



TERITORIJOS GEORODIKLIŲ BEI DABARTINIŲ ŽEMĖS PLUTOS JUDESIŲ ŠĄSAJŲ IR INFORMATYVIAUSIŲ GEORODIKLIŲ GRUPIŲ SUDARYMO TYRIMAS

Rūta Puzienė¹, Algimantas Zakarevičius²

Geodezijos ir kadastro katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,

Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva

El. paštas: ¹rutapu@delfi.lt (korespondencijos autorė); ²algimantas.zakarevicius@vgtu.lt

Įteikta 2011-04-26; priimta 2011-05-12

Santrauka. Žemės dangos formavimasis – nenutrūkstamai vykęs ir tebevykstantis procesas. Šiam procesui būdingas tam tikras cikliškumas lėmė tai, kad susiformavo nuosėdinės dangos kompleksai. Vertikaliesiems Žemės plutos judesiams tirti taikant matematinę statistinę analizę atliekami statistinių sąsajų tarp išmatuotų vertikalųjų Žemės plutos judesių bei teritorijos georodiklių tyrimai (georodikliai – teritorijos geologinės charakteristikos). Pasirenkant pavienius georodiklius atsiranda rizika į tyrimus neįtraukti informatyvių georodiklių, todėl siekiama iširti laisvai parinktų bei stratigrafinę Žemės sandarą atspindinčių georodiklių sąsajas su išmatuotais dabartiniais vertikaliesiems Žemės plutos judesiais bei nustatyti informatyviausias georodiklių grupes, kurias būtų tikslinga naudoti prognozuojant vertikaliosios Žemės plutos judesius.

Reikšminiai žodžiai: niveliacija, dabartiniai vertikalieji Žemės plutos judesiai, georodikliai, koreliacija, informatyvumo įvertinimas.

1. Įvadas

Geologiniais tyrimų metodais nustatyta, kad formuojantis Žemės plutai geologiniai procesai vyko tam tikru cikliškumu, t. y. Žemės raidos istorijoje išskiriami vienas po kito sekę litosferos vystymosi etapai, kai vyko baigtiniai pavienių litosferos plotų tektoninės raidos ciklai. Raidos cikliškumas būdingas ne tik tektonikai, bet ir magmatizmui, žemynų bei vandenynų formavimuisi, reljefui, klimatui, organiniam pasauliui. Tai savo ruožtu glaudžiai susiję su tektonikos raida. Kadangi dėl kiekvieną ciklą vykusių procesų įtakos susiformavo tam tikri struktūriniai nuosėdinės dangos kompleksai, padaryta prielaida, kad geodeziniais metodais išmatuoti vertikalieji Žemės plutos judesiai gali būti susiję su struktūriniais kompleksais, kad galbūt juos sieja skirtingo stiprumo sąsajos, t. y. šiuos procesus galima interpretuoti kaip nuolat besivystančią vientisą geodinaminę sistemą.

Lietuvos teritoriją dengiančios nuosėdinės dangos išskirtiniu bruožu galima laikyti tai, kad jos pjūvis gana pilnas (geologinio amžiaus požiūriu) (Suveizdis 2003), tačiau tuo pat metu šioje dangoje egzistuoja gana daug pertrūkių, kuriuose „iškrinta“ tam tikri stratigrafijos tarpsniai. Pagal geologijoje taikomas metodikas nuosėdinė danga suskirstyta į tektoniškai nulemptus struktūrinius kompleksus.

Ankstesniuose kitų autorių atliktuose vertikalųjų Žemės plutos judesių bei teritorijos georodiklių (georodikliai – teritorijos geologinės charakteristikos) sąsajų tyrimuose (Anikėnienė 2008; Юн *et al.* 2009; Zakarevičius *et al.* 2009) įvairiai grupuojant naudoti daugiausia šie georodikliai: Žemės paviršiaus reljefas, kristalinio pamato reljefas, pokvartero nuogulų reljefas, nuosėdinės dangos storis, kvartero dangos storis, pokvartero nuogulų storis, gravitacinis laukas, magnetinis laukas.

Įrodyta (Anikėnienė 2008; Zakarevičius *et al.* 2008; Юн *et al.* 2009), kad yra statistinė sąsaja tarp teritorijos georodiklių ir galimybės taikyti nūdienos Žemės plutos judesius bei georodiklius prognozavimo modeliams sudaryti.

Georodiklius tyrimams renkantis pasirinktinai, yra tikimybė, kad ne visi jie bus informatyvūs, bus praleisti tam tikri su tiriamu procesu stipriomis statistinėmis sąsajomis susiję georodikliai. Taigi reikėtų tobulinti tyrimo metodiką, renkantis georodiklius atsižvelgti į Žemės formavimosi metu tam tikrais periodais, ciklais susidariusius darinius, struktūrinius kompleksus, stengtis tyrimams kiek įmanoma naudoti juos visus, kad būtų išsamiai atspindėta geologinė Žemės sandara.

Šio darbo tikslas – iširti parinktų bei skirtingų Žemės stratigrafinę sandarą atspindinčių georodiklių

sąsajas su dabartiniais vertikaliaisiais Žemės plutos judesiais, nustatyti informatyviausias rodiklių imties narių grupes, kurias tikslinga taikyti modeliuojant dabartinius vertikaliuosius Žemės plutos judesius kaupiant papildomą informaciją geodeziniais matavimams.

2. Tyrimų metodika

Siekiant nuodugniau ištirti vertikaliųjų Žemės plutos judesių bei georodiklių grupių sąsajas, atliekami kompleksiniai tyrimai, kartu analizuojant dabartinių Žemės plutos judesių geodezinių matavimų duomenis su teritorijos georodiklių grupėmis.

Išmatuotųjų dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių sąsajų su teritorijos georodikliais pradinis vertinimas atliktas apskaičiuojant išmatuotų vertikaliųjų Žemės plutos judesių reikšmių ir teritoriją apibūdinančių georodiklių skaitinių reikšmių koreliacijos koeficientus (Peck 2008; Rice 2007):

$$r_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\sqrt{\sigma_{ii} \cdot \sigma_{jj}}}, \quad (1)$$

čia σ_{ij} – kovariacinės matricos elementai; σ_{ii}, σ_{jj} – rodiklių dispersijos (diagonalieji kovariacinės matricos elementai).

Visų rodiklių tarpusavio matematinės statistinės sąsajos apibūdinamos koreliacijos koeficientų matrica (Peck 2008; Rice 2007).

Kadangi vertikalieji Žemės plutos judesiai ir georodikliai išmatuoti su tam tikromis paklaidomis, be to, judesių savybės gali kisti ir einant laikui, apskaičiuotosios koreliacijos tarp skirtingais laiko tarpais išmatuotų Žemės plutos judesių ir tų pačių geologinių rodiklių koeficientų ir skaitinės reikšmės yra skirtingos. Patikrinti, ar tam tikrų laiko tarpų vertikaliųjų Žemės plutos judesių apskaičiuotieji koreliacijos koeficientai su geologiniais rodikliais gali būti su tam tikra tikimybe laikomi tariačiais, taikyta statistika (Видуев, Кондра 1969; Крамбейн, Грейбил 1969):

$$V = \sum_{i=1}^s z_i^2 (n_i - 3) + \frac{\left(\sum_{i=1}^s z_i (n_i - 3) \right)^2}{\sum_{i=1}^s (n_i - 3)}, \quad (2)$$

$$z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r}, \quad (3)$$

čia r – apskaičiuotoji koreliacijos koeficiento reikšmė; n_i – imtis; s – lyginamų koreliacijos koeficientų skaičius.

Hipotezės, kad visi koreliacijos koeficientai yra iš vienos koreliacinės erdvės, t. y. kad nesutapimai priklausoma nuo jų nustatymo paklaidų, o judesių savybių pokyčiai neturi lemiamos reikšmės, su tikimybe $p = 1 - q$ laikomasi, kai (Видуев, Кондра 1969):

$$V \leq \chi_q^2, \quad (4)$$

čia χ_q^2 – Pirsono skirstinio šaknis, kai patikimumo lygmuo q ir $k = s - 1$ laisvės laipsniais.

Jeigu hipotezė apie koreliacijos koeficientų tarpumą priimama, bendroji koreliacinės aibės Fišerio transformacijos reikšmė skaičiuojama taip (Видуев, Кондра 1969; Крамбейн, Грейбил 1969):

$$\bar{z} = \frac{\sum_{i=1}^s z_i (n_i - 3)}{\sum_{i=1}^s (n_i - 3)}. \quad (5)$$

Apibendrintosios visos lyginamų koreliacijos koeficientų aibės \bar{r} reikšmė nustatoma iš (3) funkcijos pagal apskaičiuoto (5) koeficiento \bar{z} reikšmę, t. y. apskaičiuojama skaitiniais metodais sprendžiant lygtį (Видуев, Кондра 1969; Крамбейн, Грейбил 1969):

$$\bar{z} = \frac{1}{2} \ln \frac{1+\bar{r}}{1-\bar{r}}. \quad (6)$$

Apskaičiuotieji koreliacinės matricos elementai rodo ne tik rezultatinio rodiklio, gauto išmatavus vertikaliuosius Žemės plutos judesius, sąsają su teritorijos geologiniais rodikliais, bet ir geologinių rodiklių tarpusavio įtakas. Bet kuris rodiklis teikia daugiau informacijos apie matavimo rezultato variacijas, jei jo koreliacijos su matavimo rezultato rodikliu koeficientas didesnis, tačiau daugiau informacijos apie matavimo rodiklį visoje rodiklių sistemoje teikia tas rodiklis, kuris mažiau koreliuoja su kitais rodiklių sistemos elementais, t. y. kai jis nėra kolinearūs su kitais georodikliais. Rodiklių tarpusavio priklausomybė lemia tai, kad jie neteikia visos informacijos apie rezultatą. Idealus atvejis būtų naudoti tokius rodiklius, tarp kurių su rezultatinium rodikliu stipri koreliacija, bet kurie tarpusavyje statistiškai nepriklausomi (nekolinearūs). Gi dabartiniai Žemės plutos judesiai ir geologiniai rodikliai yra vientisos gamtinės sistemos elementai, pasireiškiantys kaip sudėtingi geodinaminės sistemos posistemai. Tarp jų dažniausiai yra priklausomybė, ir idealusis atvejis neįmanomas. Todėl reikia įvertinti priklausomų rodiklių sistemų informatyvumą bei kompleksiskumą.

Nustatytieji ar išmatuotieji Žemės plutos judesiai (rezultatinis rodiklis) bei teritorijos geologiniai rodikliai (veiksniai) matematinio statistiniu požiūriu sudaro vientisą kompleksą. Labiausiai nukrypstantiems nuo vientisojo komplekso rodikliams nustatyti taikoma kompleksinė koreliacinė analizė (Длин 1975).

Nagrinėjamų rodiklių grupės kompleksiskumo skaitinis rodiklis yra vidinės kompleksinės koreliacijos koeficientas (Длин 1975):

$$R_V = \frac{2 \sum_{i \neq j} |r_{ij}|}{m(m-1)}, \quad (7)$$

čia i – koreliacinės matricos eilutės numeris; j – matricos stulpelio numeris; m – kompleksą sudarančių rodiklių skaičius. Jeigu $R_V \geq 0,5$, galima teigti, kad rodikliai

sudaro pakankamai statistiškai pagrįstą vieną kompleksą.

Labiausiai nukrypstantiems nuo vientiso komplekso rodikliams nustatyti skaičiuojami grupinės koreliacijos koeficientai (Длин 1975):

$$r_{j_0} = \frac{\sum_{i \neq j_0} |r_{j_0 i}|}{m-1}, \quad (8)$$

čia j_0 – rodiklio, kurio skaičiuojamas grupinės koreliacijos koeficientas, numeris.

Rodikliai, kurių koeficientai žymi silpniausią grupinę koreliaciją, tyrimo metu eliminuojami, siekiant nustatyti rodiklių grupę, kurios grupinės koreliacijos sąsajos stipriausios. Siekiamas rezultatas – nemažinant bendrojo informacijos kiekio apie nagrinėjamą reiškinį arba nedaug mažinant, gauti mažesnės apimties rodiklių kompleksą, gana gerai atspindintį nagrinėjamą procesą, iš bendrosios rodiklių imties eliminuojant mažiausio informatyvumo rodiklius.

Atliekant tolesnę analizę, rodiklių grupių informatyvumui įvertinti taikomas Helvigo (Hellwig) metodas (Hellwig 1969). Rodiklių kombinacijoje S k -ojo požymio informatyvumas yra (Hellwig 1969):

$$h_{k_s} = \frac{r_{0k}^2}{1 + \sum_{i \neq j, i \neq k} |r_{ik}| + \sum_{i \neq j, i \neq k} |r_{kj}|}. \quad (9)$$

Visos požymių kombinacijos S informatyvumas yra:

$$H_S = \sum_k h_{k_s}. \quad (10)$$

Požymių kombinacijos informatyvumo rodiklis H_S visuomet bus $0 \leq H_S \leq 1$. Kuo H_S reikšmė artesnė vienetui, tuo informatyvesnė tiriamoji požymių kombinacija. Rodiklis H_S apibūdina ne absoliutųjį informacijos

kiekį, o informacijos kiekių santykius, esant įvairioms rodiklių kombinacijoms.

3. Tyrimo rezultatai

Tyrimams pasirinkta niveliacijos linija Mikytai – Šilutė – Klaipėda vakarinėje Lietuvos dalyje, nes čia yra storiausia Lietuvos teritorijoje nuosėdine danga. Tirti naudoti šioje niveliacijos linijoje pagal matavimų rezultatus apskaičiuoti tam tikrų laikotarpių vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičiai (Zakarevičius, Puzienė 2005, 2008) bei dvi tiriamąją teritoriją apibūdinančios georodiklių grupės. Niveliacijos matavimų tikslumas – $\pm 0,18-0,5$ mm/km. Niveliacijos linijoje atlikta 5 kartotiniai matavimai.

Atliekant tyrimą naudoti įvairiais laikotarpiais išmatuoti dabartiniai Žemės plutos judesių greičiai v bei dvi georodiklių grupės. Pirmąją georodiklių grupę sudarė nuosėdinės dangos struktūriniai kompleksai bei magnetinis laukas (Zakarevičius et al. 2005; Zakarevičius, Puzienė 2005, 2008):

- x'_1 – nuosėdinės dangos storis;
- x'_2 – magnetinis laukas (magnetinio lauko stipris);
- x'_3 – hercininio komplekso storis;
- x'_4 – apatinio silūro gylis;
- x'_5 – alpinio komplekso storis;
- x'_6 – kaledoninio komplekso storis.

Antrąją georodiklių grupę sudarė šie kitų autorių (Zakarevičius et al. 2008; Юн et al. 2009) tyrimuose taisyti georodikliai:

- x_1 – nuosėdinės dangos storis;
- x_2 – magnetinis laukas (magnetinio lauko stipris);
- x_3 – kristalinio pamato reljefas;
- x_4 – pokvartero nuogulų reljefas;
- x_5 – kvartero dangos storis;
- x_6 – gravitacinis laukas (Bouguer anomalijos);
- x_7 – Žemės paviršiaus reljefas.

Pagal niveliacijos matavimų rezultatus apskaičiuotų dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičių įvairių laikotarpių koreliacijos su pirmąja ir antrąja georodiklių grupėmis analizės rezultatai pateikti 1 ir 2 lentelėse.

1 lentelė. Vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičių koreliacija su pirmosios georodiklių grupės nariais

Table 1. Velocity correlations of the vertical movements of the Earth's crust with geoindeces for the first group

Laikotarpis, m.	1-oji georodiklių grupė					
	$r(vx'_1)$	$r(vx'_2)$	$r(vx'_3)$	$r(vx'_4)$	$r(vx'_5)$	$r(vx'_6)$
1936–1963/64	0,74	–0,31*	0,65	–0,42*	–0,53	0,55
1936–1973/75	0,22*	–0,49*	0,67	–0,09*	–0,56	–0,13*
1936–2003	0,37*	–0,90	0,81	–0,06	–0,90	0,50
1954–1963/64	0,37*	–0,65	0,40*	–0,03*	–0,43	0,38*
1954–1973/75	0,66	–0,55	0,67	–0,55	–0,56	0,58
1954–2003	0,74	–0,79	0,89	–0,62	–0,77	0,72
1963/64–2003	0,68	–0,73	0,83	–0,62	–0,70	0,64
1973/75–2003	0,68	–0,81	0,85	–0,51*	–0,76	0,72

Pastaba. 1 ir 2 lentelėse simboliu * pažymėti koreliacijos koeficientai, kurių reikšmingumas mažesnis nei $p \leq 0,95$.

Iš 1 lentelės matyti, kad didžiausieji Žemės plutos judesių koreliaciniai ryšiai (pirmoji georodiklių grupė) yra su alpinio ($0,43 \leq |r_{ij}| \leq 0,90$), hercininio ($0,40 \leq |r_{ij}| \leq 0,89$) kompleksų storiais, magnetiniu lauku ($0,31 \leq |r_{ij}| \leq 0,90$), nuosėdinės dangos storiu ($0,22 \leq |r_{ij}| \leq 0,74$), silpnėsi – su kaledoninio komplekso ($0,13 \leq |r_{ij}| \leq 0,72$) storiu bei apatinio silūro ($0,03 \leq |r_{ij}| \leq 0,62$) gyliu (pirmoji georodiklių grupė).

Tyrimams naudojant antrąją georodiklių grupę, analizuojant gautus rezultatus (2 lentelė) matyti, kad stipriausieji Žemės plutos judesių koreliaciniai ryšiai yra su magnetiniu lauku ($0,31 \leq |r_{ij}| \leq 0,81$), kristalinio pamato reljefu ($0,23 \leq |r_{ij}| \leq 0,79$), nuosėdinės dangos storiu ($0,22 \leq |r_{ij}| \leq 0,74$). Silpni bei mažo reikšmingumo ryšiai su pokvartero nuogulų reljefu ($0,14 \leq |r_{ij}| \leq 0,63$),

kvartero dangos storiu ($0,04 \leq |r_{ij}| \leq 0,64$), gravitaciniu lauku ($0,03 \leq |r_{ij}| \leq 0,56$), Žemės plutos reljefu ($0,01 \leq |r_{ij}| \leq 0,60$). Georodikliai, kurių sąsajos menkos ir nereikšmingos, iš tolesnių tyrimų eliminuojami. Kaip matyti, antroje georodiklių grupėje neeliminuoti iš tyrimo lieka kristalinio pamato reljefas, nuosėdinės dangos storis bei magnetinis laukas.

Iš 1 bei 2 lentelių akivaizdu, kad pirmąją georodiklių grupę bei išmatuotuosius vertikaliosius Žemės plutos judesius sieja gerokai stipresni bei didesnio reikšmingumo koreliaciniai ryšiai nei antrąją georodiklių grupę.

Tolesnių tyrimų metu atliekamas pirmosios bei antrosios georodiklių grupių priklausomumo koeficientų priklausomumo viena lytei koreliacinei erdvei tyrimas, jo rezultatai pateikti 3 lentelėje.

2 lentelė. Vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičių koreliacija su antrosios georodiklių grupės nariais

Table 2. Velocity correlations of the vertical movements of the Earth's crust with geoindeces for the second group

Laikotarpis, m.	2-oji georodiklių grupė						
	$r(vx_1)$	$r(vx_2)$	$r(vx_3)$	$r(vx_4)$	$r(vx_5)$	$r(vx_6)$	$r(vx_7)$
1936–1963/64	0,74	-0,31*	-0,76	-0,46*	0,24*	0,03*	0,01*
1936–1973/75	0,22*	-0,49*	-0,23*	-0,63	0,58	-0,56	-0,60
1936–2003	0,37*	-0,90	-0,47*	-0,47*	0,04*	-0,32	-0,30*
1954–1963/64	0,37*	-0,65	-0,47	-0,14*	0,04*	0,06*	0,15*
1954–1973/75	0,66	-0,55	-0,77	-0,28*	0,29*	0,04*	0,01*
1954–2003	0,74	-0,79	-0,79	-0,43*	0,27*	0,14*	-0,20*
1963/64–2003	0,68	-0,73	-0,73	-0,43*	0,40*	0,11*	-0,27*
1973/75–2003	0,68	-0,81	-0,75	-0,35*	0,17	0,15*	-0,06*

3 lentelė. Koreliacijos koeficientų priklausomumo bendrajai koreliacinei erdvei patikra

Table 3. Verification of the dependences of correlation coefficients on the general correlation space

Teritorijos rodiklis	Pasiklivimo lygmuo q	Statistika V	χ_q^2	\bar{r}
1-oji georodiklių grupė				
Nuosėdinės dangos storis (x'_1)	0,05 0,01	6,36	15,5 20,1	0,59
Magnetinis laukas (x'_2)	0,05 0,01	8,63	15,5 20,1	0,67
Hercinio komplekso storis (x'_3)	0,05 0,01	10,00	15,5 20,1	0,72
Apatinio silūro gylis (x'_4)	0,05 0,01	7,22	15,5 20,1	0,38
Alpinio komplekso storis (x'_5)	0,05 0,01	6,95	15,5 20,1	0,64
Kaledoninio komplekso storis (x'_6)	0,05 0,01	5,41	15,5 20,1	0,55
2-oji georodiklių grupė				
Nuosėdinės dangos storis (x_1)	0,05 0,01	6,36	14,1 18,5	0,59
Magnetinis laukas (x_2)	0,05 0,01	8,63	14,1 18,5	0,67
Kristalinio pamato reljefas (x_3)	0,05 0,01	7,69	14,1 18,5	0,65

Rezultatai rodo, kad visais atvejais, kai $q=0,05$ ir $q=0,01$, tenkinama $V \leq \chi_q^2$ sąlyga, todėl su tikimybe $p=0,99$ galima teigti, jog apskaičiuotieji visų laikotarpių koreliacijos koeficientai gali būti priskirti bendrajai koreliacinei erdvei. Kadangi tenkinama $V \leq \chi_q^2$ sąlyga, apskaičiuotos apibendrintosios visos palyginamų koreliacijos koeficientų aibės \bar{r} reikšmės.

Matyti, kad iš tyrimui naudotų dviejų georodiklių grupių stipresniais statistiniais ryšiais susiję vertikalieji Žemės plutos judesiai su I georodiklių grupės nei su II grupės nariais. Palyginus tyrimų metu gautus rezultatus (1–3 lentelės) matyti, kad iš antrosios rodiklių grupės eliminuojama kaip nesudarantys reikšmingų koreliacinių ryšių su išmatuotaisiais vertikaliaisiais Žemės plutos judesiais dalis georodiklių. Neeliminuoti lieka tik kristalinio pamato reljefas, nuosėdinės dangos storis, magnetinis laukas. Kadangi kontinentinio tipo Žemės plutą sudaro bazalto sluoksnis, kristalinis pamatas bei nuosėdinė danga, kuri gali būti skirstoma į struktūrinius kompleksus, turint omenyje tyrimų rezultatus (1–3 lentelės) galima daryti prielaidą, kad išmatuotieji vertikalieji Žemės

plutos judesiai susiję su būtent šiose struktūrose vykstančiais tektoniniais procesais, todėl statistinės priklausomybės tarp šių georodiklių ir bus didžiausios.

Kadangi nagrinėjami teritorijos georodikliai su vertikaliaisiais Žemės plutos judesiais bei tarpusavyje susiję skirtingo stiprumo ryšiais, taikant kompleksinės koreliacijos metodą (7, 8 formulės) siekiama nustatyti, kurių iš jų sąsajų kompleksinės koreliacijos įverčių reikšmės didžiausios. Rezultatai pateikti 4 lentelėje. Kaip jau minėta 2 skyriuje, tyrimų eigoje rodikliai, kuriems būdinga silpniausia grupinė koreliacija, eliminuojami iš tyrimo.

Iš 4 lentelėje pateiktų rezultatų matyti, kad su pirmąja georodiklių grupe silpniausi ryšiai sieja apatinio silūro gyli. Jau tyrimo pradžioje eliminavus šį rodiklį, gaunami gana tvirti vidinės kompleksinės koreliacijos ryšiai tarp išmatuotų vertikaliųjų Žemės plutos judesių bei teritorijos georodiklių. Toliau šalinant georodiklius, kurių grupinės koreliacijos koeficientai mažiausi, gaunama, kad stipriausias vidinės kompleksinės koreliacijos ryšys (1-oji georodiklių grupė) sieja v, x'_3, x'_5, x'_6 narius: $(0,67 \leq R_V \leq 0,90)$ ir $(0,49 \leq k_{jo} \leq 0,94)$.

4. lentelė. Vidinės kompleksinės koreliacijos koeficientai

Table 4. Coefficients of the internal complex correlation

Laikotarpis, m.	Grupinės koreliacijos koeficientai k_{jo}											Kompleksinės koreliacijos koeficientai R_V	
	rodikliai												
	v	x'_1	x'_2	x'_3	x'_4	x'_5	x'_6	v	x_1	x_2	x_3	1-oji georodiklių grupė	2-oji georodiklių grupė
1936–1963/64	0,53	0,46	0,48	0,49	0,48	0,51	0,44	0,60	0,60	0,15	0,59	0,49	0,49
	0,50	–	0,68	0,81	–	0,80	–	0,75	0,86	–	0,87	0,70	0,82
1936–1973/75	0,36	0,36	0,57	0,54	0,50	0,59	0,41	0,31	0,44	0,21	0,41	0,48	0,34
	0,57	–	0,81	0,86	–	0,84	–	0,23	0,60	–	0,61	0,77	0,48
1936–2003	0,59	0,58	0,60	0,74	0,40	0,62	0,59	0,58	0,55	0,55	0,63	0,59	0,58
	0,87	–	0,93	0,87	–	0,94	–	0,42	0,68	–	0,73	0,90	0,61
1954–1963/64	0,38	0,40	0,48	0,42	0,35	0,46	0,41	0,50	0,48	0,27	0,49	0,41	0,43
	0,49	–	0,73	0,52	–	0,74	–	0,42	0,67	–	0,72	0,67	0,60
1954–1973/75	0,59	0,43	0,49	0,50	0,39	0,46	0,39	0,66	0,58	0,31	0,67	0,46	0,56
	0,59	–	0,82	0,86	–	0,83	–	0,72	0,81	–	0,87	0,78	0,80
1954–2003	0,76	0,66	0,62	0,76	0,52	0,59	0,61	0,77	0,71	0,57	0,76	0,65	0,71
	0,82	–	0,87	0,90	–	0,88	–	0,77	0,86	–	0,89	0,87	0,84
1963/64–2003	0,70	0,65	0,61	0,75	0,52	0,58	0,60	0,71	0,69	0,55	0,74	0,63	0,68
	0,75	–	0,85	0,88	–	0,86	–	0,71	0,83	–	0,86	0,84	0,80
1973/75–2003	0,72	0,65	0,62	0,75	0,50	0,59	0,61	0,75	0,69	0,58	0,75	0,64	0,69
	0,81	–	0,88	0,88	–	0,88	–	0,72	0,83	–	0,87	0,86	0,80
	0,77	–	0,87	0,88	–	0,86	–	0,76	0,86	–	0,89	0,69	0,83

Pastaba. „–“ ženklų pažymėti eliminuoti rodikliai.

Šių keturių rodiklių ir dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių greičių vidinės kompleksinės koreliacijos koeficientas yra kur kas didesnis nei taikant visų požymių kompleksą.

Taikant kompleksinės koreliacijos tyrimo metodą 2-ajai georodiklių grupei bei analizuojant tyrimo rezultatus (4 lentelė) matyti, kad silpniausi kompleksinės koreliacijos ryšiai su kitais georodikliais sieja magnetinį lauką. Iš tyrimo eliminavus šį rodiklį, aštuoniais atvejais iš devynių gaunami pakankamai tvirti kompleksinės koreliacijos ryšiai tarp vertikaliųjų Žemės plutos judesių bei kitų georodiklių. Galima teigti, kad artimiausiais vidinės kompleksinės koreliacijos ryšiais susijusi v , x_1 , x_3 georodiklių grupė ($0,48 \leq R_v \leq 0,84$) ir ($0,23 \leq k_{j_0} \leq 0,89$). Ši georodiklių grupė išlieka analizuojant visus tiriamus laikotarpius, jos vidinės kompleksinės koreliacijos koeficientas daug didesnis nei taikant visą georodiklių grupę

(visos georodiklių grupės vidinės kompleksinės koreliacijos ryšiai ($0,34 \leq R_v \leq 0,71$) ir ($0,15 \leq k_{j_0} \leq 0,77$)).

Palyginus 4 lentelėje pateiktus tyrimų rezultatus matyti, kad georodikliai, atspindintys kontinentinio tipo Žemės plutos sandarą, sudaro panašaus tvirtumo vidinės kompleksinės koreliacijos ryšius. Kai kurie nuosėdinės dangos kompleksai su vertikaliaisiais Žemės plutos judesiais siejasi silpnesniais kompleksinės koreliacijos ryšiais. Galima teigti, kad tam tikri nuosėdinės dangos kompleksai su išmatuotais vertikaliaisiais Žemės plutos judesiais susiję artimesniais statistiniais ryšiais, todėl kiekvieną kartą, atliekant tyrimus, reikėtų atlikti matematinę statistinę analizę ir išskirti šiuos georodiklius.

Toliau tęsiant tyrimus atlikta pavienių georodiklių grupių informatyvumo analizė (rezultatai pateikti 5 lentelėje) taikant 2 skyriuje aprašytą metodiką (9, 10 formulės) bei atsižvelgiant į kompleksinės koreliacinės analizės rezultatus (4 lentelė).

5 lentelė. Informatyvumo vertinimas

Table 5. Evaluation of the informative

Įvairių laikotarpių vertikalieji Žemės plutos judesiai	1-oji georodiklių grupė						H_1	2-oji georodiklių grupė			H_1
	x'_1	x'_2	x'_3	x'_5	x'_5	x'_6		x_1	x_2	x_3	
I požymių kombinacija											
1936–1963/64	0,18	0,03	0,13	0,05	0,08	0,10	0,57	0,27	0,09	0,29	0,65
1936–1973/75	0,02	0,06	0,13	0,00	0,08	0,01	0,30	0,02	0,21	0,03	0,26
1936–2003	0,10	0,15	0,18	0,11	0,18	0,08	0,80	0,18	0,30	0,21	0,69
1954–1963/64	0,05	0,13	0,05	0,01	0,06	0,05	0,34	0,07	0,37	0,11	0,55
1954–1973/75	0,15	0,09	0,14	0,11	0,10	0,12	0,71	0,21	0,22	0,27	0,70
1954–2003	0,13	0,16	0,17	0,11	0,16	0,13	0,86	0,23	0,32	0,25	0,80
1963/64–2003	0,11	0,13	0,15	0,11	0,13	0,10	0,73	0,22	0,27	0,22	0,71
1973/75–2003	0,12	0,18	0,24	0,07	0,22	0,03	0,86	0,18	0,37	0,16	0,71
II požymių kombinacija											
1936–1963/64	–	0,04	0,15	–	0,10	–	0,29	0,28	–	0,29	0,57
1936–1973/75	–	0,08	0,15	–	0,11	–	0,34	0,02	–	0,03	0,05
1936–2003	–	0,19	0,30	–	0,23	–	0,72	0,21	–	0,25	0,46
1954–1963/64	–	0,16	0,06	–	0,07	–	0,29	0,07	–	0,11	0,18
1954–1973/75	–	0,10	0,15	–	0,11	–	0,36	0,22	–	0,30	0,52
1954–2003	–	0,22	0,28	–	0,21	–	0,71	0,28	–	0,32	0,60
1963/64–2003	–	0,19	0,25	–	0,18	–	0,62	0,25	–	0,28	0,53
1973/75–2003	–	0,20	0,30	–	0,25	–	0,75	0,19	–	0,18	0,37
III požymių kombinacija											
1936–1963/64	0,21	–	–	0,07	–	0,12	0,40	–	–	–	–
1936–1973/75	0,02	–	–	0,00	–	0,01	0,03	–	–	–	–
1936–2003	0,15	–	–	0,15	–	0,13	0,43	–	–	–	–
1954–1963/64	0,05	–	–	0,00	–	0,06	0,11	–	–	–	–
1954–1973/75	0,17	–	–	0,13	–	0,13	0,43	–	–	–	–
1954–2003	0,20	–	–	0,15	–	0,20	0,55	–	–	–	–
1963/64–2003	0,17	–	–	0,16	–	0,17	0,50	–	–	–	–
1973/75–2003	0,17	–	–	0,08	–	0,03	0,28	–	–	–	–

Į pirmąją požymių kombinaciją (1-oji georodiklių grupė) įtraukti visi šios grupės georodikliai. Antrąją požymių kombinaciją sudaro kompleksinės koreliacinės analizės metu išskirta stipriausiais tarpusavio ryšiais susijusi georodiklių grupė, o trečiąją – silpniausiais.

Antriosios georodiklių grupės sudarytos dvi požymių kombinacijos. Į pirmąją įtraukti visi šią grupę sudarantys georodikliai, o į antrąją – kompleksinės koreliacinės analizės metu išskirta stipriausiais tarpusavio ryšiais susijusi georodiklių grupė.

Kaip matome iš tyrimų rezultatų (5 lentelė), 1-ojoje georodiklių grupėje iš visų georodiklių informatyviausias hercininio komplekso storis. Mažiausiai informatyvus šioje georodiklių grupėje apatinio silūro gylis ir kaledoninio komplekso storis.

Atliekant informatyvumo tyrimą tarp stipriausiais kompleksinės koreliacijos ryšiais susijusių georodiklių (1-oji georodiklių grupė, II požymių kombinacija) informatyviausias hercininio komplekso storis.

Trečiojoje požymių kombinacijoje informatyviausias nuosėdinės dangos storis.

1-ojoje georodiklių grupėje (I požymių kombinacija) informatyviausias georodiklis – magnetinio lauko stipris, o 2-ojoje – kristalinio pamato reljefas.

Kaip matyti iš tyrimų rezultatų, stipresniais tarpusavio statistiniais ryšiais su vertikaliaisiais Žemės plutos judesiais susiję 1-osios georodiklių grupės nariai. Galima teigti, jog tyrimams kitų autorių pasirinktinai, neatsižvelgiant į stratigrafinę Žemės sandarą, imti georodikliai mažiau tinka sudarant prognostinius modelius.

Geologiniai rodikliai skirtingais matematinės statistikos ryšiais susiję su dabartiniais vertikaliaisiais Žemės plutos judesiais bei vienas su kitu tarpusavyje, todėl netikslinga judesių tyrimams bei sudarant prognostinius modelius naudoti juos visus. Kaip matyti iš tyrimų rezultatų, stipriausiais statistiniais ryšiais susiję georodikliai, atspindintys kontinentinio tipo Žemės plutos struktūrą – kristalinio pamato reljefas bei pavieniai nuosėdinės dangos struktūriniai kompleksai, todėl tyrimams reikėtų naudoti georodiklius, atsižvelgiant į stratigrafinę Žemės sandarą, o ne imti juos pasirinktinai. Rekomenduojama tyrimų metu atlikti matematinę statistinę analizę, nustatyti sąsajas tarp turimų georodiklių ir tolesniuose tyrimuose naudoti tik rodiklių grupes, sudarančias tarpusavyje tvirtus statistinius kompleksus. Taip iš tyrimo būtų eliminuojama silpnais koreliaciniais ryšiais susiję georodikliai bei georodikliai, teikiantys nebūtiną informaciją.

Kadangi skirtingų teritorijos vietų stratigrafinė Žemės sandara skirtinga, kai kur „iškrinta“ ištisi sandaros tarpniai, skirtingų teritorijų informatyviausių georodiklių grupės gali būti skirtingos.

4. Išvados

1. Tyrimais nustatyta, kad stipresniais koreliaciniais ryšiais su išmatuotais vertikaliaisiais Žemės plutos judesiais susiję georodikliai, atspindintys stratigrafinę Žemės sandarą ($0,03 \leq |r_{ij}| \leq 0,90$), nei kitų autorių tyrimams naudoti georodikliai ($0,01 \leq |r_{ij}| \leq 0,81$), iš kurių dėl silpnų statistinių ryšių dar tyrimo eigoje eliminuojama net 57 % grupės narių.

2. Atlikus tyrimus nustatyta, kad informatyvesni nei kiti anksčiau vertikaliųjų Žemės plutos judesių prognozei taikyti rodikliai yra struktūrinių kompleksų storiai ($0,01 \leq h_{ks} \leq 0,26$), nuosėdinės dangos storis ($0,02 \leq h_{ks} \leq 0,27$) bei kristalinio pamato reljefas ($0,03 \leq h_{ks} \leq 0,27$).

3. Atliekant išmatuotų vertikaliųjų Žemės plutos judesių tyrimus reikėtų rinktis georodiklius, kiek įmanoma visapusiškiau atspindinčius kontinentinio tipo Žemės plutos sandarą, – t. y. kristalinių pamatą, nuosėdinės dangos kompleksus.

4. Kadangi ne visi tyrimuose rekomenduojami naudoti georodikliai su išmatuotais vertikaliaisiais Žemės plutos judesiais susiję vienodo stiprumo sąsajomis, reikėtų atlikti matematinę statistinę analizę, išskirti vieną kompleksą sudarančius informatyviausius georodiklius.

Literatūra

- Anikėnienė, A. 2008. *Dabartinių vertikaliųjų Žemės plutos judesių tyrimas ir modeliavimas taikant geodezinius matavimus (Lietuvos teritorijos pavyzdžiu)*. Vilnius: Technika. 127 p.
- Hellwig, Z. 1969. Problem optymalnego wyboru predyktant, *Przegad statystyczny* 3(4): 221–237.
- Peck, R. 2008. *Statistics: the exploration and analysis of data*. Belmont (Calif.): Thomson Brooks/Cole. 740 p.
- Rice, J. A. 2007 *Mathematical statistics and data analysis*. Belmont (Calif.): Duxbury. 603 p.
- Suveizdis, P. 2003. *Lietuvos tektoninė sandara*. Vilnius: Geologijos ir geografijos institutas. 160 p.
- Zakarevičius, A.; Šliaupa, S.; Anikėnienė, A. 2009. Naujas Lietuvos teritorijos vertikaliųjų Žemės plutos judesių žemėlapis, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 35(10): 5–13. doi:10.3846/1392-1541.2009.35.5-13
- Zakarevičius, A.; Puzienė, R. 2005. Išmatuotų Lietuvos pajūrio Žemės paviršiaus judesių ir teritorijos geologinių rodiklių sąsajos, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 3(31): 92–96.
- Zakarevičius, A.; Puzienė, R. 2008. Dabartinių Žemės plutos judesių Lietuvos pajūrio teritorijoje sąsajos su nuosėdinės dangos savybėmis, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 1(34): 23–28. doi:10.3846/1392-1541.2008.34.23-28
- Zakarevičius, A.; Šliaupa, S.; Dėnas, Ž.; Stanionis, A.; Anikėnienė, A.; Puzienė, R. 2008. Inheritance of the recent vertical movements of the Earth's crust and relationship to the topography in Lithuania, in *Proceedings of the 7th International Conference „Environmental Engineering“: selected papers*, vol. III, 22–23 May, 2008, Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 1508–1513. ISBN 978-9955-28-265-5.
- Zakarevičius, A.; Šliaupa, S.; Puzienė, R.; Anikėnienė, A.; Būga, A.; Dėnas, Ž. 2005. Tectonic interpretation of measured recent movements of the Earth surface of sedimentary basin, in *Proceedings of the 6th International Conference „Environmental Engineering“: selected papers*, vol. II, 26–27 May, 2005, Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 1034–1040. ISBN 9986-05-851-1.
- Видуев, Н. Г.; Кондра, Г. С. 1969. *Вероятностно-статистический анализ погрешностей измерений*. Москва: Недра. 319 с.

Длин, А. М. 1975. *Факторный анализ в производстве*. Москва: Статистика. 328 с.

Крамбейн, У.; Грейбил, Ф. 1969. *Модели в геологии*. Москва: Мир. 396 с.

Юн, Л. П.; Лучкин, А. Ю.; Кулева, Л. К. 2009. Карта современных вертикальных движений земной коры на территории г. Ташкента и его окрестностей, *Устойчивое развитие горных территорий* 1: 64–67.

Algimantas ZAKAREVIČIUS. Prof. Dr Habil at the Department of Geodesy and Cadastre, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph +370 5 237 0630, Fax +370 5 274 4705, e-mail: Algimantas.Zakarevicius@vgtu.lt.

A graduate from Kaunas Polytechnic Institute (now Kaunas University of Technology), geodetic engineer, 1965.

Doctor's degree at Vilnius University, 1973. Dr Habilis degree at VGTU, 2000. A member of the Geodetic Commission of Estonia, Latvia and Lithuania. Research training at Geodetic Institute of Norwegian Mapping Authority, 1994. The author of more than 150 publications and 3 monographs.

Research interests: investigations into the recent geodynamics processes, formulation of geodetic networks.

Rūta PUZIENĖ. Dr at the Dept of Geodesy and Cadastre, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph +370 5 2744703, e-mail: gkk@ap.vgtu.lt

A graduate of Vilnius Gediminas Technical University (Master of science, 2003). Doctor's degree at VGTU, 2010. Co-author of 15 publications.

Research interests: investigation of geodynamic processes, investigations of deformations.