novērtēšanas metodes [Rejsner *et al.*, 1992, 1993] pamatā ir garozas tipizācija pēc ģeoloģiskām, ģeofizikālām, tektoniskām, neotektoniskām, ģeodēziskām, ģeotermiskām, topogrāfiskām un citām pazīmēm, kas ietekmē Zemes garozas atsevišķu nogabalu enerģētisko piesātinātību [Aptem'ev *et al.*, 1984; Nikulin, 1992].

Mūsu pētījumā par izejas parametriem, kas raksturo Latvijas un piegulošo teritoriju Zemes garozas seismotektoniskai rajonēšanai tika izvēlēti: 1) siltuma plūsmas blīvums; 2) Zemes garozas biezums; 3) reljefa augstums; 4) izostatiskās anomālijas lielums; 5) konsolidētā kristāliskā pamatklintāja virsmas ieguluma dziļums. Pētījumam pieņemti vidējie izejas dati elementārām šūnām izmērā 20' X 30' grādu tīklā, kas atbilst bijušās PSRS Ģenerālštāba 1:100000 mēroga topogrāfiskās kartes vienai lapai. Pieņemtais šūnu izmērs atbilst kontinentālās garozas vidējam biezumam un zemestrīces cilmvietas izmēram ar magnitūdu  $M = 6,0$  [Rejsner *et al.*, 1991].

Seismotektoniskā potenciāla novērtējums ietvēra vairākus posmus. Pirmajā posmā sagatavoja ģeoloģisko un ģeofizikālo pamatinformāciju, kas iekļāva speciāli sagatavotus materiālus – 1:1000 000 vai 1:500 000 mēroga tektoniskās, ģeoloģiskās, neotektoniskās, gravitācijas un magnētisko anomāliju, siltuma plūsmas, Zemes garozas mūsdienu vertikālo kustību un izostatisko anomāliju kartes.

Otrais pētījuma posms bija Zemes garozas tipizācija, balstoties uz klastera analīzi, kuru veica Krievijas ZA Zemes Fizikas Institūta speciālisti [Rejsner *et al.*, 1993]. Tika izdalīti 903 klasteri, t.i., Zemes garozas tipi. Katram tipam atbilst no viena līdz vairākiem desmitiem elementāru šūnu. Zemes garozas tipizāciju noteikta neotektoniskās aktivizācijas zonām Eiropā un Vidusāzijā, Rietumeiropas un daļēji Austrumeiropas platformām, Mizijas, Skitijas un Turānas plātnēm, ietverot piegulošās jūru akvatorijas.

Zemes garozas tipa noteikšana ir pamats Zemes garozas konkrētās šūnas seismotektoniskā potenciāla novērtējumam. Seismotektoniskais potenciāls ir izteikts

magnitūdas skalas vienībās [Reisner *et al.*, 1993; Garetskij *et al.*, 1997] un daļēji koriģēts (pārskats – Safronov O.N., Nikulin V.G., 1998).

Veiktais seismotektoniskā potenciāla novērtējums attiecas uz laukumu, kas ievērojami pārsniedz Latvijas teritoriju. Plašākā Baltijas reģionā ir noticis ievērojami vairāk tektonisko zemestrīču nekā Latvijā. To iekļaušana kopējā analizē sniedz iespējas ekstrapolēt seismotektonisko potenciālu, kas izteikts magnitūdas vienībās. Zemes garozas katram tektoniskajam tipam ir savs seismotektoniskais potenciāls. Ārpus Latvijas noteikto seismotektonisko potenciālu var izmantot arī Latvijā atbilstošas Zemes garozas pastāvēšanas gadījumā. Tādējādi Latvijas teritorijā Zemes garozas seismotektoniskais potenciāls katrai šūnai var būt vienāds ar cita platformas nogabala seismotektonisko potenciālu.

Seismotektoniskās analīzes trešajā posmā Zemes garozas tipizācijas rezultātus salīdzināja ar seismoloģiskiem datiem un aplūkoja atšķirīgas seismotektoniskās situācijas. Katra seismotektoniskā situācija (tektonotips), kā konkrētu elementāru šūnu kopums, ir seismotektoniskā potenciāla kvantitatīvs novērtējums. Šis novērtējums atbilst maksimālajai zemestrīces magnitūdai, kas notikusi kādas šūnas robežās, atbilstot dotajam tektonotipam neatkarīgi no tā izpausmes vietas [Rejsner *et al.*, 1991]. Tas nozīmē, katika noteikta maksimālā zemestrīces magnitūda, kas reģistrēta jebkurā elementārā šūnā un ir piederīga noteiktam tektonotipam.

Secinājumi: Seismotektoniskā potenciāla novērtējuma metodika ir svarīga zemestrīces maksimālo magnitūdu noteikšanai Zemes garozas platformu iecirkņos ar zemu seismisko aktivitāti. Metodika ir izstrādāta Zemes garozas tipu izdalīšanai, kuru raksturo noteikts ģeoloģisko un ģeofizikālo parametru kopums: 1) siltuma plūsmas blīvums; 2) Zemes garozas biezums; 3) reljefa augstums; 4) izostatisko anomāliju lielums; 5) konsolidētā kristāliskā pamatklintāja virsmas ieguluma dziļums.

### 2.2.3. Seismogēno zonu izdalīšana un satricinājuma intensitātes novērtējums

Seismiskā rajonēšana balstās uz kompleksu Zemes garozas dziļuma struktūru un visas litosfēras, kā arī mūsdienu ģeodinamikas, reģionālā seismiskuma, seismotektonikas un inženierseismoloģijas pētījumiem. Tie ietver seismogēno struktūru identifikāciju (iespējamu zemestrīču izcelsmes zonu izdalīšana), seismogēno zonu parametru noteikšanu, no attāluma ģenerējamā seismiskā efekta norimšanas

novērtēšanu, satricinājumu varbūtības noteikšanu un seismiskās bīstamības kartēšanu [Ulomov, 1999].

Seismiskās rajonēšanas karšu galvenais elements ir seismogēnās zonas jeb zemestrīces iespējamais izcelsmes avots. Seismogēno zonu izdalīšanas pamatā ir seismotektoniskā analīze. Savukārt seismogēno zonu noteikšanas kopējā shēma tradicionāli [Buné *et al.*, 1974, 1980a, 1980b] ir šāda: sākumā tiek novērtēts apskatāmās teritorijas un tās atsevišķu iecirkņu tektoniskās aktivitātes kopīgais līmenis, izmantojot neotektonikas un Zemes garozas mūsdienu kustību datus. Pēc tam tiek aplūkots zināmo cilmvietu ģeoloģiskais un ģeofizikālais raksturojums, kā arī novērtēts varbūtēji iespējamo cilmvietu izvietojums. Iegūtos rezultātus salīdzina ar reālā seismiskuma ainu, bet pētījumu beigu posmā noteic seismogēnās zonas un to parametrus.

Seismogēno zonu koncepcijas [Gubin, 1987] pamattēzes balstās uz pieņēmumu, ka spēcīgas zemestrīces rodas ne visur, bet gan likumsakarīgi atbilstoši seismogēnās zonas ģeoloģiskajai uzbūvei un ir saistītas ar aktīviem pārrāvumiem. Visa ģeoloģiskā struktūra izceļas kā aktīva tektoniskā zona, ja uz viena no tās iecirkņiem jau ir notikusi spēcīga zemestrīce. Ģeoloģisko struktūru izmērus katrā zonā un atsevišķās to daļās nosaka zemestrīces cilmvietās maksimāli iespējamās magnitūdas [Riznichenko, 1985; Thatcher, 1972; Iida, 1959; Wyss, Brune, 1968].

Seismogēno zonu izdalīšana ir saistīta gan ar objektīvām, gan subjektīvām grūtībām, kas ir saistītas ar neskaidriem priekšstatiem par seismisko procesu fizikālo dabu, ģeoloģiskās vides īpašībām, dažādu reģionu nelīdzvērtīgu ģeoloģisko un ģeofizikālo izpēti. Daudzviet ilgstošā laikā nav uzkrāta seismostatistika, kā arī nav instrumentālo novērojumu materiālu, turklāt nereti ir atšķirīgi un pat diametriāli pretēji uzskati par Zemes garozas dinamiku.

Vienlaikus esošās seismogēno zonu izdalīšanas metodes būtiski atšķiras pēc pielietojamas iespējām dažādos reģionos. Daudzveidīgo pieeju seismogēno zonu izdalīšanai nosacīti var sadalīt divās lielās metožu grupās: seismoģeoloģiskās (seismotektoniskās) metodes [Petrushevskij, 1955; Rejsner, 1980] un ģeoloģiskās un ģeofizikālās informācijas apstrādāšanas metodes [Rejsner, 1980; Bune' *et al.*, 1974, 1980a].

Izmantojot seismoģeoloģiskās metodes, dod iespējas aptvert plašu ģeoloģisko un ģeofizikālo pazīmju kompleksu, kurā ir dati par reģiona ģeoloģiskās attīstības vēsturi, tektonikas apstākļiem, ievērojot dominējoši jaunāko ģeodinamiku, dziļumu

līdz Moho virsmai, gravitācijas un magnētiskās anomālijas u.c. pazīmes [Buné *et al.*, 1980a].

Katra pazīme atsevišķi ne vienmēr droši liecina par paaugstinātu seismiskumu, un tikai pazīmju kopums vienas un tās pašas ģeoloģiskās struktūras vai reģiona robežās, kā arī seismiskuma klātbūtne tajā formāli konkrēto reģionu ļauj uzskatīt par seismiski bīstamu, bet konkrēto struktūru atzīt par ZC zonu. Ja pēc pazīmju kompleksa, struktūra atbilst ZC zonai, bet zemestrīces tajā nenotiek, tad to pieņemts uzskatīt par potenciālu ZC zonu [Rejsner *et al.*, 1991].

Cita seismogēno zonu izdalīšanas metode ir materiālu apstrādāšanas fraktālā analīze [Turcotte, 1992]. To pielieto dažādās modifikācijās, kas ļauj salīdzināt objektus, pamatojoties uz to uz to kvantitatīvo analīzi [Buné *et al.*, 1980a].

Teritorijas seismiskā rajonēšana pēc seismotektoniskā potenciāla [Rejsner G.I., Rejsner M.G., 1986; Rejsner, Ioganson, 1992, Rejsner *et al.*, 1993] paredz klastera analīzes pielietošanu, izmantojot noteiktu ģeoloģisku, ģeofizikālu un topogrāfisku parametru kopumu: siltuma plūsma -  $Q$ ; Zemes garozas biezums -  $H_M$ ; reljefa augstums -  $H_R$ , izostatisko anomāliju -  $\Delta G$ ; konsolidētā kristāliskā pamatklintāja ieguluma dziļums -  $H_{KF}$ . Visi šie parametri noteic mūsdienu seismotektoniskos apstākļus.

Citi parametri, piemēram, spriedzes lauka atspoguļojums, vides fizikāli-ķīmiskais raksturojums jebvieliskais sastāvs, vāja seismiskā aktivitāte un tamlīdzīgi, ir izmantojami ierobežoti.

Seismoloģiskajai informācijai tradicionāli piesaista zemestrīču katalogus, uz kuru pamata tiek veikta pētāmās teritorijas seismotektoniskā rajonēšana, ar pietiekami detalizētu sadalījumu pseido (kvazi)-viendabīgos iecirkņos, kuru robežās tiek veikta etalonu iecirkņu “seismoloģiskā apmācība”. Pēc tam “apmācības” rezultāti tiek izplatīti uz nogabaliem, kuros agrāk zemestrīces nebija zināmas vai reģistrētas [Rejsner *et al.*, 1991].

Cita pieeja seismiskās bīstamības (seismiskās rajonēšanas) prognožu veikšanai balstās uz Zemes garozu kustību veidu atpazīšanas metodēm. Šo pieeju pielietota arī Austrumeiropas platformas teritorijai, izdalot trīs pazīmju grupas [Ivanovskaya *et al.*, 1988]:

1. Struktūru pazīmes, kas iekļauj magnētiskā lauka anomālijas, Zemes virsmas reljefa augstumu, Moho virsmas dziļumu, konsolidētās garozas bloku dalāmību.

2. Vides pazīmes, pie kurām pieder garozas - mantijas bloku blīvuma diferenciācija, smaguma spēka dziļuma anomālijas, ģeoloģisko formāciju petroblīvums, ģeopotenciāla atvasinājums, smaguma spēka gradienta anomālijas.
3. Dinamiskie parametri, kuriem pieskaitāmi siltuma plūsmas anomālijas, ģeotermiskais gradients, vertikālo kustību ātruma gradients, seismisku garenviļņu robežu ātrums uz *Moho* virsmas, seismiskā aktivitāte.

Seismiskuma pazīmes var būt: *Moho* virsmas dziļums, garozas - mantijas bloku blīvuma diferenciācija, zemes virsmas reljefa augstums, smaguma spēka dziļuma anomālijas, ģeoloģisko formāciju petroblīvuma raksturojums. Visiem reģioniem kā pētījumu izejas seismoloģiskais materiāls ir zemestrīču katalogi. Veicot pētījumus Austrumeiropas platformā, tika izmantoti [Ivanovskaya *et al.*, 1988] tādi ģeoloģiskie un ģeofizikālie parametri kā: 1) magnētiskā lauka anomālijas; 2) zemes virsmas reljefa augstums; 3) *Moho* virsmas dziļums vai Zemes garozas vidējais biezums; 4) konsolidētās Zemes garozas sašķeltība; 5) garozas - mantijas bloku blīvumu diferenciācija, 6) smaguma spēka dziļuma anomālijas, 7) ģeoloģisko formāciju petroblīvums, 8) potenciāla atvasinājums (platuma gradients no ģeopotenciāla garuma atvasinājuma); 9) pievilksanas spēka vertikālā gradienta anomālijas; 10) siltuma plūsmas anomālijas; 11) ģeotermiskais gradients; 12) Zemes garozas jaunāko vertikālo kustību ātruma gradients; 13) seismisko garenviļņu izplatīšanas ātrums uz *Moho* virsmas; 14) seismiskā aktivitāte.

Seismoloģiskajai „apmācībai” tika izmantoti dati par zemestrīcēm ar  $M \geq 3,0$  Austrumeiropas platformai, bet ar  $M \geq 6,0$  dienvidu reģioniem (Krima, Kaukāzs, Kopetdags). Ģeoloģiskie un ģeofizikālie dati par zemestrīču cilmvietu zonām ir kā etaloni seismiskajai rajonēšanai vāji aktīvās platformu teritorijās.

Lai novērtētu  $M_{max}$  ar seismotektoniskās metodes izmantošanas iespējām, pielietoti iepriekšējos gados veikto pētījumu rezultāti [Riznichenko, 1985; Savich, Suvilova, 1988], kas ļautu atklāt korelāciju starp cilmvietas zonas vai lūzuma aktīvās zonas  $L$  garumu, kura robežās notika viens vai dažas zemestrīces, un magnitūdu lielumu  $M$ .

Pētījumā izmantotas divējādas aprēķina formulas [Savich, Suvilova, 1988]. Pirmajā gadījumā apgabaliem ar zemu tektonisku aktivitāti izmantota attiecība starp  $L$  un  $M$ :

$$M_{\max} = 1.8 \lg L + 1.4 \quad (2.10)$$

Otrajā gadījumā – izmantota atkarība, kas tika noteikta Krievijas platformas daļai:

$$M_{\max} = 1.5 \lg L + 1.4 \quad (2.11)$$

kur,  $L$  ir lūzuma aktīvā daļa, kurā notikusi zemestrīce.

Ja aprēķinos izmantoja pārrāvuma dislokācijas segmentu, tad to ierobežoja divi šķērsojoši tektoniskie lūzumi jeb taisns tektoniskā lūzuma iecirknis starp asiem pārliekumiem vai nobīdēm pa lūzuma zonu. Sākotnējā novērtējuma aprēķini  $M_{\max}$  katrai seismogēnajai zonai doti 3.2.2. tabulā.

Tādējādi, seismogēno zonu  $M_{\max}$  tika novērtēts trīs veidos: 1) pamatojoties uz datiem par zemestrīcēm ar maksimāli zināmo magnitūdu; 2) pēc seismotektoniskā potenciāla; 3) uz korelācijas pamata starp dislokācijas aktīvās daļas garumu un zemestrīces magnitūdas lielumu, kas radās uz šī lūzuma (formulas 3.10 vai 3.11). Tika noteikti atsevišķi izņēmuma gadījumi:

1. Ja dažas zemestrīces notika seismogēnās zonas robežās, tad izmantoja zemestrīces maksimālo magnitūdu.
2. Ja seismogēnās zonas (ZC zona) robežās zemestrīces nebija zināmas, tad zemestrīces magnitūda tika pieņemta uz seismotektoniskā potenciāla pamata. Izvēlējās seismotektoniskā potenciāla maksimālas magnitūdas tektonotipiem, kuru šūnas atrodas seismogēnās zonas robežās.
3. Zemestrīces maksimālo magnitūdu noteica pamatojoties uz aprēķina metodēm (formulas 2.10 un 2.11).

Lai  $M_{\max}$  novērtējums pēc iespējas mazāk subjektīvs, vispirms tika ņemts vērā tā maksimālais lielums. Iegūto novērtējums pēc aprēķinātās metodes bija iespējams labāk korelēt (pie  $M \geq 4,0$ ) ar reālās  $M_H$  zemestrīces maksimālo lielumu un ar seismotektonisko potenciālu, kas izteikts magnitūdas vienībās [Rejsner *et al.*, 1991; Rejsner, Ioganson, 1992].

Galīgais  $M_{\max}$  novērtējums katrai seismogēnajai zonai (ZC zonas, potenciālas ZC zonas vai seismotektoniskās zonas) tika noteikts, salīdzinot trīs magnitūdu tipus un izvēloties maksimālu magnitūdu, kas atbilst reāli iespējamai zemestrīcei.



Savukārt seismogēno zonu garums tika noteikts pēc tektoniskās  $L_P$  dislokācijas garuma.

Seismogēnās zonas platums tika noteikts pēc zināmā [Riznichenko, 1985] cilmvietas parametru aprēķina, t.i., pie seimogēnās zonas centrālās līnijas tika pieskaitīts cilmvietas zonas divkāršotais rādiuss:

$$\lg R = -1.67 + 0.42M \quad (2.12)$$

kur,  $R$  - cilmvietas zonas rādiuss (km).

Tomēr jāņem vērā, ka vairums pārrāvumu ir pieņemti kā seismogēnās zonas, nezinot to morfoloģisko raksturs visā garumā.

Zemestrīces rašanās dziļums katrai seismogēnajai zonai noteikts, balstoties uz: 1) ģeoloģisko uzbūvi (vairumā gadījumu spēcīgas zemestrīces pārsvarā notiek konsolidētajā kristāliskajā pamatklintājā); 2) dziļumu, kurā pārsvarā rodas spēcīgas zemestrīces līdzīgos tektonisko struktūru apstākļos citās senās platformās; 3) cilmvietas vertikālais izmērs, ja pārrāvums neiznāk zemes virspusē, kas ir novērojams pie garozas zemestrīcēm ar  $M \leq 5.5$  un senu platformu apstākļos.

Minētā pieeja ļāva katrai konkrētajai seismogēnajai zonai izvēlēties ticamākos lielumus, - minimāli iespējamo zemestrīces izcelsmes dziļumu pie zemestrīču maksimālas magnitūdas  $M_{max}$

Seismiskās rajonēšanas beigu stadijā pētījumam ir divi pamata posmi: seismiskā efekta novērtējums no seismogēnām zonām un seismiskās bīstamības varbūtība jeb seismisku satricinājumu atkārtotamība. Seismiskā efekta novērtējums veikts katrai seismogēnajai zonai un balstās uz pieņēmumu, ka jebkurā seismogēnās zonas punktā var notikt zemestrīce ar maksimālu magnitūdu un minimālu dziļumu, kas piemīt šai zonai. Tika ņemts vērā, ka seismiskā satricinājuma novērtējumam ir jānovērtē grūntis, -šajā gadījumā izvēloties vidējas kategorijas grūntis.

Seismoloģiskie pētījumi Austrumeiropas platformas ziemeļrietumu daļā ir nepietiekami gan skaita, gan arī detalitātes ziņā, jo nav izpētīta seismisko viļņu enerģija un tās izmaiņas līdz ar attāluma palielināšanos. Seismiskās enerģijas samazināšanās (slāpēšana jeb izdzišana) ir viens no fundamentāliem pamatiem seismiskās iedarbības pakāpes novērtējumam. Tādēļ pētījumā izmantota makroseismiskā lauka [Shebalin, 1974] vienādojums ar vidējiem koeficientiem, kas noteikti pasaulē:

$$I_i = bM - v \lg \sqrt{(\Delta^2 + h^2) + c} \quad (2.13)$$

kur,  $b$ ,  $v$ ,  $c$  - konstantes (vidēji  $b = 1.5$ ;  $v = 3.5$ ;  $c = 3.0$ ).

Pēc tam vienādojumā 2.13 ieliekot konstanšu skaitliskās nozīmes un pārveidojot relatīvi epicentrālā attālumus, iegūst:

$$\Delta = (10^{2(1.5M+3.0-I_i)/3.5} - h^2)^{1/2} \quad (2.13a)$$

Izmantojot šādu pieeju, palielinās atbilstošo ballu zonas laukums, tomēr reāli dabā garozas zemestrīču izoseistām senu platformu apstākļos ir izstiepta elipses veida forma. Tas ir papildu faktors, kas būtu pētāms nākotnē.

Seismiskās rajonēšanas beigu posmā tiek veikta seismisko notikumu rašanās bīstamības vai zemestrīču atkārtotamības varbūtības novērtējums.

Seismiskajiem satricinājumiem, kuru intensitāte pārsniedz noteiktu virszemes svārstību līmeni, atkārtotamības periodu var noteikt kā apgriezto lielumu attiecīgā gada izcelsmes varbūtībai. Tādējādi atkārtotamības periods [Corral, 2006] (*returned period*) ir ekvivalents iespējam pārsniegt noteikta līmeņa grunts kustības  $z$ , ierobežotā laikā  $T$ .

$$\text{Atkārtotamības periods} = -T / (\ln(1 - P(Z > z))) \quad (2.14)$$

kur,  $P(Z > z)$  ir  $T$  izvēlēta laika perioda pārsniegšanas varbūtība.

Secinājumi: Latvijas seismiskā rajonēšana veikta, izmantojot tradicionālās seismotektoniskās analīzes metodes, novērtējot pārrāvumu dislokācijas un seismogēnās zonas mūsdienu tektoniskās aktivitātes kā arī Zemes garozas seismotektonisko potenciālu. Šāda pieeja nodēvēja platformas apstākļos ar zemu seismiskās aktivitātes līmeni un nelielu seismostatistisko datu apjomu. Zemestrīču radītā satricinājuma pakāpes novērtējums, kas seismogēnās zonās ir fiksēts vai tiek prognozēts nākotnē, ir veikts, izmantojot makroseismiskā lauka vienādojumus, kuros tiks iestrādāti attiecīgo lielumu pasaules vidējie koeficienti.

### 2.3. Seismiskā režīma novērtējums

Jebkura apgabala seismiskais režīms ir iecirkņa zemestrīču kopums, kas aplūkojams telpā un laikā. Starp zemestrīcēm var pastāvēt savstarpēja saikne, attiecībā uz Zemes garozas noteiktām struktūrām ar kopīgu attīstības vēsturi un ģeoloģisko

uzbūvi. Ievērojama daļa lielo reģionālu tektonisku struktūru (Baltijas sineklīze, Latvijas sedliene, Baltijas vairoga dienvidu nogāze) un neotektonisku elementu (Lietuvas - Igaunijas monoklināle, Žemaitijas - Kurzemes augstiene, Baltija grābenu sistēma) atrodas ne tikai Latvijā, bet arī ārpus tās robežām. Tādēļ bija nepieciešams veikt plašākas teritorijas vispārīgā seismiskā režīma aplūkošanu un analīzi.

Baltijas reģiona zemestrīču instrumentālie dati ir ticamāki nekā ziņas par vēsturiskām zemestrīcēm, jo neprecīzi noteiktas to epicentru koordinātas. Jāņem vērā, ka instrumentālo pētījumu periodā (1964.g. – 1995.g.) nebija pārtraukumu seismiskās informācijas plūsmā. Tādēļ Baltijas teritorijas seismiskā aktivitāte ir novērtēta, pamatojoties uz *Catalogue of earthquakes in Northern Europe since 1375 (Fencat)* datiem (<http://www.seismo.helsinki.fi/bul/index.html>), kas izveidota Helsinku Universitātes Seismoloģijas institūts (HUSI). Saskaņā ar šiem datiem laika posmā no 1375.gada līdz 2004.gadam pētītajā teritorijā ir notikušas 42 zemestrīces. Analīzei tika izmantota informācija par 18 zemestrīcēm, kuras bija instrumentāli reģistrētas Baltijas reģionā kopš 1976.gada. Šo zemestrīču magnitūdu diapazons ir no 1.2ML līdz 5.0ML, savukārt hipocentra dziļums noteikts tikai 12 zemestrīcēm. Seismoaktīvā slāņa hipocentru dziļums no zemes virsmas ir no 0 km līdz 13 km. Tas ir neviennozīmīgi, jo poļu seismologu [Wiejacz, Debski, 2005] noteiktais hipocentra dziļums bija 16 km (11:05:02 GMT) un 20 km (13:32:31 GMT). Baltijas reģiona zemestrīču katalogs, kas pamatvilcienos satur instrumentālus datus ir atspoguļots 2.3.ā.

### 2.3. tabula. Baltijas reģiona zemestrīču katalogs

( $\varphi = 53.7^{\circ}\text{N} - 59.6^{\circ}\text{N}$ ;  $\lambda = 19.25^{\circ}\text{E} - 28.2^{\circ}\text{E}$ ) pēc Fencat datiem no 1976.g. līdz 2004.g.

Nr.	Datums	Laiks	Lat.	Lon.	H, km	M	I	Ref
1	19761025	083945	59.26	23.39	10	4.7 MB	VI+	KON
2	19761025	0849	59.30	23.50		3.5	IV+	NIK*
3	19761025	0907	59.30	23.50		3.0	III	NIK*
4	19761108	101707	59.33	23.47		3.5	IV+	ANA
5	19761122	121442.5	59.30	23.50	13	2.5	III	NIK*
6	19790724	160246.4	55.45	19.70		2.7 ML		HEL
7	19800109	012452.4	58.91	22.99		2.4 ML		HEL
8	19810622	192737.7	59.45	22.66	7	2.6 ML	III	HEL
9	19820602	075817.7	57.40	21.94		2.3 ML		HEL
10	19870408	1921	58.40	26.10	7	3.5	IV	NIK*
11	19880429	153652	56.97	19.53	1	3.3 MC		BER
12	19880429	154122.7	56.32	21.40	7	3.1 MC		BER
13	19940414	111958.8	54.70	19.36	0	2.5 LN		BER
14	20030112	114347.6	59.40	23.42	10	1.2 ML		HEL

15	20040128	154000.2	58.79	23.85	10	1.6 ML		HEL
16	20040525	050048.4	54.59	19.36	0	2.8 LN		BER
17	20040921	110504.8	54.77	20.40	10	4.8 ML		HEL
18	20040921	133231.9	54.83	20.20	10	5.0 ML		HEL

*Piezīmes. Datums – gads, mēnesis, diena; Laiks - stunda (GMT), minūte, sekunde; Lat. – ģeogrāfiskais platumis; Lon. – ģeogrāfiskais garums; H – hipocentra dziļums, km; M – magnitūda un tās tips: MB – magnitūda pa tilpuma viļņiem; ML – lokāla magnitūda; MC – pēc viļņu koda noteikta magnitūda; LN – lokāla magnitūda pēc NORSAR datiem; I – intensitāte epicentrā (MSK-64 skala), Ref – informācijas pirmavots (KON – Kondorska N.V., NIK – Nikonovs A.A., ANA – Anaņins I.V., HEL – Helsinku Universitātes Seismoloģijas institūts, BER – Bergenas Universitāte), \* – makroseismiskā informācija.*

Seismiskā režīma parametri iekļauj zemestrīces magnitūdu un biežumu atkarības novērtējumu, zemestrīces maksimālo magnitūdu, seismisko aktivitāti u.t.t. Kā viens no seismiskās aktivitātes svarīgākajiem raksturlielumiem ir magnitūdas un biežuma atkarība [Båth, 1979; Riznichenko, 1985]. Skaitliski nelielā statistika par Baltijas reģiona zemestrīcēm ļauj ļoti aptuveni novērtēt šo atkarību. Tā kā Baltijas zemestrīču magnitūdas ir noteiktas pēc dažādiem viļņu tipiem, tās tika pielīdzinātas unificētājam veidam [Nikulīn, 2007c.], t.i., magnitūdas pārrēķinātas virspusējiem viļņiem. Savukārt lai novērtētu zemestrīču sadalījumu pēc izmēriem (magnitūdām), izmantots Gutenberga - Rihtera magnitūdu – frekvenču likums [Gutenberg, Richter, 1942, 1954, 1956]:

$$\log N = a - bM \quad (2.15)$$

kur,  $N$  - zemestrīču skaits ar magnitūdu  $\geq M$ ,  $a$  un  $b$  - konstantes.

Par  $M$  magnitūdu pieņemta magnitūda virsmas viļņiem  $M_s$ , konstante  $a$  nosaka magnitūdas un biežuma atkarības sākuma ordinātu, bet konstante  $b$  ir tās leņķveida koeficients. Šajā gadījumā taisnes slīpuma lielāks leņķveida koeficients liecina par intensīvāku seismoģenēzes procesu, t.i., par biežāku zemestrīču iespēju.

Detalizēti ir izpētīta zemestrīču magnitūdu un biežumu atkarība Baltijas reģiona piekrastes daļai [Nikulīn, 2007c], kur galvenokārt atrodas mūsdienu zemestrīču epicentri. Analīzē nav iekļauta 1987.gada zemestrīce, jo tā notika Baltijas reģiona sauszemes daļā. Rezultātā pētījumam izmantotas 17 zemestrīces (no 2.5.tabulas), bet

ierobežotās statistikas dēļ šajā pētījumā magnitūdu intervāls tika pieņemts vienāds ar magnitūdas skalas 1. vienību.

Zemestrīču magnitūdu un biežumu atkarība ir izpētīta dažādu izmēru teritorijām un dažādiem laika periodiem un to rezultāti norāda [Riznichenko, 1985], ka objektīvāks ir seismiskās aktivitātes novērtējums, t.i., zemestrīču skaits uz 100 km<sup>2</sup> gadā, kuru var noteikt pēc formulas 2.16:

$$A_i = N_i / (10ST_i) \quad (2.16)$$

kur,  $A_i$  - seismiskā aktivitāte noteiktai magnitūdai  $i$ ;  $N_i$  - magnitūdu un zemestrīču skaits,  $S$  - laukums tūkst. km<sup>2</sup>;  $T_i$  - analizējamā laika intervāls gados.

Zemestrīces maksimāli iespējamā magnitūda ir svarīgs seismiskā režīma raksturojums. Tā ir novērtēta diviem nogabaliem: jūras piekrastes zonai un neotektoniskajai struktūrai – Lietuvas - Igaunijas monoklinālei [Nikuļins, 1998].

Secinājumi: Seismiskā režīma parametru raksturojums ir sniegts lielām neotektoniskām struktūrām, kuru robežās atrodas Latvijas teritorija. Objektīvākam novērtējumam izmantoti pēdējo 28 gadu laikā (1976.g. – 2004.g.) notikušo 42 zemestrīču dati. Vairums no tām bija instrumentāli reģistrētas. Seismiskā režīma raksturojumam ir izmantota zemestrīču magnitūdu un biežuma sakarības novērtējuma metodika un ir konstatēts, ka tā ļauj vērtēt seismisko aktivitāti pētījuma teritorijā.

### **3. REZULTĀTI**

Šajā nodaļā aprakstīti Latvijas seismiskās rajonēšanas, seismotektonisko apstākļu, Latvijas Zemes garozas seismotektoniskā potenciāla un Baltijas reģiona seismiskā režīma novērtējuma rezultāti. Turklāt apskatīti un analizēti daži seismiskuma ģeoloģiskie un ģeofizikālie priekšnoteikumi: izostāzijas rādītājs, mūsdienu vertikālās un neotektoniskās kustības, Zemes garozas kristāliskā pamatklintāja sašķeltība, kā arī litosfēras un Zemes garozas ģeoloģiskās uzbūves īpatnības.

Īpaša loma veltīta Zemes garozas izostatiskā stāvokļa izpētei kā perspektīvākam indikatoram, kas norāda uz kompensācijas kustību potenciālo iespējamību, kuras var pavadīt atsevišķu Zemes garozas apgabalu seismotektonisko aktivitāte. Piedāvāts Zemes garozas attīstības modelis apgabaliem, raksturojot Zemes garozas izostatiskā stāvokļa rādītāju anomālu vērtību.

Pētījumu rezultātā ir noteiktas korelatīvas atkarības un likumsakarības starp Latvijas Zemes garozas stāvokļa izostatiskajiem rādītājiem, ģeoloģiskajiem un ģeofizikālajiem parametriem, aprēķinot un novērtējot seismisko ietekmju un seismiskā režīma parametrus. Pamatojoties uz ģeoloģiskajiem, ģeofizikālajiem un ģeodēziskajiem datiem, piedāvāts ģeodinamisko apstākļu attīstības scenārijs Latvijas ziemeļaustrumiem.

Pētījumu rezultāti ilustrēti ar plašu grafisko materiālu, galveno vietu atvēlot secinājumiem.

#### **3.1. Latvijas seismiskuma ģeofizikālie un ģeoloģiskie priekšnoteikumi**

Seismiskais process ģeoloģiskajā vidē nereti šķiet nejaušs un haotisks. Tomēr patiesībā zemestrīces sagatavošana un realizācija ir pietiekami determinēta parādība noteiktos ģeoloģiskajos, tektoniskajos un deformācijas apstākļos. Tā rodas Zemes garozas novājinātajās zonās (garozas zemestrīču gadījumā), kas ir robeža starp stiprākiem monolītiem blokiem. G. Gamburcevs nosauca šīs novājinātās zonas vai aktīvos dziļos lūzumus par “seismiskajām šuvēm”.

Galvenās seismiskuma pazīmes ir jaunākās intensīvās, kontrastainās kustības, kas izsauc deformāciju Zemes garozā un tās virspusē [Nikolaev, 1988]. Šīs parādības un to sekas tiek fiksētas ar ģeoloģiskajām, ģeomorfoloģiskajām, ģeodēziskajām un ģeofizikālajām metodēm. Parādība, kas fiksēta ar vienu atsevišķu metodi, nevar būt par seismiskuma bezierunu pierādījumu, mūsdienās tikai parādību virkne, var būt par pamatu seismiskās bīstamības noteikšanai.

Seismiskuma diagnosticēšanā galvenā loma ir Zemes garozas un augšējās mantijas tektoniskajiem lūzumiem, jo arī zemestrīces cilmvietas asociējas ar tektonisko lūzumu. Pēdējais visbiežāk tiek interpretēts kā ģeoloģiskās vides viendabīguma pārrāvums [Anderson, Whitcomb, 1973; Brady, 1974; Mogi, 1974; Stuart, 1974; Kostrov, 1975; Myachkin *et al.*, 1975a; Miachkin *et al.*, 1975b; Myachkin, 1978].

Ģeoloģiskās vides viendabīguma pārrāvums rodas bīdes deformāciju rezultātā. Deformācija savukārt izraisa sprieguma uzkrāšanās visos lielajos Zemes garozas un augšējās mantijas struktūrelementos (blokos). Sprieguma izlāde, t.i., atbrīvošanās no tā, notiek visā blokā, kas pakļauts plikatīvā vai disjunktīvā tipa deformācijai. Rezultātā notiek pilnīga vai daļēja spriedzes atbrīvošana pārrāvuma laukumā. Pašu spriedzes palielināšanos pavada vides ģeoloģisko un ģeofizikālo rādītāju izmaiņas vai novirzes no vidējiem, stabiliem rādītājiem. Tieši šādu noviržu konstatēšanas mērķiem izstrādāti visai atšķirīgi ģeoloģiskie un ģeofizikālie seismiskuma kritēriji.

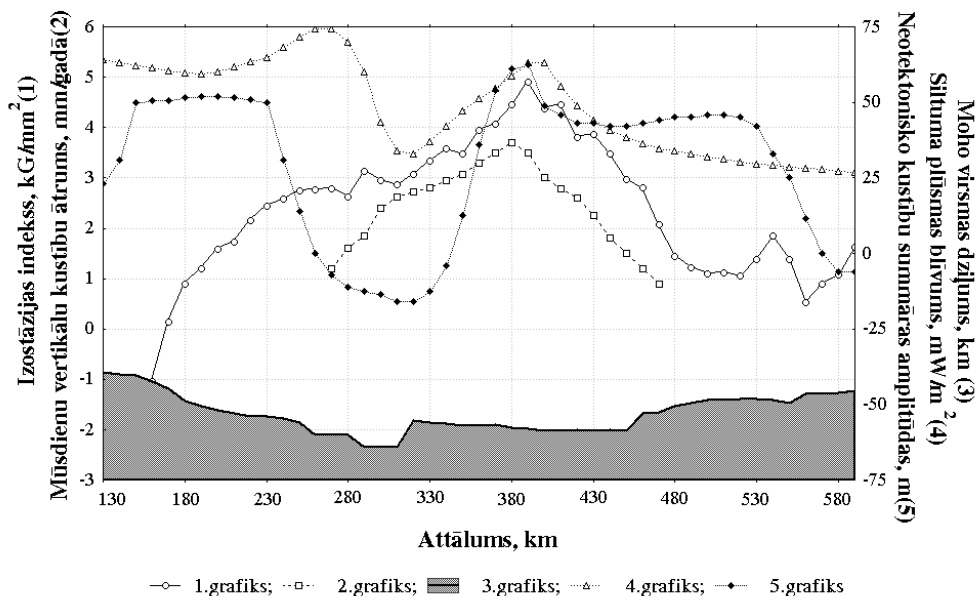
Neskaitāmi pētījumi, kas tika veikti ar mērķi noteikt seismiskuma ģeoloģiskos un ģeofizikālos kritērijus, galvenokārt balstās uz dažādu parametru telpisko piesaisti paaugstinātās neotektoniskās aktivitātes zonām. Tādēļ ir nepieciešams atdalīt mobilās zonas no salīdzinoši stabiliem un mierīgiem Zemes garozas iecirkņiem, kas ļautu lokalizēt pētījumus. Šo jautājumu risināšanai pielieto seismoloģeoloģijas, seismotektonikas u.c. metodes [Nikolaev, 1988].

Ar informācijas datu matemātiskās apstrādes metodēm var noteikt korelācijas likumsakarības starp dažādiem ģeoloģiskajiem un ģeofizikālajiem parametriem.

### 3.1.1. Zemes garozas izostatiskais stāvoklis

Zemes garozas izostatiskā stāvokļa rādītāja ( $\Delta m$ ) modelēšana ļāva iegūt pietiekami informatīvus parametrus, kas kopā ar citiem ģeoloģiskajiem,

ģeodēziskajiem un ģeotermiskajiem parametriem raksturo ģeodinamiskos apstākļus un ar tiem saistīto potenciālo seismisko aktivitāti.



### 3.1.att. Ģeofizikālo, ģeoloģisko un ģeotermisko parametru izmaiņas gar DSZ profilu

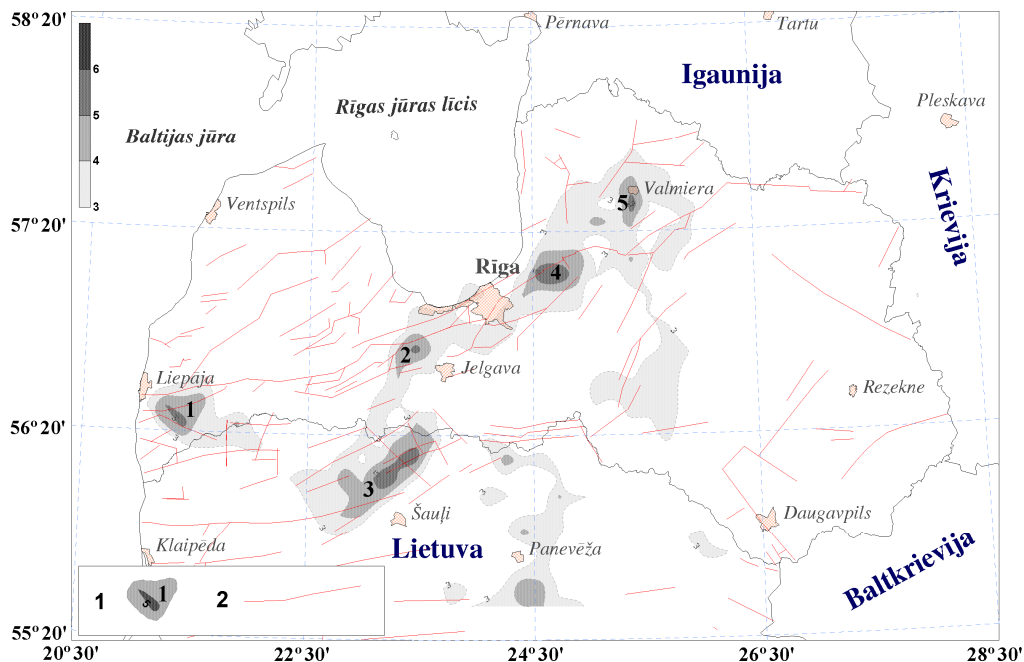
#### Sovetska – Rīga – Kohtla-Jerve

Apzīmējumi: 1 = izostatiskais Zemes garozas rādītājs  $\Delta m$  ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ ); 2 = mūsdienu vertikālo kustību ātrums ( $\text{mm}/\text{gadā}$ ); 3 = Moho virsmas dziļums ( $\text{km}$ ); 4 = siltuma plūsmas blīvums ( $\text{mW}/\text{m}^2$ ); 5 = summārā neotektonisko kustību amplitūda ( $\text{m}$ ).

Zemes garozas izostatiskā stāvokļa rādītājs  $\Delta m$  mainās no  $-0,07$  līdz  $+5,94$   $\text{kg}/\text{mm}^2$ , vienmērīgi pieaugot gar dziļās seismiskās zondēšanas (DSZ) profilu no 130 km līdz 390 km (3.1.att.), t.i., ziemeļaustrumu virzienā. Absolūto maksimumu – 5.0  $\text{kg}/\text{mm}^2$   $\Delta m$  sasniedz 390. kilometrā, bet pēc tam strauji samazinās.

380 km – 400 km rajonā maksimālos lielumus sasniedz arī citi parametri. Tā mūsdienu vertikālās kustības ātrums (skat. 3.1.att., 4.grafiku) Ieriķu apkārtnē ir 3,5  $\text{mm}/\text{gadā}$ . Summārās mūsdienu neotektonisko kustību amplitūdas vērtība – ap 57 m, bet siltuma plūsmas blīvums pie 400 km sasniedz apmēram 57 – 58  $\text{mW}/\text{m}^2$ .





**3.2.att. Latvijas Zemes garozas izostatiskā stāvokļa rādītāju sadalījums**

*Apzīmējumi: 1 – izostatiskā stāvokļa rādītājs; 2 – lūzumi nogulumiežu segā.*

Visaugstākais korelācijas koeficients ( $R=0.8$ )  $\Delta m$  ir mūsdienu Zemes garozas vertikālajām kustībām [Nikulin, 1999], par ko var liecināt likumsakarība starp šiem parametriem. Izostatiskā līdzsvara izjaukšanas kompensāciju pavada mūsdienu Zemes garozas pacēlums, izraisot deformāciju. Izostatiskā līdzsvara lielumu sadalījums Latvijas teritorijā ir sniegts 3.2. attēlā.

Pētījums ļāva izdalīt piecus Zemes garozas iecirkņus [Nikulin, 1999] ar pozitīvu izostatiskā Zemes garozas stāvokļa  $\Delta m$  rādītāju. Tādi ir: 1 – Bārta (uz dienvidrietumiem no Liepājas); 2 – Dobeļe (uz ziemeļaustrumiem no Jelgavas); 3 – Kuršēnai-Jonišķi (uz dienvidiem no Jelgavas, Lietuvas teritorijā, Latvijas robežas tuvumā); 4 – Inčukalns (ziemeļaustrumos no Rīgas); 5 – Valmiera (pilsētas tuvumā). Visiem šiem iecirkņiem raksturīgi Zemes garozas izostatiskā stāvokļa rādītāji 5 – 6  $\text{kg/mm}^2$ . Vēl viena  $\Delta m$  pozitīvā anomālija (apmēram 4  $\text{kg/mm}^2$ ) atrodas Lietuvā uz dienvidiem no Paņevēžas.

Līdzās pozitīvajām Zemes garozas izostatiskā stāvokļa vērtībām, noteiktas arī  $\Delta m$  negatīvās vērtības. Tās konstatētas Rucavas – Laukjamis, Palangas – Kretingas, Ziemupes un Oglaines rajonā. Maksimālā negatīvā  $\Delta m$  vērtība ir 0,97  $\text{kg/mm}^2$ . Tomēr

novērtējot iespējamo kļūdu,  $\Delta m$  var sasniegt  $\pm 2.5 \text{ kg/mm}^2$ , līdz ar to Zemes garozas negatīvās izostatiskā stāvokļa vērtības atrodas aprēķinu kļūdas robežās un tāpēc mūsu pētījumā turpmāk netiek analizētas.

Pozitīvo Zemes garozas izostatiskā stāvokļa vērtību josla ir orientēta ziemeļaustrumu virzienā no Liepājas līdz Valmierai; svarīgi atzīmēt, ka tā praktiski sakrīt ar Liepājas – Rīgas – Pleskavas lūzumu zonu.

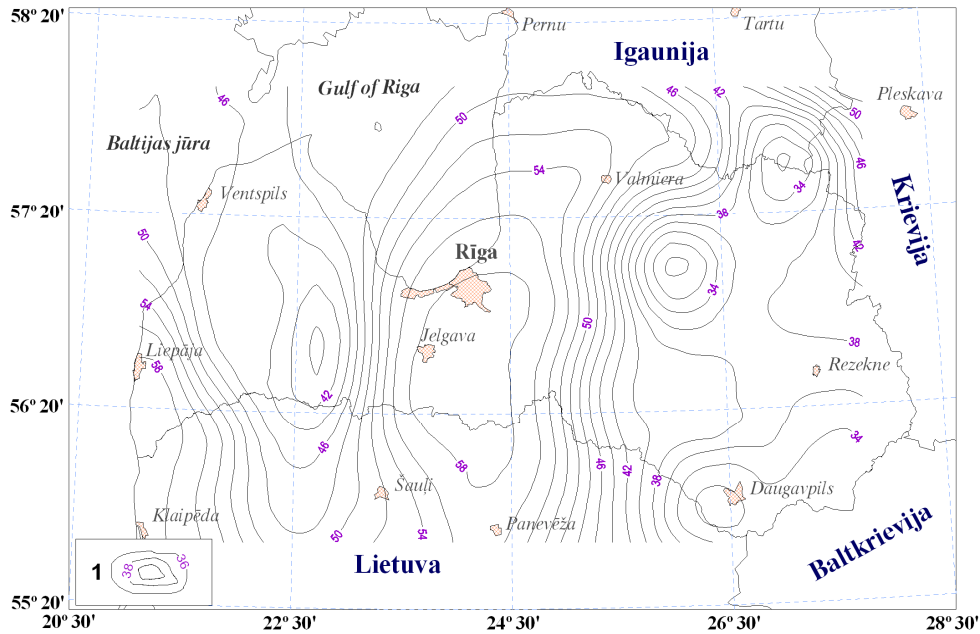
Kuršēnai – Jonišķi pozitīvā  $\Delta m$  anomālā zona arī ir orientēta ziemeļaustrumu virzienā. Raksturīgi, ka tieši šāda orientācija ir arī Latvijas Zemes garozas paaugstinātas enerģētiskās piesātinātības zonai [Nikuļins, 1992]. Šajā pētījumā Zemes garozas enerģētiskās piesātinātības novērtējums veikts izmantojot vidējo ģeotermisko gradientu ( $\text{grad}Q$ ), mūsdienu vertikālo kustību ātrumu ( $V$ ), kristāliskā pamatklintāja ieguluma dziļumu ( $H_F$ ), kā arī reģionālās gravitāciju anomālijas.

### 3.1.2. Zemes garozas un litosfēras biezums

Lai noteiktu dominējošo procesu raksturu un Zemes garozas attīstības tipu ir veikta ģeoloģisko, tektonikas un ģeodēzisko datu analīze. Konkrētāk, izmantoti dati pār neotektonisko un mūsdienu kustību, un arī Zemes garozas un litosfēras biezumu novērtējumi [Nikuļins, 1999].

Daudzkārtējā korelācija starp Zemes garozas pētījumu DSZ profila Sovetska – Rīga – Kohtla-Jerves un citiem ģeofizikāliem, ģeotermiskajiem un ģeodēziskajiem datiem ļāva novērtēt Zemes garozas biezumu Latvijā (3.3.zīm.). Pēc modelēšanas (V.Nikuļins, 1998, pārskats) rezultātiem Zemes garozas pamatnes (Moho robežas) dziļums Latvijā un piegulošajās teritorijās svārstās no 29,6 km līdz 59 km. Moho robežas noteiktais vidējais dziļums ir 46,6 km. Tas vidēji atbilst Zemes garozas pamatnes iegulas dziļumam ( $40 \pm 8$  km) senajās platformās, kas vecākas par 2,2 mljrd. gadu (Austrālijas, Antarktīdas, Āfrikas – Arābijas, Austrumeiropas, Austrumķīnas, Indijas, Ziemeļamerikas, Sibīrijas - pēc Levi un Lysak. [Levi, Lysak, 1986].

Saskaņā ar V.Nikuļina datiem (V.Nikuļins, 1998, pārskats), Zemes garozas minimālais biezums (apmēram 30-32 km) attiecināms uz trim iecirkņiem: Daugavpils tuvumā, uz ziemeļaustrumiem no Cesvaines un uz ziemeļiem no Alūksnes. Saldus – Brocēnu apkārtnē Zemes garozas biezums sasniedz ap 40 km. Mohorovičiča (Moho) robežas vislielākais dziļums ir konstatēts Latvijas centrālajā daļā (Zemgalē), starp Rīgu ziemeļos un Jonišķe pilsētu Lietuvas dienvidos, kur tas sasniedz 58 km.



**3.3.att. Mohorovičiča virsmas dziļums Latvijā un  
piegulošajās teritorijās, pēc V.Ņikuļina 1998.gada datiem.**

Apzīmējumi: 1 – Moho virsmas izohipsas, km.

Lai izprastu Zemes garozas dinamiku, it īpaši tās aktīvākajos iecirkņos, kā arī tālākai attīstības virzības analīzei, novērtēja garozas biezuma izmaiņu horizontālo gradientu  $hor\ grad\ \Delta M$  īpaši kontrastainiem Zemes garozas iecirkņiem [Buné *et al.*, 1980d; Gorshkov, Krestnikov, 1980].

Noteikta virkne Zemes garozas nogabalu ar paaugstinātu Zemes garozas horizontālo gradientu  $hor\ grad\ \Delta M$ . Tādiem pieskaitāmi:

1. nogabals starp Nīgrandi un Duniku. Tur  $hor\ grad\ \Delta M$  sasniedz 0,32 km/km (garozas biezums palielinās par 300m uz katru horizontālā attāluma kilometru).
2. nogabals starp Brocēniem un Jelgavu, kur  $hor\ grad\ \Delta M$  sasniedz 0,35 km/km.
3. nogabals starp Daugavpili un Lietuvas pilsētu Jonišķeli, kur  $hor\ grad\ \Delta M$  ir 0,24 km/km.
4. nogabals starp Cesvaini un Mālpili. Tur  $hor\ grad\ \Delta M$  sasniedz maksimālo vērtību Latvijā, t.i., 0,4 km/km.

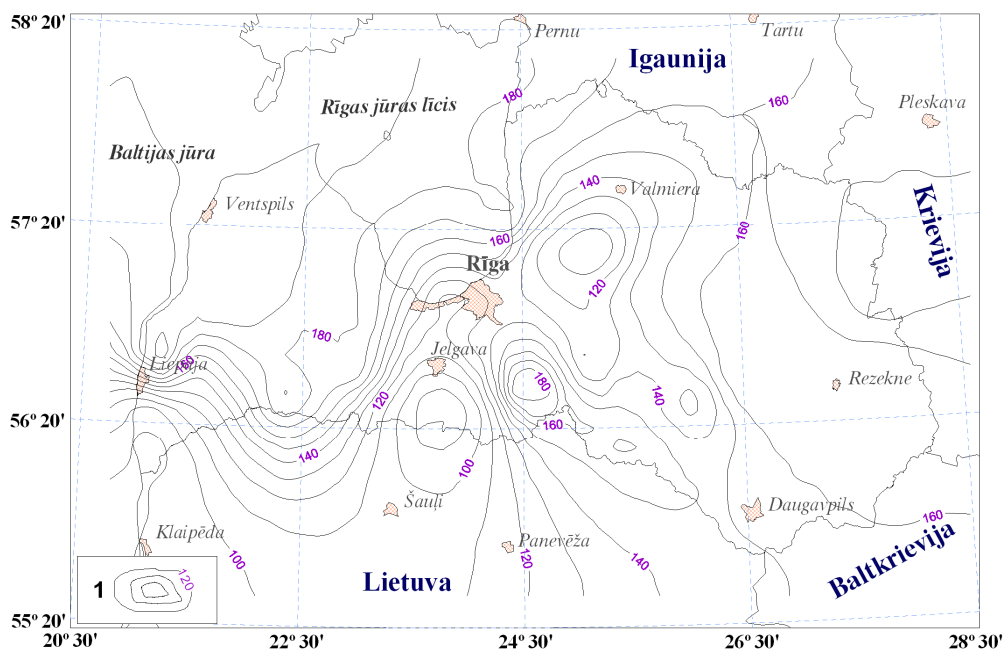
5. nogabals ir subparalēli orientēts un atrodas starp Veclaiceni un Valgu, kur *hor grad*  $\Delta M$  sasniedz 0,38 km/km.

6. nogabals pie Ziemeriem, tas turpinās Pleskavas ezera virzienā. Tur *hor grad*  $\Delta M$  sasniedz maksimālo vērtību 0,43 km/km.

Litosfēras un Zemes garozas biezumu attiecība, ņemot vērā Zemes garozas izostatisko stāvokli, ļauj izprast dinamiskos procesus. Tieši tas bija litosfēras biezuma analīzes galvenais mērķis. (3.4.att.).

Litosfēras minimālais biezums (90 km) ir konstatēts Elejas ģeotermālās anomālijas robežās, bet otrs litosfēras samazināta biezuma nogabals atrodas Latvijas dienvidrietumos (Nīcas – Rucavas apkārtnē) un turpinās meridianālā virzienā Lietuvas teritorijā (iecirknis - Klaipēda).

Visbiezākā litosfēra (vairāk par 200 km) konstatēta Liepājas tuvumā, Medzes un Vērgales pagastu teritorijā, kur tās biezuma pieauguma tendence vērojama ziemeļrietumu virzienā. Kurzemes lielākā daļa atrodas virs biezas litosfēras (160-190 km), vēl viens nogabals ar biezu litosfēru (180 km) ir apzināts starp Bausku un Jaunjelgavu (Valles, Birzgales, Bārbeles, Stelpes un Vecumnieku pagasta robežās).



3.4. att. Litofēras biezums Latvijā un tai piegulošajā teritorijā.

Apzīmējumi: 1 – litosfēras pamatnes izohipsas, km

Apskatot litosfēras dinamikas procesus, īpaša uzmanība jāpievērš nogabaliem ar litosfēras pamatnes izohipsu paaugstinātu horizontālo gradientu. Augsts horizontālais gradients litosfēras pamatnē var liecināt par iespējamo litosfēras plātnes izliekumu un par šajā dziļumā iespējamajiem dziļlūzumiem augšējā mantijā.

Veiktais pētījums ļauj Latvijas teritorijā izdalīt 4 nogabalus ar litosfēras paaugstināta biežuma horizontālā gradienta vērtībām. Tādi ir:

1. nogabals atrodas starp Nīcu un Vērgali. Tur litosfēras biežuma izmaiņu horizontālais gradients *hor grad*  $\Delta L$  ir 2,6 km/km. Ziemeļu virzienā litosfēras biežums tur pieaug par 2,6 km uz katru horizontālā attāluma kilometru.

2. nogabals atrodas starp Eleju un Dobeli, kur *hor grad*  $\Delta L$  ir 2,2 km/km.

3. nogabals atrodas starp Bausku un Valli, *hor grad*  $\Delta L$  sasniedzot maksimālo lielumu Latvijā – 3,2 km/km.

4. nogabals atrodas starp Siguldu un Liepupi, *hor grad*  $\Delta L$  sasniedz 2,0 km/km.

Litosfēras biežums Latvijā un tai blakus esošajās teritorijās mainās no 81 km līdz 204,5 km, vidēji tas ir 152 km.

Secinājumi. Zemes garozas minimālais biežums (aptuveni 30-32 km) ir raksturīgs nogabaliem, kas atrodas Daugavpils rajonā, ziemeļrietumos no Cesvaines un ziemeļos no Alūksnes. Latvijas centrālajā daļā vērojama submeridionāla zona ar maksimālo biežumu 58 km. Litosfēras minimālais biežums (90 km) ir Elejas ģeotermālajā anomālijā, bet maksimālais (200 km) - ir konstatēts Liepājas apkārtnē. Tiek pieņemts, ka Zemes garozas un litosfēras biežuma paaugstināts horizontālais gradients raksturo tās potenciāli „novājinātus” iecirkņus.

### 3.1.3. Zemes garozas attīstības tipi

Zemes garozas attīstības virzieni un tipi ir noteikti, salīdzinot izostatiskā līdzsvara rādītājus, litosfēras galvenos struktūrstāvus, Zemes garozas neotektoniskās un mūsdienu vertikālās kustības. Minētie rādītāji ir apkopoti 3.1.tabulā

**3.1. tabula. Latvijas Zemes garozas izostatiski  
nekompensēto nogabalu parametru salīdzinājums**

Nr.	Nogabals	$\Sigma A_{NTD}$ , m	$V_{MVD}$ , mm/gadā	$H_{Moho}$ , km	$H_{Litho}$ , km	$\Delta m_{max}$ , $\text{kg/mm}^2$
1	Bārta	0 ÷ + 10	+ 0.3	58	100 ÷ 140	+ 5.0
2	Dobele	- 30	+ 1.2	55 ÷ 56	100 ÷ 140	+ 5.2
3	Kuršēni	+ 20 ÷ + 50	+ 0.7 ÷ + 1.3	50 ÷ 56	90 ÷ 110	+ 5.6
4	Inčukalns	- 20 ÷ + 20	+ 2.6 ÷ + 3.2	56 ÷ 57.5	100 ÷ 120	+ 5.8
5	Valmiera	+ 45	+ 2.3 ÷ + 2.6	50 ÷ 52	125 ÷ 135	+ 5.4

Apzīmējumi:

$\Sigma A_{NTD}$  – neotektonisko kustību summārās amplitūda (m);

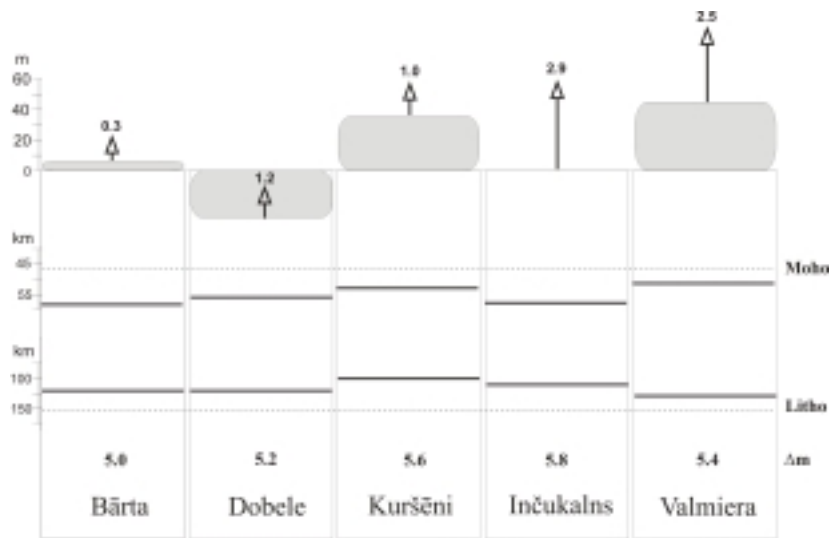
$V_{MVD}$  – mūsdienu vertikālo kustību ātrums (mm/gadā);

$H_{Moho}$  – Moho virsmas dziļums (km);

$H_{Litho}$  – litosfēras pamatnes dziļums (km);

$\Delta m_{max}$  – Zemes garozas izostatiskā stāvokļa rādītāja maksimālā vērtība ( $\text{kg/mm}^2$ ).

Latvijas un tai pieguļošo teritoriju Zemes garozas dinamikas apkopotie parametri ir atspoguļoti 3.5. attēlā.



**3.5. att. Ģeodinamiskie apstākļi Latvijas un tai pieguļošo teritoriju**

**Zemes garozas nogabalos ar novirzītu ar normas (traucētu) izostatisko līdzsvaru**

Apzīmējumi: cipari virs bultiņām – Zemes garozas mūsdienu vertikālo kustību ātrums (mm/gadā); izceltie laukumi – neotektonisko kustību summārā amplitūda (m).

Latvijas un tai piegulošo teritoriju Zemes garozas nogabalu izostatiskā līdzsvara analīze [Nikulīn, 1999] ļauj izdarīt šādus secinājumus:

1. Litosfēras biezums visos izostatiskā līdzsvara traucējumu (ILT) nogabalos ir mazāks par litosfēras vidējo biezumu (152 km) Latvijā un tai piegulošajā teritorijā.
2. Zemes garozas biezums visos ILT nogabalos ir lielāks par garozas vidējo biezumu (46.6 km) Latvijā un tai piegulošajā teritorijā, kā arī par Austrumeiropas platformas Zemes garozas vidējo biezumu ( $40 \pm 8$  km).
3. Mūsdienu vertikālo kustību virziena ātrums ( $V_{MVD}$ ) trīs ILT nogabalos (Bārta, Kuršēni, Valmiera) sakrīt ar pacelšanos visā neotektoniskajā periodā. Dobeles ILT nogabalā notiek mūsdienu virsmas pacēlums, bet neotektoniskajā periodā virsma iegrima. Inčukalna ILT nogabalā notiek mūsdienu virsmas pacēlums un ILT nogabals atrodas simetriski neotektonisko kustību summāro amplitūdu nulles izolīnijai.
4. Zemes garozas izostatiskā stāvokļa rādītāja ( $\Delta m_{max}$ ) pozitīvās vērtības atbilst neotektoniskiem pacēlumiem (Bārta, Kuršēni, Valmiera) un zemes virsmas mūsdienu pacēlumam.
5. Atbilstoši Zemes garozas attīstības tipu iedalījumam Bārtas, Kursēnu un Valmieras ILT nogabalu rajonā ir 2. tipa Zemes garoza. Zemes virsma neotektoniskajā laikā cēlās, un tas turpinās arī mūsdienās. Moho virsma atrodas dziļāk par Zemes garozas vidējo dziļumu platformās. Notiek zemes virsmas un Zemes garozas pamatnes pretfāzu kustība. Zemes garoza sabiezinās no apakšas.
6. Inčukalna ILT nogabalā, kas izvietojas simetriski neotektonisko kustību summāro amplitūdu nulles izolīnijai, pašlaik notiek zemes virsmas celšanās. Dobeles ILT zonā Zemes virsmas grimšanu neotektoniskajā attīstības periodā nomainīja tās celšanās mūsdienās. Moho virsmas dziļums šajos ILT nogabalos ir lielāks par Zemes garozas vidējo biezumu platformās. Acīmredzot, Inčukalna un Dobeles ILT nogabalos Zemes garoza ir pārejas tipa (starp pirmo un otro tipu).

Secinājumi: Ir noteikti 5 Zemes garozas nogabali ar izostatiskā līdzsvara pozitīviem rādītājiem. Bārtas, Kursēnu un Valmieras ILT nogabalos Zemes garoza attīstās pēc otrā tipa, un tur notiek zemes virsmas un garozas pamatnes pretfāzu kustība. Zemes virsma ceļas, bet Zemes garozas pamatne iegrimst, un šādos

apstākļos garozas biezums palielinās no apakšas. Dobeles un Inčukalna ILT nogabalos Zemes garozas attīstības pazīmes pēc otrā tipa vērojamas tikai ģeoloģiskās attīstības mūsdienu posmā.

### 3.1.4. Tektonisko lūzumu blīvums

Par Zemes garozas dinamikas aktivitātes nozīmīgākajiem rādītājiem, var uzskatīt tās sadrumstalošanu, sadrupināšanu, kā arī fragmentāro raksturu. Zemes garozas vājāk konsolidētie iecirkņi rodas dinamikas procesā deformāciju rezultātā [Galindo-Zaldívar *et al.*, 2002; Chekunov *et al.*, 1989]. Lai veiktu ģeofizikālo, neotektonisko rādītāju un Zemes garozas konsolidācijas pakāpes korelāciju, izmantots tektonisko lūzumu izvietojuma blīvums kristāliskajā pamatklintājā. Šim nolūkam izmantoti salīdzinoši detalizēti dati (mērogs 1:200 000) par kristāliskā pamatklintāja ģeoloģisko formāciju robežām (V.V.Vetrennikov un P.A.Stetsyun, 1984, pārskats.). Šo pētījumu rezultātā tika noteikts tektonisko lūzumu blīvuma sadalījums kristāliskajā pamatklintājā (3.6.att.).



**3.6.att. Kristāliskā pamatklintāja tektonisko lūzumu blīvums**

Apzīmējumi: 1 = lūzumu blīvums kristāliskajā pamatklintājā ( $\text{km}/\text{km}^2$ ); 2 = lūzumi nogulumiežu segā



Kristāliskajā pamatklintājā lūzumu lielākais blīvums (3.6.att.) raksturīgs joslai, kas vērsta ziemeļaustrumu virzienā, - starp Jelgavu un Valmieru.

Salīdzinot kristāliskā pamatklintāja lūzumu blīvumu un Zemes garozas izostatiskā stāvokļa rādītāju sadalījumu (3.2.att.), ir iespējams konstatēt abu parametru sakritību Kalnciema-Valmieras virzienā.

Raksturīgi, ka šajā pašā virzienā orientēta arī Liepājas-Rīgas-Pleskavas lūzumu zona nogulumiežu segā.

Secinājumi: Pētījums ļāva noskaidrot ģeoloģiskās vides paaugstinātas plaisainības zonu, kas orientēta Kalnciema – Valmieras virzienā. Tā sakrīt ar Liepājas – Rīgas – Pleskavas lūzumu zonu.

### **3.2. Latvijas seismiskā rajonēšana un tās komponenti**

Seismiskās rajonēšanas pētījumi balstīti uz Zemes garozas dziļumstruktūru un visas litosfēras detalizētu un kompleksu izpēti, mūsdienu ģeodinamiku, reģionālo seismiskumu, pētījumiem seismotektonikā un inženierseismoloģijā [Buné *et al.*, 1980a, 1980b, 1980d; Ivanovskaya *et al.*, 1988; Ulomov, 1999]. Šie pētījumi ietver arī seismiski aktīvu struktūru identifikāciju, to seismiskā režīma parametru un attālumā ģenerētā seismiskā efekta norimšanas rakstura noteikšanu. Seismiskās rajonēšanas pētījumu nobeiguma stadija ietver varbūtības aprēķinus un zemes virsmas seismiskās bīstamības kartēšanu.

Atkarībā no pētījumu uzdevumiem, mēroga un detalitātes, seismisko rajonēšanu realizē vispārīgā (mērogā 1:5 000 000 – 1:2 500 000), detalizētā (1:500 000 – 1:100 000 mērogā), kā arī ar mikro-seismiskā līmenī (1:50 000 un lielāka mērogā). Tomēr visi šie pētījumi balstās uz vispārīgo pētāmās teritorijas seismisko rajonēšanu un tās rezultātiem.

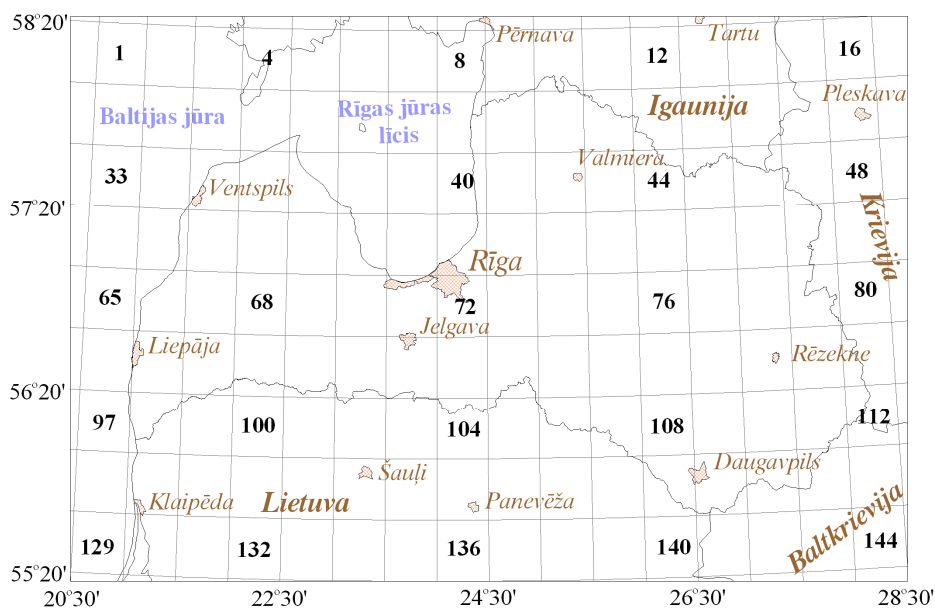
Vispārīgā seismiskā rajonēšana ģeneralizēti raksturo seismiskās bīstamības pakāpi visā valsts teritorijā. Tādas var būt, piemēram, lielas struktūras, struktūrkompleksi vai valsts teritorijas kopumā. Ja tiek veikts kādas teritorijas novērtējums, tad tiek apskatīti apstākļi un seismiskās aktivitātes blakus esošajos seismiski aktīvajos reģionos. Pamatojoties uz vispārīgo seismisko rajonēšanu, turpmāk var veikt detalizētus pētījumus (literatūrā visbiežāk tos dēvē par izpēti). Šajos

pētījumos ievēro ne tikai reģionālos, bet arī lokālos seismotektoniskos, seismiskos un grunts apstākļus.

Seismiskās rajonēšanas apzināšanas process tika sadalīts vairākos posmos: 1) Zemes garozas seismiskā potenciāla novērtējums; 2) seismotektoniskā rajonēšana; 3) zemestrīču cilmvietu rašanās zonu izdalīšana; 4) satricinājuma zonu aprēķins.

### 3.2.1. Seismotektoniskais potenciāls

Zemes garozas seismotektoniskais potenciāls ļauj novērtēt pat tādu Zemes garozas iecirkņu magnitūdu, kur agrāk zemestrīces nav bijušas vai dati par tām nav saglabājušies, bet ģeoloģiskie un ģeofizikālie raksturojumi liecina par šo Zemes garozas iecirkņu (šūnu) potenciālo seismisko bīstamību.



**3.7. att. Zemes garozas elementāro šūnu kārtas numuri  
Latvijā un tai pieguļošajā teritorijā**

Pētījumu laukumā ( $\varphi = 55^{\circ}20' N - 58^{\circ}20' N$  и  $\lambda = 20^{\circ}30' E - 28^{\circ}30' E$ ) iekļauta Latvija ar tai pieguļošajām teritorijām. Laukums sadalīts 144 Zemes garozas elementārās šūnās (3.7. att.). Katrai šūnai 3.7.attēlā norādīts kārtas numurs (tas piešķirts augošā kārtībā no rietumiem uz austrumiem un no ziemeļiem uz

dienvidiem). Pielikumā 3.1. ir atspoguļoti Zemes garozas tektonotipu numuri un tiem atbilstošie seismotektoniskā potenciāla parametri.

Pētījuma gaitā dažu Zemes garozas tektonotipu seismotektoniskais potenciāls tika koriģēts, ja pētāmajā teritorijā notikušas zemestrīces ar daudz lielākām magnitūdām, nekā bija zināms agrāk. Piemēram, garozas 344. tektonotipā (pielikums 3.1.), kur viena no šūnām atrodas Vertsjervs ezera (Igaunija) rajonā, seismotektoniskais potenciāls ir magnitūdas skalas 3,9 vienības. Šajā šūnā ( $\varphi = 58^{\circ}20' N - 58^{\circ}20' N$  и  $\lambda = 26^{\circ}00' E - 26^{\circ}30' E$ ) 1823.gadā notika zemestrīce ar maksimālo magnitūdu šim tektonotipam, kas ir 3,9. Šī magnitūda izrādījās maksimālā Zemes garozas 344. tektonotipam, tādēļ visām citām šūnām minētajā tektonotipā tika piešķirts seismotektoniskais potenciāls, kas ir vienāds ar magnitūdas skalas 3,9 vienībām. Latvijas teritorijā noteiktas 8 Zemes garozas 344. tektonotipa šūnas. Līdzīga ekstrapolācija tika veikta arī citiem Zemes garozas tektonotipiem.

Dažiem Zemes garozas iecirkņiem tektonotips netika noteikts, jo nebija pietiekamu datu par notikušajām zemestrīcēm šo tektonotipu šūnās. Šīm šūnām tika piešķirta minimālā magnitūda, kas ir vienāda vai mazāka par 2,5 (pielikums 3.1.). Dažu tektonotipu šūnām tika piešķirts lielāks seismotektoniskais potenciāls, nekā konkrētajā šūnā notikušās zemestrīces magnitūda. Piemēram, Zemes garozas 505. tektonotipa trīs šūnām ( $\varphi = 57^{\circ}40' N - 58^{\circ}00' N$  и  $\lambda = 23^{\circ}00' E - 23^{\circ}30' E$ ,  $\varphi = 57^{\circ}00' N - 57^{\circ}20' N$  и  $\lambda = 23^{\circ}00' E - 23^{\circ}30' E$ ,  $\varphi = 57^{\circ}00' N - 57^{\circ}20' N$  и  $\lambda = 23^{\circ}30' E - 24^{\circ}00' E$ ) piešķirts seismotektoniskais potenciāls, kas līdzīgs magnitūdas skalas 4,5 vienībām (pielikums 3.1.), jo minētā tektonotipa vienā no šūnām, kas atrodas Irbes šaurumā ( $\varphi = 57^{\circ}40' N - 58^{\circ}00' N$  и  $\lambda = 22^{\circ}00' E - 22^{\circ}30' E$ ), 1857.gadā bija notikusi zemestrīce ar magnitūdu 4,5.

Pētītajā teritorijā ( $\varphi = 51^{\circ}00' N - 60^{\circ}00' N$  и  $\lambda = 20^{\circ}00' E - 34^{\circ}00' E$ ) ir fiksēti daži desmiti zemestrīču. Tomēr to daudzums ir nepietiekams lai novērtētu seismotektonisko potenciālu Zemes garozas pētāmā reģiona visām šūnām. Pētījumos tika izmantota cita reģiona zemestrīce - „skolotājs”, kas notika līdzīgos seismotektoniskos apstākļos (pielikums 2.1.), t.i., atbilst pētāmās teritorijas Zemes garozas tektonotipam. Tā, piemēram, 376. tektonotipa šūnām piešķirta zemestrīces magnitūda – 3,6.

Zemes garozas 33 šūnām seismotektoniskais potenciāls netika piešķirts, bet 31 šūnai tas tika pieņemts kā vienāds vai mazāks par magnitūdas skalas 2,5 vienībām.

Pārējās 80 Zemes garozas šūnas tika attiecinātas uz tādiem tektonotipiem, kuru seismotektoniskais potenciāls noteikts diapazonā no 2,8 līdz 4,5 pēc magnitūdas skalas.

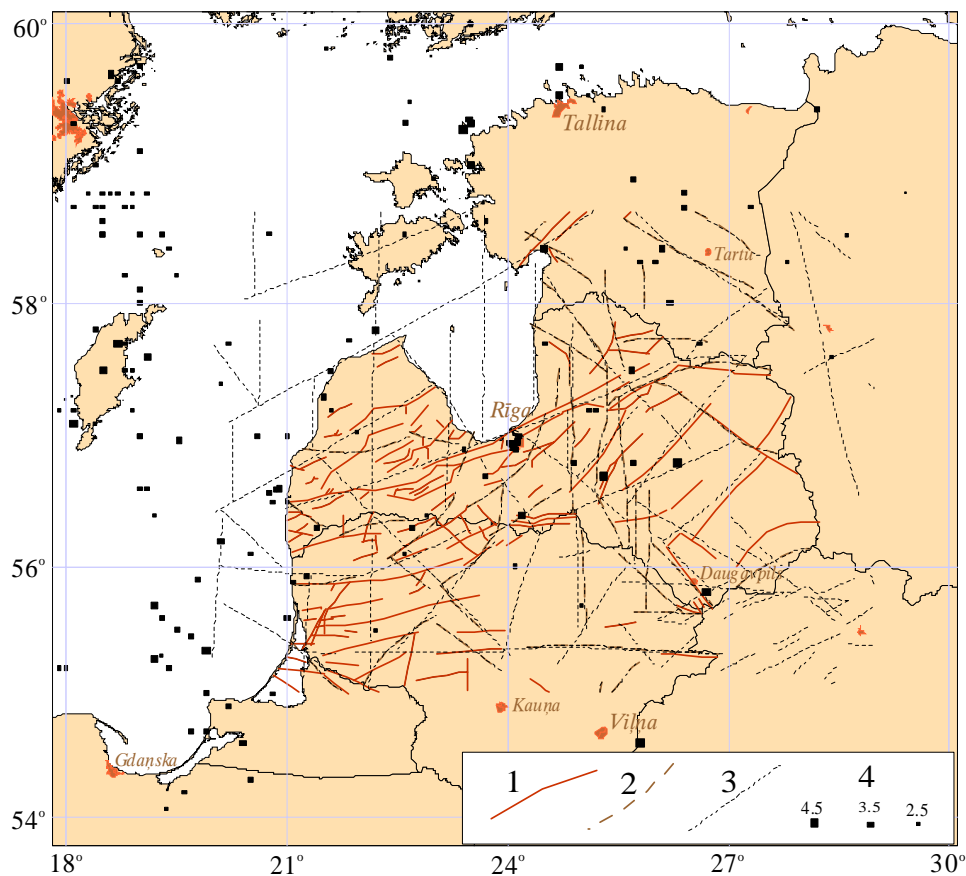
Analizētajā teritorijā visbiežāk (10 reizes) sastopams Zemes garozas 364.tektonotips, 9 reizes – 297., 344., 350. un 354.tektonotips un 8 reizes - 376.tektonotips. Pa vienai reizei sastopami 18 tektonotipi, bet kopumā pētītajā teritorijā ir konstatēti 46 Zemes garozas tektonotipi (pielikums 3.1.).

Zemes garozas tipizācija ļāva realizēt pāreju uz salīdzinoši viendabīgiem ģeoloģiskās vides elementiem (šūnām), kas atšķiras tikai ar dažu parametru variācijām, pēc kuriem var tikt veikta tipu identifikācija. Šāda pieeja ļāva noteikt, ka liela izmēra tektoniskajās struktūrās (Baltijas sineklīze, Latvijas sedliene un Baltijas vairoga dienvidu nogāze) sastopamas šūnas ar vienādiem Zemes garozas tektonotipiem.

Secinājumi: Latvijas teritorijā atrodas 46 Zemes garozas tektonotipi. Šajā teritorijā Zemes garozas 80 šūnām seismotektoniskais potenciāls ir novērtēts no 2,8 līdz 4,5 pēc magnitūdas skalas, 31 šūnā tas pieņemts par 2,5. Tomēr nebija noteikts seismotektoniskais potenciāls 33 Zemes garozas šūnām.

### 3.2.2. Seismotektoniskie apstākļi

Pētījumā seismogēno zonu izdalīšanas priekšnosacījums bija seismotektoniskās kartes izveide, kurā attēloti tektonikas, neotektonikas, tektonisko lūzumu kinemātikas un zemestrīču epicentru elementiem. Balstoties uz šādu karti (3.8. att.), tika noteikti tektoniski aktīvu lūzumu un to atsevišķu segmentu izmēri, veikta zemestrīču cilmvietu parametrizācija, t.i., magnitūdas, minimālā un maksimālā hipocentra dziļuma novērtējums. Sagatavotais seismotektoniskās analīzes pamatmateriāls turpmāk tika izmantots seismiskās iedarbības vērtēšanā, t.i., zemes virsmas satricinājuma pakāpes vērtējumam ballēs pēc MSK-64 skalas.



### 3.8. att. Latvijas seismotektoniskā karte

Apzīmējumi: 1 – tektoniskās pārbīdes (lūzumi), kas šķeļ nogulumiežu segu; 2 – pirmsplatformas posma tektoniskie lūzumi, kas nav konstatēti nogulumiežu segā; 3 – neotektoniski aktīvās lineamentās zonas: atbilstošas noteiktām dislokācijām kristāliskajā pamatklintājā vai nogulumiežu segā un ģeomorfoloģiskām neotektoniskām zonām; 4 – zemestrīču epicentri (kvadrāta izmērs ir proporcionāls zemestrīces magnitūdai).

Seismotektoniskā karte ļāva identificēt lūzumu iecirkņus, kas sakrīt ar tām neotektoniski aktīvajām lineārajām zonām, kuras tika noteiktas pēc 1981.gada Baltijas valstu 1:500 000 mēroga neotektoniskās kartes [Sliupa *et al.*, 1981]. Tieši tādas iecirkņus var uzskatīt par potenciālām seismoģenerācijas struktūrām.

Atkarībā no pārrāvumu, neotektonisko lineāro zonu un zemestrīču epicentra izvietojuma tika noteiktas trīs seismogēno struktūru rangi (gradācijas): zemestrīču cilmvietas rašanās (ZCR) zonas, ZCR potenciālās zonas un seismotektoniskās zonas.

Seismogēno zonu ģeoloģiskie un seismotektoniskie parametri apkopoti 3.2.1. - 3.2.3. pielikumā.

Seismiskajā rajonēšanā principiāli svarīgi ir novērtēt konkrētās seismogēnās struktūras maksimāli iespējamo zemestrīces magnitūdu [Grachev *et al.*, 1996]. Seismiski aktīvajos rajonos, ņemot vērā plašo statistikas datu klāstu, maksimāli iespējamās zemestrīces vērtējumu var iegūt, balstoties uz magnitūdas un frekvences kopsakarībām. Lai iegūtu maksimāli iespējamo zemestrīces magnitūdas vērtējumu, ir iespēja veikt seismogēno lūzumu un zemestrīču magnitūdu parametru korelāciju [Riznichenko, 1985].

Daudz sarežģītāk ir noteikt magnitūdu platformām un vāji aktīvām teritorijām, kur statistikas datu klāsts ir ļoti ierobežots. Tādēļ pētījumā vispirms tika izmantots maksimāli iespējamās zemestrīces magnitūdas vērtējums pēc aktīvās lūzuma daļas garuma (parametrs  $M_p$ , skatīt pielikumā 3.2b.). Otrā posmā tika izmantota atšķirīga pieeja, kas balstās uz magnitūdas vienībās izteikto seismotektoniskā potenciāla vērtējumu [Rejsner, 1980; Rejsner G.I., Rejsner M.G., 1986; Rejsner, Ioganson, 1992; Rejsner *et al.*, 1993]. Šajā aspektā seismiskās rajonēšanas versija ir būtiski atšķirīga no citiem Baltijas iepriekšējos gados veiktajiem seismiskās rajonēšanas pētījumiem, izņemot 1995.g. veiktos [Garetskij *et al.*, 1997]. Seismotektoniskā potenciāla lielumi magnitūdu vienībās skatāmi pielikumā 3.1. (parametrs  $M_{max}$ ). Tādējādi zemestrīces maksimālās magnitūdas vērtību konkrētai seismogēnajai zonai varēja noteikt, pamatojoties uz Latvijas zemestrīču kataloga datiem (2.3.tab.), kas tika aprēķināti ņemot vērā lūzuma garuma un zemestrīces magnitūdas korelāciju un balstās uz seismotektoniskā potenciāla novērtējumu. Mūsu pētījumā daudzos gadījumos no triem iespējamajiem variantiem tika izvēlēta zemestrīces magnitūdas maksimālā vērtība, kāda bija piešķirta konkrētai seismogēnai zonai (pielikums 3.2.3.).

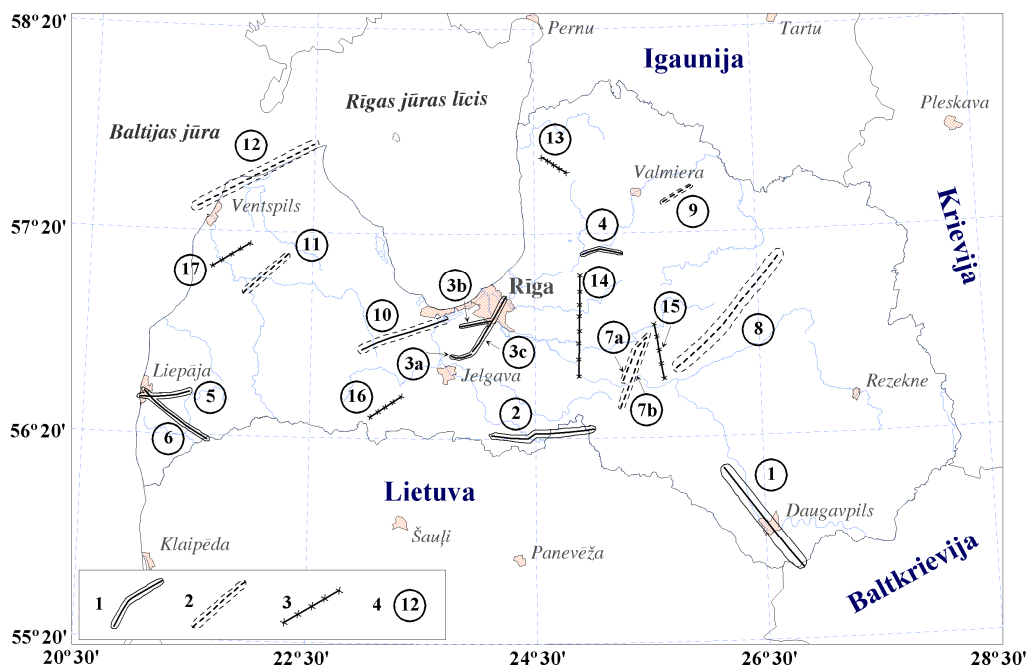
### 3.2.3. Seismogēnas zonas un to raksturojums

Seismogēno zonu identifikācijai pētījumā izmantotas trīs seismogēno struktūru gradācijas: 1) drošas zemestrīču cilmvietu rašanās (ZCR) zona, 2) zemestrīču cilmvietu rašanās potenciālās (ZCRP) zonas un 3) seismotektoniskās (ST) zonas. Galvenās atšķirības seismogēno struktūru tipos ir telpiskā mijiedarbība starp tektonisko lūzumu ar neotektoniski aktīvām lineārām zonām un zemestrīču epicentriem.

Zemestrīču cilmvietu rašanās (ZCR) zona – tā ir seismogēnā zona, kuru droši var noteikt pēc ģeoloģisko-ģeofizikālo un seismoloģisko datu kompleksa. Šajā zonā radušās un nākotnē var rasties zemestrīču cilmvietas.

Zemestrīču cilmvietu rašanās potenciālā (ZCRP) zona – ir aktīva disjunktīva dislokācija (pārrāvums), kas noteikta pēc ģeoloģisko-ģeofizikālo pazīmju kompleksa. Netālu no šī aktīvā pārrāvuma ir konstatētas vai instrumentāli reģistrētas viena vai dažas zemestrīces.

Seismotektoniskā (ST) zona – tas ir pārrāvums, kas nav aktīvs. Šīs zonas tuvumā noteiktas vai instrumentāli reģistrēta viena vai dažas zemestrīces, kas varētu būt ģenētiski saistītas ar konkrēto pārrāvumu.



**3.9. att. Latvijas seismogēno zonu karte.**

Apzīmējumi: 1 – zemestrīču cilmvietu rašanās droši noteiktas (ZCR) zonas; 2 – zemestrīču cilmvietu rašanās potenciālās (ZCRP) zonas; 3 – seismotektoniskās (ST) zonas; 4 – seismogēno zonu (ZCR, ZCRP un ST) numurs.

Pielietotais seismogēno zonu iedalījums faktiski klasificē šīs zonas pēc droši noteiktām vai varbūtējām zemestrīču rašanās iespējām. Seismotektoniskās zonas ļāva uzskaitīt tektoniskās zonas, kurās gan nebija tektoniskās aktivitātes pazīmes, bet to tuvumā savulaik bijušas zemestrīču cilmvietas. Tāpēc seismotektoniskās zonas no

zemestrīču rašanās iespējamības viedokļa var uzskatīt par potenciālām seismogēnajām zonām.

Latvijas seismotektonisko struktūru un seismogēno zonu karte apskatāma 3.9.attēlā.

Seismiskās rajonēšanas rezultātā [Safronovs, Nikuļins, 1999] Latvijā noteiktas 17 seismogēnās zonas (tab. 3.2). Starp tām 6 identificētas kā droši noteiktas ZCR zonas, 6 – kā potenciālās ZCR zonas un 5 – kā seismotektoniskās zonas.

**3.2. tabula Latvijas seismogēno zonu un satricinājumu parametri**

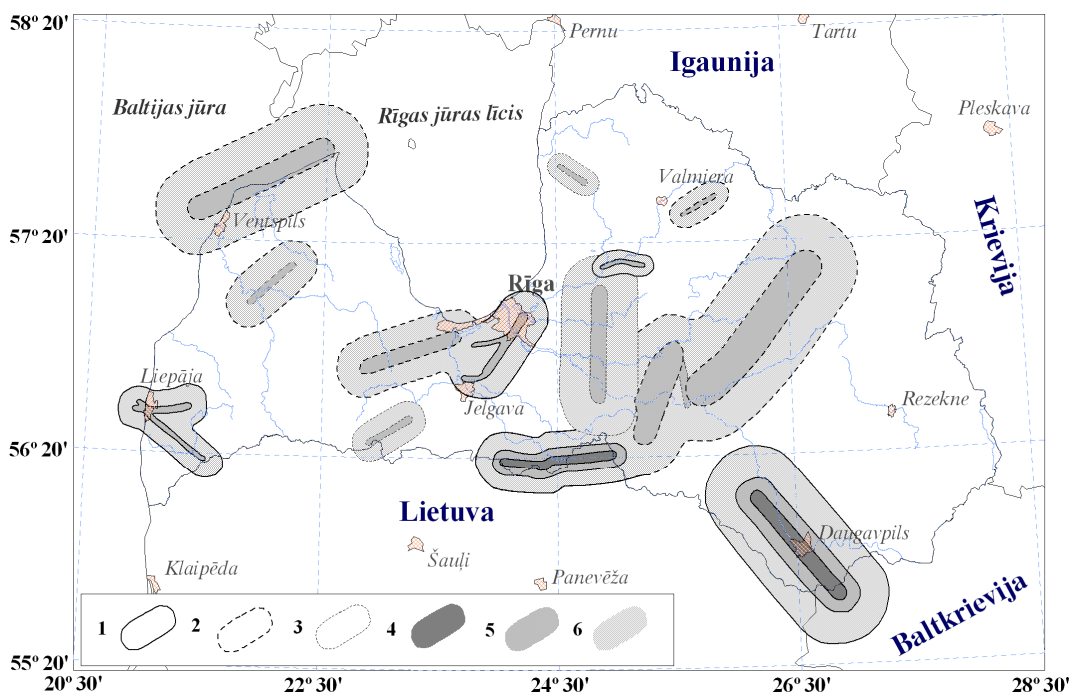
Nr. p.k.	Seismogēnās zonas nosaukums	Seismogēnās zonas tips	$M_{max}$	$H_{min}$ km	$I_o$	Atbilstošās intensitātes satricinājuma platība, $km^2$	
						$S_{VI}$	$S_{VII}$
1	Daugavpils	ZCR	4.7	10	7	1 600	570
2	Bauska	ZCR	4.1	5	7	900	270
3a	Jelgava	ZCR	3.5	5	6	~ 30	-
3b	Pārdaugava	ZCR	3.6	5	6	~ 20	-
3c	Rīga	ZCR	4.1	7.5	6	~ 160	-
4	Sigulda	ZCR	4.0	5	6	50	-
5	Liepāja-Saldu	ZCR	3.9	7	6	120	-
6	Ziemeļrietumu Zemaitija	ZCR	3.7	6	6	150	-
7a	Aizkraukle 1	ZCRP	4.5	10	6	$\Sigma$ 780	-
7b	Aizkraukle 2	ZCRP	4.5	10	6		-
8	Gulbene	ZCRP	4.8	13	6	1 700	-
9	Valmiera	ZCRP	3.6	5	6	20	-
10	Sloka	ZCRP	4.2	8	6	430	-
11	Usma	ZCRP	4.1	8	6	120	-
12	Irbe-Pērnavā	ZCRP	4.5	10	6	990	-
13	Svētupe	ST	3.5	5	6	50	-
14	Rietumbaltija	ST	4.5	11	6	490	-
15	Austrumbaltija	ST	4.0	7.5	6	~ 120	-
16	Dobeles	ST	3.8	6	6	100	-
17	Piltene	ST	3.9	7	$\leq 6$	~ 9	-

Apzīmējumi tabulā:

$M_{max}$  – zemestrīces maksimālā magnitūda;  $H_{min}$  – zemestrīces cilmvietas minimālais dziļums;  $I_o$  – satricinājuma stiprums zemestrīces hipocentrā (ballēs pēc MSK-64 Starptautiskās seismiskās intensitātes 12 ballu skalas); ZCR – zemestrīces cilmvietas rašanās zona; ZCRP – zemestrīces cilmvietas rašanās potenciālā zona; ST – seismogēnā zona;  $S_{VI}$ ,  $S_{VII}$  – 6 un 7 balles stipru satricinājumu orientējošā platība,  $km^2$ ;  $\Sigma$  – Aizkraukles zonu 7a un 7b kopējā platība; Piltenes seismogēnā zonā satricinājumu stiprums nedaudz mazāks par 6 ballēm ( gadījumā, ja ir 6 balles, tad ST platība ap  $9 km^2$  ).



Katrai ZCR zonai vai seismogēnajai zonai satricinājuma parametru aprēķini atbilst makroseismiskajam vienādojumam, izmantojot pasaules vidējas konstantes [Garetskij *et al.*, 1997], bet satricinājumu intensitāte novērtēta ballēs pēc Starptautiskās MSK-64 stipruma skalas. Veikto aprēķinu rezultāti ir apkopoti seismiskās rajonēšanas kartē (skat. 3.10. att.).



**3.10. att. Latvijas vispārīgās seismiskās rajonēšanas karte (LVS-98).**

*Apzīmējumi: 1 – ZCR zonas ietekmes robeža; 2 – ZCR potenciālo zonu ietekmes robeža; 3 – iespējamo seismotektonisko zonu robeža; 4 – seismiskās iedarbības intensitāte 7 balles (pēc MSK-64 skalas); 5 – seismiskās iedarbības intensitāte 6 balles (pēc MSK-64 skalas); 6 – seismiskās iedarbības intensitāte 5 balles (pēc MSK-64 skalas).*

Nepietiekamu seismiskās statistikas datu dēļ ir sarežģīti noteikt zemestrīču atkārošanās varbūtību. Tādēļ ir veikti seismiskā “cikla” novērtējumi Baltijas jūras piekrastes daļai (Gdaņskas-Liepājas-Tallinas depresijas zona) un Lietuvas-Igaunijas monoklinālei [Ņikuļins, 1998]. Novērtējumi raksturo laika intervālu, kurā ģeoloģiskās vides summārā deformācija sasniedz maksimumu. Šim nolūkam izmantoja Beniofa summārās atbrīvotās deformācijas grafikus [Benioff, 1951]. Izrādījās, ka Baltijas jūras piekrastē seismiskais cikls sasniedz 382 gadus, bet Lietuvas-Igaunijas monoklinālē –

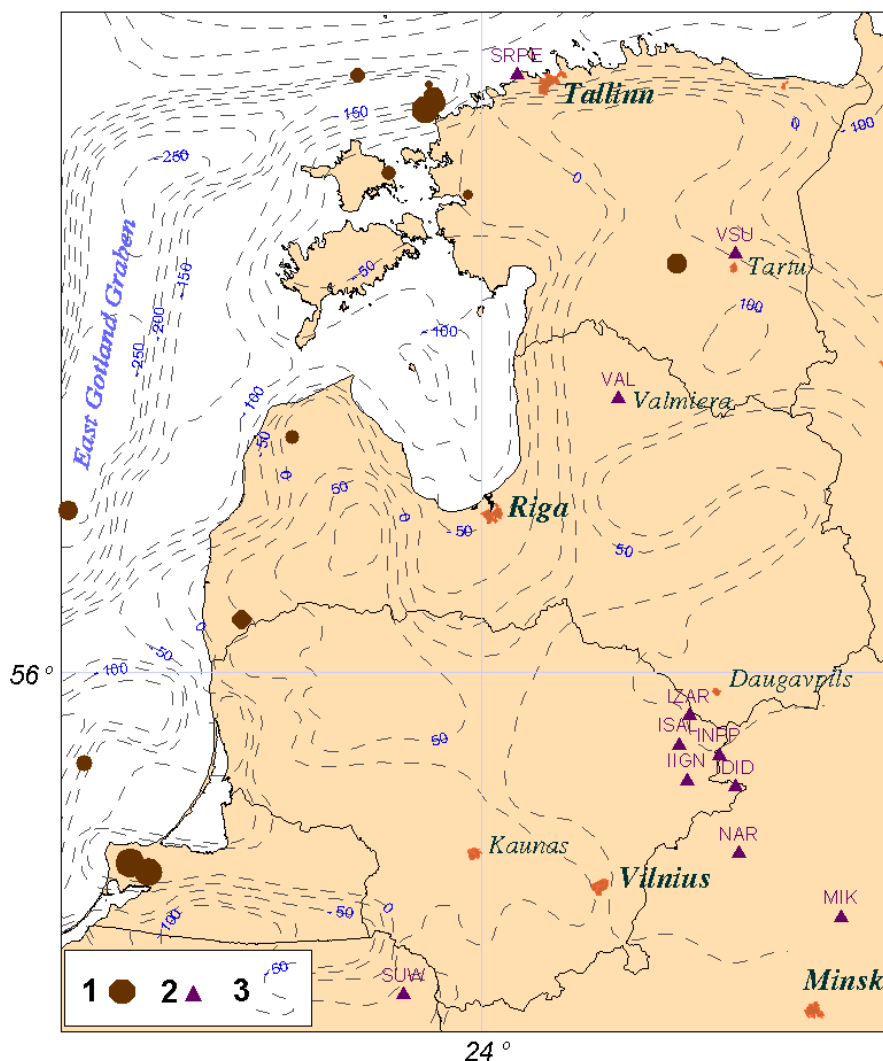
294 gadus. Tā kā seismiskās statistikas dati ir nepietiekami, būtu lietderīgi izmantot apkopotos rādītājus par atkārtotās periodu. Piemēram, Eirāzijas ziemeļu daļas seismiskajā rajonēšanā [Ulomov, 1997], atkārtotās periodu parametri pamatoti uz pieņēmumu, ka būvju kalpošanas laiks ir 50 gadi. Līdz ar to atkārtotās periods tika vērtēts ar 10%, 5% un 1% risku. Ar tādu varbūtību 50 gadu laikā satricinājumu stiprums pārsniegs aprēķināto stiprumu vai ar 90%, 95% un 99% varbūtību nepārsniegs aprēķināto intensitāti. No tā izriet, ka atkārtotās periods atbilstoši formulai (2.14) sastāda 475, 975 un 4975 gadus. Masveida būvniecībā pielieto atkārtotās periodu - 475 gadi, paaugstinātas atbildības objektu (skolas, slimnīcas u.c.) būvniecībā – 975 gadus, bet īpaši svarīgām būvēm (AES un citi ekoloģiski bīstami objekti) – 4975 gadi.

Secinājumi: Latvijas teritorijā noteiktas 17 seismogēnās zonas, kas iedalītas trijos tipos atkarībā no tektonisko elementu stāvokļa un zemestrīču epicentru mijiedarbības. Zonas ar maksimāliem satricinājumiem (7 balles pēc MSK-64 skalas) atrodas Daugavpils un Bauskas ZCR zonās. Pārējo seismogēno zonu robežās satricinājumu intensitāte var sasniegt 6 balles. Atkārtotās periods masveida būvniecībai pieņemts 475 gadi.

### **3.3. Baltijas reģiona neotektoniskās kustības un seismiskums**

Baltijas reģiona vēsturisko zemestrīču hipocentru tuvums, kā arī nogulumiežu segas lielu reģionālo struktūru (Baltijas vairoga dienvidu nogāze, Baltijas sineklīze un Latvijas sedliene) ģeoloģiskās attīstības vēstures kopība, liek neaprobežoties tikai ar Latvijas teritoriju, bet ņemt vērā un vērtēt visa Baltijas reģiona seismotektonisko situāciju.

Tāpēc seismiskums un tā saikne ar neotektoniku pētīta visam Baltijas reģionam, kas aptver arī Krievijas Kaļiņingradas apgabalu, Lietuvu un Igauniju. Baltijas reģiona seismiskuma saikne ar neotektoniku izpētīta, pamatojoties uz reģistrēto zemestrīču epicentru un neotektonisko kustību summāro amplitūdu izolīniju salīdzinājumu (3.11. att.).



**3.11. att. Zemestrīces un darbojošās seismiskās stacijas Baltijas reģionā**  
 ( $\varphi = 53.7^{\circ}\text{N} - 59.6^{\circ}\text{N}$ ;  $\lambda = 19.25^{\circ}\text{E} - 28.2^{\circ}\text{E}$ )  
 no 1976. līdz 2004.gadam

1 – zemestrīču cilmvietas (cipars – zemestrīces numurs tabulā 3.3); 2 – darbojošās seismiskās stacijas;  
 3 – neotektonisko kustību summāro amplitūdu izolīnijas (izolīnijas “solis” - 25m).

1976.-2004. g. reģistrēto zemestrīču epicentru telpiskā izvietojuma analīze norāda uz to koncentrēšanos krasta līnijas tuvumā. Tikai 1987.gadā Igaunijā notikušās zemestrīces (10. numurs 3.11.att.) epicentrs atradās sauszemē.

Vairumā gadījumu instrumentāli reģistrēto mūsdienu zemestrīču epicentri Baltijas reģionā atrodas apgabalos ar augstu neotektonisko vertikālo kustību summāro amplitūdu horizontālo gradientu (NVKSAHG) visā apskatāmajā laika posmā, sākot ar

*Rupelian* ( $33,7 \pm 0,5$  milj.gadu). Šādi iecirkņi atrodas piekrastes tuvumā, arī Baltijas jūras akvatorijā. Iecirkņi ar augstu NVKSAHG raksturo paaugstinātas deformācijas zonas.

1976.gada Osmussāres zemestrīces epicentra rajonā NVKSAHG sasniedz 4,4 m/km ziemeļrietumu-dienvidaustrumu virzienā, bet 2004.gada Kaļiņingradas zemestrīces hipocentra rajonā horizontālais gradients bija 4,2 m/km rietumu-austrumu virzienā.

Līdzīgi NVKSAHG lielumi raksturīgi arī Baltijas reģiona vēsturiskajām zemestrīcēm, kuru epicentri atradās krasta līnijas tuvumā. Tā 1857.gada 18.maijā Irbes šaurumā notikušās vēsturiskās zemestrīces hipocentrā NVKSAHG sasniedza 4,8 m/km ziemeļrietumu-dienvidaustrumu virzienā, bet 1670.gada 1.februāra Pērnavas zemestrīces cilmvietā – 4,0 m/km rietumu-austrumu virzienā. Mūsdienu zemestrīču, sākot ar 1976. gadu, kā arī dažu Baltijas vēsturisko zemestrīču epicentri pieskaitāmi paaugstināta gradienta NVKSAHG zonām. Piemēram, 1979.gada (kataloga Nr.6 2.3.tab.), 1981.g. (Nr.8), 1982.g. (Nr.9) un 1988.g. (Nr.11) zemestrīču epicentri atrodas NVKSAHG paaugstināto rādītāju zonās vai to tuvumā.

Baltijas šelfa zona ir Baltijas sistēmas jūras grābenu robeža [Garetsky *et al.*, 1999], kas sākas no Polijas ziemeļu krasta (Gdaņskas depresija), tālāk pārējot Austrumu Gotlandes grābenā, kuram savukārt pievienojās Somijas grābenu sistēma. 2004.gada Kaļiņingradas zemestrīču hipocentri atrodas Gdaņskas depresijas austrumu spārnā, bet Osmussāres zemestrīču - Austrumu Gotlandes grābena ziemeļaustrumu malā.

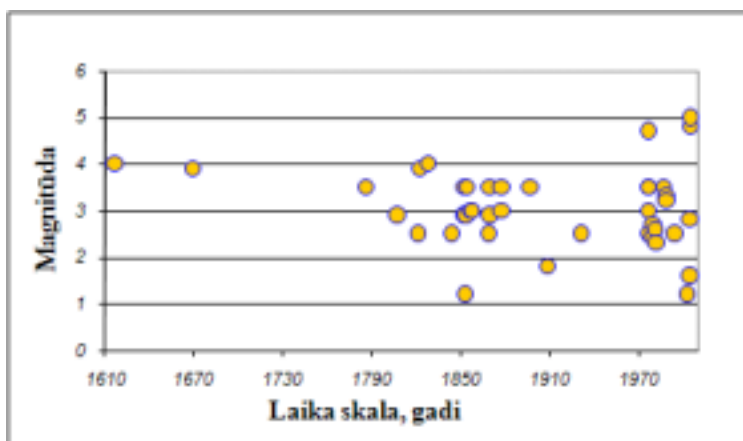
Tādējādi, viens no zemestrīču cēloņiem Baltijas jūras piekrastē var būt Zemes garozas deformācijas procesi neotektoniskajās struktūrās un, īpaši, - to malās. Deformācija rodas samērā intensīvo vertikālo kustību rezultātā, kas norisinās ģeoloģiski ilgā laikposmā.

Baltijas reģionam līdzīga neotektoniskā struktūra ir Botnijas grābens. Šīs struktūras ziemeļrietumu malā (Zviedrija) atrodas daudzu zemestrīču cilmvietas.

Secinājumi: Mūsdienu (instrumentāli reģistrēto) zemestrīču epicentri Baltijas reģionā atrodas galvenokārt apgabalos ar augstu neotektonisko vertikālo kustību summāro amplitūdu horizontālo gradientu (NVKSAHG). Baltijas jūras neotektoniskajām struktūrām raksturīga seismotektoniskā aktivitāte arī mūsdienās.

### 3.4. Baltijas reģiona seismiskais režīms

Pētāmās teritorijas seismiskā režīma vispusējai analīzei nepieciešams priekšstats par seismisko parametru sadalījumu telpā un laikā. Galvenās nogulumiežu segas tektoniskās struktūras (Baltijas sineklīze, Latvijas sedliene un Baltijas vairoga dienvidu nogāze) atrodas ne tikai Latvijā, bet arī ārpus tās teritorijas. Tādēļ nepieciešama arī to zemestrīču uzskaitē, kuru epicentri atrodas minētajās lielajās struktūrās aiz Latvijas robežām.



**3.12. att. Baltijas reģiona zemestrīču magnitūdu sadalījums laikā no 1616.g. līdz 2004.g., pēc Fencat datiem.**

Teritorijas seismisko režīmu raksturo zemestrīču magnitūdas un laika sadalījums, kas ļauj novērtēt seismisko procesu dinamiku un seismiskās enerģijas izlādēšanās pakāpi. Šie raksturlielumi izskatīti Baltijas reģionam ģeogrāfiski norobežotā apgabalā :  $\Delta\varphi = 53.7^{\circ}\text{N} - 59.6^{\circ}\text{N}$ ;  $\Delta\lambda = 19.25^{\circ}\text{E} - 28.2^{\circ}\text{E}$ .

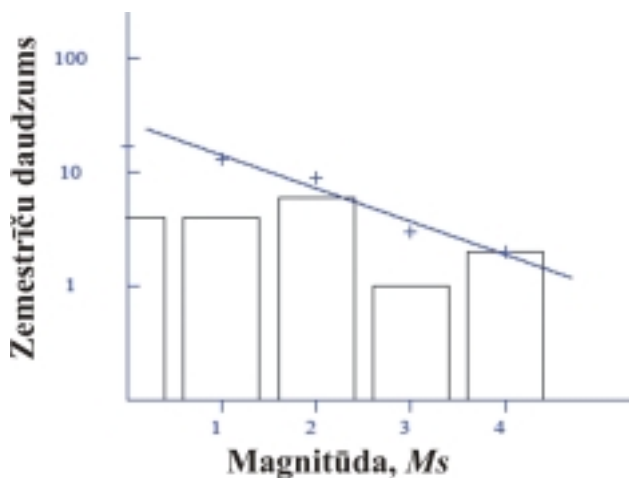
Pētāmajā apgabalā seismiskā procesa sadalījums laikā ir nevienmērīgs. Laikā no 1616.g. līdz 2004.g. (3.12.att.) var pieminēt divus seismiskās aktivitātes periodus ar relatīvi blīvu zemestrīču sadali laikā: pirmais periods – no 1807.g. līdz 1909.g. un otrs, jau instrumentālais, – no 1976.g. līdz 2004.g. Dažas zemestrīces (1616.,1670.,1786. un 1931.g.g.) atdalītas no zemestrīču kompaktās grupas. Tās var uzskaitīt par laikā izklīdētā seismiskuma izpausmēm.

Vēsturiskā seismiskuma analīzes periods aptver 390 gadus. Vislielākais seismiskais «klusums» ilga vairāk nekā 100 gadus, - no 1670.gada līdz 1786.gadam.

Šāds ilgstošs laika periods, kurā par zemestrīcēm nebija datu, varēja būt seismotektoniskās stabilitātes dēļ, kā arī ar informācijas «vakuumu», kas varēja izveidoties sarežģītas un nestabilas politiskās situācijas dēļ (Ziemeļu karš 1700.g. – 1729.g., iedzīvotāju slimības, masveida izmiršana u.c. iemesli).

Instrumentālie reģionālie pētījumi sākās pagājušā gadsimta 60 gados. Iegūtie dati aptver tikai 28 gadus ilgu laikposmu.

Atšķirībā no ziņām par vēsturiskām zemestrīcēm, instrumentālie dati ir visobjektīvākais informācijas avots.



### 3.13. att. Zemestrīču magnitūdas un biežuma attiecība

#### Baltijas reģiona piekrastes daļā.

*Laika intervāls 1976.g. – 2004.g.*

Seismiskās aktivitātes svarīgākais rādītājs ir attiecība starp magnitūdas lielumu un zemestrīču skaitu. Baltijas reģionā zemestrīču skaits ir ierobežots, turklāt magnitūdas un biežuma attiecību var novērtēt tikai aptuveni. Un tomēr magnitūdas un biežuma attiecība ir svarīgs seismiskā režīma rādītājs. Tā ļauj novērtēt seismisko aktivitāti, t.i., zemestrīču daudzumu laika vienībā (gads) noteiktā platībā (100 km<sup>2</sup>) dažādās teritorijās un salīdzināt dažādu reģionu seismisko aktivitāti.

Magnitūdas un biežuma kopsakarība ir pēfīta Baltijas reģiona piekrastes daļā (3.13.att.), izmantojot datus par droši zināmām 1976.g. – 2004.g. instrumentāli reģistrētām zemestrīcēm.

Baltijas reģiona piekrastes un šelfa zonas 28 gados instrumentāli novēroto zemestrīču magnitūdas un biežuma kopsakarības [Nikulīn, 2007c] grafiks ir šāds:

$$\log N = 1.47 - 0.30M_s \quad ( 3.1 )$$

kur,  $M_s$  - virszemes viļņu magnitūda

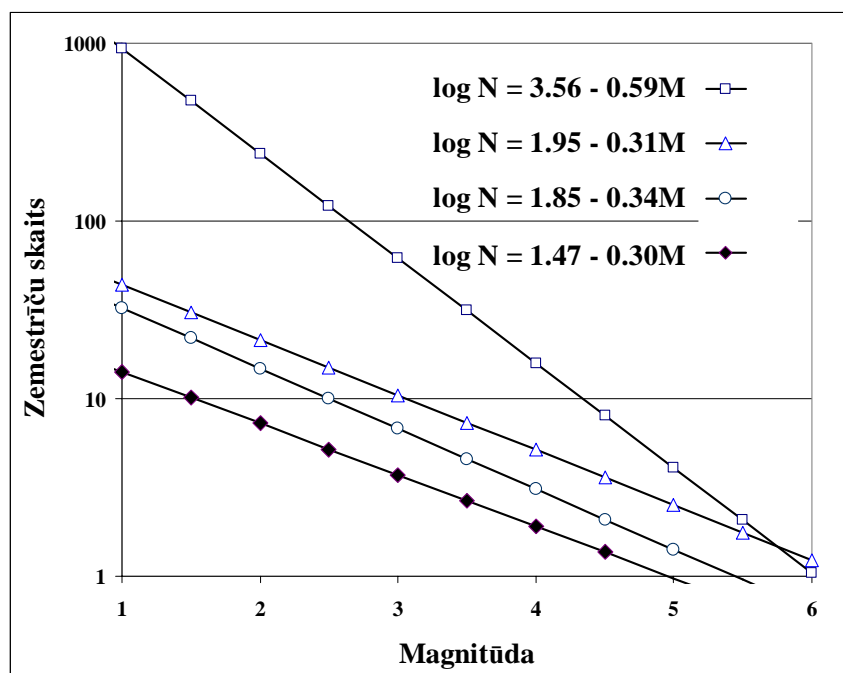
Zemestrīču magnitūdas un biežuma kopsakarību novērtējumā (pēc Puttonena materiāliem, 1984.g.) Somu līča apgabalam starp Somijas dienvidu piekrasti un Igaunijas rietumdaļu laika periodā 1956.g. – 1983.g., kā arī teritorijai no Kurzemes pussalas ziemeļu malas līdz Igaunijas ziemeļrietumiem laika periodā 1833.g. – 1983.g., ir šādi rezultāti:

$$\log N = 1.22 - 0.26M \quad ( 3.2 )$$

$$\log N = 1.52 - 0.26M \quad ( 3.3 )$$

Diemžēl minētajos pētījumos nav norādīts izmantotās magnitūdas tips, kas ļautu objektīvi salīdzināt pētāmajā Baltijas reģionā iegūtos rezultātus.

Papildus analizētas zemestrīču magnitūdas un biežuma kopsakarības visā Baltijas reģionā ( $\varphi=53.7^\circ\text{N} - 59.6^\circ\text{N}$ ;  $\lambda=19.25^\circ\text{E} - 28.2^\circ\text{E}$ ) laika posmā no 1616.g. līdz 2004.g. (2.grafiks, 3.14.att.), Baltijas reģiona piekrastes daļā (3.grafiks, 3.14.att.), ieskaitot neotektoniskās depresijas struktūras laika posmā no 1670.g. līdz 2004.g., kā arī magnitūdas un biežuma kopsakarības Somijas teritorijā [Ahjos *et al.*, 1984] 1880.g. – 1980.g. (1.grafiks, att.3.14.). Vērtējot zemestrīču magnitūdas un biežuma kopsakarības parametrus ilgākiem laika periodiem, tika izmantoti Fencat dati [Ahjos, Uski, 1992].



**3.14. att. Zemestrīču magnitūdas un biežuma attiecība Baltijas reģiona dažādos apgabalos.**

Apzīmējumi: 1 – Somijas teritorija 1880.g. – 1980.g. [Ahjos et al., 1984]; 2 – Baltijas reģiona pētāmā teritorija ( $\varphi=53.7^{\circ}\text{N} - 59.6^{\circ}\text{N}$ ;  $\lambda=19.25^{\circ}\text{E} - 28.2^{\circ}\text{E}$ ) 1616.g. – 2004.g. ; 3 – Baltijas reģiona jūras piekrastes zona 1670.g. – 2004.g.; 4 – Baltijas reģiona jūras piekrastes zona 1976.g. – 2004.g. instrumentālie novērojumi.

Seismiskuma līmeņa visobjektīvākais vērtējums ir seismiskā aktivitāte, t.i., zemestrīču skaits uz  $100 \text{ km}^2$  gadā. Seismiskās aktivitātes novērtējums veikts Baltijas reģiona dažādiem nogabaliem un Somijai (3.3.tab.).

**3.3. tabula. Baltijas reģiona pētamo apgabalu un Somijas seismiskās aktivitātes parametru salīdzinājums**

Teritorija	S tūkst. $\text{km}^2$	T, gadi	$N_{5.0}$	$A_{5.0}$ $\times 10^{-6}$	$N_{4.0}$	$A_{4.0}$ $\times 10^{-6}$	$N_{3.0}$	$A_{3.0}$ $\times 10^{-6}$	$N_{2.0}$	$A_{2.0}$ $\times 10^{-6}$
Somija	338	100	4.1	12.1	15.8	46.7	61.7	182.5	239.9	709.8
Baltija <sup>1</sup>	358	388	2.5	1.8	5.1	3.7	10.5	7.6	21.4	15.4
Baltija <sup>2</sup>	228	334	1.4	1.8	3.1	4.1	6.8	8.9	14.8	19.4
Baltija <sup>3</sup>	228	28	1.0	15.7	1.9	29.8	3.7	58.0	7.2	112.8

Piezīmes:

Baltija<sup>1</sup> – Baltijas reģiona pētāmā teritorija ( $\varphi=53.7^{\circ}\text{N} - 59.6^{\circ}\text{N}$ ;  $\lambda=19.25^{\circ}\text{E} - 28.2^{\circ}\text{E}$ ).

Laika periods 1616.g. – 2004.g. (2.grafiks, 3.14.att.).



*Baltija<sup>2</sup> – Baltijas reģiona piekrastes teritorija. Laika periods 1670.g. – 2004.g. (3.grafiks, 3.14.att.).*

*Baltija<sup>3</sup> – Baltijas reģiona piekrastes teritorija. Laika periods 1976.g. – 2004.g. (4.grafiks, 3.14.att.).*

*S – platība, tūkst.km<sup>2</sup>*

*T – laika intervāls, gads*

*N<sub>i</sub> – zemestrīču daudzums ar magnitūdu i, atbilstoši zemestrīču magnitūdu un biežuma kopsakarības vērtējumam.*

*A<sub>i</sub> – seismiskā aktivitāte magnitūdai i*

Zemestrīču magnitūdu un biežuma kopsakarību vērtējums norāda, ka Somijas un Baltijas jūras un tās piekrastes seismisko aktivitāti praktiski iespējams salīdzināt zemestrīcēm ar magnitūdu 5,0. Vājākām zemestrīcēm seismiskā aktivitāte Somijā ir augstāka nekā visā pētāmā Baltijas reģionā un Baltijas piekrastes daļā gan instrumentālo novērojumu periodā, gan arī ilgstoši vēsturiskajā laikā.

Seismiskā aktivitāte visā Baltijas reģionā, ieskaitot tā sauszemes daļu, ir zemāka nekā Baltijas reģiona jūras piekrastes zonā, kas arī apstiprina pieņēmumu [Boborykin *et al.*, 1995] par seno platformu nomaļu daudz augstāku seismiskumu salīdzinājumā ar to iekšējām daļām, kā arī seno platformu krasi izvirzīto izciļņu paaugstināto seismisko aktivitāti.

Pētāmā Baltijas reģiona zemestrīču magnitūdu un biežuma kopsakarību un seismiskās aktivitātes vērtējumu var uzskatīt par ticamāku tieši instrumentālo novērojumu periodam, jo, pirmkārt, vajadzīga Baltijas reģiona seismiskuma vēsturisko datu rūpīgāka izpēte, otrkārt, šie dati nevienmērīgi sadalīti pa laika posmiem, „klusuma” periodi mijas ar aktīviem periodiem, un šādas parādības iemesli nav noskaidroti.

Jāpiebilst, ka dažādu teritoriju seismiskās aktivitātes salīdzinājums ir objektīvāks, ja salīdzina šo teritoriju lielumu, kā arī pētāmā laika ilgumu.

Zemestrīces maksimāli iespējamās magnitūdas novērtējumi liecina, ka Baltijas jūras piekrastes zonā, - Gdaņskas-Liepājas-Tallinas depresijā magnitūda sasniedz 5,1 vērtību, bet Lietuvas-Igaunijas monoklinālē – 5,4 [Ņikuļins, 1998].

Secinājumi: Baltijas reģiona seismiskums laikā un telpā ir nevienmērīgs. Seismiski aktīvāka ir Baltijas piekrastes zona. Ir noteiktas zemestrīču magnitūdu un biežuma kopsakarības Baltijas reģionā un tā piekrastes daļā. Seismiskā aktivitāte zemestrīcēm ar magnitūdu 5,0 mūsdienās (1976.g. – 2004.g.) ir praktiski salīdzināma ar Somijas teritorijas seismisko aktivitāti. Vājāku zemestrīču seismiskā aktivitāte augstāka ir Somijā.

### 3.5. Seismiskā bīstamība Baltijas reģionā

Seismiskā bīstamība Baltijas reģiona zemestrīcēm, novērtēta pamatojoties uz 2004.gada 21.septembra Kaļiņingradas zemestrīču satricinājumiem Sambijas pussalā. Kaļiņingradas zemestrīces izraisīja manāmus bojājumus daudzām Kaļiņingradas apgabala rietumu daļas apdzīvotajām vietām, - daļēji sabojājot aptuveni 2100 ēkas, 20 cilvēki bija ievainoti un viens cilvēks gāja bojā no sirdslēkmes. Kopējie ekonomiskie šo zemestrīču radītie zaudējumi tika lēsti ap 5,3 mlj. ASV dolāru [Nikonov *et al.*, 2005].

Pēc Krievijas seismologu datiem [Nikonov *et al.*, 2005], kas apsekoja Kaļiņingradas zemestrīču epicentra zonas, 2004.gada 21.septembrī Sambijas pussalā notika 7 jūtamas zemestrīces, bet tikai trīs no tām bija instrumentāli reģistrētas. Tuvākā seismiskā stacija Suwalki atrodas Polijas teritorijā 210 – 220 km attālumā no pirmo divu un visstiprāko zemestrīču epicentriem. Pirmo trīs zemestrīču parametri atspoguļoti 3.4.tab.

**3.4. tabula. 2004.gada 21.septembra Kaļiņingradas zemestrīču parametri**

Laiks, GMT	Ģeogrāfiskais platums	Ģeogrāfiskais garums	Hipocentra dziļums, km	Magnitūda	I <sub>0</sub>	Institūcija
11:05:01.6	54.924	20.12	16 ± 9.3	5.0 M <sub>L</sub>		IGF
13:32:31.0	54.876	20.12	20 ± 10.1	5.3 M <sub>L</sub>		IGF
11:05	54.91	19.88	15	4.3 M <sub>W</sub>	6.0 ± 0.5	IPE
13:32	54.97	20.13	14	4.6 M <sub>W</sub>	6.5 ± 0.5	IPE
13:36	54.81	20.17	5	2.2 M <sub>W</sub>	4.5 ± 0.5	IPE

Apzīmējumi tabulā:

IGF – Institute of Geophysics, Polish Academy of Sciences [Wiejacz, Debski, 2005].

IPE – Krievijas Zinātnes Akadēmijas Zemes Fizikas institūts [Nikonov *et al.*, 2005].

M<sub>L</sub> – lokālā magnitūda

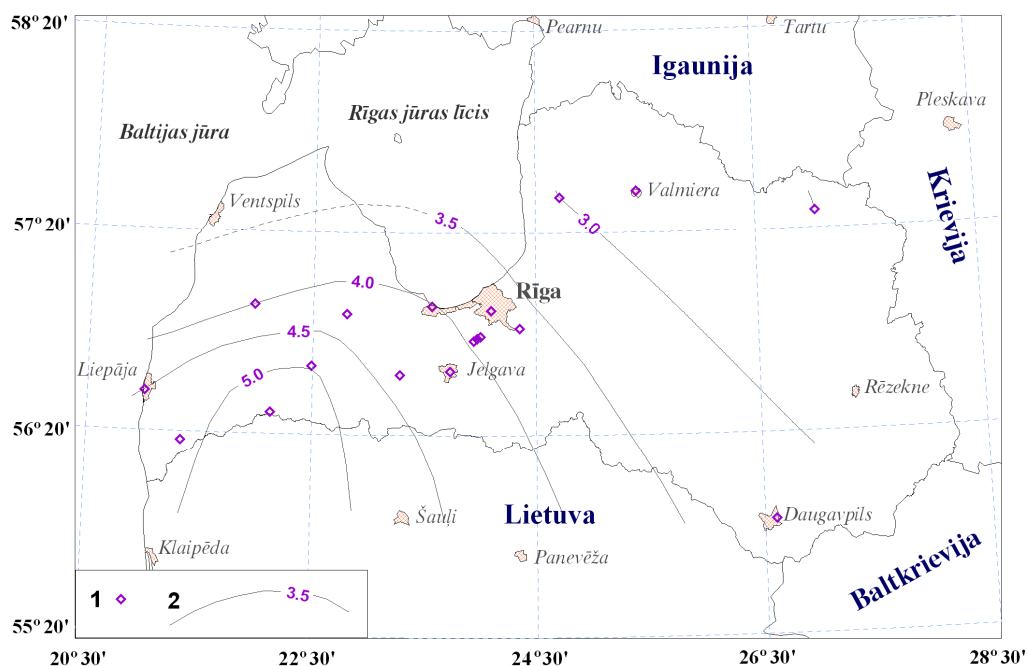
M<sub>W</sub> – pēc seismiskā momenta noteiktā magnitūda

Pirmās divas zemestrīces reģistrēja daudzas Eiropas stacijas. 3.6. tabulā sniegti tikai IGF instrumentālie dati, jo Polijas stacijas atrodas vistuvāk Kaļiņingradas

zemestrīču epicentriem, un tādēļ šajās stacijās bija kvalitatīvi ieraksti, kas ļāva veikt zemestrīču parametru drošu novērtējumu. Tabulā uzrādīti arī Krievijas seismologu makroseismiskie dati, kas noteikti zemestrīču epicentru zonās. Atzīmējams, ka instrumentālajos un makroseismiskajos datos vērojama neliela izkliede Kaļiņingradas zemestrīču epicentru koordinātu un dziļuma noteikšanā [Safronov *et al.*, 2005].

Kaļiņingradā 2004.gada 21.septembrī plkst. 13:32 notikusī zemestrīce ir visstiprākā Baltijas reģionā. Svārstības bija jūtamas 800 km attālumā visās Baltijas jūras valstīs, kā arī Baltkrievijā un Norvēģijā [Gregersen *et al.*, 2005; V'ezhach *et al.*, 2006].

Pirmās un otrās Kaļiņingradas zemestrīces satricinājumi bija jūtami daudzos Latvijas rajonos. Notika anketēšana, lai iegūtu informāciju par makroseismiskajiem efektiem, kurus novēroja Latvijas iedzīvotāji. Tas ļāva noteikt satricinājumu intensitāti Latvijas teritorijas lielākajā daļā. [Nikulin, 2005].



**3.15. att. 2004.gada 21.septembra otrās Kaļiņingradas zemestrīces izoseistu modelis Latvijas teritorijai.**

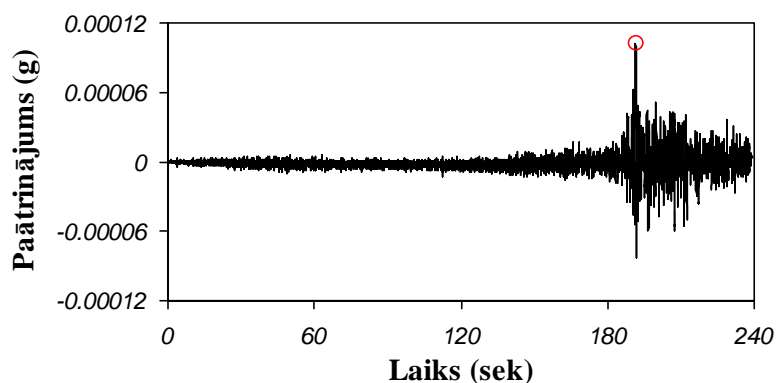
*Apzīmējumi: 1 – punkti, kur veikta respondentu aptauja; 2 – seismisko satricinājumu vienādas intensitātes līnijas pēc MSK-64 skalas.*

Satricinājumu maksimālais stiprums tika novērots Dobelē un Nīgrandes pagastā (3.15.att.), kur tas sasniedza 5 balles pēc MSK-64 skalas. Izveidojas plaisas ķieģeļu

mājas griestos un sienās, krita sastatņu; arī gadījums Nīgrandes pagastā, kur nelielajā privātajā elektrostacijā sabruka dzelzbetona sānsiena [Nikulīn, 2005]. Satricinājumu intensitāte Dobelē un Nīgrandes pagastā izrādījās pat augstāka nekā Lietuvas ziemeļos, kas atrodas daudz tuvāk Kaļiņingradas zemestrīču epicentriem [Nikulīn, 2005; Nikulīns, 2007a]. Seismoloģiskā praksē ir zināmi gadījumi [Wang, Hao, 2002; Semblat *et al.*, 2005; Elgamal *et al.*, 1996; Mândrescu *et al.*, 2007 u.c.] ar lokāliem svārstību intensitātes pieaugumiem, ko vispirms nosaka vietējie inženierģeoloģiskie un hidroģeoloģiskie apstākļi. Te būtiska nozīme ir ģeoloģiskajai uzbūvei, ģeoloģiskā giezuma augšdaļas iežu sastāvam un fizikāli-mehāniskajām īpašībām, kā arī gruntsūdens līmeņiem. Gadījumos, kad seguma un pagulslāņu seismiskā cietībā (ātruma un blīvuma reizinājums) ir ievērojamas atšķirības, kā arī seismisko viļņu garuma un ģeoloģiskā slāņa biezuma lielumi ir salīdzinoši līdzīgi, var tikt novērots rezonanses efekts, kas arī veicina svārstību pieaugumu [Savarenskijs, 1972; Nikulīn, 1986; Nikulīn, Gorodkova, 1986; Hasancebi, Lokmer *et al.*, 2002; Ulusay, 2006]. Ģeoloģisko apstākļu ietekmes novērtēšanai Nīgrandes pagastā veikta nogulumiežu segas reakcijas uz seismisko iedarbību modelēšana.

Nogulumiežu segas modelis veidots, balstoties uz urbšanas datiem dziļurbumā RM-5, kas atrodas 40 km attālumā no apdzīvotās vietas Kalni un dziļurbuma Nr. 3990, kas atrodas Kalnu tiešā tuvumā.

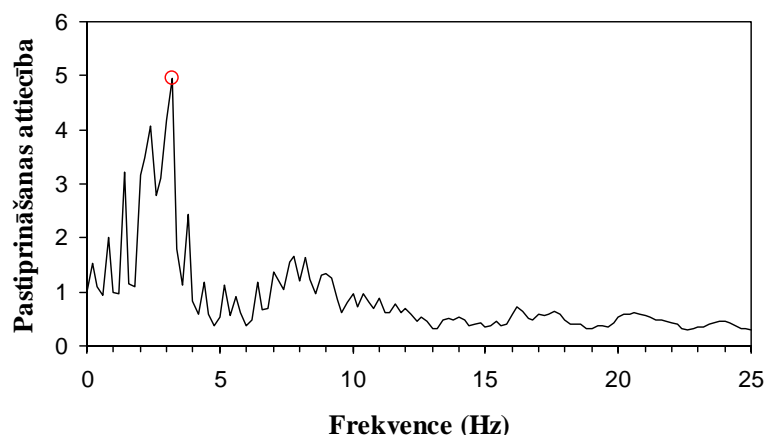
Izejas signālam tika izmantotas norvēģu seismisko staciju *Molde*, *Mo i Rana* un *Odda* ierakstītās Kaļiņingradas zemestrīču akselerogrammas.



**3.16. att. Kaļiņingradas 2004.gada 21.septembra (13:32:31 GMT) zemestrīces akselerogramma, kas iegūta *Molde* stacijā Norvēģijā.**

Tika pieņemts, ka Kalnos akselerogrammas forma kristāliskā pamatklintāja virsmā 1387 m dziļumā būs analoga Norvēģijas stacijās iegūtajai. Jāpiebilst, ka Norvēģijas stacija atrodas uz Skandināvijas vairoga kristāliskā pamatklintāja virsmas.

3.16.attēlā redzama ieraksta komponente austrumi-rietumi, kur konstatētas pašas intensīvākās paātrinājuma amplitūdas. Modelēšana [Ņikuļins, 2007a] ļāva noteikt seismiskā signāla pastiprinājuma līmeni nogulumiežu segas virsmā pie Kalnu apdzīvotās vietas (3.17.att.).



**3.17. att. 2004.gada 21.septembra (13:32:31 GMT) Kaļiņingradas zemestrīces seismiskās iedarbības pastiprinājums nogulumiežos attiecībā pret signālu kristāliskā pamatklintāja virsmā Kalnos (Nīgrandes pagasts), pēc Ņikuļina V. [Ņikuļins, 2007a].**

Līdzīgs efekts vērojams arī no *Mo i Rana* un *Odda* staciju citu signālu iedarbības uz kristāliskā pamatklintāja virsmu. Rezultātā konstatēts, ka maksimālais pastiprinājums rodas 3,2 Hz frekvencē un signāla amplitūda virszemē ir piecas reizes lielāka nekā uz kristāliskā pamatklintāja virsmas. Nogulumiežu segas atsevišķu slāņu biezumi izrādījās līdzīgi ar svārstību viļņa garumu 3,2 Hz frekvencē, kas arī izraisīja rezonanses parādību un amplitūdas signāla pastiprinājumu (satricinājuma līmeni) nogulumiežu segas virsmā.

Tātad, ņemot vērā rezonanses efekta iespējamību nogulumiežu segā, spēcīga zemestrīce Baltijas reģionā var būt bīstama būvēm, kas atrodas nelabvēlīgos inženierģeoloģiskajos apstākļos.

## 4. DISKUSIJA

Diskusijas daļā iztirzāti jautājumi, kas saistīti ar galvenajām risinātajām problēmām – seismisko rajonēšanu un seismiskuma ģeoloģiskajiem un ģeofizikālajiem priekšnosacījumiem.

### 4.1. Seismiskā rajonēšana

Seismiskās rajonēšanas pamatmērķis ir seismiskās bīstamības novērtēšana, t.i., nepieciešams noteikt seismogēno zonu telpisko izvietojumu un izvērtēt iespējamo seismisko efektu izpausmes varbūtību uz Zemes virsmas.

Seismiskās rajonēšanas metodoloģijas [Petrushevskij, 1955; Bunè *et al.*, 1980a; 1980b; Reisner, 1980; Ulomov, 1999; Kracke, Heinrich, 2004] pamatā ir seismisko aktivitāšu izcelšanās vietu identificēšana un aktivitāšu parametru noteikšana, novērtējot maksimāli iespējamās zemestrīces dziļumu un magnitūdu. Seismisko aktivitāšu izcelšanās vietu identificēšanas mērķis ir noteikt seismiski aktīvos Zemes garozas nogabalus, izmantojot ģeoloģiskās, ģeofizikālās un citas pazīmes.

Seismiskā rajonēšana var balstīties uz dažādiem sākotnējiem novērojumiem un datiem, tomēr svarīgākais elements ir statistiskie dati par zemestrīču gadījumiem, kas kalpo par pamatu seismisko efektu izpausmju periodiskuma prognozēšanai. Šādi dati ļauj novērtēt arī zemestrīces maksimāli iespējamo magnitūdu un citus parametrus [Scheidegger, 1985; Riznichenko, 1985].

Plātņu teritoriju, tai skaitā arī Austrumeiropas plātnes (AEP) ziemeļrietumu daļas, seismisko rajonēšanu lielākoties veic ar tradicionālām metodēm, kas tiek pielietotas seismiski aktīvos reģionos [Petrushevskij, 1955; Bunè *et al.*, 1980a; 1980b]. Tās iekļauj [Gubin, 1987; Ulomov, 1999; Carvalho *et al.*, 2006] seismogēno struktūru identificēšanu un apzināšanu, ko panāk, nosakot ģeoloģisko un ģeofizikālo pazīmju kompleksu [Gitis *et al.*, 1978; Ermakov *et al.*, 1984; Ivanovskaya *et al.*, 1988; ]. Šīs pazīmes izvēlas atkarībā no tā, cik pilnīgi teritorija ir izpētīta, izmantojot ģeoloģiskās un ģeofizikālās metodes.

Latvijas teritorijai kā šādas ģeoloģiskās un ģeofizikālās pazīmes var izmantot [Nikulīns, 1992; 1999; Nikuļins, 2006] zemes dziļū ģeoloģiskās uzbūves, kristāliskā

pamatklintāja un nogulumiežu segas, neotektonikas, Zemes garozas mūsdienu vertikālo kustību, gravitācijas lauka anomāliju un ģeotermiskā lauka pētījumu datus.

Tektonikas, neotektonikas un Zemes garozas mūsdienu vertikālo kustību dati veiktajā pētījumā sniedza iespējas noteikt lūzumus un atsevišķus to segmentus, kuriem piemīt nesenās aktivizācijas pazīmes (3.2.2. Seismotektonika). Salīdzinot šos Zemes garozas dinamiskos apgabalus ar zemestrīču epicentru sadalījumu (2.2.1. Seismostatistika un pielikums Nr. 2.1.), ir iespējams novērtēt, vai teritoriju var uzskatīt parzemestrīču cilmvietu rašanās (ZCR) zonu, potenciālu ZCR zonu vai seismotektonisko zonu. Šādu iedalījumu nosaka attiecība starp aktīviem vai neaktīviem lūzumiem ar zemestrīču izcelšanās vietām [Safronovs, Ņikuļins, 1999]. Seismogēno zonu iedalījums trijos tipos ir piemērotāks pētījumiem nākotnē salīdzinājumā ar tradicionālo divu grupu iedalījumu, (ZCR zonas un ZCR potenciālās zonas), kā tas tika piemērots, veicot Baltijas valstu un Baltkrievijas teritorijas seismiskās rajonēšanu [Garetskij *et al.*, 1997].

Tipi, kas izmantoti Latvijas teritorijas seismiskajā rajonēšanā [Safronovs, Ņikuļins, 1999], atspoguļo dažādas seismogēnās zonas, kuras iedala pēc varbūtības, ar kādu ir iespējama zemestrīču izcelšanās attiecīgajās zonās. Baltijas valstu un Baltkrievijas teritorijas seismiskās rajonēšanas gadījumā seismotektoniskās zonas šī pētījuma vajadzībām netika atsevišķi identificētas, tādēļ pagaidām uzmanība netika pievērsta tām tektoniskajām zonām, kuru tuvumā savulaik ir bijušas zemestrīču izcelšanās vietas, lai gan tam nepiemita nesenu tektonisko aktivitāšu pazīmes. Šāda pieeja ļāva zemestrīču rašanās vietas saistīt ar tā sauktajām „guļošajām, pasīvajām vai neaktīvajām” tektoniskajām zonām un ieviest trešo seismogēno struktūru grupu – seismotektoniskās zonas. Ja izskata varbūtību, ar kādu seismotektoniskās zonās ir iespējama zemestrīču izcelšanās, tad tā ir tikpat liela kā potenciālajās zonās.

Pētot Latvijas teritorijas seismisko bīstamību, izmantota arī visai netradicionāla metode – Zemes garozas seismotektoniskā potenciāla novērtēšana pēc dažādiem tās tektoniskajiem tipiem. Šīs metodes izvēli noteica nepieciešamība novērtēt seismogēnajās zonās iespējamo zemestrīču maksimālās magnitūdas, kas iespējamas vērtējamo seismogēno zonu robežās.

Tradicionāli zemestrīču maksimāli iespējamās magnitūdas metodes novērtē, izmantojot statistiskos datus par zemestrīcēm un arī tektoniskos datus par lūzumu izmēriem [Iida, 1959; Wyss, Brune, 1968; Thatcher, 1972; Rizničenko, 1985]. To, ka zemestrīču radīto deformāciju izmēri un zemestrīču magnitūda ir saistīti lielumi,

apliecina vairāki plaši zināmi zinātniskie pētījumi [Thatcher, 1972; Rizničenko, 1985]. Dažos no šiem pētījumiem [Rizničenko, 1985] sniegtas apkopjošas sakarības, kas ļauj novērtēt maksimāli iespējamo zemestrīces magnitūdu pēc aktīvām deformācijām, gadījumā, ja dati par spēcīgām zemestrīcēm reģionā nav pieejami. Tektonikas datu analīze, prognozējot maksimāli iespējamo zemestrīces magnitūdu, plātņu teritorijās ir aktuāla metode, jo starp zemestrīcēm, kas reģistrētas apzinātā vēstures periodā, var arī nebūt kādā reģionā stiprākās zemestrīces. Tomēr maksimāli iespējamo zemestrīces magnitūdu novērtēšanas rezultāti, ko sniedz tikai tektoniskie dati, ne vienmēr ir viennozīmīgi, un bieži papildus ir nepieciešamas ziņas, kas apstiprinātu apsekojamā lūzuma vai tā segmenta aktivitāti [Khromovskikh, 1989]. Šādu informāciju var sniegt dati par neotektoniskajām un Zemes garozas mūsdienu kustībām [Bungum *et al.*, 2005; Giménez *et al.*, 1996].

Minētā iemesla dēļ pētītajās seismogēnajās zonās maksimāli iespējamās zemestrīces novērtēja ne tikai ar iepriekš norādītajām metodēm, bet arī ar seismotektonisko potenciālu (3.2.1. Seismotektoniskais potenciāls). Pagājušā gadsimta 80.–90. gados tika izstrādāta seismotektoniskā potenciāla novērtēšanas metodika [Rejsner *et al.*, 1980; Rejsner G.I., Rejsner M.G, 1986; Rejsner *et al.*, 1993], kuru vēlāk sekmīgi pielietoja dažādos ģeodinamiskajos apstākļos [Rejsner *et al.*, 1991; Rejsner, Ioganson, 1992]. Īpaši sekmīgi šī metode tika izmantota Ukrainas [Reisners *et al.*, 1991; Rejsner, Ioganson, 1992], Baltijas valstu un Baltkrievijas [Garetskij *et al.*, 1997], un Latvijas [Safronovs, Ņikuļins, 1999] teritorijā. To, ka plātņu teritoriju seismiskā rajonēšana, izmantojot seismotektoniskā potenciāla novērtēšanas metodiku, veikta sekmīgi, apliecināja 2004. gada 21. septembra zemestrīces Kaļiņingradā. Šo zemestrīču izcelšanās vietas atradās Sambijas pussalas ziemeļu un ziemeļrietumu daļā, un tieši gar šīs pussalas ziemeļu krastu stiepjas Kaļiņingradas ZIV zonas apakšzona, kuras raksturojums iekļāva šādu kustību izpausmi [Safronovs *et al.*, 2005]. Jāpiebilst, ka, pateicoties seismotektoniskā potenciāla novērtēšanas metodikai, 2004 gadā notikušo zemestrīču izcelšanās vietas bija prognozētas jau 1997.gadā [Garetskij *et al.*, 1997], bet Kaļiņingradas ZIV zonas parametri bija nepietiekami novērtēti, maksimāli iespējamo zemestrīces magnitūdu novērtējot kā 4,0, lai gan, patiesībā, otrās un arī spēcīgākās Kaļiņingradas zemestrīces magnitūda sasniedza 5,3.

Statistiskie dati par zemestrīcēm, kas izmantoti Latvijas un tai apkārt esošās teritorijas pētīšanai (vairāk nekā 180 vēsturisku un instrumentāli konstatētu



zemestrīču), bija ievērojami plašāki par tiem, kurus savulaik izvēlējās Baltijas valstu un Baltkrievijas teritorijas seismiskajās rajonēšanas pētījumā (dati par 39 zemestrīcēm). Daudzas no šo zemestrīču izcelšanās vietām atradās ārpus Latvijas teritorijas: Baltijas jūrā, Igaunijā, Lietuvā utt., tādēļ sagatavotais zemestrīču katalogs (Pielikums Nr.2.1.) ietver lielu Baltijas reģiona daļu ( $\varphi = 51^{\circ} - 60^{\circ}$  un  $\lambda = 18^{\circ} - 34^{\circ}$ ). Tāds zemestrīču katalogs ir sagatavots pirmo reizi, un šādas informācijas apkopošanu par tik lielu teritoriju noteica nepieciešamība novērtēt maksimāli iespējamās zemestrīces magnitūdu atšķirīgiem Zemes garozas tektonotipiem visā Baltijas reģionā. Izmantojot šos datus, var ekstrapolēt magnitūdu lielumus dažādos Zemes garozas apgabalos, kuros nebija zināmas zemestrīces.

Seismiskā rajonēšana galvenokārt balstās uz statistiskajiem datiem par zemestrīcēm [Buné *et al.*, 1974, 1980a], kā arī uz seismoloģisko monitoringu [Oye, Roth, 2003]. Seismoloģiskajā monitoringā svarīgs ir novērojumu tīkla blīvums, jo blīvāks novērojumu tīkls ļauj reģistrēt vājās zemestrīces. Baltijas un Ziemeļeiropas reģionā seismoloģiskais tīkls galvenokārt ir izvērsts Skandināvijā.

Somijā, kur seismoloģiskie novērojumi sāka attīstīties kopš 1965. gada, pēc *Helsinki Universitātes Seismoloģijas institūta* (HUSI) datiem laika posmā no 1965. līdz 1999. gadam, t.i., 35 gadu laikā, ir reģistrētas 292 zemestrīces (<http://www.seismo.helsinki.fi/bul/index.html>). Gadā vidēji reģistrē 8 zemestrīces. Somijas seismiskajā tīklā ietilpst 14 seismiskās stacijas un viena seismiskā grupa (*seismic array*) FINES. Tā ietver 15 vertikālos sensorus, kuri izvietoti trijos lokos un aizņem ap 2,5 km<sup>2</sup> lielu platību, kurgrupas centrā atrodas trīskomponentu seismometrs.

Salīdzinājumam Latvijas teritorijā, pēc HUSI datiem, tajā pašā laika posmā bija tikai divas zemestrīces un vēl divas - Latvijas teritorijas tuvumā (3.5.tab.). Ņemot vērā, ka zemestrīcēm ar magnitūdu 3,0 seismiskā aktivitāte Somijas teritorijā ir 3,1 reizi lielāka nekā Baltijā (4.4.tab.) un ka Somijas teritorija ir 5,2 reizes lielāka par Latvijas teritoriju, pie tādas pašas seismiskā monitoringa sistēmas kā Somijā (viena stacija uz 22,5 tūkst. km<sup>2</sup>), Latvijā varētu sagaidīt apmēram 11 zemestrīču reģistrēšanu jeb 1 zemestrīci (ar magnitūdu 3,0) ik pēc 26,5 gadiem. Līdzīgi varētu sagaidīt 21 zemestrīču reģistrēšanu ar magnitūdu 2,0 jeb vienu zemestrīci ik pēc 14 gadiem, tomēr Latvijā tādā gadījumā vajadzētu būt vismaz trijām seismiskajām stacijām.

Seismisko datu statistika, kas izmantota Latvijas teritorijas seismiskajai rajonēšanai, pārsvarā balstās uz vēsturiskiem un Skandināvijas seismoloģisko staciju datiem (NORSAR Norvēģijā un Somijas seismoloģijas institūta HUSI). Tomēr Skandināvijas seismisko tīklu iespējas arī ir ierobežotas, jo to stacijas ir vairāku simtu kilometru attālumā no Latvijas. Tuvākā Somijas seismiskā stacija MEF atrodas 250 km no Latvijas ziemeļu robežas, bet tuvākā stacija Zviedrijā ir Gotlandes salā – vairāk nekā 170 km no Ventspils.

Svarīgi ir ņemt vērā, ka seismoloģiskās aparatūras efektīvo jutīgumu nosaka attiecība starp derīgo signālu un troksni [Chung *et al.*, 2001]. Palielinoties attālumam, zemestrīču radītā seismiskā enerģija samazinās un vājinātais seismiskais vilnis interferē ar reģionālo mikroseismisko traucējumu fonu, kam ir salīdzināma amplitūda. Tādos apstākļos reģistrēt zemestrīci ar nelielu magnitūdu (mazāku par 2,0) ir salīdzinoši sarežģīti [Nigmatullin, 2001].

Nedaudz augstāka efektivitāte seismisko notikumu reģistrēšanā Baltijas valstīs ir seismiskajām grupām (*seismic array*). Nozīmīgākās no tām ir FINES (Somijā) un HFS (Zviedrijā), kas spēj labāk detektēt derīgo signālu, jo summē visas seismiskās grupas signālus [Schweitzer *et al.*, 2002]. Tomēr arī par šādos apstākļos iegūtiem datiem norvēģu seismologi ziņo (Hicks E. C., Bungum H., Ringdal F.) par kļūdu, nosakot seismisko notikumu epicentru lokācijas, jo, salīdzinot lokālo un reģionālo novērošanas tīklu datus, ir aptuveni 27 km. Līdz ar to mūsu apstākļos korekti novērtēt seismiskā notikuma dziļumu un noteikt tā tipu (zemestrīce vai sprādziens) nav iespējams pat ar Skandināvijas seismisko grupu palīdzību. Minētais norāda, ka šādos ierobežotās statistisko datu pieejamības apstākļos īpaša nozīme ir vēsturiskajiem datiem par zemestrīcēm.

Baltijas teritorijas 1987. gadā veiktā (Anan'ina *et al.*, 1987) seismiskā rajonēšana balstījās uz ierobežotu statistisko datu daudzumu. Tā Latvijā tika noteiktas 2 zonas, kur iespējamas 7 ballu zemestrīces (Aizkraukle un Daugavpils), bet visā pārējā teritorijā ir atzīmēja kā 6 ballu zona. Tomēr, ja Irbes, Rīgas, Liepājas un citas seismogēnās zonas (tab. 4.2.), kurās ir bijušas zemestrīces vai zemestrīču izcelšanās vietas, atradās šo 1987. gada pētījumā izdalīto zonu tuvumā, tad pārējai Latvijas teritorijai, kur zemestrīces nav notikušas, tāds apgalvojums šķiet nepamatots. Visticamāk, ka tik lielā teritorijā kā bijušās PSRS Eiropas daļa, pētniekiem,

izmantojot universālu metodiku, nebija iespējams detalizētāk diferencēt seismogēnās zonas un ar tām saistīto seismisko bīstamību.

Turpmākajos gados metodes tika pilnveidotas, un 1997. gadā tās izmantoja pētnieku grupa [Ulomov, 1999] Eirāzijas ziemeļu daļas seismiskajā rajonēšanā, jau ņēmot vērā seismogēno struktūru iespējamo variantu lielo daudzumu. Autori zemestrīču izcelšanās vietai par zonu modeļu pamatu izvēlējās seismogēno Zemes garozas (jeb augšējās mantijas) apgabalu ar četriem hierarhiski atšķirīgiem līmeņiem: seismoaktīvais reģions, lineamenti, domeni (zonas) un potenciālās zemestrīču izcelšanās vietas. Šāda pieeja bija efektīgāka par 1987. gada seismiskajā rajonēšanā pielietoto, jo ņēma vērā seismoģeodinamisko apstākļu dažādību tik lielā teritorijā kā Ziemeļeirāzija. Šis seismiskās rajonēšanas variants [Ulomov, 1999] paredzēja divas seismiskās bīstamības novērtēšanas stadijas: vispirms modelē zemestrīču izcelšanās vietu zonu, bet pēc tam modelē seismisko efektu. Pateicoties 1997. gadā veiktajai seismiskai rajonēšanai, izveidota viendabīga seismoloģisko, ģeoloģisko un ģeofizikālo datu bāze un vienots zemestrīču izcelšanās vietu zonu modelis, kas attēloja prognozēto seismiskumu trīsdimensiju telpā [Ulomov, 1999].

Tomēr zemestrīču katalogā (<http://www.seismo.ethz.ch/gshap/neurasia/nordasiacat.txt>), ko izmantoja seismiskajā rajonēšanā, ietilpa tikai informācija par zemestrīcēm ar  $M \geq 4.5$ . Ziemeļeirāzijas zemestrīču katalogā iekļāva tikai 2 Latvijā notikušās zemestrīces (Koknese, 1821.g. un Irbe, 1857.g.) ar magnitūdas parametriem. Katalogā netika iekļautas zemestrīces, kas notika Bauskā (1616.g.), Rīgā (1870. g.), Liepājā (1909.g.) u.c., būtiski samazinot Latvijas teritorijas seismotektoniskās rajonēšanas ticamību.

Turpretī Latvijas teritorijas seismiskajā rajonēšanā (2.1. pielikums. Latvijas un tai piekļautās teritorijas zemestrīču katalogs) izmantoti dati par zemestrīcēm ar magnitūdu 2,5 un pat mazāk. Tomēr ir jāņem vērā, ka vājākām zemestrīcēm arī pieaug vairāku parametru (epicentra koordinātu precizitātes, magnitūdas un fokālā dziļuma) novērojumu precizitāte, drošums un ticamība. Jaunajā zemestrīču katalogā iekļāva informāciju par vēsturiskām un mūsdienu zemestrīcēm, izmantojot jau esošos katalogus [Doss, 1909; Boborykin *et al.*, 1993, 1995].

Veiktais pētījums [Nikuļins, 1998] norāda, ka noteicošā loma seismogēno zonu parametru noteikšanā ir stiprām zemestrīcēm. Ja arī daži vājas intensitātes seismiskie notikumi tika nepareizi identificēti kā zemestrīces, tie nozīmīgi neiespaido maksimāli iespējamās zemestrīces magnitūdas vērtējumu.

## 4.2. Seismiskuma ģeoloģiskie un ģeofizikālie priekšnosacījumi

Ņemot vērā zemes dzīļu ģeoloģisko, ģeofizikālo, seismisko un ģeodinamisko apstākļu sarežģītību un daudzveidību, kas saistīta ar dažādu teritoriju atšķirīgo ģeoloģisko uzbūvi un attīstības vēsturi, kā arī tehnogēno ietekmi uz ģeoloģisko vidi, līdz šim nav izdevies izstrādāt universālu metodi seismogēno zonu noteikšanai. Tajā pašā laikā, pateicoties seismologu pūlēm, jau ir izdevies izveidot kopēju seismiskumu veicinošu apstākļu uzskaiti [Buné *et al.*, 1980a; Ivanovskaya *et al.*, 1988; Yudakhin *et al.*, 2003].

Teritorijās, kas vairākkārtīgi bijušas pārklātas ar kontinentāliem ledus vairogiem, ir augsta Zemes garozas pamatnes depresijas varbūtība, tāpēc jāizvērtē arī iespējamā izostatiskā līdzsvara nobīdes kompensācija [Rezanov, Faitel'son, 1973; Tinkler, 1983; Sharma, 1984; Czarnecka, 1988; James *et al.*, 2000; Plag *et al.*, 1998; Stewart *et al.*, 2000]. Šajā gadījumā litosfēras deformētā stāvokļa kompensēšanas procesam līdztekus var veidoties spriegumu pieaugums Zemes garozā [Kaiser *et al.*, 2005] un, iespējams, arī augšējā mantijā. Spriegumi, kurus ierosina kompensācijas mehānismi, papildinot reģionālo spriegumu lauku, var ietekmēt ģeodinamiskos apstākļus un izraisīt Zemes garozas kustības [Stewart *et al.*, 2000; Husebye, Mantyniemi., 2005].

Izostatiskā līdzsvara izmaiņas ir tikpat būtisks tā vai cita rajona mūsdienu aktivitātes rādītājs, kā Zemes garozas mūsdienu kustības, vulkānisms un seismiskums [Artem'ev, 1973]. Analizējot korelāciju starp šīm parādībām, iespējams izmantot izostāzijas datus ne tikai vispārīgu ģeotektonikas jautājumu risināšanai, bet arī veikt teritoriju seismisku rajonēšanu un pētīt neotektoniskās kustības.

Esošās litosfēras izostatiskā līdzsvara izmaiņu kompensēšanas pētījumu metodes (veidi) [Airy, 1855; Terkot, Shubert, 1985; Mudretsova, 1990] pieļauj kompensēšanas modeļu dažādību un sarežģītas to kombinācijas [Terkot, Shubert, 1985], tomēr tiem visiem ir kopēja iezīme - šo modeļu pamatā ir Zemes garozas hidrostatiskais līdzsvars [Faitel'son, 1973; Terkot, Shubert, 1985].

Galvenais izostatiskajā modelī iekļautais parametrs ir līdzsvara atjaunošanās ātrums [Airy, 1855; Artem'ev, 1975; Mudretsova, 1990], un tas ir saistīts ar nekompensētās slodzes apgabala izmēriem [Artem'ev, 1975]. Ja šī apgabala izmēri attiecībā pret litosfēras masu ir nelieli, tad izostatiskā līdzsvara izmaiņu

kompensēšanas ātrums ir mazs un pieaug, palielinoties nekompensētās slodzes apgabala izmēriem [Artem'ev, 1975].

Plātnes teritorijā parasti nenovēro būtiskas izostatiskās anomālijas, un arī Baltijas jūras centrālajai daļai un Botnijas līcim ir raksturīga izostatisko minimumu vidēja intensitāte [Artem'ev, 1975], turpretī Viduslatvijas zemiens centrālajai daļai ir konstatētas nekompensētās negatīvās masas [Artem'ev, 1975]. Tomēr jāņem vērā, ka tie ir 1975. gada novērtējumi, kas sniegti visai bijušās PSRS teritorijai un tika izstrādāti ļoti sīkā mērogā, turklāt šajos novērtējumos netika izmantotas anomāliju topografo-izostatiskās Faja korekcijas [Artem'ev, 1975].

Šajā pētījumā Latvijas Zemes garozas izostatiskā stāvokļa novērtēšanai izmantots modelis, kurš balstās uz kompensējošiem procesiem, kas norisinās Moho robežas līmenī [Fajtel'son, 1973]. Šāda pieeja Zemes garozas pamatnes morfoloģiju vērtē kā reakciju uz virskārtas topogrāfiskās masas izmaiņām, kurām pieder arī ledus „cepure”, kas pleistocēnā vairākkārtīgi pārklājusi Baltijas reģiona teritoriju. Šajā Zemes garozas izostatiskā stāvokļa novērtēšanas modelī [Nikulin, 1999] izmantoja pēc seismiskās dziļumzondēšanas datiem noteikto Zemes garozas nogabala robežu biežumu un korelāciju sakarības starp seismisko ātrumu un garozas materiāla blīvumu. Svarīgi, ka izmantotais izostazijas modelis balstās uz Arhimēda spēka līdzsvara principu [Alessandrini, 1989].

Maksimālie pozitīvie Zemes garozas izostatiskā stāvokļa rādītāji ( $\Delta m$  5-5.8 kg/mm<sup>2</sup>) Latvijai un tai piegulošajām teritorijām attiecas uz 5 anomāliem Zemes garozas nogabaliem: Bārta, Dobeles, Kuršēni un Valmiera. Tie visi, izņemot Dobeli, ir pieder pie Zemes garozas attīstības 2.tipa. Tas nozīmē, ka Zemes garoza tiecas samazināt savu blīvumu un kompensēt izostatiskās izmaiņas, ko radījušas topogrāfiskās (ledus) slodzes [Fajtel'son, 1973; Rezanov, Fajtel'son, 1973].

Analoģisku izostazijas modeli izmantoja, lai novērtētu Zemes garozas stāvokli gar dažiem profiliem, kas šķērso gan Austrumeiropas plātni, gan Kaukāza-Kaspijas reģionu [Rezanov, Fajtel'son, 1973]. Tā pētījumos gar profilu Melnā jūra – Voronežas masīvs [Fajtel'son, 1973] tika aprēķināti pozitīvi Zemes garozas izostatiskā stāvokļa rādītāji, kur maksimālās  $\Delta m \sim 8.5$  kg/mm<sup>2</sup> vērtības atbilst Dņepras-Doņeckas avlakogēnam un Dņepropetrovskas grābenam, bet Kaukāza-Kaspijas reģionā pozitīvās  $\Delta m$  vērtības ap 6-7 kg/mm<sup>2</sup> tika noteiktas Piekaukāza ieliecē.

Latvijas Zemes garozas attīstība pēc otrā tipa ar blīvuma samazināšanos nav pretrunā ar ģeodēziskiem datiem par garozas vertikālo kustību pozitīviem ātrumiem (M.Kovalevskij, L.Berzinya *et al.*, 1966, pārskats). Lubalina pētījumi apstiprina, ka Zemes garoza var attīstīties pēc otrā tipa, jo tika atklāts platformas nesablīvējums, kuru izskaidroja ar tektonisku „uzirdināšanu” [Lyubalin, 1996].

Turklāt divos nogabalos (Valmiera un Kuršēni) Zemes garozas celšanās intensīvi notika neotektoniskajā laikā [Nikulīn, 1999]. Līdz ar to ir iespējams, ka Zemes garozas attīstība pēc otrā tipa tur saistīta ar topogrāfiskajām slodzēm (apledojumiem), kas ir senākas par holocēnu.

Zemes garozas attīstību pēc otrā tipa, īpaši Valmieras apkaimē, apstiprina dati par lūzumu blīvumu Zemes garozas kristāliskajā pamatklintājā [Nikulīn, 1999; Ņikuļins, 2007b], un jāpiebilst, ka līdztekus Zemes garozas pacelšanās procesiem notiek arī tās izliekšanās uz augšu un plaisāšana.

## 5. SECINĀJUMI

Seismotektonisko un seismiskās bīstamības pētījumu gaitā Latvijā tika analizēts plašs ģeoloģisko un ģeofizikālo datu klāsts – visi par pētīto teritoriju pieejamie seismoloģiskie, tektoniskie, neotektoniskie, ģeoloģiskie, ģeodēziskie, ģeotermiskie un gravimetriskie dati, kā arī to apkopojumi un izvērtējumi. Šāda plaša pētījumu rezultātu kompleksa analīze vienotā sistēmā bija nepieciešama Zemes garozas dinamikas izpratnei, tās saistībai ar seismiskumu kopumā un vāju aktīvo platformu teritorijas seismiskuma priekšnoteikumu analīzei. Minēto datu kompleksa analīze ļāva iegūt jaunus un principiāli svarīgus zinātniskus rezultātus par seismisko bīstamību pētītajā teritorijā.

Veikto pētījumu rezultāti, ļauj izvirzīt sekojošus nozīmīgākos secinājumus:

1. Platformu teritoriju līdz šim nepietiekoši pētītie seismotektoniskie apstākļi var tik apzināti, novērtēti un raksturoti tikai sistēmiski pētot šo problēmu grupu. Platformu teritoriju relatīvi vāja seismiskuma apstākļos, kādi ir arī senās Austrumeiropas platformas rietumu daļā, rezultātus ir iespējams iegūt, ja blakus tiešām seismiskām metodēm tiek realizēti izvērsti un kompleksi ģeoloģiski – ģeofizikālie pētījumi, kuri raksturo Zemes garozas un augšējās mantijas endogēno režīmu. Promocijas darbā tieši sistēmiska pieeja ļāva ne tikai pētīt un iegūt augstas kvalitātes seismiskās bīstamības raksturojumus, bet arī atklāt seismogēnās zonas un izpētīt seismiskās bīstamības raksturojumus, identificēt virkni ģeoloģiski –ģeofizikālo apstākļu, kuri raksturo Zemes garozas mobilitāti un pastāv Zemes garozas izostatiskā līdzsvara traucējumu iecirkņos, neotektonisko struktūru malās un Zemes garozas paaugstinātas plaisainības zonās.

2. Dziļumā notiekošo endogēno procesu, kuri var būt seismotektoniskās bīstamības avots, izpratne dibinās uz Zemes garozas dinamikas modeli. Autora piedāvātais Zemes garozas attīstības modelis pētītajās platformas teritorijās balstās uz izostatisko līdzsvara traucējumu kopsakarībām, kristāliskā pamatklintāja paaugstinātas plaisainības zonu izvietojumu, Zemes garozas neotektoniskām un mūsdienu kustībām. Šāds modelis ļauj noteikt Zemes garozas attīstības raksturu, kas

ir svarīgs informācijas avots un seismotektonisko pētījumu „instruments” ģeoloģisko procesu izpratnei.

3. Seismogēno zonu konstatācija objektīvi ir viena no seismiskās bīstamības pētījumu fundamentālām problēmām, it īpaši platformu teritorijās, kur līdz šim par seismiskām aktivitātēm ir uzkrāts ļoti ierobežots instrumentālo mērījumu skaits. Šādos apstākļos īpaša vērtība ir vēsturiskiem datiem, bet vērā ņemama ir šo datu (īpaši zemestrīču epicentru kartografēšanā) visai ievērojamā potenciālā kļūda. Minēto fundamentālo problēmu ļauj risināt seismogēno zonu (ticamo, potenciālo un seismotektonisko) gradācijas ieviešana. Šāda pieeja paplašina seismotektoniskās analīzes iespējas un ir piemērota darbam ar ierobežotiem seismisko aktivitāšu datu masīviem un apstrādājot vēsturiskos datus, kā arī tā ļauj izdalīt dažādus seismotektoniskos apstākļus.

4. Baltijas reģiona, tai skaitā Latvijas, mūsdienu seismiskā aktivitāte, lielākoties ir saistīta ar neotektonisko struktūru malu nogabaliem, kuri atrodas galvenokārt Baltijas jūras piekrastes daļā. Ir atklāta saistība starp neotektonisko kustību iecirkņiem ar paaugstinātu horizontālo gradientu un mūsdienu, instrumentāli reģistrēto zemestrīču epicentriem, tai skaitā Osmusāres un Kaļiņingradas zemestrīču epicentriem.

5. Seismisko avotu radīto seismisko svārstību intensitāti platformu apstākļos būtiski ietekmē teritorijas inženierģeoloģiskie pastākļi. Spēcīgas zemestrīces ļauj pētīt nogulumiežu segas reakciju uz seismiskām ietekmēm, it īpaši - uz svārstību spektru un amplitūdām. Tā 2004. gada 21. septembra Kaļiņingradas zemestrīce bija efektīvs līdzeklis, lai pētītu Baltijas reģiona nogulumiežu segas seismiskās īpašības. Vāju grunšu izplatības iecirkņos Latvijā var paaugstināties seismisko svārstību intensitāte un izveidoties rezonanses efekts zemes virspusē.

Pētījums ļāva izdarīt arī būtiskus blakus secinājumus un konstatējumus:

1. Latvijas teritorijā pamatoti var tikt izdalītas 17 seismogēnās zonas (6), to starpā sešas augstas ticamības (jeb drošas) ZCR zonas, 7 potenciālās ZCR zonas un 5 seismotektoniskās zonas. Seismogēnās zonas ir iedalītas trīs kategorijās: drošas zemestrīču cilmvietu rašanās (ZCR) zonas, potenciālās ZCR zonas un seismotektoniskās zonas. Ir noteikts, ka divās ZCR zonās (Bauska un Daugavpils) seismisko satricinājumu intensitāte var sasniegt 7 balles pēc MSK-64 12 ballu skalas, bet divpadsmit seismogēnās zonās satricinājumu līmenis var būt 6 balles. Pētījums



apstiprina autora izstrādātās un turpmāk aprobētās seismiskās rajonēšanas metodikas efektivitāti. Tā apstiprinājās jau 1995. gadā, prognozējot Kaļiņingradas ZCR zonas ziemeļu daļu kā seismiski aktīvu, kuras tuvumā arī atradās 2004. gada zemestrīču cilmvietas (14). Metodiski pamatoti, kā seismiskās rajonēšanas starpposms, tika izstrādātā reģiona seismotektoniskā karte, novērtēti zemestrīču seismogēno zonu parametri, maksimāli iespējamā magnitūda un zemestrīču hipocentru minimālais dziļums.

2. Seismiskās bīstamības raksturojumu pētījumu kvalitāte ir atkarīga no racionālas metožu izvēles. Platformu teritoriju apstākļos seismotektoniskā potenciāla novērtējuma metode ir efektīvs instruments seismotektoniskai analīzei un potenciālās seismiskās bīstamības raksturojumam. Seismotektoniskais potenciāls, kā seismiskuma raksturlielums, izpaužas kā ģeoloģiski - ģeofizikālo (izostāzija), ģeotermisko, ģeoloģisko (Zemes garozas biezums, kristāliskā pamatklintāja dziļums) un morfoloģisko (reljefa augstums) parametru kopums. Latvijā un tai piegulošajā teritorijā ( $\varphi = 55.33^\circ - 58.33^\circ$ ;  $\lambda = 20.5^\circ - 28.5^\circ$ ) ir izmantoti 46 Zemes garozas tektoniskie tipi, kā arī precizēts to seismotektoniskais potenciāls (magnitūdas skalas vienībās). Maksimāls seismotektoniskais potenciāls sasniedz magnitūdu skalas 4,5 vienības un attiecas uz 13% no pētītiem laukumiem (19 no 144 zemes garozas šūnām).

3. Latvijas teritorijā īpaši seismotektoniski aktīva daļa ir Baltijas jūras akvatorija un piekrastes zona. Šajā zonā ir noteikta neotektonisko kustību loma kā seismisko aktivitāšu pazīme un indikators visā Baltijas reģionā (21). Tieši šeit notika 1785. gada Ventspils, 1857. gada Irbes, kā arī Rīgas zemestrīces 1853., 1870., 1907., 1908., 1909. un 1910. g.g. Ārpus Latvijas robežām Baltijas jūrā un piekrastes zonā zemestrīces notika 1602. un 1607. (Tallina), 1827. (Hapsalu), 1877. (Vorms), 1976. (Osmusāre), un 2004. gadā (Kaļiņingrada). Baltijas reģiona jūras piekrastē un jūrā seismiskums ir saistīts ar neotektonisko kustību summāro amplitūdu maksimālā horizontālā gradienta zonām. Tas liecina par Zemes garozas deformācijas procesa turpinājumu Baltijas jūras neotektonisko struktūru malās (21). Šo nogabalu deformācijas apstiprina mūsdienu seismiskās aktivitātes - 1976. gada Osmusāres un 2004. gada Kaļiņingradas zemestrīce.

4. Ir iegūti Baltijas reģiona, tajā skaitā Latvijas teritorijas, seismiskā režīma raksturojumi: zemestrīču magnitūdu un biežumu sakarība Baltijas jūras piekrastes

daļai. Zemestrīcēm ar magnitūdu vairāk nekā 5,0 Baltijas reģiona piekrastes zonā, ieskaitot Latviju, seismiskā aktivitāte ir salīdzināma ar seismisko aktivitāti atsevišķās Skandināvijas daļās, piemēram, Somijā. Zemestrīcēm ar magnitūdu mazāk nekā 4,0, seismiskā aktivitāte Baltijas reģionā ir mazāka kā Somijā. Baltijas reģiona sauszemē, tai skaitā arī Latvijas teritorijā, maksimāli iespējamās magnitūdas lielums var sasniegt 5,4, bet Baltijas jūras piekrastes zonā – 5,1 (4).

5. Latvijas Zemes garozā eksistē izostatiskā līdzsvara traucējumi, kuri ir priekšnoteikumi Zemes garozas dinamikai. Zemes garozas izostatiskā stāvokļa pētījumi ļāva novērtēt Zemes garozas attīstības tipu un virzienu - ir noteikti 5 Zemes garozas nogabali ar izostatiskā līdzsvara pozitīviem rādītājiem (3, 5). Bārtas, Kuršēnu un Valmieras izostatiskā līdzsvara traucējuma nogabalos Zemes garoza attīstās pēc otrā tipa un šeit notiek zemes virsmas un garozas pamatnes pretfāzu kustību. Dobeles un Inčukalna izostatiskā līdzsvara traucējuma nogabalos Zemes garoza attīstības pazīmes pēc otrā tipa vērojamas tikai ģeoloģiskās attīstības mūsdienu posmā.

6. Zemes garozas izostatiskā līdzsvara traucējuma un kristāliskā pamatklintāja plaisainības nogabali ir orientēti dienvidrietumu - ziemeļaustrumu virzienā no Kalnciema līdz Valmierai. Tajās vietās, kur sakrīt abi apskatāmie nogabali, ir konstatēta paaugstināta Zemes garozas mobilitāte (15), ko raksturo garozas celšanās, blīvumu samazināšanās, plaisainības palielināšanās. Izostāzijas un paaugstinātas plaisainības zonu virziens praktiski sakrīt ar Zemes garozas kustības virzienu, kas konstatēts ar globālas pozicionālas sistēmas (GPS) mērījumiem. Tie norāda lūzumu spārnu slīdes iespējamību gar Liepājas - Rīgas - Pleskavas lūzumu zonu iecirknī starp Kalnciemu un Valmieru (15, 20). Pētījums ļauj izvirzīt nākotnē pārbaudāmu hipotēzi par to, ka ģeodinamisko apstākļu kopums Slokas – Cēsu un Olaines – Inčukalna lūzuma ziemeļaustrumu malas iecirknī starp Valmieru un Cēsīm, iespējams, veido paaugstinātu tektonisku sasprindzinājumu. Rezultātā ir iespējams tās atslābums, kas var izpausties lēnu deformāciju vai ātru seismotektonisko procesu (zemestrīču) veidā.

7. Izmantojot 2004. gada 21. septembra Kaļiņingradas zemestrīces instrumentāli fiksētus seismiskos signālus, ar makroseismiskiem pētījumiem un seismisko kustību efektu modelēšanu ir pierādīts, ka pastāv seismisko svārstību pastiprināšanās varbūtība Latvijas nogulumiežu segas virsmā rezonanses efekta rezultātā. Pētījumā konstatēts, ka maksimālais pastiprinājums rodas 3,2 Hz frekvencē un signāla amplitūda virszemē ir 5 reizes augstāka, nekā uz kristāliskā pamatklintāja virsmas (19).

Ņemot vērā Latvijas ģeogrāfisko stāvokli – šeit ir izvietotas nozīmīgas reģionālas transporta un enerģētikas komunikācijas, tiek veiktas ievērojamas investīcijas būvniecībā, t.sk. jaunu enerģētikas objektu izbūvē, promocijas darba pētījumu rezultāti var tikt praktiski izmantoti dzīvojamo un industriālo būvju drošības paaugstināšanā. Latvijas teritorijas seismiskās rajonēšanas rezultātiem ir nozīmīga lietišķa nozīme. Seismiskās rajonēšanas karte iekļauta Latvijas būvnormatīvos (LBN 005-99). Tā ļauj noteikt teritorijas drošai būvniecībai.

## NOSLĒGUMS

Veiktie pētījumi par Latvijas seismotektoniku un seismisko bīstamību sniedz jaunas zināšanas par seismogēnajām zonām, to konfigurāciju un iespējamo zemestrīču parametriem (zemestrīču magnitūda un hipocentra dziļums).

Pētījumi ļauj novērtēt Latvijas teritorijas seismisko režīmu, mūsdienu seismisko aktivitāti un Baltijas maksimāli iespējamo zemestrīču magnitūdu.

Novērtēti zemestrīču izcelšanās priekšnoteikumi: Zemes garozas izostatiskais stāvoklis un sašķeltība, kas ļauj izprast ģeodinamiskos procesus Zemes garozā Latvijas ziemeļaustrumos un izteikt versiju par iespējamo Zemes garozas deformāciju šajā rajonā.

Ir pierādīts, ka Zemes garozas neotektonisko struktūru malējās zonas ir seismoģenēzes avoti Baltijas reģiona.

Ņemot vērā nogulumiežu segas inženierģeoloģisko apstākļus, ir parādīts seismisko svārstību raksturs un satricinājumu paaugstināšanās no reģionālās spēcīgās zemestrīces Kaļiningradā.

Pētījumu rezultāti var rast pielietojumu celtniecības normatīvās dokumentācijas pilnveidošanā. Vispārējās Latvijas teritorijas seismiskās rajonēšanas materiālus var izmantot projektējot dažādus inženiertehniskus objektus seismogēno zonu tuvumā, izvērtējot seismiskā riska pamatnosacījums. Iegūtos seismiskās rajonēšanas rezultātus var izmantot, noslēdzot seismogēno zonu tuvumā esošo nekustāmo īpašumu apdrošināšanas līgumus.

### Rekomendācijas

Veiktais pētījums ļauj sniegt arī vairākas rekomendācijas:

1. Ņemot vērā jaunus ģeoloģiskos, ģeofizikālos un seismoloģiskos datus, īpašu uzmanību pievēršot seismisko iedarbību sekām, ko Latvijas teritorijā radīja 2004. gada Kaļiningradas zemestrīces, kā arī ievērojot jaunā Eiropas normatīvā dokumenta *Eurocode 8* (Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings) rekomendācijas, lietderīgi ir izstrādāt jaunu Latvijas teritorijas vispārējās seismiskās rajonēšanas karti.

2. Iegūtie Latvijas teritorijas seismiskās rajonēšanas rezultāti ir pietiekoši detalizēti, lai tos būtu iespējams iekļaut valsts būvnormatīvos (piemēram, LBN 005-99) ne tikai kā seismiskā riska zonu kontūras, bet arī kā satricinājumu intensitātes vērtējumus.
3. Ir ieteicams pievērst pastiprinātu uzmanību ģeodinamiskās kontroles, tai skaitā seismoloģiskā monitoringa lietderībai Pļaviņu un Rīgas HES, kā arī Inčukalna dabasgāzes pazemes glabātavas, lielo ostu, terminālu un citu nozīmīgu būvju apkārtnē.

## LITERATŪRA

**Aberberg G.A., 1960.** Izmeneniya vysot punktov nivelirnoj seti goroda Rigi. In: Orviku K.K., Zhelnin G.A., Gudelis V.K., Springis K.Ya., Villmann Ch.I. (eds) *Neotectonicheskie dvizheniya v Pribaltike*, pp. 66 – 73.

**Ahjos T., Saari J., Penttilä E., Korhonen H., 1984.** Earthquakes and seismic hazard in Finland. *Engineering geology*, 20, 1 – 12.

**Ahjos T. and Uski M., 1992.** Earthquakes in northern Europe in 1375 – 1989. In: Freeman and St. Muller (ed), *The European Geotraverse, Part 8, Tectonophysics*, 207, 1 – 23.

**Airy G. B., 1855.** On the computation of the effect of the attraction of mountain-masses as disturbing the apparent astronomical latitude of stations of geodetic surveys. *Philos. Trans. R. Soc. London*, 145, 101-104.

**Aki K., 1972.** Earthquake mechanism. *Tectonophysics*, 13 (1 – 4), 423 – 446.

**Aksamentova N.V., 1990.** Tektonika fundamenta. Strukturno-formatsionnye kompleksy kristallicheskogo fundamenta. In: Garetskij R.G. (ed) *Tektonika zapada Vostochno-Evropskoj platformy*. Navuka i tehnika, Minsk, pp. 13 – 16. (In Russian).

**Alessandrini B., 1989.** The equilibrium configuration of the earth involving minimum stress difference. *Journal of Geodynamics*, 11 (2), 143 – 165.

**Anan'in I.V., 1968.** Svyaz' seismichnosti Russoj platformy s sovremennymi tektonicheskimi dvizheniyami. *Sovremennye dvizheniya zemnoj kory*. VNIIGI, 3, 282 – 295. (In Russian).

**Anan'in I.V., Popov M.G., 1973.** Seismichnost' i izostaticheskoe sostoyanie litosfery chernomorskoj vpadiny. *Izostaziya*, Nauka, Moskva, 75 – 83. (In Russian).

**Anan'in I.V., 1980.** Russkaya ravnina i Ural. In: Bune V.I., Gorshkov G.P. (eds) *Seismicheskoe rajonirovanie territorii SSSR*. Nauka, Moskva, 109 – 114. (In Russian).

**Anan'in I.V., Lilienberg D.A., Shchukin YA.K., 1973.** Voprosy sootnosheniya sovremennykh vertikal'nykh dvizhenij, morfostrukturnykh osobennostej zemnoj kory i sejsmichnosti (na primere Vostochnoj Evropy). *Sovremennye dvizheniya zemnoj kory*. Tallin, 5, 605 – 615. (In Russian).

**Anan'in I.V., 1991.** Seismoaktivnye zony Vostochno-Evropejskoj platformy i Urala. In: *Kompleksnaya otsenka seismicheskoj opasnosti. Voprosy inzhenernoj seismologii*. Nauka, Moskva, 32, 106 – 125. (In Russian).

**Anderson D.L., Whitcomb J.H., 1973.** The dilatancy diffusion model of earthquake prediction. *Proceeding conference of tectonic problems of the San Andreas fault system*. Stanford University Publication, XIII, 417 – 426.

**Andreev S.S., 1956.** O seismicheskoj kharakteristike Russoj platformy. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geofizicheskaya*, 12, 1484 – 1487. (In Russian).

**Anglin, F. M., Buchbinder G.G.R., 1985.** *Induced Seismicity at the LG-3 Réservoir*, James Bay, Quebec, Canada. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 75, no. 4, 1067-1076.

**Ankudinov S.A., Brio H.S., Sadov A.S., 1991.** Glubinnoe stroenie zemnoj kory na territorii respublik Pribaltiki po dannym sejsmorazvedochnykh rabot GSZ. *Belorusskij sejsmologicheskij byulleten'*, 1, 111 – 117. (In Russian).

**Apirubite R.A., Dankevich I.V., Emel'yanov G.I., Karataev G.I., Pashkevich I.K., 1993.** Rajonirovanie zapada Vostochno-Evropejskoj platformy po geneticheskim tipam zemnoj kory. In: Geretskij R.G. (ed) *Geofizicheskie modeli zemnoj kory Belorussko-Pribaltijskogo regióna*. Navuka i tékhnika, Minsk, pp. 62 – 63. (In Russian).

**Artem'ev M.E., 1973.** Nekotorye rezul'taty i problemy izucheniya izostazii. Artem'ev M.E. (ed) *Izostaziya*. Nauka, Moskva, pp. 3 – 11. (In Russian).

**Artem'ev M.E., 1975.** *Izostaziya territorii SSSR*. Nauka, Moskva, 215 pp. (In Russian).

**Artem'ev M.E., Rejsner G.I., Sholpo V.N., 1984.** Metodika postroeniya obobshchennykh kart sovremennogo sostoyaniya zemnoj kory. *Sovremennaya tektonicheskaya aktivnist' territorii SSSR*, Nauka, Moskva, 80 – 93.

**Artyushkov E.V., 1966.** O kharaktere izmeneniya verkhnej mantii s glubinoj. *Izvestiya AN SSSR. Fizika Zemli*, 8, 14 – 15. (In Russian).

**Aseev A.A., 1974.** *Drevnie materikovye oledeneniya Evropy*. Nauka, Moskva, 319 pp. (In Russian).

**Assinovskaya B.A., 1994.** Sejsmichnost' Barentseva morya. Moskva, RAN PIK VINITI, 128 pp. (In Russian).

**Avotinya I.Ya., Boborykin A.M., Emel'yanov A.P., Sildvee H.H., 1988.** Katalog istoricheskikh zemletryasenij Belorussii i Pribaltiki. In: *Seismologicheskij byulleten'*

*sejsmicheskikh stantsij „Minsk” (Pleshchenitsy) i „Noroch” za 1984 god.* Minsk, 126 – 137. (In Russian).

**Balling N., 1984.** *Proceeding of the First EGT Workshop: the northern segment.* Strasbourg: Europe Science Foundation, 43 – 48.

**Balling N. and BABEL Working Group., 1992.** *Deep seismic profiling across the Tornquist Zone — project BABEL, southern part.*

**Bath M., 1956.** An earthquake catalog for Fennoscandia for years 1891 – 1950. *Sveriges Geologiska Undersokning*, Ser. C no. 545, Stockholm, Sweden, 52p.

**Båth M., 1979.** A note on frequency and energy relation for earthquakes. *Tectonophysics*, 56 (3 – 4), 27 – 33.

**Benioff H., 1951.** Earthquakes and rock creep. *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 41, 31 – 62.

**Birger A.Ya., Birger L.B., Birkis A.P. i dr., 1979.** *Geologicheskoe stroenie i poleznye iskopaemye Latvii.* Zinatne, Riga, 543 pp. (In Russian).

**Boborykin A.M., Garetskij R.G., Emel'yanov A.P., Sildvee H.H., Suveizdis P.I., 1993.** Zemletryaseniya Belarusi i Pribaltiki. Sovremennoe sostoyanie sejsmicheskikh nablyudenij b bkh obobshchenij. *Metodicheskie raboty ESSN.* 4, 29 – 39. (In Russian).

**Boborykin A.M., Vladimirov V.G., Garetskij R.G., German V.A., Emel'yanov A.P., Zuj V.I., Il'ganite V., Kendzera A.V., Matveenko M.V., Reisner G.I., Savitskij A.S., Safronov O.N., Hot'ko Zh.P., 1995.** Seismotektonicheskie issledovaniya zapada Vostochno-Evropejskoj platformy (Belorussko-Pribaltijskij region). *Sejsmicheskie issledovaniya.* 2, 5 – 54. (In Russian).

**Borisov B.A., Reisner G.I., Sholpo V.N., 1975.** *Vydelenie sejsmoopasnykh zon v al'pijskoj skladchatoj oblasti.* Nauka, Moskva, 139 pp. (In Russian).

**Boyce J. I., Morris W. A., 2002.** Basement-controlled faulting of Paleozoic strata in southern Ontario, Canada: new evidence from geophysical lineament mapping. *Tectonophysics* 353, 151– 171.

**Brady B.T., 1974.** *Theory of earthquakes.* Part 1, PAGEOPH, 112, 701 – 725.

**Brangulis A.P., Brio H.S., 1984.** Tektonika. Strukturnye kompleksy kristallicheskogo fundamenta. In: Misan Ya.P., Brangulis A.P., Straume Ya.A. (eds) *Geologiya Latvijskoj SSR. Ob''yasnitel'naya zapiska k geologicheskim kartam Latvijskoj SSR masshtaba 1:500 000.* Zinatne, Riga, pp. 70 – 71. (In Russian).

**Brangulis A.J., Kaņevs S., 2002.** *Latvijas tektonika.* VARAM, Rīga, 50 pp.



- Brio H.S., Stetsyun P.A., 1973.** *Glubinnoe stroenie zemnoj kory territorii Latvijskoj SSR po dannym aéromagnitnoj s'emki. Problemy geologii Pribaltiki i Belarusi.* Zinatne, Riga, 3 – 8. (In Russian).
- Buchbinder G.G.R., Anglin F. M., McNicoll R., 1981.** Seismicity Induced by the Reservoir LG-2 (La Seismicite Provoquee Au Reservoir LG-2) 18 *Canadian Journal of Earth Sciences*, 693.
- Bulin N.K., Afanas'ev N.A., Volkov A.V., 1980.** Aftershoki éstonskogo zemletryaseniya 1976 goda i glubinnoe stroenie épitsentral'noj zony. In: *Sejsmichnost' i sovremennye dvizheniya zemnoj kory v Vostochnoj Baltike.* Apatity, 24 – 39. (In Russian).
- Buné V.I., Aptikaev F.F., Artem'ev M.E., 1974.** Metodicheskie rekomendatsii po sejsmicheskomu rajonirovaniyu SSSR. In: *Inzhenernoe opisanie sejsmicheskikh kolebanij. Voprosy inzhenernoj sejsmologii.* Moskva, Nauka, 16, 185 – 208. (In Russian).
- Buné V.I., Gorshkov G.P., Krestnikov V.N., Nersesov I.L., Riznichenko Yu.V., Shchukin Yu.K., 1980a.** Metod sejsmicheskogo rajonirovaniya. In: Buné V.I., Gorshkov G.P. (eds) *Sejsmicheskoe rajonirovanie territorii SSSR.* Nauka, Moskva, pp. 7 – 13. (In Russian).
- Buné V.I., Gitis V.G., Shchukin Yu.K., 1980b.** Formalizatsionnyj metod vydeleniya zon VOZ s raznymi znacheniyami  $M_{max}$  (na primere regiona Krym – Kavkaz – Zapadnaya Turkmeniya). In: Buné V.I., Gorshkov G.P. (eds) *Sejsmicheskoe rajonirovanie territorii SSSR.* Nauka, Moskva, pp. 42 – 97. (In Russian).
- Buné V.I., 1980c.** Karta SR-78 territorii SSSR. In: Buné V.I., Gorshkov G.P. (eds) *Sejsmicheskoe rajonirovanie territorii SSSR.* Nauka, Moskva, pp. 83 – 97. (In Russian).
- Buné V.I., Gitis V.G., Kalenik V.N., Shchukin Yu.K., 1980d.** Kolichestvennaya otsenka sejsmicheskoi opasnosti po kompleksu geologo-geofizicheskikh dannykh. *Detal'noe sejsmicheskoe rajonirovanie.* Nauka, Moskva, pp. 111 – 119. (In Russian).
- Bungum H., Lindholm C., Faleide J.I., 2005.** Postglacial seismicity offshore mid-Norway with emphasis on spatio-temporal–magnitudal variations. *Marine and Petroleum Geology*, 22 (1 – 2), 137 – 148.
- Carvalho J., Cabral J., Gonçalves R., Torres L., Mendes-Victor L., 2006.** Geophysical methods applied to fault characterization and earthquake potential

assessment in the Lower Tagus Valley, Portugal. *Tectonophysics*, 418 (3 – 4), 277 – 297.

**Chandler R., 1990.** Reservoir Induced Destabilization of Reverse and Thrust Faults, 27 *Bulletin Indian Soc. Earthquake Technology*, 35.

**Chekunov A. V., Sollogub V. B., Gintov O. B., Isay V. M., Tripolsky A. A., 1989.** Seismo-tectonophysical model of the upper lithosphere. *Journal of Geodynamics*, 11 (1), 55 – 75.

**Chi-U-King, 1978.** Radon emanation on San Andreas fault. *Nature*, 271, 516 – 519.

**Chung P.-J., Jost M.L., Böhme J.F., 2001.** Estimation of seismic-wave parameters and signal detection using maximum-likelihood methods. *Computer & Geosciences*, 27 (2), 147 – 156.

**Cloetingh S.A.P.L., Cornu T., 2005.** Neotectonics and Quaternary fault-reactivation in Europe's intraplate lithosphere. *Quaternary Science Reviews*, 24, 235 – 508.

**Cloetingh S., Cornu T., Ziegler P.A., Beekman F. and ENTEC Working Group, 2006.** Neotectonics and intraplate continental topography of the northern Alpine Foreland. *Earth Science Reviews*, 74, 127 – 196.

**Cocks L.R.M., Torsvik T.H., 2005.** Baltica from the late Precambrian to mid-Palaeozoic times: The gain and loss of a terrane's identity. *Earth Science Reviews*, 72, 1 – 2, 39 – 66.

**Corral Á., 2006.** Dependence of earthquake recurrence times and independence of magnitudes on seismicity history. *Tectonophysics*, 424 (3 – 4), 177 – 193.

**Carvalho J., Cabral J., Gonçalves R., Torres L., Mendes-Victor L., 2006.** Geophysical methods applied to fault characterization and earthquake potential assessment in the Lower Tagus Valley, Portugal. *Tectonophysics*, 418 (3 – 4), 277 – 297.

**Crough S.T., Thompson G.A., 1976.** Thermal model of continental lithosphere. *J. Geophys. Res.*, 81, 26, pp. 4857 – 4862.

**Czarnecka K., 1988.** Genesis of tectonic movements in Upper Silesia, Poland. *Journal of Geodynamics*, 10 (2 – 4), 301 – 307.

**Dai F.C., Lee C.F., Deng J.H. and Tham L.G., 2005.** The 1786 earthquake-triggered landslide dam and subsequent dam-break flood on the Dadu River, southwestern China. *Geomorphology*, 65, 3 – 4, 205 – 221.

**Demenitskaya R.M., 1975.** *Kora i mantiya Zemli*. Nedra, Moskva, 256 pp. (In Russian).

- Dentith M. C., Featherstone W. E., 2003.** Controls on intra-plate seismicity in southwestern Australia. *Tectonophysics*, 376 (3 – 4), 167 – 184.
- Dobrovolsky I.P., Zubkov S.I., Miachkin V.I., 1979.** Estimation of the size of earthquake preparation zones. *PAGEOPH*, v.117, 1025 – 1044.
- Doody J.J., Giese R., Grad M., Thybo H., Garetsky R.G., Karatayev G.I., Zlotki G., Astapenko V.N., Belinsky A.A., Terletsky V.V., Sand R., Yliniemi J., Tiira T., Lousto U., Komminaho K., Motuza G., Nasedkin V., Jacyna J., Janik T., Guterch A., Kharitonov O.M., Omelchenko V.D., 1999.** Seismic velocity structure across the Fennoscandia – Sarmatia suture of the East European Craton beneath the EUROBRIDGE profile through Lithuania and Belarus. *Tectonophysics*. 314, 193 – 217.
- Doss B., 1898.** Übersicht und Natur der in Ostseeprovinzen vorgekommen Erdbeben. *Korrespondenzblatt der Naturforscher – Vereins zu Riga*. XL, 145 – 162.
- Doss B., 1905.** Über ein unbeachtet gebliebenes Beben in Estland. *Korrespondenzblatt der Naturforscher – Vereins zu Riga*. XLVIII, 121 – 138.
- Doss B., 1909.** Die historisch beglaubigten Einsturzbeben und seismisch-akustischen Phänomene der russischen Ostseeprovinzen. *Sonderabdruck aus Gerlands und Rudolphe Beiträgen zur Geophysik Bd. X, Heft 1, 1 – 124*.
- Doss B., 1910.** Die Erdstöße in der Ostseeprovinzen in Dezember 1908 und Anfang 1909. *Korrespondenzblatt der Naturforscher – Vereins zu Riga*. LIII, 73 – 107.
- Doss B., 1911.** Einige bisher unbekannt gebliebene Erdbeben in der Ostseeprovinzen. *Korrespondenzblatt der Naturforscher – Vereins zu Riga*. LIV, 3 – 11.
- Doss B., 1912.** Seismische Ereignisse in der Ostseeprovinzen vom Juni 1910 bis Ende 1912. In: *Izvestiya postoyannoj seismologicheskoy komessii*. Petrograd, v.6, 7, 25 – 32.
- Drakopoulos J., 1974.** *Conditions and triggering mechanism of earthquake activity in the region of Kremasta-Kastraki dams, Greece*. National Observatory of Athens, 144 p. (in Greek).
- Droste Z., 1992.** The evaluation of seismic hazard of large industrial objects. *Acta Geophysica Polonica*, XL. 3-4, 247 – 269.
- Ekman M., Makinen J., 1996.** Recent postglacial rebound, gravity change and mantle flow in Fennoscandia. *Geophys.J.Int.*, 126, 229 – 234.
- Elgamal A. –W., Zeghal M., Parra E., Gunturi R., Tang H. T., Stepp J. C., 1996.** Identification and modeling of earthquake ground response — I. Site amplification. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 15 (8), 499 – 522.

- Ermakov B.V., Semov V.N., Shchukin Yu.K., 1984.** Sovremennaya tektonicheskaya aktivnost' litosfery po geofizicheskim dannym. *Sovremennaya tektonicheskaya aktivnost' territorii SSSR*. Nauka, Moskva, 8 – 23.
- Evison F. F., 2001.** Long-range synoptic earthquake forecasting: an aim for the millennium. *Tectonophysics*, 338 (3 – 4), 207 – 215.
- Faitel'son A.Sh., 1965.** Geneticheskaya klassifikatsiya platformennykh tektonicheskikh struktur i paleotektonicheskie postroeniya po geofizicheskim dannym o glybovoj strukturē fundamenta. *Sovetskaya geologiya*, 1, 76 – 94. (In Russian).
- Faitel'son A.Sh., 1973.** Arhimedovo ravnovesie zemnoj kory. Artem'ev M.E. (ed) *Izostaziya*. Nauka, Moskva. 44 – 49 (In Russian).
- Fakundiny R. H., Jacobi R. D., Lewis C. F. M., 2002.** Neotectonics and seismicity in the eastern Great Lakes Basin. *Tectonophysics*, 353.
- Floden T., 1984.** *Z. angew. Geologie*. 30, 2 – 16.
- Fomenko K.E., Lapina E.G., Lapin S.V., 1970.** Glubinnoe stroenie Pribaltiki. *Sostoyanie i zadachi razvedochnoj geofiziki*. Nedra. 7 – 11. (In Russian).
- Fourmaintraux D., Grasso J-R., Bard P-Y. and Koller M., 1997.** Use of continuous seismic monitoring for hazard assessment of seismicity associated with hydrocarbon reservoirs and triggered by their exploitation. *Bulletin du Centre de Recherches Elf Exploration Production*, France, Vol. 21, N 2, 323 – 336.
- Fuju J., 1974.** Relation between duration period of the precursory crustal movement and magnitude of the earthquake. *Zisin*, 27, 3.
- Furs V.K., Karataev G.I., 1997.** *Nelinejnye dispersionnye modeli strukturnoj geofiziki*. NAN Belarusi, IGN, Minsk. 94 pp. (In Russian).
- Fursov N.N., 1962.** Stroenie kristallicheskogo fundamenta severnoj chasti Sovetskoj Pribaltiki po dannym aeromagnitnoj s'emki. *Sovetskaya geologiya*, 4, 110 – 113. (In Russian).
- Galaganov O.N., Guseva T.V., Mishin A.V., 2004.** Izuchenie sovremennykh dvizhenij zemnoj kory severo-zapadnoj evropejskoj chasti Rossii s primeneniem sputnikovykh tekhnologij. In: Yudakhin A.Y. (ed) *Geodinamika i geologicheskie izmeneniya v okruzhayushchej srede severnykh regionov*. Arkhangel'sk, pp. 153 – 156.
- Galindo-Zaldívar J., Balanyá J.C., Bohoyo F., Jabaloy A., Maldonado A., Martínez-Martínez J. M., Rodríguez- Fernández J., Suriñach E.,** Active crustal

fragmentation along the Scotia–Antarctic plate boundary east of the South Orkney Microcontinent (Antarctica). *Earth and Planetary Science Letters*, 204 (1 – 2), 33 – 46.

**Garetskij R.G., Klushin S.V., 1987.** Glubinnoe stroenie Pripyatskogo paleorifta. *Doklady AN SSSR*. 297, 6, 1438 – 1442.

**Garetskij R.G., Klushin S.V., 1989.** Litricheskie razlomy v Pripyatskom paleorifte. *Geotektonika*. 1, 48 – 60.

**Garetskij R.G., Boborykin A.M., 1989.** O seismotektonicheskom rajonirovanii zapada SSSR. *Seismologicheskij byulleten' seismicheskikh stantsij „Minsk” (Pleshchenitsy), „Gomel” i „Naroch” za 1986 god.* IGiG, Minsk, 150 – 155. (In Russian).

**Garetsky R., Boborykin A., Emeljanov A., Sildvee K., 1989.** Historical earthquakes on the territory of Byelorussia and the Baltic Republics. *Calibration of historical earthquake in Europe*. Madrid. 217 – 230.

**Garetskij R.G., Boborykin A.M., 1992.** Soveshchanie po seismicheskomu rajonirovaniyu Vostochno-Evropejskoj platformy i Urala. *Belorusskij seismologicheskij byulleten'*, 2, 195 – 198. (In Russian).

**Garetskij R.G., Pashkevich I.K., Suveizdis P.Ya., Apirubite R.A., Dankevich I.V., Karataev G.I., 1993.** Obsuzhdenie skhemy rajonirovaniya zapada Vostochno-Evropejskoj platformy po tipam zemnoj kory. In: Geretskij R.G. (ed) *Geofizicheskie modeli zemnoj kory Belorussko-Pribaltijskogo regiona*. Navuka i tékhnika, Minsk, pp. 64 – 69. (In Russian).

**Garetskij R.G., Aronov A.G., Ajzberg R.E., Karabanov A.K., Safronov O.N., 1997.** Obshchee seismicheskoe rajonirovanie Belorussko-Baltijskogo regiona. *Doklady Akademii nauk Belarusi*, 41, 4, 98 – 102. (In Russian).

**Garetsky R., Levkov E., Schwab G., Karabanov A., Aizberg R., Garbar D., Kockel F., Ludwig A.O., Lukke-Andersen H., Ostaficzuk S., Palienko V., Sim L., Sliampa A., Sokolowski J., Stackebrandt W., 1999.** Main Neogeodynamic features of the Baltic Sea depression and adjacent areas. *Technika poszukiwan geologicznych. Geosynoptyka i geotermia*. 1 (195), 17 – 27.

**Giménez J., Suriñach E., Fleta J., Goula X., 1996.** Recent vertical movements from high-precision leveling data in northeast Spain. *Tectonophysics*, 263 (1 – 4), 149 – 161.

- Girin R.É., 1993.** Sravnitel'nyj analiz geneticheskikh tipov zemnoj kory, rel'efa i tektoniski fundamenta Belorussko-Pribaltijskogo regiona. In: Geretskij R.G. (ed) *Geofizicheskie modeli zemnoj kory Belorussko-Pribaltijskogo regiona*. Navuka i tékhnika, Minsk, pp. 71 – 87. (In Russian).
- Gitis V.G., Bunne V.I., Shchukin Yu.K., 1978.** Algoritmic prognosis of  $M_{\max}$  earthquakes based on geological and geophysical data (Crimea – Caucasus – West Turkmenia). In: *Proceeding Simposium on the analysis of seismicity and on seismic risk*. Liblice, 69 – 70.
- Goryainov P. M., Ivanyuk G. Yu., Sharov N. V., 1997.** Fractal analysis of seismic and geological data. *Tectonophysics*, 269 (3 – 4), 247 – 257.
- Gorshkov G.P., Krestnikov V.N., 1980.** Deformatsiya zemnoj kory i aktivnyye glubinnye razlomy. In: Bune V.I., Gorshkov G.P. (eds) *Seismicheskoe rajonirovanie territorii SSSR*. Nauka, Moskva, 24 – 33. (In Russian).
- Gorshkov G.P., 1987.** *Seismotektonika Kopetdaga*. Nauka, Moskva, 52 pp.
- Gough D. I. and Gough W. I., 1970a.** Stress and deflection in the lithosphere near Lake Kariba I. *Geophysical Journal*, 21, pp. 65 – 78.
- Gough D. I. and Gough W. I., 1970b.** Load-induced earthquakes at Lake Kariba II: *Geophysical Journal*, 21, pp. 79-101.
- Grachev A.F., Dolukhanov P.M., 1970.** Poslednikovoe podnyatie zemnoj kory v Kanade i v Fennoskandii po dannym radiouglerodnykh datirovok. In: Gudelis V.K. (ed) *Baltika*, 297 – 312.
- Grachev A.F., Magnitskij V.A., Mukhamediev Sh.A., Yunga S.L., 1996.** K opredeleniyu maksimal'no-vozmozhnykh magnitud zemletryasenij na Vostochno-Evropejskoj platforme. *Fizika Zemli*, Moskva, 7, 3 – 20. (In Russian).
- Green P.E., Frosch R.A., Romney C.F., 1965.** Principles of an experimental large aperture seismic array (LASA). In: *Proceeding IEEE* (Inst. Elec. Electron Eng.), 53, 1821 – 1833.
- Gregersen S., Basham P. W., 1989.** *Earthquakes at North-Atlantic passive margins : neotectonics and postglacial rebound*. NATO Advanced Research Workshop on Causes and Effects of Earthquakes at Passave Margins and in Areas of Postglacial Rebound on Both Sides of the North Atlantic, Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 740 pp.

- Gregersen S., Voss P., TOR Working Group, 2002.** Summary of project TOR: delineation of a stepwise, sharp, deep lithosphere transition across Germany–Denmark–Sweden. *Tectonophysics*, 360 (1 – 4), 61 – 73.
- Gregersen S., Mantyniemi P., Nikonov A.A., Aptikaev F.F., Aleshin A.S., Assinovskaya B.A., Pogrebchenko V.V., Guterh B., Nikulin V., Pacesa A., Wahlstrom R., Schweitzer J., Kulhanek O., Holmquist C., Heinloo O., Puura V., 2005.** Felt reports at large distances of the earthquakes in non-seismic Kaliningrad in west Russia. In: Joeleht, A., (ed.) *Kaliningrad earthquake September 21, 2004*. Institute of Geology, University of Tartu – Geological Survey of Estonia, Tartu, pp. 11 – 12.
- Grosval'd M.G., 1983.** *Pokrovnye ledniki kontinental'nykh shel'fov*. Nauka, Moskva, 216 pp. (In Russian).
- Grünthal G., Bosse Ch., Musson R.M.W., Gariel J.-Ch., Th. de Crook, Verbeiren R., Camelbeek R., Mayer-Rosa D., Lenhardt W., 1996.** Joint seismic hazard assessment for the central and western part of GSHAP-Region 3 (central and northwest Europe). In: Thorkelsson, B. (ed), *Seismology in Europe, Papers presented at the XXV ESC General Assembly*, Reykjavik, Iceland, pp. 339-342.
- Gubin I.E., 1987.** Sejsmogennyye tektonicheskie processy. In: *Sovremennaya tektonicheskaya aktivnost' Zemli i sejsmichnost'*. Nauka, Moskva, pp. 5 – 21. (In Russian).
- Gupta H., Rastogi B., 1979.** *Plotiny i zemletryaseniya*. Mir, 252 pp. (In Russian).
- Gutenberg B., 1941.** Changes in sea level, post-glacial uplift, and mobility of the earth's interior. *Geological Society of America Bulletin*, 52, 721 – 772.
- Gutenberg B., Richter C.F., 1942.** Earthquake magnitude, intensity, energy, and acceleration. *Bulletin Seismological Society of America*, 32, 163 – 191.
- Gutenberg B., Richter C.F., 1954.** *Seismicity of the Earth and Associated Phenomena*. Princeton, Princeton University, 310 pp.
- Gutenberg B., Richter C.F., 1956.** Magnitude and energy of earthquakes. *Annali di Geofisica*. IX, 1, 1 – 15.
- Gutenberg B., 1959.** *Physics of the Earth's Interior*. New York, Academic Press, 240 pp.

- Gzovsky M. V., Latynina L. A., Ostrovsky A. E., Pevnev A. K., 1972.** Slow deformations of the Earth's crust and their relation to earthquakes in the USSR. *Physics of the Earth and Planetary Interior*, 6 (4), 235 – 240.
- Hasancebi N., Ulusay R., 2006.** Evaluation of site amplification and site period using different methods for an earthquake-prone settlement in Western Turkey. *Engineering Geology*, 87 (1 – 2), 85 – 104.
- Hess H., 1962.** The history of ocean basins. In: Engel, A.E.J. (ed), *Petrologic studies*, Boulder, CO, Geological Society of America, p. 599 – 620.
- Hot'ko Zh.P., 1974.** *Glubinnoe stroenie territorii Belarusii i Pribaltiki po dannym geofiziki*. Minsk, 92 pp. (In Russian).
- Hough S. E., Martin S., 2002.** Magnitude estimates of two large aftershocks of the 16 December, 1811 New Madrid earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.* 92, 3259 – 3268.
- Huang C., Hiroshi I., 2007.** Soft risk maps of natural disasters and their applications to decision-making. *Information Sciences*, 177 (7), 1583 – 1592.
- Husebye S.E., Mantyniemi P., 2005a.** The Kaliningrad, West Russia main shock on the 21st of September 2004 – A discussion about its possible triggering mechanism. In: Joeleht, A., (ed.) *Kaliningrad earthquake September 21, 2004*. Institute of Geology, University of Tartu – Geological Survey of Estonia, Tartu, pp. 17 – 19.
- Husebye E.S., Mäntyniemi P., 2005b.** The Kaliningrad, West Russia earthquakes on the 21st of September 2004 – Surprise events in a very low-seismicity area. *Physics of the Earth and Planetary Interior*, 153 (4), 227 – 236.
- Ida Y., 1975.** Analysis of stick-slip and earthquake mechanism. *Physics of the Earth and Planetary Interior*, 11 (2), 147 – 156.
- Ida K., 1959.** Earthquake energy and earthquake fault. *Journal Earth Science*, Nagoya University, 7, 2, 98 – 107.
- Illies H., 1976.** Intraplate tectonics in stable Europe as related to plate tectonics in the Alpine system. *Geol. Rundsch.*, 64, 677 – 699.
- Indans A.P., Kovalevskij M.I., Springis E.N., 1960.** Neotektonicheskie dvizheniya na primere Latvijas SSR. In: Orvik K.K., Zhelnin G.A., Gudelis V.K., Springis K.Ya., Villmann Ch., I. (eds) *Materialy soveshchaniya po voprosam neotektonicheskikh dvizhenij v Pribaltike*. Tallinn, pp. 96 – 105. (In Russian).



- Ivanovskaya L.V., Firsova D.B., Homenyuk J.V., Shchukin J.K., 1988.** *Dolgovremennoe prognozirovanie sejsmicheskoy opasnosti po kompleksu geologo-geofizicheskikh dannyykh.* Moskva, Nauka, 108 pp. (In Russian).
- James T.S., Clague J. J., Wang K., Hutchinson I., 2000.** Postglacial rebound at the northern Cascadia subduction zone. *Quaternary Science Review*, 19 (14 – 15), 1527 – 1541.
- Johnston A.C., 1996a.** Seismic moment assessment of earthquakes in stable continental regions - I. Instrumental seismicity, *Geophys. J. Int.*, 124, 381 – 414.
- Johnston A.C., 1996b.** Seismic moment assessment of earthquakes in stable continental regions - II. Historical seismicity, *Geophys. J. Int.*, 125, 639 – 678.
- Johnston A.C., 1996c.** Seismic moment assessment of earthquakes in stable continental regions - III. New Madrid 1811-1812, Charleston, 1886 and Lisbon 1755, *Geophys. J. Int.*, 126, 314 – 344.
- Juškevičs V., Kondratjeva S., Mūrnieks A., Mūrniece S., 1998.** 41.lapa – Ventspils. *Latvijas ģeoloģiskā karte. Mērogs 1:200000. Paskaidrojuma teksts un kartes.* VARAM VGD, 48 pp.
- Kagan Y.Y., 1997.** Seismic moment-frequency relation for shallow earthquakes: regional comparison. *J.Geoph.Res.*, 102, N.B2, 2835 – 2852.
- Kagan Y.Y., 1999.** Universality of the seismic moment-frequency relation. *Pure and Appl. Geoph.*, 155, 537 – 573.
- Kaiser A., Reicherter K., Hübscher C., Gajewski D., 2005.** Variation of the present-day stress field within the North German Basin—insights from thin shell FE modeling based on residual GPS velocities. *Tectonophysics*, 397 (1 –2), 55 –72.
- Karataev G.I., Dankevich I.V., Pashkevich I.K., 1993a.** Anomal'nye gravitatsionnye i magnitnye polya. In: Geretskij R.G. (ed) *Geofizicheskie modeli zemnoj kory Belorussko-Pribaltijskogo reģiona.* Navuka i tékhnika, Minsk, pp. 7 – 19. (In Russian).
- Karataev G.I., Pashkevich I.K., Girin R.E., Rusetskaya L.S., 1993b.** Rel'ef i glubinnost' poverkhnosti Mokhorovichicha v regione. In: Geretskij R.G. (ed) *Geofizicheskie modeli zemnoj kory Belorussko-Pribaltijskogo reģiona.* Navuka i tékhnika, Minsk, pp. 37 – 43. (In Russian).
- Karataev G.I., Pashkevich I.K., Girin R.E., 1993c.** Geofizicheskie kharakteristiki geneticheskikh tipov zemnoj kory. In: Geretskij R.G. (ed) *Geofizicheskie modeli*

*zemnoj kory Belorussko-Pribaltijskogo reģiona*. Navuka i tékhnika, Minsk, pp. 54 – 62. (In Russian).

**Karataev G.I., Furs V.K., 1997.** *Nelinejnye dispersionnye modeli strukturnoj geofiziki*. Minsk, 94 pp.

**Kaufmann G., Wu P., Li G., 2000.** Glacial isostatic adjustment in Fennoscandia for a laterally heterogeneous earth. *Jeophys.J.Int.*, 143, 262 – 273.

**Keilis-Borok V., Shebalin P., Gabrielov A., Turcotte D., 2004.** Reverse tracing of short-term earthquake precursors. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 145 (1 – 4), 75 – 85.

**Khromovskikh V. S., 1989.** Determination of magnitudes of ancient earthquakes from dimensions of observed seismodislocations. *Tectonophysics*, 166 (1 – 3), 269 – 280.

**Kissin I.G., 1981.** Hidrogeodinamicheskie predvestniki zemletryasenij. *Sovetskaya geologiya*, 11, 118 – 126. (In Russian).

**Kisneryus Yu.L., Brangulis A.P., Grigyalis Ē.A., Suveizdis P.I., 1980.** *Geologicheskaya karta respublik Sovetskoj Pribaltiki. Masshtab 1:500000*. Ob"yasnitel'naya zapiska. LitNIGRI, Nedra, Leningrad, 54 pp. (In Russian).

**Kondorskaya N.V., Shebalin N.V., 1980.** Osnovnye seismologicheskie dannye. *Seismicheskoe rajonirovanie territorii SSSR*, Nauka, Moskva, 21 – 24.

**Kondorskaya N.V., Nikonov A.A., Anan'in I.V., Dolgoplov D.V., 1988.** Osmussaar earthquake in the east Baltics of 1976. *Sovremennoe sostoyanie seismologicheskikh issledovanij v Evrope*. Materialy XIX General'noj Assamblei Evropejskoj seismologicheskoy komissii. Nauka, Moskva, 376 – 387. (In English).

**Kostrov B.V., 1975.** *Mekhanika ochaga tektonicheskogo zemletryaseniya*. Nauka, Moskva, 176 pp. (In Russian).

**Kovtun A.A., 1989.** *Stroenie kory i verkhnej mantii na severo-zapade Vostochno-Evropejskoj platformy*. Leningradskij gosudarstvennyj universitet, Leningrad, 284 pp. (In Russian).

**Kracke D.W. and Heinrich R., 2004.** Local seismic hazard assessment in areas of weak to moderate seismicity—case study from Eastern Germany. *Tectonophysics*, 390 (1 – 4), 45 – 55.

**Krasnyj L.I., 1984.** Global'naya delimost' litosfery v svete geoblokovoj kontseptsii. *Sovetskaya geologiya*, 7, 17 – 31. (In Russian).

- Krinitzsky E. L., Slemmons D. B., 1990.** Neotectonics in earthquake evaluation. *Reviews in engineering geology*, Geological Society of America, 8, 77 – 109.
- Kuang J., Long L. T., Mareschal J.-C., 1989.** Intraplate seismicity and stress in the southeastern United States. *Tectonophysics*, 170 (1 – 2), 29 – 42.
- Kuz'min Yu.O., 1996.** Sovremennyye superintensivnyye deformatsii zemnoj poverkhnosti v zonakh platformennykh razlomov. *Geologicheskoe izuchenie i ispol'zovanie nedr.* Moskva, 4, 43 – 53. (In Russian).
- Kuz'min Yu.O., 2002.** Sovremennaya anomal'naya geodinamika assejsmichnykh razlomnykh zon. *Elektronnyj, nauchno-informatsionnyj zhurnal „Vestnik otdeleniya nauk o zemle RAN”*, 1 (20), 1 – 27. (In Russian).
- Lagerback R., 1979.** Neotectonic structures in Northern Sweden. *Geol.Foren. Stockholm Forh.*, 100, 263 – 269.
- Lapina E.G., Fajtel'son A.Sh., 1970.** Metodika regional'nukh geofizicheskikh issledovaniy. In: *Sostoyuanie i zadachi razvedochnoj geofiziki.* Moskva, Nedra, 7 – 11.
- Leblanc G. and Anglin F., 1978.** Induced seismicity at the Manic 3 Reservoir, Quebec. *Seismological Society of America Bulletin*, 68, 1469-1485.
- Lee C.T., Yin Q., Rudnick R.L., Jacobsen S.B., 2001.** Preservation of ancient and fertile lithospheric mantle beneath the southwestern United States. *Nature*, 411 (6833), 69 – 73.
- Lesis I.P., Gudelis V.K., 1961.** Vertikal'nye dvizheniya zemnoj kory na territorii Yugo-Vostochnoj Pribaltiki po dannym tochnykh nivelirovok. In: *Neotektonika SSSR*, Riga, 117 – 131.
- Levi K.G., Lysak S.V., 1986.** Termal'naya èvol'yutsiya i moshchnost' litosfery kontinentov. In: Shchukin Yu.K. (ed) *Osnovnyye problemy sejsmotektoniki.* Moskva, Nauka, pp. 69 – 78. (In Russian).
- Lipponen A., Manninen S., Niini H., Rönkä E., 2005.** Effect of water and geological factors on the long-term stability of fracture zones in the Pääjänne Tunnel, Finland: a case study. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 42, 1, 3 - 12.
- Liu L., 2001.** Stable continental region earthquakes in south China. *Pure and Applied Geophysics*. 158, 1583 – 1611.

- Lokmer I., Herak M., Panza F., Vaccar F., 2002.** Amplification of strong ground motion in the city of Zagreb, Croatia, estimated by computation of synthetic seismograms. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22 (2), 105 –113.
- Lu C., 2005.** The degree of predictability of earthquakes in several regions of China: statistical analysis of historical data. *Journal of Asian Earth Sciences*. 25 (2), 379 – 385.
- Lundqvist J., Lagerbäck R., 1976.** The Pärvie fault: A late-glacial fault in the Precambrian of Swedish Lapland. *Geol. Fören. Stockholm Förh.*, 98, 45 – 51.
- Lyubalin V.D., 1996.** Glubinnaya struktūra Latvii, paleodinamicheski analizē i otsenka sovremennoj geodinamicheskoj obstanovki. *Otechestvennaya geologiya*, 12, 27 – 33. (In Russian).
- Mândrescu N., Radulian M., Mărmureanu Gh., 2007.** Geological, geophysical and seismological criteria for local response evaluation in Bucharest urban area. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27 (4), 367 – 393.
- Mantyniemi P., Husebye E., Kebeasy T.R.M., Nikonov A.A., Nikulin V., Pacesa A., 2004.** State-of-the-art of historical earthquake research in Fennoscandia and the Baltic Republic. *Annals of Geophysics. Investigation the records of past earthquakes*. 47, 2/3, 611 – 619.
- Martinelli G., 1909.** Fenomeni sismici calabro-siculi precedenti il terremoto del 28 dicembre 1908. *Boll. Soc. Sism. It.*, 13, 3-24.
- Massonnat G., Roland J-P., 1997.** Characterization and modelling of a surprising process: increasing permeability induced by the recovery of a naturally fractured reservoir ( Lacq Profond, France ). *Bulletin du Centre de Recherches Elf Exploration Production*. France. Vol. 21, N 2, 347 – 363.
- Maury V., 1997.** Effect of the Lacq gas field depletion summary statement at the end of 1989 on seismic activity and subsidence. *Bulletin du Centre de Recherches Elf Exploration Production*. France. Vol. 21, N 2, 303 – 322.
- Meshcheryakov Yu.A., 1963.** Vekovye dvizheniya zemnoj kory. Nekotorye itogi i zadachi issledovanij. In: *Sovremennye dvizheniya zemnoj kory*, AN SSSR, Moskva, 1, pp. 7 – 24. (In Russian).
- Miyamura S., and Penttila E., 1964.** Seismic Events Located in and Near Finland. *Journal of the Institute of Seismology of the University of Helsinki* , 69, 1-48.
- Mogi K., 1974.** Active periods in the World's chief seismic belts. *Tectonophysics*, 22, 265 – 282.

- Morgan W.J., 1968.** Rises, trenches, great faults, and crustal blocks. *Journal of Geophysical Research*, 73, 1959 – 1982.
- Morozov V.N., Rodkin M.V., Tatarinov V.N., 2001.** K probleme geodinamicheskoj bezopasnosti ob"ektov yaderno-toplivnogo tsikla. *Geoekologiya*, 3, 227 – 238. (In Russian).
- Mozhaev B.N., 1973.** *Novejshaya tektoniska Severo-zapada Russoj ravniny*. Nedra, Leningrad, 231 pp. (In Russian).
- Mudretsova E.A., 1990.** Vychislenie anomal'noj sily tyazhesti. In: Mudretsova E.A., Veselov K.E. (eds) *Gravirazvedka*, Nedra, Moskva, pp. 116 – 137. (In Russian).
- Mushketov I.V., Orlov A.P., 1893.** Katalog zemletryasenij Rossijskoj imperii. *Zapiski Russkogo geograficheskogo obshchestva*. 26, 125 – 255. (In Russian).
- Myachkin V.I., Kostrov B.V., Sobolev G.A., Shamina O.G., 1975a.** Osnovy fiziki ochaga i predvestniki zemletryasenij. In: *Fizika ochaga zrmletryaseniya*. Nauka, Moskva, 6 – 29.
- Mjachkin V.I., Brace W.F., Sobolev G.A., Dieterich J.H., 1975b.** Two model for earthquake forerunners. *PAGEOPH*, 113, 169 – 181.
- Myachkin V.I., 1978.** *Protsessy podgotovki zemletryasenij*. Nauka, Moskva, 232 pp. (In Russian).
- Nigmatullin R. R., 2001.** Detection of weak signals based on a new class of transformations of random series. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 289 (1 – 2), 18 – 36.
- Nikolaev N.I., 1967.** Neotektonika i sejsmichnost' Vostochno-Evropskoj platformy. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geograficheskaya*, 2, 13 – 27. (In Russian).
- Nikolaev N.I., 1988.** *Novejshaya tektoniska i geodinamika litosfery*. Nedra, Moskva, 491 pp. (In Russian).
- Nikonov A.A., 1977.** *Golotsenovye I sovremennye dvizheniya zemnoj kory*. Nauka, Moskva, 240 pp. (In Russian).
- Nikonov A. A., 1979.** Contribution to earthquake prediction by the data of recent crustal movement anomalies. *Tectonophysics*, 25 (1 – 4), 644 – 645.
- Nikonov A., Sildvee H., 1986.** Seismic and tectonic activity of Estonian territory. *7th International symposium and Recent Crustal Movements of the Earth*. Abstracts. Tallin, p. 99.

- Nikonov A., Sildvee H., 1988.** Zemletryaseniya Ėstonii i ikh sejsmotektonicheskaya pozitsiya. *Izvestiya Akademii nauk Ėstonskoj SSR. Geologiya.* 37 (3), 127 – 142. (In Russian).
- Nikonov A.A., 1995.** Netektonicheskie zemletryaseniya Vostochno-Evropejskoj platformy. *Priroda*, 10, 26 – 37. (In Russian).
- Nikonov, A.A., Aptikaev, F.F., Aleshin, A.S., Assinovskaya, B.A., Pogrebchenko, V.V., Ponomareva O.N., 2005.** Kaliningrad earthquake of September 21, 2004, macroseismic data for near and mesoseismal zones. In: Joeleht A. (ed) *Kalinigrad earthquake September 21, 2004*. Institute of Geology, University of Tartu – Geological Survey of Estonia, Tartu, pp. 26 – 29.
- Nikulin V.G., 1986.** Izuchenie vliyaniya pripoverkhnostnoj tolshchi yuga Ashkhabadskogo sejsmoaktivnogo rajona na spektral'nye kharakteristiki volnovykh polej. *Izvestiya Akademii nauk Turkmenistana, seriya fiz.-tekh. i geol. nauk*, 1, 89 – 92.
- Nikulin V.G., Gorodkova T.N., 1986.** Vliyanie gruntovykh uslovij na chastotnyj spektr zemletryasenij i vzryvov v Ashkhabadskoj sejsmoaktivnoj zone. *Izvestiya Akademii nauk Turkmenistana, seriya fiz.-tekh. i geol. nauk*, 3, 34 – 38.
- Nikulin V.G., 1992.** Sovremennaya ėnergeticheskaya nasyshchennost' zemnoj kory Latvii. *Belorussij sejsmologicheskij byulleten'*. Minsk, IGIg, 2, 84 – 91. (In Russian).
- Ņikuļins V., 1996.** Latvijas vēsturisko zemestriču sejsmotektoniskā pozīcija. *Latvijas ģeoloģijas vēstis.* 1, 22 – 29.
- Nikulin V., 1997.** Preliminary results of isostatic conditions estimation of Earth crust in Latvia, *Eurobridge Workshop*, Lithuanian Institute of Geology, Abstracts, Vilnius, 56 – 58.
- Ņikuļins V., 1998.** Dažu Baltijas reģiona seismisko parametru novērtējums. *Latvijas ģeoloģijas vēstis.* 4, 29 – 35.
- Nikulin V., 1999.** Correlation between isostatic anomalies and neotectonic movements in Latvia. *Tehnika Poszukiwan Geologicznuch. Geosynoptyka i Geotermia.* Krakow, 1 (195), 68 – 76.
- Ņikuļins V., 2000.** Musdienu sejsmotektoniska situacija Plavinu HES rajona. *Latvijas Universtitates 58. zinatniska konference. Zemes un Vides zinatnu sekcijas.* Referatu tezes. 122 – 123.

- Nikulin V., 2000.** Problems of seismicity investigations in Latvia. International Conference “*Geophysics in the Baltic region: Problems and prospects for the new millennium*”. Abstracts. 52 – 53.
- Nikulin V.G., 2003.** Analysis of seismic activity in Latvia within 1992 – 2001. *Лимачепа*. 1
- Nikulin V.G., Aronov A.G., Aronova T.I., Seroglazov P.P., 2004.** Issledovanie seismicheskikh protsessov v zapadnoj chasti Vostochno-Evropejskoj platform. In: Yudakhin A.Y. (ed) *Geodinamika i geologicheskie izmeneniya v okruzhayushchej srede severnykh regionov*. Arkhangel’sk, pp. 119 – 125. (In Russian).
- Ņikuļins V.** Seismiskais risks Baltijā mūsdienās. *Latvijas ģeoloģijas vēstis*. 12, 2004, 4 – 5. lpp.
- Ņikuļins V., 2005.** Baltijas reģiona seismisko procesu īpatnības telpa un laiks. *Latvijas Universitātes 63. zinātniska konference. Ģeografija, ģeoloģija, Vides zinātne*. Referātu tezes. 189.
- Nikulin, 2005.** Estimation of seismic effects in Latvia from the Kaliningrad earthquake of September 21, 2004. In: Joeleht A. (ed) *Kalinigrad earthquake September 21, 2004*. Institute of Geology, University of Tartu – Geological Survey of Estonia, Tartu, pp. 30 – 31.
- Ņikuļins V., 2006.** About some geological and geophysical indicators seismotectonic conditions in Latvia. In: *Lietišķo ģeoloģisko pētījumu lauku metodes un instrumenti*. Konferenču tezes. Lodesmūiža, 21 – 24.
- Nikulin V.G., 2006.** Sovremennoe sostoyanie seismicheskikh nablyudenij v stranakh Baltii. In: Malovichko A.A., Assinovskaya B.A., Gliko A.O., Gol’din S.V., Levin B.V., Mekhryushev D.Yu., Nikolaev A.V., Pojgina S.G., Sobolev G.A., Starovoit O.E. *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh*. Obninsk, 113 – 117. (In Russian).
- Ņikuļins V., 2007a.** Kaļiņingradas zemestrīču seismiskās ietekmes novērtējums Latvijā. *Latvijas Universitātes 65. Zinātniskā konference*. Tēzes. 176 – 178.
- Ņikuļins V., 2007b.** Seismological researches in Latvia and prospects of their development. *Rīgas tehniskās Universitātes 47. Starptautiskās zinātniskās konferences*. (in print).
- Nikulin V.G., 2007c.** Seismichnost’ territorii stran Baltii. In: Sharov N.V., Malovichko A.A., Shchukin Yu.K. *Zemletryaseniya i mikrozejsmichnost’ v zadachakh*

*sovremennoj geodinamiki Vostochno-Evropskoj platformy*. Karel'skij NTS RAN, Petrozavodsk. Kniga 1, 364 – 368 (In Russian).

**Ņikuļins V., 2007d.** Baltijas reģionālo zemestrīču identifikācija. *Latvijas Universitātes 65. Zinatātniskā konference*. Tēzes. 174 – 176.

**Nur A., 1972.** Dilatancy, pore fluids and premonitory variations of  $t_s/t_p$  travel times. *Bulletin Seismological Society of America*, 62, 1217.

**Omori F., 1909.** Preliminary report on the Messina-Reggio earthquake of Dec. 28, 1908. *Bulletin of the Imperial Earthquake Investigation Commission*, 3-2, 37-46.

**Osipov V.I., 1996.** Megapolisy pod ugrozoy prirodnykh katastrof. *Vestnik RAN*, 9 (18), 93 – 99. (In Russian).

**Ostrovsky A. A., Flueh E. R., Luosto U., 1994.** Deep seismic structure of the Earth's crust along the Baltic Sea profile. *Tectonophysics*, 233, 3 – 4, 279 – 292.

**Ostrovskij A.A., 1995.** Zona drevnego riftobrazovaniya pod Baltijskim morem. *Doklady Akademii nauk*. 342, 5, 680 – 685. (In Russian).

**Oye V., Roth M., 2003.** Automated seismic event location for hydrocarbon reservoirs. *Computers and Geosciences*, 29 (7), 851 – 863.

**Pashkevich I.K., 1993a.** Ponyatie geneticheskogo tipa zemnoj kory. Geretskij R.G. (ed) *Geofizicheskie modeli zemnoj kory Belorussko-Pribaltijskogo reģiona*. Navuka i tékhnika, Minsk, pp. 51 – 54. (In Russian).

**Pashkevich I.K., 1993b.** Tipizatsiya i voprosy évoljutsii zemnoj kory reģiona. In: Geretskij R.G. (ed) *Geofizicheskie modeli zemnoj kory Belorussko-Pribaltijskogo reģiona*. Navuka i tékhnika, Minsk, pp. 98 – 120. (In Russian).

**Peláez J.A., Delgado J., Casado C.L., 2005.** A preliminary probabilistic seismic hazard assessment in terms of Arias intensity in southeastern Spain. *Engineering Geology*, 77 (1 – 2), 139 – 151.

**Petrushevskij B.A., 1955.** *Znachenie geologicheskikh yavlenij pri sejsmicheskom rajonirovanii*. AN SSSR, 59 pp. (In Russian).

**Plag H.P., Engen B., Clark T.A., Degnan J.J., Richter B., 1998.** Post-glacial rebound and present-day three-dimensional deformations. *Journal of Geodynamics*, 25 (3 – 4), 263 – 301.

**Planinič J., Radolič V., Lazanin Ž., 2001.** Temporal variations of radon in soil related to earthquakes. *Applied Radiation and Isotopes*, 55 (2), 267 – 272.



**Pollack H.M., Chapman D.S., 1977.** On the regional variation of heat flow, geotherms and lithospheric thickness. *Tectonophysics*, 30, 3/4, 279 – 296.

**Prasanta B. K. P., Brasse H., Sarma S. V. S., Harinarayana T., 2005.** Electrical structure of the crust below the Deccan Flood Basalts (India), inferred from magnetotelluric soundings. *Jeophys.J.Int.*, 163, 931 – 943.

**Proskuryakova T.A., Hot'ko Zh.P., Kuznetsov J.N., 1976.** Glubinnoe stroenie severo-zapadnogo reģiona SSSR po rezul'tatam nablyudenij i analiza dlinnoperiodnykh sejsmicheskikh voln i dannyx geofiziki. *Issledovanie dlinnoperiodnykh sejsmicheskikh voln*. Minsk, pp. 106 – 113. (In Russian).

**Purra V., Klein V., Koppelmaa H., Niin M., 1997.** Precambrian basement. In: Rukas A., Teedumäe A. (ed.) *Geology and Mineral resources of Estonia*. Institute of Geology, Tallinn, 27 – 34.

**Rajendran K., Rajendran C. P., 1999** – Seismogenesis in the stable continental interiors: an appraisal based on two examples from India. *Tectonophysics*, 305, 1 – 3, 355 – 370.

**Randyarv Yu.Yu., 1968.** Kharakter i skorosti sovremennykh dvizhenij zemnoj kory v Pribaltike. In: *Sovremennye dvizheniya zemnoj kory*, 3, 200 – 209.

**Randyarv Yu.Yu., 1975.** Vertikal'nye dvizheniya zemnoj kory v Pribaltike po dannym vysokotochnykh nivelirovok 1930 – 1970.g. *Trudy LSKHA*, Elgava, 5, 21 – 37.

**Rejsner G.I., 1980.** *Geologicheskie metody sejsmicheskoi opasnosti*. Nedra, Moskva, 173 pp. (In Russian).

**Rejsner G.I., Rejsner M.G., 1986.** *Sovremennye endogennye rezhimy*. IFZ AN SSSR – VINITI, Moskva, 142 pp. (In Russian).

**Rejsner G.I., Ioganson L.I., Safronov O.N., Semova V.I., 1991.** Sejsmotektonicheskoe rajonirovanie platformennykh oblastej (na primere yuzhnoj chasti Vostochno-Evropejskoj platformy). In: Boborykin A.M., Garetskij R.G., Emel'yanov A.P., Rejsner G.I., Sildvee H.H. (eds). *Sejsmologicheskij byulleten' sejsmicheskikh stancij „Minsk” (Pleshchenitsy) i „Naroch” za 1987 god.* 1, 86 – 108. (In Russian).

**Rejsner G.I., Ioganson L.I., 1992.** Sejsmicheskij potentsial Krymsko-Kavkazskogo reģiona i privilegushchikh yuzhnykh oblastej Russoj plity. In: Boborykin A.M.,

- Garetskij R.G., Emel'yanov A.P., Rejsner G.I., Sildvee H.H., Hot'ko Zh.P. (eds) *Belorussij sejsmologicheskij byulleten'*. 2, 56 – 83. (In Russian).
- Rejsner G.I., Ioganson L.I., Rejsner M.G., Baranov J.E., 1993.** *Tipizatsiya zemnoj kory i sovremennye geologicheskie processy*. IFZ PAN. Moskva, 209 pp. (In Russian).
- Remane J., Faure-Muret A., Odin G.S., 2000.** *International stratigraphic chart. International Union of Geological Sciences. Chart and explanatory note.* <http://www.purdue.edu/eas/chronos/TimescaleParisRGB.pdf>
- Rezanov I.A., Faitel'son A.Sh., 1973.** Osnovnye napravleniya v évoljutsii zemnoj kory i ee ravnovesie. *Izostaziya*. Moskva, Nauka, pp.121 – 139. (In Russian).
- Rezanov I.A., 1974.** *Zemnaya kora*. Moskva, Nauka, 159 pp.
- Richter C. F., 1958.** *Elementary Seismology*. W. H. Freeman, San Francisco, California, 578 pp.
- Riznichenko Yu.V., 1985.** *Izbrannye trudy. Problemy sejsmologii*. Nauka, Moskva, 408 pp. (In Russian).
- Ryaboj V.Z., Shchukin Yu.K., 1975.** Skorostnye neodnorodnosti verkhnej mantii i sejsmichnost'. *Fizika Zemli*, 7, 30 – 38. (In Russian).
- Sadovskij M.A., 1979.** O estestvennoj kuskovatosti gornyx porod. *Doklady AN SSSR*, 247, 4, 829 – 832. (In Russian).
- Sadovskij M.A., Bolkhovitinova L.G., Pisarenko V.F., 1987.** *Deformirovanie sredy i sejsmicheskij protsess*. Nauka, Moskva, 101 pp. (In Russian).
- Saegusa A., 1999.** Geological problems drive up cost of nuclear waste dump in Japan. *Nature*, v 398, n 6726, 375.
- Safronov O.N., 1989.** Sejsmotektonika i sejsmogennye zony platformennoj chasti USSR v svete geologo-geofizicheskikh dannykh. *Geologo-geofizicheskie issledovaniya v sejsmoopasnykh zonakh SSSR*. Frunze, Ilim, 33 – 34. (In Russian).
- Safronovs O.N., Nikulins V.G., 1999.** Latvijas vispārīga seismiskā rajonēšana. *Latvijas ģeoloģijas vēstis*. Nr. 6, 30 – 35.
- Safronov O.N., Nikulin V.G., Aronova T.I., 2005.** Sejsmotektonika i vozmozhnost' prognoza seismicheskoy opasnosti v Belarussko-Baltijskom regione. *Geofizicheskij zhurnal*. Kiev, 27, 3, 491 – 494. (In Russian).
- Salop L. I., Scheinmann Yu. M., 1969.** Tectonic history and structures of platforms and shields. *Tectonophysics*, 7 (5 – 6), 565 – 575.

- Sandiford M., 2002.** Neotectonics of southern Australia: linking the Quaternary faulting record with seismicity and in situ stress. *Geological Society of Australia Special Publication 22*, 101 – 113.
- Savarenskiy E.F., 1972.** *Seismicheskie volny*. Nedra, Moskva, 250 pp. (In Russian).
- Savich A.I., Suvilova A.V., 1988.** Sovremennoe sostoyanie problemy otsenki seismicheskoy opasnosti uchastkov stroitel'stva krupnykh energeticheskikh sooruzhenij. *Sbornik nauchnykh trudov Gidroproekta*. 130, 7 – 18. (In Russian).
- Scheidegger A. E., 1985.** Recent research on the physical aspects of earthquakes. *Earth-Science Reviews*, 22 (3), 173 – 229.
- Schweitzer J., Fyen J., Mykkeltveit S., Kvaerna T., 2002.** Seismic arrays. In: Borman P. (ed) *New manual of seismological observatory practice*. Geo ForschungZentrum, Potsdam, 9.chapter. pp. 1 – 52.
- Semblat J.F., Kham M., Parara E., Bard P.Y., Pitilakis K., Makra K., Raptakis D., 2005.** Seismic wave amplification: Basin geometry vs soil layering. *Soil Dynamic and Earthquake Engineering*, 25 (7 – 10), 529 – 538.
- Sengör A. M. C., 1999.** Continental interiors and cratons: any relation? *Tectonophysics*, 305 (1 – 3), 1 – 42.
- Serebryannyj L.R., Setunskaya L.E., 1975.** O geologo-geomorfologicheskoy interpretatsii „Karty sovremennykh vertikal'nykh dvizhenij zemnoj kory Vostochnoj Evropy” v predelakh territorii Pribaltiki. In: Rijves L.Ya., Zhelnin G.A., Torim A.A., Vallner L.A., Sildvee H.H., Mijdel A.M. (eds), *Neotektonicheskie dvizheniya v Pribaltike*, Tartu, pp. 74 – 88. (In Russian).
- Setunskaya L.E., 1961.** Osobennosti sovremennykh tektonicheskikh dvizhenij Russkoj platformy i Urala. In: Gerasimov I.P., Meshcheryakov Yu.A. (eds) *Sovremennye tektonicheskie dvizheniya zemnoj kory i metody ikh izucheniya*. AN SSSR. Moskva, pp. 71 – 84. (In Russian).
- Sharma P. V., 1984.** The Fennoscandian uplift and glacial isostasy. *Tectonophysics*, 105 (1 – 4), 249 – 262.
- Shchukin Yu.K., 2001.** Glubinnoe stroenie i geodinamika Vostochno-Evropskoj platformy v svyazi s problemoj ee sejarnichnosti. *Zemletryaseniya Severnoj Evrazii v 1995 g.* Moskva, pp. 143 – 150. (In Russian).
- Shebalin N.V., 1974.** *Ochagi sil'nykh zemletryasenij na territorii SSSR*. Nauka, Moskva, 53 pp. (In Russian).

- Sheidegger A., 1987.** *Osnovy geodinamiki*. Nauka, Moskva, 384 pp. (In Russian).
- Sheng C. K., Chen H. C., Huang L. S., Yang C. J., Chang C. H., Li T. C., Wang T. C., and Lo H. H., 1973.** *Earthquakes induced by reservoir impounding and their effect on the Hsinfengkiang Dam*. Peking, 44 pp.
- Simpson D.W., 1976.** Seismicity changes associated with reservoir loading. *Engineering Geology*, 10, 123 – 150.
- Simpson D. W., Negmatullaev S. Kh., 1978.** Induced seismicity studies in Soviet central Asia. *Earthquake Information Bulletin*, 10, p. 208 – 213.
- Simpson D.W., Gharib A.A. and Kebeasy R.M., 1992.** Induced Seismicity and changes in water level at Aswan reservoir, Egypt. *Induced Seismicity*. Netherlands, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G., Leipzig, 331 – 344.
- Slemmons D. B., 1991.** *Neotectonics of North America*. Denver, Colo, Geological Society of America. 507 pp.
- Sliaupa A.I., Berzin' L.É., Kayak K.F., Straume Ya.A., 1981.** *Neotektonicheskaya karta respublik Sovetskoy Pribaltiki*. Masshtab 1:500 000. VSEGEI, Leningrad. (In Russian).
- Sokolov V., Bonjer K.P., Wenzel F., 2004.** Accounting for site effect in probabilistic assessment of seismic hazard for Romania and Bucharest: a case of deep seismicity in Vrancea zone. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24 (12), 929 – 947.
- Stavtsev A.L., 1983.** *Tektonika i polezbye iskopaemye zon sochleneniya drevnikh platform i podvizhnykh poyasov*. Nedra, Moskva, 144 pp. (In Russian).
- Stewart I.S., Sauber J., Rose J., 2000.** Glacio-seismotectonics: ice sheets, crustal deformation and seismicity. *Quaternary Science Review*, 19, 14 – 15, 1367 – 1389.
- Stinkulis G., 2003.** Latvijas nogulumiežu segas stratigrāfiskā shēma. *Latvijas ģeoloģijas vēstis*. 11, 14 – 17.
- Stuart W.S., 1974.** Diffusionless dilatancy model for earthquake precursors. *Geophysics Research Letters*, 1, 261.
- Suveizdis P.I., 1979.** Tektonicheskoe polozhenie reģiona, glavnye strukturnye elementy i kompleksy zemnoj kory. In: Grigyalis A.A., Iodkasis V.I., Kadunas V.B., Suveizdis P.I., Vajtekunas I.P. (eds) *Tektonika Pribaltiki*. Mosklas, Vil'nyus, pp. 12 – 22. (In Russian).
- Suveizdis P.I., Brangulis A.P., Puura V.A., Brio H.S., Apirubite R.A., 1979a.** Izuchennost' tektoniski Pribaltiki. In: Grigyalis A.A., Iodkasis V.I., Kadunas V.B.,

- Suveizdis P.I., Vajtekunas I.P. (eds) *Tektonika Pribaltiki*. Mosklas, Vil'nyus, pp. 7 – 17. (In Russian).
- Suveizdis P.I., Brangulis A.P., Puura V.A., Brio H.S., Ozilina N.K., 1979b.** Razlomy i ikh rol' v strukturoobrazovanii. In: Grigyalis A.A., Iodkazis V.I., Kadunas V.B., Suveizdis P.I., Vajtekunas I.P. (eds) *Tektonika Pribaltiki*. Mosklas, Vil'nyus, pp. 50 – 57. (In Russian).
- Suveizdis P., Ilginyte V., Salavejus S., Bernadskis V., 1994.** Seismic-tectonic activity of Middle Lithuania. In: *Geologija*, Academia, Vilnius, 16, 56 – 60.
- Talwani P., 1989.** Characteristic Features of Intraplate Earthquakes and the Models Used to Explain Them. In: Gregersen S., Basham P. (eds) *Earthquakes at North-Atlantic Passive Margins: Neotectonics and Post-glacial Rebound*, NATO ASI series. *Series C, Mathematical and Physical Sciences*, 226, 229 – 235.
- Talwani P., Rajendran K., 1991.** Some Seismological and Geometric Features of Intraplate Earthquakes. *Tectonophysics*, 186, 19 – 41.
- Talwani P., 1999.** Fault Geometry and Earthquakes in Continental Interiors. *Tectonophysics*, 305, 371 – 379.
- Telesca L., Balasco M., Lapenna V., 2007.** Investigating the time-correlation properties in self-potential signals recorded in a seismic area of Irpinia, southern Italy. *Chaos, Solution & Fractals*, 32 (1), 199 – 211.
- Thatcher W.R., 1972.** Regional variations of seismic source parameters in the northern Baja California area. *J.Geophys.Res.*, 77, 3, 1549 – 1569.
- Terkot D., Shubert Dzh., 1985.** *Geodinamika*. Mir, Moskva, 730 pp. (In Russian).
- Tinkler K. J., 1983.** Postglacial temperature anomalies and glacial isostasy. *Quaternary Research*, 19 (3), 293 – 301.
- Turcotte D.L., 1992.** *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*. Cambridge Press, 221 pp.
- Tyupkin Yu.S., 2007.** Earthquake source nucleation as self organization process. *Tectonophysics*, 472 (1 – 4), 73 – 81.
- Ulomov, V. I., 1997.** *Seismic hazard of northern Eurasia*. United Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, 17 pp.
- Ulomov, V. I., 1999.** Sejsmogeodinamika i seismicheskoe rajonirovanie severnoj Evrazii. *Vestnik OGGGGN RAN*, 1 (7), 1 – 25. (In Russian).

- Van Arsdale R. B., 1997.** Neotectonics and earthquakes in the central Mississippi Valley. *Engineering geology*, Amsterdam, the Netherlands, 46, no. 3-4.
- Van Balen R.T., Houtgast R.F., Cloetingh S.A.P.L., 2005.** Neotectonics of The Netherlands: a review. *Quaternary Science Review*, 24 (3 – 4), 439 – 454.
- Van Eijs R.M.H.E., Mulders F.M.M., Nepveu M., Kenter C.J. and Scheffers B.C., 2006.** Correlation between hydrocarbon reservoir properties and induced seismicity in the Netherlands. *Engineering Geology*, 84, 3 – 4, 99 – 111.
- Van Eck T., Goutbeek F., Haak H., Dost B., 2006.** Seismic hazard due to small-magnitude, shallow-source, induced earthquakes in The Netherlands. *Engineering Geology*, 87 (1 – 2), 105 – 121.
- Vernadskij V.I., 1989.** *Biosfera i noosfera*. Nauka. (In Russian).
- V'ezhach P., Nikonov A.A., Gregersen S., Aptikaev F.F., Aleshin A.S., Pogrebchenko B.B., Debski B., Assinovskaya B.A., Guterkh B., Pachesha A., Mantiniemi P., Nikulin V.G., Puura V., Aronov A.G., Aronova T.I., Gruntal' G., H'yusbi E.S., Shlyaupa S., 2006.** Neobychnye zemletryaseniya v Kaliningradskoj oblasti Rossii 21 sentyabrya 2004 g. In: Malovichko A.A., Assinovskaya B.A., Gliko A.O., Gol'lin S.V., Levin B.V., Mekhryushev D.Yu., Nikolaev A.V., Pojgina S.G., Sobolev G.A., Starovojt O.E., *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii sejsmologicheskikh dannyh*. Obninsk, pp. 43 – 48. (In Russian).
- Vetrennikov V.V., 1988.** Latvijskij okean – predtecha kontinenta. *Nauka i tehnika*. Riga, 10 – 12. (In Russian).
- Vetrennikov V.V., 1991.** *Zhelezisto-kremnistye formatsii dokembriya Latvii*. Zinatne, Riga, 180 pp. (In Russian).
- Vojtov G.I., Popov E.A., 1989.** Geokhimicheskij prognoz zemletryasenij. *Priroda*, 12, 60 – 64. (In Russian).
- Wang M. Y., Hu Y. L., Chen Y. T., Yang M. Y., Li T. C., Chin Y., and Feng J., 1975.** *Mechanism of reservoir impounding earthquakes at Hsinfengkiang and a preliminary endeavour to discuss their cause*. Peking, 21 pp.
- Wang S., Hao H., 2002.** Effects of random variations of soil properties on site amplification of seismic ground motions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22 (7), 551 – 564.
- Wegener A., 1966.** *The origin of continents and oceans*. New York, Dover. 246 pp.

**Wen X., Yi G., Xu X., 2007.** Background and precursory seismicities along and surrounding the Kunlun fault before the  $M_s$ 8.1, 2001, Kokoxili earthquake, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30 (1), 63 – 72.

**Wiejacz P., Debski W., 2005.** Kaliningrad earthquakes of September 21, 2004. In: Joeleht A. (ed) *Kalinigrad earthquake September 21, 2004*. Institute of Geology, University of Tartu – Geological Survey of Estonia, Tartu, pp. 44 – 52.

Wiejacz P., Nikonov A. A., Gregersen S., Aptikaev F.A., Aleshin A.S., Pogrebchenko V.V., Dębski W., Assinovskaya B., Guterch B., Mäntyniemi P., Nikulin V.G., Pacesa A., Puura V., Aronov A.G., Aronova T.I., Grünthal G., Husebye E.S., Sliampa S., 2007. **The exceptional earthquakes in Kaliningrad district, Russia on September 21, 2004, 2007.** *Physics of the Earth and Planetary Interior*, (In press).

**Wyss M., Brune J.N., 1968.** Seismic moment, stress and source dimensions for earthquakes in the California – Nevada region. *Journal of Geophysical Researches*, 73, 14, 4681 – 4694.

**Yudakhin F.N., Shchukin Yu.K., Makarov V.I., 2003.** *Glubinnoe stroenie i sovremennye geodinamicheskie processy v litosfere Vostochno-Evropejskoj platformy*. RAN, Ekaterinburg, 299 pp. (In Russian).

**Zhelnin G.A., 1975.** O dostovernosti kart (shem) skorostej sovremennykh dvizhenij zemnoj kory. In: Rijves L., Zhelnin G.A., Torim A.A., Vallner L.A., Sildvee H.H., Mijdel A.M., (eds), *Neotektonicheskie dvizheniya v Pribaltike*, Tartu, pp. 13 – 27. (In Russian).

### **Nepublicēta**

**Āboltiņš O.P., 1969.** *Sovremennye vertikal'nye dvizheniya v rajone vodokhranilishcha Plyavin'skoj GĒS*. Otchet VNIIMORGEO. Valsts ģeoloģijas fonds. 107 pp. (In Russian).

**Apirubite R.A., 1980.** *Analiz razmeshcheniya i glubinnosti razlomov zemnoj kory Pribaltiki po geofizicheskim dannym*. Otchet. Vil'nyus. (In Russian).

**Bath, M. and Duda S.J., 1979.** *Some aspects of global seismicity*. Report No. 1-79, Seismological Institute, Uppsala, Sweden, 41p.

**Garetskij R.G., Aizberg R.E., Aronov A.G., Safronov O.N., et al., 1995.** *Vyyavit' kharakter sejsmicheskikh i neotektonicheskikh protsessov i provesti sejsmicheskoe*

*rajonirovanie Belarusi*. Institut GN AN Belarusi, Minsk. Otchet N 2, 19951132, 419 pp. (In Russian).

**Kovalevskij M., Berzinya L.E., et al., 1966.** *Viyasnenie zakonomernostej sovremennykh i novejsikh dvizhenij zemnoj kory territorii Latvijskoj SSR*. Otchet. LVĢMA, Riga. (In Russian).

**Liepiņa P.L., Jaunputniņa A.J., Majores M. 1954.** *Daugavas ielejas ģeoloģija un morfoloģija posmā no Krustpils – Jelgavas dzelzceļa līnijas līdz Laucei*. Pārskats. Valsts ģeoloģijas fonfs. Rīga. LVĢMA.

**Luosto U., 1991.** *Moho depth map of the Fennoscandian shield based on seismic refraction data*. Institute of Seismology, University of Helsinki. Report S-25, 43 – 50.

**Ozolīna N.K., Kovrigin V.P., 1986.** *Obobshchenie fizicheskikh svojstv gornych porod po territorii Latvijskoj SSR za 1984 – 1986 gg.* Otchet. VNIIMorgeo, Riga, pp. 144. (In Russian).

**Puttonen J., 1984.** *The Relationship between the Earthquake Magnitude and Frequency for Areas in Fennoscandia*. 15 pp.

**Sadov A.S., Penzina V.N., 1986.** *Izuchenie glubinnogo stroeniya zemnoj kory (Regional'nye seismorazvedochnye raboty GSZ) po geotraversu g.Sovetsk – g.Riga – g.Kokhtla-Yarve*. Otchet PGO Sevzapgeologiya, Kaliningradskaya kompleksnaya seismorazvedochnaya ekspeditsiya. Valsts ģeoloģijas fonds, Riga. (In Russian).

**Safronov O.N., Nikulin V.G., 1998.** *Postroenie kart zon VOZ I Obshchego seismicheskogo rajonirovaniya (OSR) Latvii v masshtabe 1:1000000*. Otchet. Simferopol' - Riga. 70 pp. (In Russian).

**Nikuļins V., 1998.** *Latvijas seismiskā rajonēšana*. Pārskats. Rīga, LVĢMA, 44 pp.

**Varfolomejevas O., Savvaitovas L., 1961.** *Karsta izpausmes karbonātiežos Daugavas upes ielejā*. Pārskats. Valsts ģeoloģijas fonfs. Rīga. LVĢMA.

**Varfolomejevas O., 1963.** *Karbonātkarsts Latvijas PSR*. Valsts ģeoloģijas fonfs. Rīga. LVĢMA.

**Vetrennikov V.V., Stetsyun P.A., 1984.** *Otchet o rezultatakh rabot po teme: Izuchenie zhelezorudnykh formatsij dokembriya Latvijskoj SSR (1981 – 1984)*. Pos. Skrunnda. (In Russian).

**Vladimirov V.G., 1988.** *Sostavit' kartu seismicheskogo rajonirovaniya territorii so slaboj i umerennoj seismichnost'yu – tsentra i yuga evropejskoj chasti SSSR*. VNII GIDROPROEKT, Moskva, 54 pp. (In Russian).



**Wahlstrom R., Ahjos T., 1982.** *Determination of Local Magnitude and Calibration of Magnitude Scales for Earthquakes in the Baltic Shield. Catalogue of Earthquakes in Finland, Sweden, and the Baltic Shield Area of the USSR Recorded by Finnish and Swedish Seismograph Stations.* Time Period: 1963-1979. Seismological Department, University of Uppsala, Sweden and Institute of Seismology, University of Helsinki, Finland, Report N1-82, 1982.

**Zazimko A. and Sokurenko L., 1994.** *Geothermal resources of Latvia.* Contract No JOU2 - CT920115/H. Regional maps (Scale 1: 500 000). Latvia. Riga.

### **Interneta avoti**

<http://www.em-dat.net/disasters/>

[http://www.epncb.oma.be/\\_dataproductions/timeseries/index.php](http://www.epncb.oma.be/_dataproductions/timeseries/index.php)

<http://www.seismo.ethz.ch/GSHAP/>

<http://www.seismo.ethz.ch/gshap/ceurope/fig3.jpg>

<http://www.seismo.ethz.ch/gshap/neurasia/quak2.jpg>

<http://www.seismo.ethz.ch/gshap/ceurope/>

<http://www.purdue.edu/eas/chronos/TimescaleParisRGB.pdf>

<http://www.seismo.helsinki.fi/bul/index.html>

[http://earthquake.usgs.gov/learning/topics/increase\\_in\\_earthquakes.php](http://earthquake.usgs.gov/learning/topics/increase_in_earthquakes.php)

<http://www.seismo.ethz.ch/gshap/neurasia/nordasiacat.txt>

<http://earthquake.usgs.gov/learning/glossary.php?term=seismogenic>

<http://earthquake.usgs.gov/learning/glossary.php?term=source>

<http://daccessdds.un.org/doc/UNDOC/GEN/N94/601/17/PDF/N9460117.pdf?OpenElement>

<http://www.seismo.helsinki.fi/english/index.htm>

<http://www.norsar.no/index2.html>

<http://edc.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/gtopo30.html>

[http://gcmd.nasa.gov/KeywordSearch/Metadata.do?Portal=GCMD&KeywordPath=DataCenters%7CRefine+By+DataCenters%7C%5BFreetext%3D%27+GSETT%27%5D&OrigMetadataNode=GCMD&EntryId=EARTH\\_INT\\_SEIS\\_CSS\\_01&MetadataView=Brief&MetadataType=0&lnode=gcmd3](http://gcmd.nasa.gov/KeywordSearch/Metadata.do?Portal=GCMD&KeywordPath=DataCenters%7CRefine+By+DataCenters%7C%5BFreetext%3D%27+GSETT%27%5D&OrigMetadataNode=GCMD&EntryId=EARTH_INT_SEIS_CSS_01&MetadataView=Brief&MetadataType=0&lnode=gcmd3)

**Latvijas un tai piekļautās teritorijas zemestrīču katalogs**  
**( $\varphi = 51,0^{\circ}\text{N} - 60,0^{\circ}\text{N}$ ;  $\lambda = 18,0^{\circ}\text{E} - 34,0^{\circ}\text{E}$ ).**

N.p. k.	Datums	Laiks GMT	Geo. plat.	Geo. gar.	M <sub>LH</sub> -mērvienība	I <sub>0</sub> -mērvienība	H, km	Epicentrs	Informācijas avots
Vēsturiskie novērojumi									
1	1375		57,5	18,5	4,0	6	10	SE, Gotlande	27
2	1540		57,7	18,7	4,3	7	5	SE, Gotlande	27
3	16021007		59,5	24,7	3,8	6	-	EE, Tallina	5
4	1607		59,7	24,7	3,8	6	-	EE, Tallina	5
5	16160630	0530	56,4	24,2	4,8 (4,1)	6(7)	20(5)	LV, Bauska	7, 5
6	16700201	22	58,4	24,5	3,9	6	8	EE, Pērnavā	25
7	178303		56,9	23,4	2,5	4,0	-	LV, Sloka	7, 27,15
8	17851031	00	57,3	21,5	3,5	5	-	LV, Ventspils	7, 27
9	1803(01)08		53,1	23,1	3,6	6	5,0	PL, Belostoka	5
10	18070223	01	56,9	24,1	2,9	4	5 (6,0)	LV, Rīga	7, 27
11	18210220	00	56,7	25,3	3,2 (4,0)	5+(7)	(3,0?)	LV, Koknese	7, 4, 26
12	18210221	04	56,7	25,3	3,0	4 ?		LV, Koknese	7, 4, 26
13	18210221	07	56,7	25,3	3,4 (4,5)	7	2-3(13)	LV, Koknese	7, 5
14	18210222		56,7	25,3	2,5	3 ?		LV, Koknese	7, 4, 26
15	18221101		59,7	19,0	3,0	4	10	SE, Stokholma	27
16	18230205	22	58,0	26,2	3,9	5	7	EE, Kujkatse	7, 8, 9, 21
17	18270928	09	59,0	23,5	4,0	5	14	EE, Hāpsala	25
18	18440112	22	58,6	23,7	2,5	4	6	EE, Virtsu	25, 27
19	18530121	0130	59,3	18,1	2,7	5	1	SE, Stokholma	27
20	18530204	2345	56,8	25,7	3,5	5	-	LV, Sausneja	7, 27
21	18530205		56,8	25,7	2,9	4	-	LV, Sausneja	7, 27, 5
22	18530326	0130	59,5	24,7	1,2	3	5	EE, Tallina	25, 27
23	18531229		56,96	24,13	3,5	5	-	LV, Rīga, Vidzemes	7, 27, 24
24	18540105		56,96	24,13	2,9	4	-	LV, Rīga, Vidzemes	7, 27, 24
25	18570518	09	57,8	22,2	3,0 (4,5)	7	1 (10)	LV, Irbe	7, 6
26	18580115	1110	59,3	22,6	3,0	5	8	EE, Hījumā	25
27	18690215	00	59,5	24,7	2,5	4	6	EE, Tallina	25, 27
28	18700206	0245	56,96	24,13	3,5	5	0	LV, Rīga, Vidzemes	7, 27, 26
29	18700206	0320	56,96	24,13	2,9	4	0	LV, Rīga, Vidzemes	7, 27, 26
30	18771016	0225	59,0	23,5	3,0	4	10	EE, Vorms	25
31	18771016	0225	59,0	23,5	3,5 (4,2)	5 (7)	10	EE, Vorms	25
32	18810128	1115	59,4	28,2	3,0 (3,2)	5+	5	EE, Narva	25
33	18871210	(22)	54,2	28,5	3,7	5	(10)	BY, Borisova	21, 5, 6

34	18940102	19	60,0	23,5	2,4	4	3	FI, Hanko	27
35	18940102	2136	60,0	23,5	2,7	5	1	FI, Hanko	27
36	18940103	0024	60,0	23,5	2,2	3	6	FI, Hanko	27
37	18940103	02	60,0	23,5	2,4	4	3	FI, Hanko	27
38	18940103	14	60,0	23,5	2,4	4	3	FI, Hanko	27
39	18940103	17	60,0	23,5	2,2	3	6	FI, Hanko	27
40	18960920	13	56,7	23,7	3,5	5	(5)	LV, Jelgava	7, 8, 27
41	19030411	1930	59,6	18,0	3,0	4+	4	SE, Stokholma	2, 27
42	19041020		59,3	18,1	2,2	3+	4	SE, Stokholma	2, 27
43	19070122	02	56,94	24,07	3,5	5	(7)	LV, Rīga, Āgenskalns	10, 26
44	19081228	05	54,6	25,8	4,5	7	9 (10)	LT, Gudogāja	16, 5
45	19081228	20	56,97	24,14	2,9	4	-	LV, Rīga, Čiekurkalns	11, 4, 24
46	19081228	2245	57,0	24,16	2,9	4	-	LV, Rīga, Mežciems	11, 4, 24
47	19081229	01	56,8	26,3	3,9 (4,5)	7	(10)	LV, Madona	11, 4
48	19081229	0330	56,94	24,07	3,5	5	-	LV, Rīga, Āgenskalns	11, 4, 26
49	19081229	22	55,8	26,7	4,6 (4,5)	6 (7)	12 (10)	LV, Daugavpils	11, 5
50	19081229		57,5	25,68	3,5	6	-	LV, Dutka	11, 24, 26
51	19081230	05	56,94	24,07	2,9	4	-	LV, Rīga, Āgenskalns	11, 4, 26
52	19081231	04	56,95	24,02	3,5	6	-	LV, Rīga, Zasu lauks	11, 4
53	19090131	0715	56,92	24,08	(3,5)	5	(6)	LV, Rīga, Āgenskalns	11, 4, 26
54	19090212	01	56,6	20,9	3,5	6	-	LV, Liepāja	10, 4
55	19090602	0830	58,4	25,6	1,8	3	7	EE, Vīlande	25
56	19100521	03	56,95	24,05	4,0	6	(10)	LV, Rīga, Zasulauks	12, 4
57	19120408	1330	59,7	25,0	2,0	3	5	EE, Kokšers	25, 27
58	19120408	2015	59,7	25,0	1,6	2+	5	EE, Kokšers	25, 27
59	19120615?		59,7	25,0	2,0	3+	6	EE, Kokšers	25, 27
60	19310712	22	59,4	25,3	2,5 (3)	4+	5	EE, Tallina	25, 27
Mūsdienu instrumentālo novērojumu dati									
61	19590327- 28		57,0	21,0	(≤ 2,5)	-	-	LV, Liepāja	20
62	19720904	002633	57,1	18,4	2,4 LW (2,1)	-	-	SE, Gotlande	27
63	19750519	233448	54,2	19,6	(≤ 2,5)	-	36	PL	18, 13
64	19761025	083945	59,26	23,39	4,7	6+	10	EE, Osmussāre	19
65	19761025	0849	59,3	23,5	3,5	4+	(10)	EE, Osmussāre	25
66	19761025	0907	59,3	23,5	3,0	3+	(10)	EE, Osmussāre	25
67	19761108	101707	59,33	23,47	3,5	4+	(10)	EE, Osmussāre	1
68	19761122	1214 43	59,3	23,5	2,5 (3)	3	13	EE, Osmussāre	25
69	19780510		52,8	27,7	3,5	5	10	BY, Soļigorska	5
70	19790714	140615	57,0	21,0	2,6		36	LV, Pāvilosta	13
71	19790724	160246	55,45	19,7	2,7	-	-	RU, Kaļiņingrada	18, 27
72	19791223	140913	59,63	18,62	3,1 LW (2,9)	5+	1	SE, Stokholma	29, 27

					3,4 LF (3,3)				
73	19791223	141241	59,66	18,61	2,6 LW (2,3) 2,7 L (2,4)	2-3	1	SE, Stokholma	29, 27
74	19791223	143329	59,6	18,7	(≤ 2,5)	2-3	-	SE, Stokholma	31, 27
75	19800109	012452	58,91	22,99	2,4 L (2,1)	-	-	EE, Hījumā	17, 27
76	19800402	145541	56,5	21,0	3,0 L (2,8)	-	-	LV, Liepāja	30, 18
77	19800524	030252	58,8	18,3	2,4 LW (2,1)	-	-	SE, Stokholma	27
78	19800627	081636	55,5	19,5	3,0	-	49	RU, Kaļiņgrada	22, 13
79	19800628	062912	54,6	20,4	3,2	-	49	RU, Kaļiņgrada	22, 13
80	19800703	091431	54,9	20,2	3,1	-	49	RU, Kaļiņgrada	22, 13
81	19800703	091654	55,0	19,9	3,1	-	36	RU, Kaļiņgrada	22, 13
82	19800703	173132	54,7	19,7	3,0	-	49	RU, Baltijska	22, 13
83	19800703	182204	54,3	20,5	3,1	-	49	RU, Kaļiņgrada	30, 13
84	19800721	141750	57,49	21,6	2,9L(2,7), 3,3L(3,1)	-	0	LV, Ventspils	18, 32
85	19800731	160601	56,5	20,8	3,1L (2,9)	-	-	LV, Liepāja	22, 18
86	19800927	151953	54,7	19,9	3,2	-	36	RU, Baltijska	22, 13
87	19810622	185318	59,76	22,41	3,1L (2,9)	3	-	FI, Hanko	27
88	19810622	192738	59,45	22,66	2,6L (2,3)	3	7	FI, Hanko	27
89	19820505	063903	57,2	25,2	2,8L (2,6)	-	0	LV, Cēsis	22, 18
90	19820602	075818	57,04	21,94	2,3L (2,0)	-	-	LV, Kuldīga	27
91	19820602	075819	57,2	21,6	(≤ 2,5)	-	-	LV, Ventspils	17, 18
92	19830717	104501	56,2	20,1	3,3L (3,1)	-	0	LV, Liepāja	22, 18
93	19830718	092701	55,9	19,8	3,2L (3,0)	-	0	LV, Liepāja	22, 18
94	19831201	2026	52,0	28,0	3,5	4-5	7	BY, Soļigorska	5, 6
95	19851016	2032	52,9	28,4	3,5	4-5	7	BY, Soļigorska	5, 6
96	19870407	20 – 22	58,3	26,0	2,5 (2,7)	3+	(10)	EE, Vercezers	4
97	19870408	1921	58,4	26,1	3,5	4 (6)	7 (18)	EE, Vercezers	25, 27
98	19870705	22	58,3	26,0	2,5 (2,9)	3-4	(8)	EE, Vercezers	4
99	19870922	1725	58,7	26,4	3,0	4-5	9	EE, Jegeva	5
100	19880427	092714	55,88	21,09	2,7	-	-	LT, Pluņģe	28
101	19880428	122209	55,92	21,26	2,8	-	-	LT, Palanga	28
102	19880429	153652	56,97	19,53	3,3	-	1	LV, Liepāja	27
103	19880429	154123	56,3	21,4	3,1L; 3,2	-	7	LV, Nica	3, 18

104	19880517	183231	56,6	20,84	2,9	-	-	LV, Liepāja	28
105	19880517	183725	56,57	20,76	2,9	-	-	LV, Liepāja	28
106	19880902	1817	58,8	26,4	2,9	5+	7	EE, Jegeva	5, 6
107	19890621	114249	58,51	20,76	2,5	-	-	EE, Särema	28
108	19891214	190629	57,72	21,85	(≤ 2,5)	-	-	LV, Irbe	28
109	19900206	064616	58,7	18,9	(≤ 2,5)	-	0	SE, Stokholma	22, 18
110	19900630	082323	58,0	19,0	2,4	-	10 0	SE, Gotlande	18, 28
111	19910720	190435	59,83	21,53	2,3 L (2,0)	-	-	EE, Alande	28
112	19920917	132434	57,0	20,6	(≤ 2,5)	-	0	LV, Liepāja	3, 18
113	19930113	094657	55,0	20,8	(≤ 2,5)	-	15	RU, Kaļiņingrada	3, 18
114	19930128	113451	59,1	19,0	(≤ 2,5)	-	0	SE, Stokholma	3, 18
115	19930128	114347	58,5	18,5	(≤ 2,5)	-	0	SE, Stokholma	3, 18
116	19930128	115724	58,8	18,9	(≤ 2,5)	-	0	SE, Stokholma	3, 18
117	19930217	100048	58,7	18,5	(≤ 2,5)	-	0	SE, Stokholma	3, 18
118	19930223	120455	58,2	18,8	(≤ 2,5)	-	12	SE, Gotlande	3, 18
119	19930223	122836	59,0	18,4	(≤ 2,5)	-	15	SE, Stokholma	3, 18
120	19930304	090450	57,8	18,4	(≤ 2,5)	-	12	SE, Stokholma	3, 18
121	19930325	133314	58,5	18,5	(≤ 2,5)	-	0	SE, Stokholma	3, 18
122	19930401	090711	56,1	20,5	(≤ 2,5)	-	15	LV, Liepāja	3, 18
123	19930511	064830	58,7	18,4	(≤ 2,5)	-	12	SE, Stokholma	3, 18
124	19930511	070328	58,8	18,5	(≤ 2,5)	-	0	SE, Stokholma	3, 18
125	19930511	072606	57,7	20,2	(≤ 2,5)	-	12	LV, Ventspils	3, 18
126	19930514	073511	57,7	18,8	(≤ 2,5)	-	15	SE, Gotlande	3, 18
127	19930514	080231	57,5	18,8	(≤ 2,5)	-	15	SE, Gotlande	3, 18
128	19930514	082049	57,5	18,9	(≤ 2,5)	-	15	SE, Gotlande	3, 18
129	19930514	082403	57,2	18,9	(≤ 2,5)	-	15	SE, Gotlande	3, 18
130	19930514	102259	57,5	18,9	(≤ 2,5)	-	15	SE, Gotlande	3, 18
131	19930514	103446	57,0	19,0	(≤ 2,5)	-	15	SE, Gotlande	3, 18
132	19930514	130807	58,4	19,4	(≤ 2,5)	-	12	SE, Gotlande	3, 18
133	19930518	112107	58,7	18,8	(≤ 2,5)	-	0	SE, Stokholma	3, 18
134	19930518	112547	58,5	19,3	(≤ 2,5)	-	12	SE, Stokholma	3, 18
135	19930518	123030	58,1	19,0	(≤ 2,5)	-	12	SE, Gotlande	3, 18
136	19930610	084020	57,2	18,1	(≤ 2,5)	-	0	SE, Gotlande	3, 18
137	19930610	085814	57,4	20,1	(≤ 2,5)	-	0	SE, Gotlande	3, 18
138	19930623	113019	55,2	18,0	(≤ 2,5)	-	15	PL, Gdaņska	3, 18
139	19930720	105122	57,2	25,1	(≤ 2,5)	-	15	LV, Cēsis	3, 18
140	19930831	112437	58,7	27,3	(≤ 2,5)	-	28	RU, Peipusa ezers	3, 18
141	19930904	104846	58,2	19,5	(≤ 2,5)	-	12	SE, Gotlande	3, 18
142	19930907	122853	56,1	22,6	(≤ 2,5)	-	15	LT, Kuršēni	3, 18
143	19930909	071215	57,7	26,6	(≤ 2,5)	-	15	EE, Valga	3, 18
144	19930924	133132	56,3	22,7	(≤ 2,5)	-	40	LT, Mažeiki	3, 18
145	19931027	144625	58,3	27,8	(≤ 2,5)	-	0	RU, Peipusa ezers	3, 18
146	19931029	110329	58,3	25,8	(≤ 2,5)	-	15	EE, Vertsjervs	3, 18
147	19931104	151523	57,7	24,5	(≤ 2,5)	-	7	LV, Limbaži	3, 18
148	19931116	130605	58,5	22,6	(≤ 2,5)	-	15	EE, Särema	3, 18
149	19931117	115154	55,5	22,2	(≤ 2,5)	-	15	LT, Tauraģe	3, 18
150	19931130	090931	58,5	19,0	(≤ 2,5)	-	12	SE, Stokholma	3, 18
151	19931210	115544	58,3	25,8	(≤ 2,5)	-	15	EE, Vertsjervs	3, 18
152	19931229	133751	58,9	25,7	(≤ 2,5)	-	2	EE, Paide	3, 18

153	19940201	101114	58,6	18,5	(≤ 2,5)	-	1	SE, Stokholma	3, 18
154	19940312	075659	55,2	17,9	(≤ 2,5)	-	0	PL, Gdańska	3, 18
155	19940412	122413	58,8	18,6	(≤ 2,5)	-	3	SE, Stokholma	3, 18
156	19940414	111959	54,07	19,36	2,5 L (2,2)	-	0	PL, Elblonga	3, 28
157	19940420	072603	58,8	18,7	(≤ 2,5)	-	0	SE, Stokholma	3, 18
158	19941018	120038	58,8	19,1	(≤ 2,5)	-	0	SE, Stokholma	18
159	19941025	061500	57,2	17,9	(≤ 2,5)	-	10	SE, Stokholma	18
160	19941102	134103	56,0	24,1	(≤ 2,5)	-	0	LT, Radviliškis	3, 18
161	19941117	121106	56,4	19,2	(≤ 2,5)	-	31	LV, Liepāja	3, 18
162	19941117	121136	56,6	19,1	(≤ 2,5)	-	31	LV, Liepāja	3, 18
163	19941206	081203	55,6	19,3	(≤ 2,5)	-	0	PL, Gdańska	3, 18
164	19941206	082429	57,0	19,0	(≤ 2,5)	-	15	SE, Gotlande	3, 18
165	19941206	083550	56,6	19,0	(≤ 2,5)	-	15	LV, Liepāja	3, 18
166	19941206	084409	55,2	19,4	(≤ 2,5)	-	0	PL, Gdańska	3, 18
167	19941222	120232	57,6	28,4	(≤ 2,5)	-	0	RU, Pleskava	3, 18
168	19950206	120423	58,5	28,6	2,3L (2,0)	-	0 7	RU, Pleskava	18, 14 3
169	19950206	123608	58,8	29,4	1,8L (1,4)	-	7 0	RU, Kingisepa	18 14
170	19950223	111748	59,5	25,1	2,6L (2,3)	-	0	EE, Tallina	3, 14, 18
171	19950303	120047	58,1	30,5	2,1L (1,7)	-	2 0 2	RU, Novgoroda	18 14 3
172	19950306	102424	55,0	30,8	2,0L (1,6)	-	18 0	BY, Mogiļeva	3, 18 14
173	19950324	094943	55,3	19,3	2,3L (2,0)	-	0	PL, Gdańska	18
174	19950518	144655	55,7	19,2	4,3B 3,9B; 4,1L	-	0	LT, Klaipėda	18 14
175	19950518	144735	55,34	19,9	4,4L (4,5)	-	0	RU, Kaļiņingrada	18, 14
176	19950530	020000	57,1	18,1	4,3L (4,3)	-	0	SE, Gotlande	3, 14, 18
177	19950602	0852 31	56,8	24,9	(≤ 2,5)	-	15	LV, Ogre	3, 18
178	19950605	1140 40	55,6	21,0	3,5L (3,4)	-	0	LT, Klaipėda	3, 14, 18
179	19950606	091056	55,1	31,0	3,5L (3,4)	-	0 0	BY, Polocka	3, 18 14
180	19950613	161210	58,7	18,1	3,1L (2,9)	-	0	SE, Stokholma	3, 14, 18
181	19950620	171104	55,28	19,2	4,2L (4,2); 4,3B; 3,8B; 4,2L (4,2)	-	10 10 0	PL, Gdańska	18 23 14
182	19950621	105213	56,4	22,9	(≤ 2,5)	-	0	LV, Dobeļe	3, 18
183	19950621	135606	57,6	19,1	4,2L (4,2)	-	0 132 0	SE, Gotlande	18 3 14
184	19950622	111426	55,7	25,0	(≤ 2,5)	-	0	LT, Paņeveža	3, 18

### Apzīmējumi katalogā:

Gadījumos, kad seismiskā notikuma enerģētiskais raksturojums nebija noteikts pēc pirmavota, magnitūda tika pieņemta mazāka vai vienāda ar  $2,5 M_{LH}$ . Pamatvilcienos šis pieņēmums ir pareizs un to apstiprina (aprēķinātās zemestrīču attiecības) kopš 1959.g. instrumentāli reģistrētās zemestrīces. Iekavās ir norādīta seismiskā notikuma magnitūda ( $M_{LH}$ ), kas ir pārrēķināta no lokālās magnitūdas  $M_L$ .  $I_0$  - satricinājumu intensitāte zemestrīču epicentrā (ir izmantota makroseismiskā novērtējuma MSK-64 skala). H - hipocentra dziļums (km).

Valstu apzīmējumi: SE - Zviedrija, EE - Igaunija, RU - Krievija, BY - Baltkrievija, PL - Polija, FI - Somija, LT - Lietuva, LV - Latvija.

Laiks – GMT laiks zemestrīces cilmvietā.

Indeksi pie magnitūdu vērtībām: L – lokālā magnitūda, B - magnitūda, kura ir noteikta pēc tilpuma viļņiem, W - magnitūda, kas noteikta pēc seismiskā momenta.

„Datums” satur secīgi norādītus gadu, mēnesi, dienu. “Laiks” secīgi norāda stundas, minūtes, sekundes.

Kataloga sagatavošanai izmantotie literatūras pirmavoti:

1. Kondorskaya N.V., Nikonov A.A., Anan'in I.V., Dolgoplov D.V., 1988. Osmussaar earthquake in the east Baltics of 1976. Sovremennoe sostoyanie seismologicheskikh issledovaniy v Evrope. Materialy XIX General'noj Assamblei Evropejskoj seismologicheskoy komissii. Nauka, Moskva, 376 – 387. (In English).
2. Bath M., 1956. An earthquake catalog for Fennoscandia for years 1891 – 1950. Sveriges Geologiska Undersokning, Ser. C no. 545, Stockholm, Sweden, 52p.
- Bath, M. and Duda S.J., 1979. Some aspects of global seismicity: Report No. 1-79, Seismological Institute, Uppsala, Sweden, 41p.
3. BER, University Bergen, Seismologic Observatory, Norway.  
<http://www.geo.uib.no/seismo/>
4. Avotinya I.Ya., Boborykin A.M., Emel'yanov A.P., Sildvee H.H., 1988. Katalog istoricheskikh zemletryasenij Belorussii i Pribaltiki. In: Seismologicheskij byulleten' seismicheskikh stantsij „Minsk” (Pleshchenitsy) i „Noroch” za 1984 god. Minsk, 126 – 137. (In Russian).
5. Boborykin A.M., Garetskij R.G., Emel'yanov A.P., Sildvee H.H., Suveizdis P.I., 1993. Zemletryaseniya Belarusi i Pribaltiki. Sovremennoe sostoyanie seismicheskikh

nablyudenij b bkh obobshchenij. (Metodicheskie raboty ESSN). 4, 29 – 39. (In Russian).

6. Garetskij R.G., Aizberg R.E., Aronov A.G., Safronov O.N., et al., 1995. *Vyyavit' kharakter sejsmicheskikh i neotektonicheskikh protsessov i provesti sejsmicheskoe rajonirovanie Belarusi*. Institut GN AN Belarusi, Minsk. Otchet N 2, 19951132, 419 str. (In Russian).

7. Doss B., 1909. *Die historisch beglaubigten Einsturzbeben und seismisch-akustischen Phänomene der russischen Ostseeprovinzen. Sonderabdruck aus Gerlands und Rudolphe Beiträgen zur Geophysik Bd. X, Heft 1, 1 – 124.*

8. Doss B., 1905. *Über ein unbeachtet gebliebenes Beben in Estland. Korrespondenzblatt der Naturforscher – Vereins zu Riga. XLVIII, 121 – 138.*

9. Doss B., 1898. *Übersicht und Natur der in Ostseeprovinzen vorgekommen Erdbeben. Korrespondenzblatt der Naturforscher – Vereins zu Riga. XL, 145 – 162.*

10. Doss B., 1911. *Einige bisher unbekannt gebliebene Erdbeben in der Ostseeprovinzen. Korrespondenzblatt der Naturforscher–Vereins zu Riga. LIV, 3–11.*

11. Doss B., 1910. *Die Erdstosse in der Ostseeprovinzen in Dezember 1908 und Anfang 1909. Korrespondenzblatt der Naturforscher–Vereins zu Riga. LIII, 73 – 107.*

12. Doss B., 1912. *Seismische Ereignisse in der Ostseeprovinzen vom Juni 1910 bis Ende 1912. Izvestiya Postoyannogo sejsmol. komiteta. Petrograd, 6, 7, 25 – 32.*

13. Droste Z., 1992. *The evaluation of seismic hazard of large industrial objects. Acta Geophysica Polonica, XL. No. 3-4.*

14. EIDC–Experimental (GSETT 3) International Data Center. Center for Monitoring Research, 1300 Noeth 17 the Street, Suite 1450, Arlington, VA 22209, USA. [http://gcmd.nasa.gov/KeywordSearch/Metadata.do?Portal=GCMD&KeywordPath=DataCenters%7CRefine+By+DataCenters%7C%5BFreetext%3D%27+GSETT%27%5D&OrigMetadataNode=GCMD&EntryId=EARTH\\_INT\\_SEIS\\_CSS\\_01&MetadataView=Brief&MetadataType=0&lbnode=gcmd3](http://gcmd.nasa.gov/KeywordSearch/Metadata.do?Portal=GCMD&KeywordPath=DataCenters%7CRefine+By+DataCenters%7C%5BFreetext%3D%27+GSETT%27%5D&OrigMetadataNode=GCMD&EntryId=EARTH_INT_SEIS_CSS_01&MetadataView=Brief&MetadataType=0&lbnode=gcmd3)

15. EMTE–Epicentre Map of Tectonic Earthquakes. Neogeodynamica Baltica Project Nr. 346, 1997.

16. Gudagaj. *Nasha Niva*, 1909, № 3. c.43. (Avotinya I.Ya., Boborykin A.M., Emel'yanov A.P., Sildvee H.H., 1988. *Katalog istoricheskikh zemletryasenij Belorussii i Pribaltiki*. In: *Seismologicheskij byulleten' sejsmicheskikh stantsij „Minsk” (Pleshchenitsy) i „Noroch” za 1984 god*. Minsk, 126 – 137. (In Russian).

17. HEL, Helsinki, Finland, 1971 – Institute of Seismology, University of Helsinki. <http://www.seismo.helsinki.fi/english/index.htm>



18. ISC, International Seismological Center, Newbury, England, 1964; ISC – RCE, Regional catalogue of earthquakes. 1980 – 1995. <http://www.isc.ac.uk/>
19. KON, Kongsberg Seismograph Station report (Institute of Seismology, University of Helsinki. (<http://www.seismo.helsinki.fi/english/index.htm>).
20. Miyamura S., and Penttila E., 1964. Seismic Events Located in and Near Finland. *Journal of the Institute of Seismology of the University of Helsinki* , 69, 1-48.
21. Mushketov I.V., Orlov A.P., 1893. Katalog zemletryasenij Rossijskoj imperii. *Zapiski Russogo geograficheskogo obshchestva*. 26, 125 –255.
22. NAO, NORSAR, Norwegian Seismic Array, 1971. <http://www.norsar.no/>
23. NEIC – National Earthquake Informational Centre. US. Geological Survey Stop 967, National Earthquake Informational Centre, DFC, Denver, USA. <http://earthquake.usgs.gov/regional/neic/>
24. Ņikuļins V., 1996. Latvijas vēsturisko zemestriču seismotektoniska pozīcija. *Latvijas ģeoloģijas vēstis*. 1, 22 – 29.
25. Nikonov A., Sildvee H., 1986. Seismic and tectonic activity of Estonian territory. *7<sup>th</sup> International symposium and Recent Crustal Movements of the Earth*. Abstracts. Tallin, p. 99.
26. Safronov O.N., Nikulin V.G., 1998. Postroenie kart zon VOZ i obshchego seismicheskogo rajonirovaniya (OSR) Latvii v masshtabe 1:1000000. Otchet. Simferopol' - Riga. Pp. 72. Valsts ģeoloģiskais fonds. Rīga. LVĢMA.
27. Catalogue of earthquakes in Northern Europe since 1375. – <http://www.seismo.helsinki.fi/bul/index.html>
28. SENE, Seismic Events in Northern Europe. University of Helsinki Institute of Seismology. Report: R-018, R-031, R-037, R-043, R-056.
29. Slunga R., Norrman P., Glans A.C., 1984. Seismicity of southern Sweden, 106 pp. Stockholm: Forsvarets Forskningsanstalt.
30. UPP, University Uppsala, Institute of Seismology, Sweden.
31. Wahlstrom R., Ahjos T., 1982. Determination of Local Magnitude and Calibration of Magnitude Scales for Earthquakes in the Baltic Shield. /Catalogue of Earthquakes in Finland, Sweden, and the Baltic Shield Area of the USSR Recorded by Finnish and Swedish Seismograph Stations. Time Period: 1963-1979/. Seismological Department, University of Uppsala, Sweden and Institute of Seismology, University of Helsinki, Finland, Report N1-82, 1982.

**Zemes garozas tektoniskais tips un elementāro šūnu seismotektoniskais potenciāls**

Šūnas numurs	Tektono-tips	Magni-tūda	Šūnas numurs	Tektono-tips	Magni-tūda	Šūnas numurs	Tektono-tips	Magni-tūda
1	890	≤ 2,5	49	591	≤ 2,5	97	507	3,5
2	890	≤ 2,5	50	295	3,5	98	297	4,5
3	497	-	51	376	3,6	99	557	-
4	364	≤ 2,5	52	376	3,6	100	557	-
5	364	≤ 2,5	53	376	3,6	101	506	3,1
6	364	≤ 2,5	54	505	4,5	102	356	-
7	367	≤ 2,5	55	505	4,5	103	356	-
8	367	≤ 2,5	56	362	2,9	104	297	4,5
9	367	≤ 2,5	57	362	2,9	105	302	≤ 2,5
10	374	≤ 2,5	58	297	4,5	106	302	≤ 2,5
11	375	3,5	59	496	-	107	302	≤ 2,5
12	344	3,9	60	344	3,9	108	364	≤ 2,5
13	375	3,5	61	344	3,9	109	370	4,5
14	374	≤ 2,5	62	347	4,5	110	515	-
15	372	3,0	63	350	-	111	517	-
16	367	≤ 2,5	64	373	3,5	112	350	-
17	328	3,5	65	495	3,1	113	888	3,1
18	567	-	66	376	3,6	114	888	3,1
19	573	≤ 2,5	67	376	3,6	115	354	3,4
20	505	4,5	68	376	3,6	116	354	3,4
21	364	≤ 2,5	69	376	3,6	117	354	3,4
22	505	4,5	70	302	≤ 2,5	118	355	3,5
23	502	-	71	355	3,5	119	507	3,5
24	502	-	72	297	4,5	120	302	≤ 2,5
25	516	≤ 2,5	73	302	≤ 2,5	121	302	≤ 2,5
26	519	-	74	297	4,5	122	364	≤ 2,5
27	344	3,9	75	373	3,5	123	364	≤ 2,5
28	344	3,9	76	347	4,5	124	370	4,5

29	344	3,9	77	344	3,9	125	370	4,5
30	375	3,5	78	520	-	126	517	-
31	372	3,0	79	350	-	127	350	-
32	367	≤ 2,5	80	350	-	128	350	-
33	590	-	81	365	3,5	129	354	3,4
34	295	3,5	82	492	2,8	130	354	3,4
35	295	3,5	83	492	2,8	131	354	3,4
36	376	3,6	84	492	2,8	132	354	3,4
37	585	-	85	869	≤ 2,5	133	354	3,4
38	439	-	86	557	-	134	355	3,5
39	328	3,5	87	354	3,4	135	348	≤ 2,5
40	328	3,5	88	297	4,5	136	362	2,9
41	502	-	89	297	4,5	137	362	2,9
42	364	≤ 2,5	90	297	4,5	138	364	≤ 2,5
43	518	3,5	91	297	4,5	139	370	4,5
44	344	3,9	92	364	≤ 2,5	140	517	-
45	344	3,9	93	372	3,0	141	350	-
46	375	3,5	94	517	-	142	520	-
47	372	3,0	95	350	-	143	512	-
48	373	3,5	96	350	-	144	520	-

Piezīme: šūnu izvietojumu skatīt 3.7. attēlā

## 3.2.1. Latvijas lūzumu zonu ģeoloģiskie un seismotektoniskie parametri

N n/n	Lūzumu zonas	Parametri								
		LK	L	N, m	Kin	M	K P	N S	NT	T A
1.	Daugavpils	II	65,0	30-50	?	?	+	+	+	+
2.	Bauskas	II	55,0	50-80	Nomats- pārbīde	?	+	+	-	+
3a.	Jelgavas	II	15,0	до 30	Nomats	?	+	+	-	+
3b.	Rietumu-Rīgas	II	17,5	30-50	?	?	+	+	-	+
3c.	Rīgas	II	30,0	30-50	Uzmats- pārbīde	?	+	+	-	+
4.	Siguldas	II	22,5	до 30	Uzmats	+	+	+	+	+
5.	Liepājas – Saldus	II	~200,0	300-350	Nomats	?	+	+	+	+
6.	Ziemeļrietumu – Žemaitijas	II	44,0	30-50	Sarežģīta tektoniskā struktūra	?	+	+	+?	+
7a.	Aizkraukles	II	20,0	~50	Nomats	?	+	+	-	+
7b.	Aizkraukles	II	40,0	~50	Nomats	?	+	+	-	+
8.	Gulbenes	II	105,0	50-80	?	?	+	+	+	+
9.	Valmieras	II	17,5	~50	Nomats	+?	+	+	+	+
10.	Slokas	II	180,0	100-150	Nomats- pārbīde	+?	+	+	+	+
11.	Usmas	II	30,0	~50	Nomats- pārbīde	?	+	+	-	+
12.	Irbes – Pērnavas	II	380,0	?	?	?	+	+	+	+
13.	Svētupes	IV	15,0	~30,0	?	-	+	+	-	+?
14.	Rietumbaltijas	II	140,0	-	?	?	+	-	+	+?
15.	Austrumbaltijas	II	130,0	-	?	?	+	-	-	+?
16.	Dobeles	III	22,5	~30,0	Nomats- pārbīde	-	+	+	+	+
17.	Piltenes	III	25,0	~30,0	Nomats- pārbīde	-	+	+	+?	+

Nosacītie apzīmējumi:

Parametri: LK – lūzuma kārta; L – lūzuma zonas lineārais garums, km; N – vertikālās nobīdes (vertikāla) amplitūda, m; Kin – lūzuma kinemātika (kustības virziena raksturs). Lūzuma izpaušmes: M – Moho virsmā; KP – kristāliskajā pamatklintājā; NS – nogulumiežu segā; NT – neotektoniskā etapā; TA – mūsdienu dinamikas izpaušme (kustības ātrums (mm/gadā; zemestrīču skaits; neotektoniskās kustības amplitūda (m)).

### 3.2.2. Latvijas seismogēno zonu seismotektoniskie un ģeoloģiskie parametri

N n/n	Seismogēnā zona	Zemestrīču raksturojums				Seismoloģisks struktūras raksturojums				
		Nr	$M_H$	h	$I_0$	$M_{max}$ (S)	Lp	$h_{min}$	MA	$I_o$
1.	Daugavpils	49	4,5	10,0	7	2,5-4,5	65,0	10,0	4,7/4,1	7,0
2.	Bauskas	5	4,1	5,0	7	4,5	30,0	5,0	4,1/3,6	7,0
3a.	Jelgavas	40	3,5	5,0	5	3,5	15,0	5,0	3,5/3,2	6,0
3b.	Rietumu-Rīgas	53	3,5	6,0	5	3,5	17,5	5,0	3,6/3,3	6,0
3c.	Rīgas	56	4,0	10,0	6	3,5-4,5	30,0	7,5	4,1/3,6	6,0
4.	Siguldas	89, 139	2,6	0	?	2,9-4,5	12,5	5,0	3,4/3,0	6,0
5.	Liepājas – Saldus	85 76	2,9 2,8	? ?	? ?	2,8-3,5	23,0	7,0	3,9/3,4	6,0
6.	Ziemeļrietumu – Žemaitijas	104 103 54	2,9 3,2 3,5?	? 7,0 ?	? ? 6	2,8-4,5	20,0	6,0	3,7/3,4	6,0
7a.	Aizkraukles	11- 14	4,5	13,0	7?	4,5	20,0	10	3,7/3,4	6,0
7b.	Aizkraukles	–	–	–	–	4,5	40,0	10	4,3/3,9	6,0
8.	Gulbenes	47	4,5	10,0	7	3,5-4,5	80,0	13	4,8/4,3	6,0
9.	Valmieras	50	3,5	?	6?	3,5	17,5	5,0	3,6/3,3	6,0
10.	Slokas	7	2,5?	?	4?	2,5-3,6	35,0	8,0	4,2/3,7	6,0
11.	Usmas	90	2,0	?	?	3,6	30,0	8,0	4,1/3,6	6,0
12.	Irbes – Pērnavas	25 84 108	4,5 3,1 $\leq 2,5$	10,0 0 ?	7 ? ?	2,5-4,5	55,0	10,0	4,5/4,0	6,0
13.	Svētupes	147	$\leq 2,5?$	7,0	?	$\leq 2,5$	15,0	5,0	3,5/3,2	6,0
14.	Rietumbaltijas	182	$\leq 2,5?$	15,0	?	2,5-4,5	52,0	11,0	4,5/4,0	6,0
15.	Austrumbaltijas	20 21	3,5 2,9	? ?	5 4	3,5-4,5	28,0	7,5	4,0/3,6	6,0
16.	Dobeles	187	$\leq 2,5?$	0	?	$\leq 2,5$	22,5	6,0	3,8/3,4	6,0
17.	Piltenes	91	$\leq 2,5?$	?	?	3,6	25,0	7,0	3,9/3,5	6,0

Nosacītie apzīmējumi:

**Zemestrīču raksturojums:** Nr – zemestrīces kārtas numurs katalogā (3.3. tab.);  $M_H$  – zemestrīces magnitūda katalogā; h – dziļums, km;  $I_0$  – intensitāte epicentrā ballēs pēc MSK-64 skalas.

**Struktūras seimoloģiskais raksturojums:**  $M_{max}$  (S) – seismotektoniskā potenciāla maksimālā magnitūda (pielikums 3.1.); Lp – cilmvietas vai lūzuma aktīvas daļas lineārais garums, km;  $h_{min}$  – zemestrīces rašanās minimāls dziļums ar  $M_{max}$ ; MA – aprēķinātā magnitūda;  $I_o$  – aprēķinātā epicentrālā intensitāte (ballēs pēc MSK-64 skalas).

### 3.2.3. Latvijas seismogēno zonu un seismotektoniskie parametri

N n/n	Seismogēnā zona	Seismogēno struktūru kvalitatīva gradācija			
		Magnitūda	ZCR zona	ZCRP zona	ST zona
1.	Daugavpils	4,7	+	–	–
2.	Bauskas	4,1	+	–	–
3a.	Jelgavas	3,5	+	–	–
3b.	Rietumu Rīgas	3,6	+	–	–
3c.	Rīgas	4,1	+	–	–
4.	Siguldas	3,4	+	–	–
5.	Liepājas – Saldus	3,9	+	–	–
6.	Ziemeļrietumu – Žamajtijas	3,7	+	–	–
7a.	Aizkraukles	4,5	–	+	–
7b.	Aizkraukles	4,5	–	+	–
8.	Gulbenes	4,8	–	+	–
9.	Valmieras	3,6	–	+	–
10.	Slokas	4,2	–	+	–
11.	Usmas	4,1	–	+	–
12.	Irbe – Pērnavas	4,5	–	+	–
13.	Svētupes	3,5	–	–	+
14.	Rietumbaltijas	4,5	–	–	+
15.	Austrumbaltijas	4,0	–	–	+
16.	Dobeles	3,8	–	–	+
17.	Piltenes	3,9	–	–	+

*Nosacītie apzīmējumi:*

*Seismogēno struktūru kvalitatīva gradācija : ZCR zona – zemestrīču cilmvietas rašanas zona; ZCRP zona – zemestrīces cilmvietas rašanas potenciālā zona; ST zona – seismotektoniskā zona.*