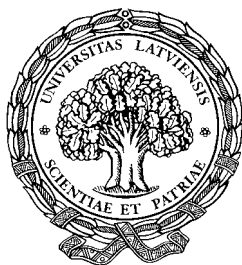


DISERTATIONES GEOLOGICAE UNIVERSITAS LATVIENSIS

NR. 19



Aivars Markots

**PLAKANVIRSA PAUGURU MORFOLOĢIJA,
UZBŪVE UN VEIDOŠANĀS
APSTĀKĻI SALVEIDA AKUMULATĪVI
GLACIOSTRUKTURĀLAJĀS AUGSTIENĒS
LATVIJĀ**

Promocijas darba kopsavilkums

Doktora grāda iegūšanai ģeoloģijas nozarē

Apakšnozare: kvartārģeoloģija un ģeomorfoloģija

RĪGA, 2011

Promocijas darbs izstrādāts:

Latvijas Universitātes Ģeogāfijas nodaļā Ģeomorfoloģijas un ģeomātikas katedrā
no 1995. gada līdz 2010. gadam

Promocijas darba vadītājs:

Vitālijs Zelčs, profesors, Dr. ģeol., Latvijas Universitāte

Recenzenti:

Albertas Bitinas, Dr. ģeol., Klaipēdas Universitāte (Lietuva)

Oļģerts Nikodemus, prof., Dr. ģeog., Latvijas Universitāte

Valdis Segliņš, prof., Dr. ģeol., Latvijas Universitāte

Promocijas padomes sastāvs:

Vitālijs Zelčs, profesors, Dr. ģeol. – padomes priekšsēdētājs

Ervīns Lukševičs, profesors, Dr. ģeol. – padomes priekšsēdētāja vietnieks

Aija Dēliņa, Dr. ģeol.

Laimdota Kalniņa, asociētā profesore, Dr. ģeogr.

Valdis Segliņš, profesors, Dr. ģeol.

Ivars Zupiņš, Dr. ģeol.

Padomes sekretārs:

Ģirts Stinkulis, asociētais profesors, Dr. ģeol.

Promocijas darbs pieņemts aizstāvēšanai ar LU Ģeoloģijas promocijas padomes
2010. gada 21.decembra sēdes lēmumu Nr. 8/2010

Promocijas darba atklāta aizstāvēšana notiks LU Ģeoloģijas promocijas padomes sēdē 2011.
gada 4. martā, Rīgā, Alberta ielā 10, Jāņa un Elfrīdas Rutku auditorijā (313. telpa).

Promocijas darba kopsavilkuma izdošanu ir finansējusi Latvijas Universitāte.

Ar promocijas darbu ir iespējams iepazīties Latvijas Universitātes Bibliotēkā Rīgā, Kalpaka
bulvārī 4 un Latvijas Universitātes Akadēmiskajā bibliotēkā Rīgā, Rūpniecības ielā 10.

Atsauksmes sūtīt: Dr. Ģirts Stinkulis, Latvijas Universitātes Ģeoloģijas nodaļa, Raiņa
bulvāris 19, LV-1586, Rīga. Fakss: +371 6733 2704, e-pasts: Girts.Stinkulis@lu.lv

© Aivars Markots, 2011

© Latvijas Universitāte, 2011

ISBN 978-9984-45-315-6

Satura rādītājs

ANOTĀCIJA	4
Pētījumu tēmas aktualitāte	5
Pētījuma mērķis un uzdevumi	7
Darba novitāte	7
Darba aprobācija un rezultātu realizācija	8
1. PĒTĪJUMU TERITORIJAS NOVIETOJUMS UN ĢEOLOĢISKI ĢEOMORFOLOĢISKAIS RAKSTUROJUMS	9
1.1. Alūksnes augstiene	10
1.2. Vidzemes augstiene	11
1.2. Latgales augstiene	12
2. PĒTĪJUMU VĒSTURE	13
3. PĒTĪJUMU METODES UN MATERIĀLI	15
3.1. Ģeotelpisko datu iegūšana, apkopošana un analīze	15
3.2. Lauka pētījumi un tajos iegūto datu statistiskā apstrāde	16
4. REZULTĀTI UN INTERPRETĀCIJA	18
4.1. Plakanvirsas pauguru izplatība, telpiskais sakārtojums un morfoloģija	18
4.2. Zemvislas virsmas raksturs un augšējā pleistocēna slāņkopas uzbūve plakanvirsas pauguru izplatības areālos	21
4.3. Plakanvirsas pauguru iekšējā uzbūve	23
4.4. Plakanvirsas pauguru paleoģeogrāfiskais novietojums	25
5. DISKUSIJA	29
5.1. Morfoloģijas un iekšējās uzbūves paleoģeogrāfiskās konsekvences	29
5.2. Plakanvirsas pauguru veidošanās apstākļi	30
SECINĀJUMI	35
PATEICĪBAS	37
LITERATŪRA	38
PUBLIKĀCIJU SARAKSTS	45
Monogrāfijas un raksti kolektīvajās monogrāfijās	45
Raksti starptautiskos izdevumos	45
Citas publikācijas	46
Starptautisku konferenču tēzes	46
Latvijas konferenču tēzes	47

ANOTĀCIJA

Disertācija balstās uz ilgā laika periodā (1995–2010) veikto pētījumu rezultātiem, kas iegūti, izmantojot ģeotelpiskās analīzes, datu statistiskās apstrādes un tradicionālās lauka glaciomorfoloģisko un kvartāra nogulumu pētījumu metodes. Tas ļāvis savākt un apkopot jaunus datus par plakanvirsas pauguru izplatību, morfoloģiju un telpiskā sakārtojuma likumsakarībām, kā arī precizēt šo formu iekšējo uzbūvi un vietu salveida akumulatīvo glaciostrukturālo augstieņu ledāja reljefa mezoformu kompleksā. Veiktā ledāja veidoto plakanvirsas pauguru morfoloģisko īpatnību un savstarpējā sakārtojuma noskaidrošana un to uzbūves likumsakarību salīdzinošā analīze dažādās augstienēs un tajās izdalītajos plakanvirsas pauguru izplatības areālos deva iespēju noskaidrot šo pauguru attīstību saistībā ar salveida akumulatīvo glaciostrukturālo augstieņu deglaciācijas gaitu.

Raksturvārdi: ledāja reljefa formas, izplatība, ledāja nogulumi, glacio-tektonika, ledāja mēles, deglaciācija.

Pētījumu tēmas aktualitāte

Plakanvirsas pauguri ir vienas no savdabīgākajām reljefa formām senā pleistocēna segledāja klātajās teritorijās. Tie izplatīti galvenokārt salveida akumulatīvi glaciostrukturālajās augstienēs. Šīs augstienes raksturojas ar vizizteiktāko ledāja radīto zemes virsmas saposmojumu un ļoti fragmentētu ledāja nogulumu izplatības mozaiku. Minētās augstieņu morfoloģijas un uzbūves īpatnības nosaka relatīvi augstu nogāžu procesu un lineārās erozijas risku, kā arī izpaužas zemes lietojumveidu struktūrā. Ledāja veidojumu dažādība sekmē ainavu un bioloģiskās daudzveidības rašanos, kā arī plašas tūrisma un rekreācijas iespējas šajās teritorijās. Kā tas atzīts 2000. gada 20. oktobra Eiropas ainavu konvencijā, ainavas ir “cilvēku dzīves vides būtiska daļa, cilvēku kopīgā kultūras un dabas mantojuma daudzveidības izpausme un identitātes pamats...”. Būdami vieni no nozīmīgākajām salveida akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu reljefa sastāvdaļām, plakanvirsas pauguri izceļas ar tikai tiem raksturīgām morfoloģijas, telpiskā sakārtojuma, uzbūves, augšņu un to cilmiežu īpašībām. Minētie faktori nosaka ģeogrāfiskās ainavas specifiku, kā arī ietekmē mikroklimatiskās un biogeogrāfiskās īpatnības. Plakanvirsas pauguru glaciāli ģeoloģiskie pētījumi un tajos iegūtie rezultāti ir nozīmīgi teritorijas ilgtspējīgas attīstības apzināšanā. Tie sniedz izejas datus, kas var kalpot par pamatu teritorijas apsaimniekošanas plānu un pasākumu izstrādāšanā. Šie pētījumi ļauj iegūt liecības un izziņāt pēdējā apledojuma beigu posmā notikušo klimata izmaiņu ietekmi uz ledāja dinamiku un vides izmaiņām, kas globālās pasiltināšanās kontekstā ir aktuāli jautājumi mūsdienu ledāju klātajos apgabalos.

Arheoloģiskie pētījumi liecina, ka plakanvirsas pauguri ir bijuši vienas no pirmajām reljefa formām, ko ir ietekmējusi līdumu zemkopība. Piemēram, Vidzemes augstienē Pikaņu kalna plakuma tiešā tuvumā ir konstatēta sena apmetne, bet sengravu izneses konusus ir daudz oglišu, kuras liecina par līdumu lišanu šajā teritorijā, kas raksturojas ar bagātīgu augsnes cilmiezi, jau neilgi pirms mūsu ēras (Ramans, 1958). Gravu erozijas rezultātā dabiski norobežotie plakanvirsas pauguru segmenti ir kalpojuši par pilskalniem. Salīdzinot L. Sietinsones (Sietinsone, 2006) izveidoto datu bāzi par Latvijas pilskalniem un autora izstrādāto plakanvirsas pauguru datu bāzi (Markots, 2010), noskaidrots, ka vismaz 10 pilskalni atrodas uz plakanvirsas pauguriem, bet to izplatības areālos ir konstatēti pavisam 45 pilskalni un pilenes. Bezakmens māls, kas atsedzas plakanvirsas pauguru plakumā, ir ticis izmantots kā vietējais derīgais izraktenis ķieģeļu ražošanā un pat ēku būvēšanā. Mūsdienās būvniecībai un ceļu būvei tiek izmantots arī pauguru pamatnes daļu veidojošais smilts un grants materiāls.

Kaut arī plakanvirsas pauguri kā savdabīgi veidojumi izraisa zinātnisku interesi un tiem ir saimnieciska nozīme Latvijā un pārējās Baltijas valstīs un pat visā pleistocēna segledāju klātajā teritorijā tie nav bijuši kompleksu un detaļu glaciāli ģeoloģisko un ģeomorfoloģisko pētījumu objekts. Krievijā veiktajos šo pauguru pētījumos noskaidroti galvenokārt ar to izplatību un morfoloģiju, kā arī augšējās glaciolimniskās izcelsmes nogulumu slāņkopas izplatību saistīti jautājumi (Isachenkov, Tatarnhikov, 1972; Malahovskiy, Vigdorchik, 1963). Pēdējie un nozīmīgākie pētījumi par “plakano pauguru ar glaciolimnisko nogulumu segu” veidošanos pēdējā apledošanas maksimālās izplatības malas veidojumu zonā ir veikti Lietuvā lielmēroga ģeoloģiskās kartēšanas laikā (Bitinas, 1990, 1994). Arī Latvijā šī augšējā, mālaino nogulumu slāņkopa pagājušā gadsimta 50., 60. un 70. gados tika uzlūkota kā potenciāla derīgo izrakteņu (galvenokārt māla) iegula (Kuršs, Stinkule, 1969; Stinkule, 1977). Tomēr minētie pētījumi, kā arī turpmāk ģeoloģiskās kartēšanas (oficiāli pārskatos sauktas “kompleksā hidroģeoloģiskā un inženierģeoloģiskā kartēšana ar kvartāra nogulumu kartēšanu melioratīvās būvniecības vajadzībām”) laikā iegūtie dati, nesniedz pietiekami detaļu un telpiski precīzi piesaistītu informāciju par plakanvirsas pauguru hipsometrisko novietojumu dažādās augstienēs, to savstarpējo telpisko sakārtojumu atsevišķu areālu robežās un pauguru pamatnes daļu veidojošo nogulumu saguluma apstākļiem un attiecībām ar mālaino nogulumu segkārtu. Plakanvirsas pauguru areāli ilgstoši tika kartēti vai atspoguļoti derīgo izrakteņu kartēs kā nozīmīgi māla izplatības areāli (Ansbergs *et al.*, 1955; Kuršs, Stinkule, 1972).

Ieviešot struktūrģeoloģiskās metodes ledāja reljefa mezoformu un to teritoriālo sakopojumu izpētē (Āboltiņš, 1978a, 1978b; Āboltiņš, Zelčs, 1988; Āboltiņš, 1989; Markots, Āboltiņš, 1998), attīstoties ģeomātikas metodēm un, balstoties uz arvien plašāku daudzveidīgu telpisko materiālu pieejamību un izmantošanu, kā arī vispārēju zinātniskās domas virzību, ir būtiski mainījušies priekšstati par atsevišķu reljefa formu izvietojuma likumsakarībām, uzbūvi un veidošanās apstākļiem (Lhevkov, 1980; Boulton, 1986; Aber *et al.*, 1989; Āboltiņš, Zelčs, 1988; Āboltiņš, 1989; Alley, 1991; 1993; Arnold, Sharp, 2002; Benn, Evans, 1996; Zelčs, Dreimanis, 1997; Bitinas, 1990; Markots, 2010).

Plakanvirsas pauguri ieņem nozīmīgu vietu augstieņu reljefā un tie noteikti definējami kā saliktas ģenēzes un uzbūves ledāja reljefa formas (Āboltiņš, 1989; Bitinas, 1994; Markots, *in review*). To izpēte ļauj noskaidrot, kādi vides apstākļi pastāvēja kontinentālā segledāja salveida deglaciācijas (pēc Āboltiņš *et al.*, 1972; Āboltiņš 1975, lietotās terminoloģijas) pirmsākumos, kad salveida akumulatīvi glaciostukturālo augstieņu iekšējā zonā sākās ledāja sarukšana, kas ārēji vispirms izpaudās kā biezuma samazināšanās, un radās stagnantā ledus lauki, iezīmējot pāreju no ledāja gultnes deformācijas uz ledājukušanas ūdeņu baseinu veidošanos.

Pētījuma mērķis un uzdevumi

Pētījuma mērķis ir izziņāt plakanvirsas pauguru izplatības, morfoloģijas, telpiskā sakārtojuma, iekšējās uzbūves un attīstības reģionālās un lokālās likumsakarības Latvijas salveida akumulatīvi glaciostrukturālajās augstienēs.

Pētījuma mērķa sasniegšanai tika izvirzīti šādi galvenie uzdevumi: 1) apzināt un apkopot līdzšinējos pētījumus par plakanvirsas pauguriem Latvijā un pleistocēna apledojumu apgabalos; 2) izmantojot mūsdienu ģeotelpiskās analīzes metodes, iegūt un apkopot datus par plakanvirsas pauguru morfoloģiju, izplatību, sakārtojumu un izvietojumu attiecībā pret citām ledāja reljefa formām salveida akumulatīvi glaciostrukturālajās augstienēs; 3) noskaidrot un analizēt pētīto reljefa formu uzbūves īpatnības, izmantojot vispārpieņemtās kvartāra nogulumu un ledāja reljefa formu pētīšanas metodes; 4) pamatojoties uz plakanvirsas (platovirsas) pauguru morfoloģisko tipizāciju, telpiskā izvietojuma un iekšējās uzbūves pētījumu rezultātiem, noskaidrot šo formu veidošanās apstākļus.

Darba novitāte

Lai gan ar dažādiem terminiem apzīmētais plakanvirsas pauguru reljefs ir aprakstīts daudzās publikācijās un tā izplatība ir atspoguļota dažādās, sākotnēji maza, vēlāk galvenokārt maza vai vidēja mēroga geomorfoloģiskajās kartēs (Isachenkov, Tatarnikov, 1972; Malahovskiy, Vigdorchik 1963; Vanaga, 1970; Āboltiņš *et al.*, 1974, 1976; Meirons, 1975; Eberhards, 1977; Straume, 1979; Ginters, 1984; Bitinas, 1990, 1994; Guobyte, 2007b), pat detālākajās no tām nav sniegta vienlīdz kvalitatīva informācija par šo savdabīgo augstieņu reljefa formu un to kompleksu izvietojumu, morfoloģiju un uzbūvi.

Pētījuma novitāte izriet no iegūto un darbā izmantoto materiālu kopuma un pielietojamo metožu klāsta. Izmantojot daudzveidīgus telpiskās informācijas avotus, šajā pētījumā ir iegūta augstas precizitātes un ticamības pētāmo reljefa formu izplatības digitālā karte, kas ĢIS vidē papildināta ar plakanvirsas pauguru datubāzi. Datubāzē iekļauti 354 plakanvirsas pauguru reljefa formu izvērsti morfoloģiskie rādītāji un informācija par to iekšējo uzbūvi (Markots, 2010, *in review*). Tas ļauj kritiski izvērtēt citu pētnieku agrāk iegūtos datus un izdarīt secinājumus par formu izvietojuma, morfoloģijas un uzbūves īpatnībām saistībā ar augstieņu reljefa attīstību un ģeoloģiskās uzbūves īpatnībām, bet it īpaši – ar jaunāko pētījumu rezultātiem par apledojuma deglaciācijas gaitu un tās hronoloģiju Latvijā un kaimiņvalstīs (Rinterknecht *et al.*, 2006; Raukas *et al.*, 2004; Guobyte, 2004; Zelčs, Markots 2004; Karabanov *et al.*, 2004; Marks, 2004;

Velichko *et al.*, 2004; Zelčs *et al.*, 2010, *in press*). Pirmo reizi plakanvirsmas pauguru pētījumos izmantoti arī zemes virsmas digitālie modeļi (DTM), kas izveidoti, izmantojot gan liela mēroga topogrāfisko karšu horizontāļu datus, gan arī lāzerskenēšanas datus. Par īpaši nozīmīgu veikumu ir jāuzskata atsevišķu plakanpauguru izplatības areālu telpiskā sakārtojuma analīze, kas aptver hipsometriskā novietojuma, relatīvā augstuma, formu linearitātes un platības salīdzinošu analīzi. Pētījumu teritorijā (1. att.) ir veikta detaļa mēroga (1:10 000) augšējo nogulumu slāņkopas kartēšana ar rokas ģeoloģisko urbi. Pauguru šķēršprofilu vai atsevišķu nogāžu profila līnijās veikta nivelēšana ar ciešo nivelieri N-3. Atsegumos veikti oļu linearitātes un slāņu saguluma apstākļu mērījumi. Šo mērījumu datu apstrādē izmantotas statistiskās apstrādes metodes datorizētā vidē – *StereoNet* datorprogrammā.

Tādējādi pētījuma novitāte izriet no iegūto un darbā izmantoto materiālu kopuma un pielietojamo metožu klāsta.

Darba aprobācija un rezultātu realizācija

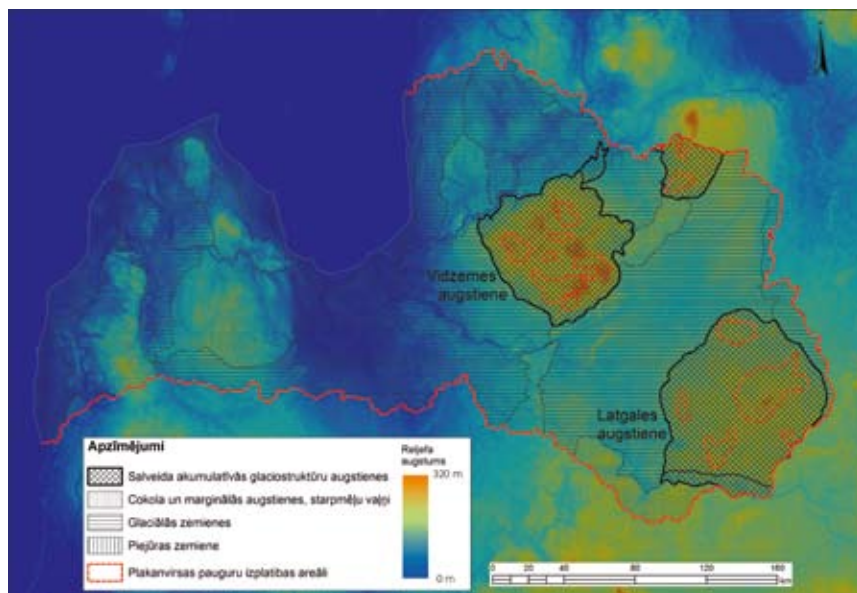
Pētījuma rezultāti ir publicēti 10 zinātniskajās publikācijās, no kurām 5 ir publicētas vai pieņemtas zinātniskos žurnālos vai kolektīvās monogrāfijās un ir pieejamas starptautiski citējamo izdevumu datubāzēs. Pētījumu rezultāti ir izmantoti Starptautiskās Kvartāra pētniecības savienības (INQUA) pēckongresa lauka zinātniskās ekskursijas (INQUA 1995. *Quaternary field trips in Central Europe; C-3 Baltic Traverse*) maršruta sagatavošanā un vadīšanā, un Peribaltijas darba grupas lauka simpozija “*International Field Symposium on Glacial Geology and Quaternary Environment in Latvia*”, kas notika 1998. gadā, maršruta sagatavošanā un vadīšanā. Divas publikācijas ir sagatavotas kā norādījumi par ģeoloģiskās informācijas, to skaitā, reljefa formu un nogulumu kā ģeoloģiskās vides potenciāla, izmantošanu telpiskajā plānošanā (Zelčs, Markots, 1999a, 1999b).

Par promocijas darba rezultātiem ir sagatavoti 8 referāti un ziņots zinātniskos kongresos, starptautiskās konferencēs un simpozijos un 9 vietējas nozīmes zinātniskajās konferencēs.

Izstrādātie materiāli un metodes tāpat tiek aprobēti un izmantoti LU studijuursos “Zemes tālīzpēte”, “Tālīzpētes materiālu apstrāde un interpretācija (TMAI)”, “Kartes, tālīzpēte un ĢIS”, “Ģeomorfoloģija” un “Vides ģeomorfoloģija”, kā arī lauka kursā “Ģeomorfoloģija”.

1. PĒTĪJUMU TERITORIJAS NOVIETOJUMS UN ĢEOLOĢISKI ĢEOMORFOLOĢISKAIS RAKSTUROJUMS

Pētījumu teritorija aptver Austrumlatvijas salveida akumulatīvi glaciostrukturālās augstienes. Šajā augstieņu grupā ietilpst Alūksnes, Vidzemes un Latgales augstiene (1. att.). Visas tās atrodas pēdējā Skandināvijas ledusvairoga perifēriālās segas iekšējā joslā (Āboltniņš, 1972; 1989; Āboltniņš *et al.*, 1988, 1989; Straume, 1979; Zelčs, Markots, 2004). Tās kopā ar Hānjas un Otepē augstieni Igaunijā, Žemaitijas un Telšu augstieni Lietuvā, Bežanīcu un Sudomas augstieni Krievijas Federācijā un daudzām citām augstienēm Ziemeļpolijā un Vācijā veido izometriskas formas glacioelevāciju joslu, kurā šī tipa augstienes vienu no otras šķir ledāja zemienes (Āboltniņš, 1972, 1975, 1989; Āboltniņš *et al.*, 1988, 1989). Pēdējā apledojuma transgresīvajā etapā tās atradās ledus lobu konverģences zonā (Āboltniņš, Zelčs, 1988; Zelčs, Markots, 2004), kaut gan daudzās zinātniskajās publikācijās tā tiek ne visai precīzi definēta, kā ledusšķirtnu zona (Āboltniņš, 1972, 1975; Raukas, 1978; Raukas, Karukäpp, 1979; Āboltniņš *et al.*, 1977a; 1988,



1. attēls. Salveida akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu novietojums saistībā ar mūsdienu zemes virsmas reljefu, izmantojot SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) zemes virsmas digitālā modeļa datus.

1989; Straume, 1979). Par termina “ledusšķirtne” nepareizu interpretāciju un izmantošanu salveida augstieņu paleoglacioloģiskā novietojuma apzīmēšanā norādījis jau L. Serebrjannijs (Serebrjannij, 1978, 61. lpp.).

Salveida akumulatīvi glaciostrukturālās augstienes atrodas uz subkvartārās virsmas samērā maz saposmotiem lielpacēlumiem (Āboltiņš, 1972, 1975; Āboltiņš *et al.*, 1975, 1975, 1988, 1989; Meirons *et al.*, 1974). Tās raksturojas ar palielinātu pleistocēna, galvenokārt ledāja izcelsmes, nogulumu biezumu (Āboltiņš, 1972, 1975, 1984; Straume, 1979; Dreimanis, Zelčs, 1995; Zelčs, Markots, 2004) un stratigrāfiski vispilnīgāko griezumus (Meirons, 1986; 1992). Galvenā loma mūsdienu virsmas saposmā un reljefa formu veidošanā ir pēdējā apledojuma nogulsnētajiem nogulumiem (Āboltiņš, 1972, 1989). Šie nogulumi ir pārsvarā deformēti ledāja dinamiskās iedarbības rezultātā. Dažāda tipa glaciotehtoniskās deformācijas struktūras atspoguļojas mūsdienu reljefā kā pirmmasīvpauguri, plakanvirsas pauguru pamatnes daļas, morēnpauguri, dauguļi, osveida formas un orientētu paugurgrēdu reljefs. Vairāki autori (Āboltiņš, 1989, 1995; Āboltiņš *et al.*, 1988, 1989) arī norāda, ka salveida akumulatīvi glaciostrukturālās augstieņu reljefā izdalās divas zonas.

Plakanvirsas pauguri ir izplatīti augstieņu iekšējā jeb centrālajā zonā. Šajā zonā pārsvarā ir izplatītas ledāja glaciostrukturālās lielpauguru un vidējpauguru reljefa formas un ledāja akumulācijas sīkpauguru reljefs, kas izvietotas dažādā hipsometriskā līmenī (Āboltiņš, 1975), bet augstākās no tām veido šo augstieņu mūsdienu virsmas augstākos punktus (Āboltiņš, 1989; Āboltiņš *et al.*, 1988, 1989). Šo zonu aptver un augstieņu perifēriālo daļu veido orientētais paugurgrēdu reljefs, kuru parasti definē kā ledāja marginālos veidojumus (Āboltiņš, 1975, 1989; Meirons *et al.*, 1976; Straume, 1979). Orientētā paugurgrēdu reljefa zonā Latvijā plakanvirsas pauguri nav konstatēti. Šīs zonas reljefs ir veidojies vēlākajos deglaciācijas posmos.

1.1. Alūksnes augstiene

No visām Latvijas salveida akumulatīvi glaciostrukturālajām augstienēm Alūksnes augstiene atrodas vistālāk ziemeļaustrumos. Tās platība ir 887 km². Tādējādi, tā ir vismazākā salveida akumulatīvi glaciostrukturālā augstiene Latvijā. Uzbūves, morfoloģijas un mūsdienu reljefa veidošanās apstākļu ziņā tā tikai nedaudz atšķiras no Vidzemes augstienes (Āboltiņš *et al.*, 1975; 1976; Straume, 1979; Āboltiņš, 1989).

Kvartāra nogulumu biezuma izmaiņas saistītas galvenokārt ar izmaiņām mūsdienu reljefu raksturā. Augstākajos masīvos Veclaicenes un Malienas pauguraiņu centrālajās zonās kvartāra nogulumu biezums sasniedz 90 m līdz 100 m, bet augstienes malas joslā tas samazinās līdz 30–40 m (Āboltiņš *et al.*, 1976;

Āboltiņš, 1994). Pamatiežu virsmas reljefa īpatnības daļēji atspoguļojas arī mūsdienu reljefā kā dažāda augstuma pacēlumi augstieņu (Alūksnes un Vidzemes) un pauguraiņu pamatnē (Mūrnieks, 2002).

1.2. Vidzemes augstiene

Vidzemes augstiene ir uzskatāma par tipomorfu akumulatīvi glaciostrukturālu salveida augstieni (Āboltiņš, 1972, 1989, 1995; Āboltiņš *et al.*, 1975; Straume, 1979).

Augstienes lielākajā daļā kvartāra nogulumu biezums pārsniedz 60–80 m, bet Vestienas pauguraines hipsometriski augstākajos iecirkņos – pat 150 metrus un vairāk. Tikai augstienes nogāzes lejasdaļā un Augšgaujas pazeminājumā tas samazinās līdz 30–40 m (Āboltiņš *et al.*, 1975; Straume, 1979; Āboltiņš, 1995, 1998; Juškevičs, 2000; Juškevičs, Skrebels, 2002).

Vidzemes augstienes reljefā morfoģenētiski ļoti labi nodalās centrālā un perifērijas zona, ko noteica akumulācijas un glaciotehtonisko procesu, reljefa veidošanās apstākļu atšķirības abās zonās (Āboltiņš *et al.*, 1975; Straume, 1979; Āboltiņš, 1989). Centrālajā zonā zemes virsmas absolūtais augstums pārsvarā var pārsniegt 180–200 m. Tajā atrodas pauguraiņu reljefa hipsometriski augstākie iecirkņi. Šajā zonā ledāja reljefa formu veidošanās un nogulumu uzkrāšanās īpatnības lielā mērā noteica ledāja plūsmas mijiedarbība ar tās gultni. Senāko nogulumu izveidotie pacēlumi radīja ledāja plūsmu diferenciāciju, mainot to virzienu un dinamisko stāvokli (Āboltiņš, 1975). Tā rezultātā ievērojami pieauga spiediena gradienti, īpaši horizontālā virzienā. Ledāja atkāpšanās fāzē, samazinoties tā biezumam, gultnes izcilņu bremzējošais iespaids sekmēja morēnas slāņu pastiprinātu akumulāciju. Ledāja spiediena rezultātā šie slāņi tika atrauti no kopējās plūsmas, sabīdīti, sakrokoti vai izspiesti un augšu ne tikai dažādā dinamiskā stāvoklī esošo plūsmu saskares vietās, bet arī pašas gultnes paaugstinājumos, īpaši to pret ledāja kustību vērstajās nogāzēs. Šie apstākļi kopumā veicināja pamatmorēnas biezuma palielināšanos, kā arī augsto pauguraino masīvu izveidošanos virs senāko kvartāra nogulumu izcilņiem Gaiziņkalna un Nesaules kalna apkārtņē Vestienas paugurainē, Klētskalna apkārtņē Piebalgas paugurainē un Dzērbenes tuvumā Mežoles paugurainē. Šie paugurainie masīvi sastāv no glaciotehtoniski deformētiem nogulumiem – sarkanbrūnas vai brūnas smilšainas morēnas ar biežām smiltis, grants, retāk aleirīta dislocētām starpkārtām (Āboltiņš, 1989). Tikai atsevišķas virsotnes veido glaciofluvialie nogulumi. Hipsometriski zemākā līmenī (200–240 m vjl.) atrodas plakanvirsas pauguru virsotnes Ērgļu, Vestienas, Liezēres un Drustu apkārtņē. Tie ir līdz 25–30 m augsti un no 0,5 km² līdz 5 km² plaši pauguri ar stāvām, gravu saposmotām nogāzēm un līdzenām, nereti terasveidīgām virsotnēm.

Paugurus veido glaciotektoniski deformēti ledāja nogulumi, bet virsotnes pārklāj 8–10 m biezš mālu slānis (Āboltiņš, Markots, 1995b, Āboltiņš, Markots, 1998b).

1.2. Latgales augstiene

Latgales augstiene – lielākā augstiene Latvijā, aizņem Latvijas dienvidaustrumu daļu un tikai tās pati dienvidaustrumu mala iziet mazliet ārpus Latvijas (Meirons, 1976). Plakanvirsas pauguri izvietoti salīdzinoši nevienmērīgi. Viskompaktākais to izvietojums atrodas augstienes ziemeļu daļā un visas formas ietilpst Burzavas paugurainē (47 pauguri). Arī pārējās formas ir paugurainu robežās – Rāznas paugurainē (84 pauguri, taču izvietoti ļoti nevienmērīgi, to nemaz nav pauguraines rietumu daļā), Feimaņu paugurainē (15 pauguri), Dagdas paugurainē (35 pauguri). Stingri ievērojot fizioģeogrāfiskās rajonēšanas apvidu robežas (Zelčs, Šteins, 1989), četri plakanvirsas pauguri it kā atrodas Maltas pazeminājuma dienvidaustrumu galā. Ņemot vērā, ka šai augstienes daļai raksturīgs liels absolūtais augstums, kā arī ievērojot līdzšinējos areālu nodalīšanas kritērijus, gribētos apgalvot, ka arī šīs minētās 4 pauguru formas jāpieskaita Rāznas paugurainei.

Latgales augstiene atrodas virs plaša pirmskvartāra virsmas pacēluma. Pamatiežu virsmas augstums sasniedz aptuveni 100–110 m vjl. augstienes dienvidu daļā un 120–135 m vjl. ziemeļu daļā (Meirons *et al.*, 1974). Pamatiežu virsma veido augšdevona smilšakmens (dienvidu daļā) un dolomīts (ziemeļu daļā). Pamatiežus pārsedz aptuveni 40–100 m bieza kvartāra nogulumu sega, pārsvarā pēdējā pleistocēna apledojuma nogulumi (Meirons, 1975). Tos galvenokārt pārstāv pamatmorēna un deformācijas morēna ar aptuveni 30–80 m biezumu (Āboltiņš, 1989). Augstienes perifērijas zonā pārstāvētas nelielas vaļņveida grēdas, paugurgrēdu sistēmas, vaļņi un iegarenas formas pauguri. Paugurainais reljefs pārsvarā veidots no glaciotektoniski deformētiem ledāja nogulumiem, kā arī atsevišķos gadījumos, lieliem augšdevona dolomīta atrauteņiem (megablokiem) (Āboltiņš, 1989).

Latgales augstienes centrālajai zonai raksturīgas glaciostrukturālās un glaciostrukturāli akumulatīvās reljefa formas Lielākās pēc izmēriem ir pirmasīvi, plakanvirsas pauguri un kupolveida vai izometriski morēnas pauguri.

2. PĒTĪJUMU VĒSTURE

Plakanvirsas pauguri kā atsevišķs reljefa formu tips zinātniskajās publikācijās vai pārskatos izdalīts jau kopš 20. gadsimta 30. gadiem (Zāns, 1936). Ģeomorfoloģiskajā literatūrā zināmi arī daudzi citi lietotie apzīmējumi – “plakanvirsas mālpauguri”, “platoveida pauguri” (Vanaga, 1970), “plakanvirsas pauguri” (Lazdāne, 1963), “platoveida paaugstinājumi” (Danilāns, 1965), “plakanpauguri” (Ramans, 1975, Jaunputniņš 1975), “galamorēnas plato”, “galdkalni”, “zvonci” (Āboltiņš, Straume, Juškevičs, 1976), “platoveida pauguri (zvonci) ar bezakmens māla segu” (Eberhards, 1972), “plakanvirsas lielpauguri ar limnoglaciālo nogulumu segu” (Eberhards, 1977), “plakanpauguri, platopauguri, zvonci” (Grīne, Zelčs, 1997), “limnoglaciālie masīvi”, “kēmu plato”, “prēriju plato”, “galdveida augstienes” (Slater, 1929), “*a flat-topped moraine plateau*”, “*plato-like hill*”, “*moraine plateaux*” (Stalker, 1960; Prest, 1975), “*prairie mounds*” (Gravenor, 1955), “*glaciolimnic kames*”, “*конечноморенные плато*”, “*водно – ледниковые платообразные возвышенности*”, “*озерно – ледниковые плато*”, “*озерно – ледниковые массивы*”, “*столообразные возвышенности или озеро – ледниковые плато*”, “*звонец*” (Malahovskiy, Vigdorchik, 1963), “*столообразные возвышенности (“звонцы”)*”, “*столбообразные холмы – “звонцы”*”, “*камовое плато*”, “*zvontsy*” (Bitinas, 1994; Velichko *et al.*, 2004), “*flat glaciolacustrine hills with till foundation*” (Bitinas, 1994), kas ne vienmēr viennozīmīgi nodala tieši šīs reljefa formas un to nosaukumi vai nosaukumu variācijas bieži sastopamas ārpus ledāja klātajām teritorijām, dažādos ģeogrāfiskajos un vertikālās zonalitātes reģionos.

Viens no pirmajiem, kurš ievēroja plakanvirsas pauguru klātbūtni ledāju klātajās teritorijās, bija A. Stalkers (Stalker, 1960), pētot Kanādas Albertas provinces ledāja plūsmas spiediena formas (*ice-pressed drift forms*) un to nogulumus. Viņa 1960. gada publikācija tiek minēta kā klasisks darbs par plakanvirsas pauguriem jeb “*dead-ice plateaux*”, iedalot tos sīkāk: (1) morēnas plato (*moraine plateaux*) un (2) lidzenumu plato (*plains plateaux*). Taču par saviem priekšgājējiem šo formu izpētē A. Stalkers (Stalker, *ibid.*) uzskata C.P. Gravenoru, kurš 1958. gada publikācijā lietoja apzīmējumu morēnas plato un G. Hopi (Hoppe, 1952)..

Latvijā viena no pirmajām autorēm, kura sistemātiski pētījusi augstieņu reljefu un atzīmējusi “platoveida pauguru” nozīmīgo lomu Vidzemes Centrālās (Vidzemes pēc Straumes, 1979) augstienes reljefa formu kompleksos, ir A. Lazdāne (1959), aprakstot šīs augstienes elementāro ģenētisko kompleksu tipus, kā arī sniedzot tam laikam detālu priekšstatu par visas augstienes un arī reljefa elementāro ģenētisko kompleksu tipu veidošanos. A. Lazdāne (1963) ir nodalījusi vairāku veidu plakanvirsas paugurus. Minētā pētniece (jau kā

A. Vanaga), 1970. gadā aprakstot Alūksnes augstienes reljefa morfometriju un attīstības īpatnības, tāpat lietoja terminu “platoveida pauguri” un jau sniedza salīdzinoši detālu ģeomorfoloģisko karti, kurā parādītas konkrētas ledāja reljefa formas (Vanaga, 1970). Vēlāk šī karte tika modificēta un tās leģendā tiek ieviests Latvijā nosacīti jauns reljefa formu apzīmējums – “zvonci” (Āboltiņš *et al.*, 1976; Straume, 1979)..

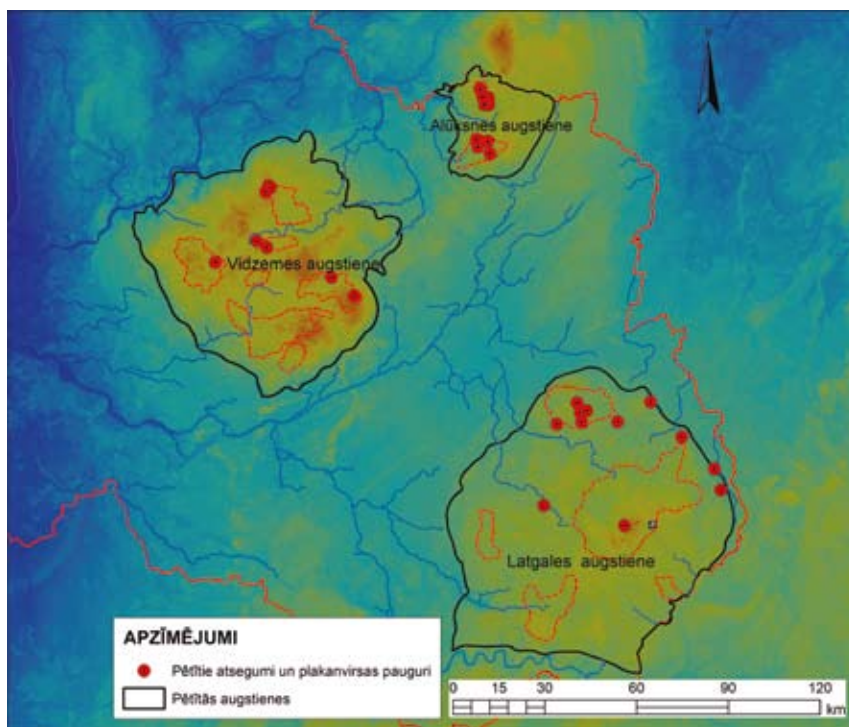
Latvijā šīs formas tika konstatētas tikai salveida akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu centrālajā zonā, kur tās parasti veido plakanvirsas pauguru izplatības grupas. Šajā disertācijā termins “grupa” aizvietots ar terminu “areāls”, kas precīzāk apzīmē šo formu telpiskās izplatības galveno īpatnību. Tomēr lauka apsekojumi liecina, ka atsevišķi plakanvirsas pauguri ir sastopami arī starplobu paugurainēs un salveida cokoltipa eksarācijas-akumulācijas augstieņu augstākajā daļā (Strautnieks, 1998) un arī Augstrozes paugurvalnī (Zelčs, 1992, 1995), kas ir veidojies Zemgales un Burtnieka ledus lobu saplūdes zonā, tā hipsometriski augstākajiem pauguriem piegulošajā teritorijā Daibes apkārtnē.

3. PĒTĪJUMU METODES UN MATERIĀLI

Pētījums balstās uz ilgstošā laikā iegūtiem lauka pētījumu datiem (2. att.), publicēto literatūras avotu studijām un kartogrāfiska rakstura telpisko datu studijām, analīzi un interpretāciju.

3.1. Ģeotelpisko datu iegūšana, apkopošana un analīze

Viens no darba uzdevumiem bija, izmantojot daudzveidīgu telpisko informācijas avotu klāstu, iegūt iespējami precīzāku pētāmo reljefa formu izvietojuma karti, un analizēt pieejamo telpisko informāciju, lai pētītu gan atsevišķas formas, gan to kompleksus trīs mērogos: 1) plakanvirsas pauguru izplatība Latvijas salveida akumulatīvi glaciostrukturālajās augstienēs kopumā; 2) plakanvirsas pauguru izplatība atsevišķās salveida akumulatīvi glaciostrukturālajās augstienēs;



2. attēls. Pētījumu teritorijas novietojums un detāli pētītie atsegumi un plakanvirsas pauguri. Zemes virsmas reljefa attēlošanai izmantoti SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) digitālā modeļa dati.

3) plakanvirsas pauguru izvietojums to izplatības areālos. Tā kā pētījumu laikā nebija iespējas šīs formas klātienē pētīt citās valstīs, tad izmantota salīdzinošā analīze (skat. 2. nodaļu) par tuvākām un tālākām valstīm, kurās ir izplatītas līdzīga tipa ledāja reljefa formas un bijusi līdzīga ģeoloģiskās attīstības vēsture kvartārā, īpaši pēdējā apledojuma uzvirzīšanās un izžušanas gaitā.

Kamerālo darbu periodā veikta liela mēroga topogrāfisko karšu morfoloģiska un kartogrāfiska analīze, izstudēti un apkopoti publicētās literatūras avoti. Šajā laikā izdarīta arī lauka darbu posmā savākto materiālu analīze, ģeoloģisko griezumumu sastādīšana un izvērtēšana, Valsts sabiedrības ar ierobežotu atbildību "Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs" uzkrāto Ģeoloģijas fonda materiālu studēšana un interpretēšana.

Pētījuma gaitā sagatavota iespējami pilnīga 354 plakanvirsas pauguru datu bāze. Plakanvirsas pauguru kā ģeometriski precīzu koordinātu telpai (LKS-92) piesaistītu apveidu jeb poligonu atribūtu tabula satur daudzveidīgu informāciju par pētījuma objektiem.

Detālo pētījumu kompleksā ietilpa izvēlēto profila līniju instrumentāla ģeometriskā nivelēšana, urbšanas darbi (ar rokas ģeoloģisko urbju komplektu līdz 6 m dziļumam), zondēšana un dabisko un mākslīgo (karjeros) atsegumu ģeoloģiskā dokumentēšana. Vairumā gadījumu profila līnijas nivelētas, izmantojot nivelieri, atsevišķos gadījumos, veicot acumēra uzmērīšanu ar ģeoloģisko kompasu.

3.2. Lauka pētījumi un tajos iegūto datu statistiskā apstrāde

Lauka pētījumi aptvēra objektu un to tuvākās apkārtnes apsekošanu, reljefa formu uzbūves noskaidrošanu, veicot karjeru atsegumu izpēti, izdarot to zīmēšanu un fotofiksāciju, bet it īpaši slāņu saguluma apstākļu un struktūrelementu mērījumus, kā arī veicot rokas ģeoloģisko urbšanu. Šo darbību rezultātā tika iegūti dati par plakanvirsas pauguru iekšējās uzbūves īpatnībām un pārsedzošo glaciolimnisko nogulumu horizontālo izplatību, biezumu un raksturu.

Pētījumos morfoloģiskai analīzei izmantota ģeometriskā nivelēšana, pētījumu objektu precizēšana ar GPS uztvērējiem. Pāri daudziem pauguriem veikta urbšana ar rokas urbju komplektu, veicot kopumā 56 urbumus līdz 6 m. Atsevišķo gadījumos uzmērīšanai izmantota ģeoloģiskā busole.

Peleogeogrāfisko rekonstrukciju vajadzībām tika apzināta pētījumu teritorijas nogulumu datēšanas datu kopa, pieejama jaunākajās un sagatavotajās publikācijās (Rinterknecht *et al.*, 2006; Kalm, 2006; Raukas *et al.*, 2004; 2010; Zelčs *et al.*, 2010, *in press*).

Atsegumos mērīto oļu garenasu un slāņu saguluma elementu datu apstrādē izmantotas statistiskās apstrādes metodes datorizētā vidē ar *StereoNet* datorprogrammu. Telpisko datu apstrādei izmantoti *ESRI ArcMap* 9.3. statistikas rīki, morfoloģisko atšķirību salīdzināšanai arī *Microsoft Office Excel* iespējas.

Tika veikta iegūtās plakanvirsas pauguru datu bāzes skaitlisko rādītāju statistiska apstrāde skaitliskai vai grafiskai informācijas prezentācijai. Izmantojot *ESRI ArcMap* 9.3. rīkus, datu bāzēs tika veikta arī iekšējā statistiskā datu apstrāde, lai iegūtu pārskatu par plakanvirsas pauguru formām un to areāliem, (piemēram, tādu lielumu kā platību). Noskaidrotie dati tika grupēti areālu ietvaros, lai iegūtu informāciju par pauguru morfoloģijas elementu sadalījumu atsevišķu areālu ietvaros. Tika analizētas lielpauguru platības, formu skaits areālos (1. tab.), vidējie maksimālie augstumi, relatīvo augstumu sadalījums atsevišķos areālos, maksimālo un minimālo augstumu diferences (3. att.).

4. REZULTĀTI UN INTERPRETĀCIJA

Disertācijā ietvertie rezultāti atspoguļo plakanvirsas pauguru veiktās ĢIS ģeotelpiskās un statistiskās analīzes, morfoloģiskās izpētes, kvartārģeoloģisko un ģeomorfoloģisko lauka pētījumu datus, uz kuru pamata ir noskaidrotas plakanvirsas pauguru telpiskā izvietojuma likumsakarības salveida akumulatīvi glaciostrukturālajās augstienēs un šo pauguru izplatības areālos, kā arī to iekšējās uzbūves likumsakarības un attīstība saistībā ar ledāja deglaciācijas fāzēm.

Pētījumu rezultāti ļāva precizēt plakanvirsas pauguru morfoloģisko klasifikāciju, noskaidrot dažāda morfoloģiskā tipa pauguru izvietojumu un sakārtojumu to izplatības areālos.

4.1. Plakanvirsas pauguru izplatība, telpiskais sakārtojums un morfoloģija

Visu Latvijas salveida akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu kopējā platība sasniedz gandrīz 11 900 km² (1. tabula). Plakanvirsas pauguru izplatības areāli aizņem aptuveni 2343 km² platību jeb aptuveni 19,7% no minēto augstieņu kopējās platības. Tieši pašu plakanvirsas pauguru summārā platība ir aptuveni 567 km² jeb 24% no areālu kopējās platības, nepārsniedzot 50% atsevišķu areālu nosacītajās robežās. Lielākais šo pauguru īpatsvars ir Vidzemes augstienes Savītes areālā, kur reljefa formu vidējais blīvums ir aptuveni 0,62 formas/km².

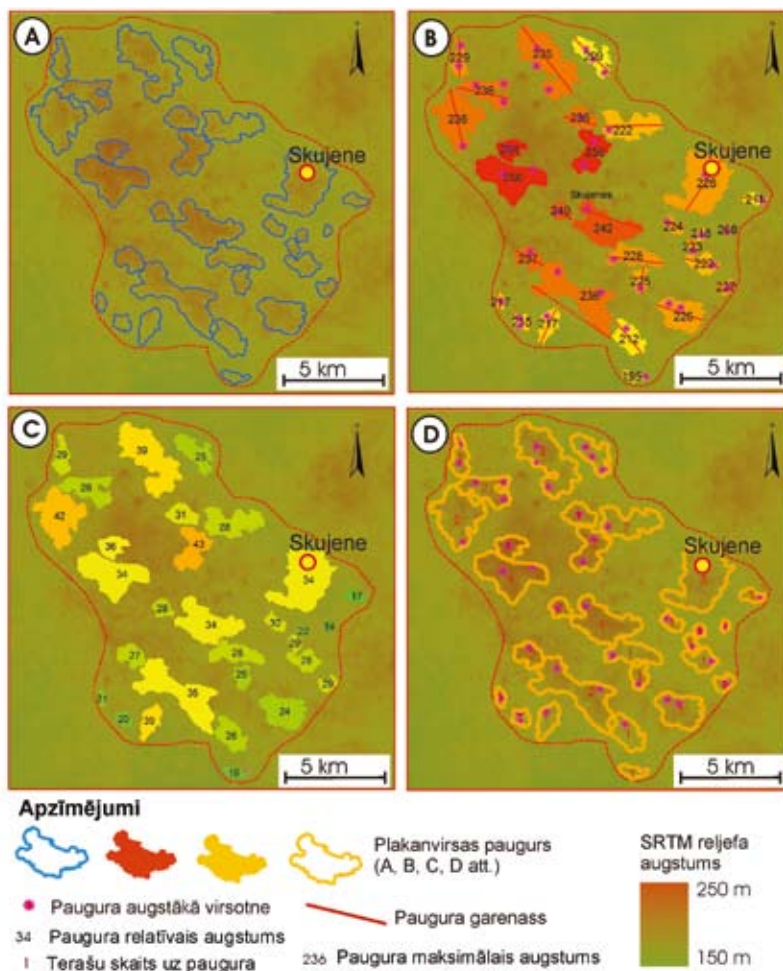
1. tabula. **Plakanvirsas pauguru sadalījums Latvijas salveida akumulatīvi glaciostrukturālajās augstienēs.**

Rādītājs \ Augstiene	Alūksnes augstiene	Vidzemes augstiene	Latgales augstiene	Kopā
Platība (km ²)	887	4605	6376	11 868
Plakanvirsas pauguru areālu skaits	2	8	5	15
Plakanvirsas pauguru skaits	24	145	185	354
Plakanvirsas pauguru kopplatība (km ²)	85,06	221,47	245,5	566,70
% no augstienes platības	9,59	4,80	3,85	4,77
Vidējā plakanvirsas paugura platība (km ²)	3,40	1,58	1,33	1,62
Plakanvirsas pauguru areālu platība (km ²)*	134	855	1365**	2354

* Platība nav viennozīmīgi definējama, bet robežas var tikt noteiktas apmēram 0,5–1 km attālumā no ārējo plakanvirsmas pauguru kontūras.

** Bez atsevišķiem pauguriem, kuri atrodas ārpus izdalītajiem plakanvirsas pauguru izplatības areāliem.

Plakanvirsas pauguru izplatības galvenie areāli ir: ir Iceniešu un Strautiņu areāls (Alūksnes augstiene), Drustu, Lauteres, Liezēres, Stepeļu, Savītes, Ērgļu, Kaibēnu un Skujenes areāls (Vidzemes augstiene), Burzavas, Rāznas-Pildas, Osvas, Aulejas un Gailīšu areāls (Latgales augstiene).



3. attēls. Vidzemes augstienes Skujenes plakanvirsas pauguru izplatības areāla morfoloģiskās analīzes piemērs. A – hipsometriskais novietojums (uz SRTM reljefa, SRTM, LU GZZF WMS); B – pauguru virsmas maksimālie augstumi (m), augstākie punkti un orientācijas asis; C – pauguru maksimālais relatīvais augstums; D – pauguru virsmas augstākās virsotnes un terašu skaits.

Veicot detālāku ģeotelpisko analīzi, kā piemēru izmantojot Skujenes plakanvirsas pauguru izplatības areālu (3. att.), var izdarīt šādus konstatējumus:

- 1) Skujenes plakanvirsas pauguri ieņem augstāko hipsometrisko līmeni Vidzemes augstienes ZR stūrī;
- 2) Plakanvirsas pauguri ir izvietoti piecās joslās (3.A att.). Visas tās orientētas ZR–DA virzienā. Tā kā pats areāls arī orientēts no ZR uz DA, areāla un joslu orientācija sakrīt. No vidējās joslas uz sāniem esošās joslas atrodas aptuveni vienādā attālumā;
- 3) Areāla platākajā DA galā izdalās piecas joslas un malējās joslās pauguru izmēri ir ievērojami mazāki, izņemot Skujenes pauguru izplatības areāla A malā. Tas izceļas ne tikai ar lielo izmēru (5,8 km², garums līdz 3,5 km), bet ar lielāko terašu skaitu (pavisam piecas terases) areālā un visās Latvijas akumulatīvajās glaciostrukturālajās augstienēs;
- 4) Augstākās pauguru virsotnes vairumā gadījumu neatrodas formas centrā. Bieži tās atrodas formu galos (ja formas izstieptas), vai arī pat sānos (3.B att.), sarežģītākā apveida pauguriem mēdz būt vairākas (2–3) pēc augstumiem tuvas (ar 1–2 m atšķirībām) virsotnes;
- 5) Pauguru garenasis arī vairumā gadījumu orientēts no ZR uz DA, tikai atšķiras mazākajos vai areāla malas pauguros;
- 6) Lai gan pēc absolūtajiem izmēriem augstāka ir areāla centrālā daļa, tomēr relatīvie pauguru augstumi tam precīzi neatbilst. Piedevām attēlā, diferencējot relatīvos augstumus ar krāsām (3.C att.), izteikti parādās ZA–DR virzienā orientētas joslas. Tādā veidā areālā plakanvirsas pauguru izvietojumu nosaka arī kāda šķērseniskā komponente, kas noteikti iezīmē areāla reljefa, t. sk. plakanvirsas pauguru cokolu daļas, veidošanās dinamiku, un iespējams, arī glaciolimnisko nogulumu segas veidošanos virs tiem;
- 7) Skujenes areālā vairumam pauguru (21 no 30) ir tikai viena terase (3.D att.). Septiņiem pauguriem ir divas terases, vienam – trīs, bet vienam – piecas. Cita rakstura analīzes rezultāti tika apkopoti statistiski grafiku veidā.

Autora izstrādātās datu bāzes ļauj veikt vizuālu dažādu parametru savstarpējo salīdzināšanu (3. att.), piemēram, ārējo apveidu (formu) saistību ar reljefu atsevišķu formu ietvaros (izmantojot 3D modeļus) vai lielākās teritorijās: kā ar Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras (LĢIA) veidoto reljefu vai *SRTM* reljefu (1. att.), formu orientāciju vai papildinātu ar formas garenasu vizualizētām līnijām), atsevišķu lielpauguru rādītājus, kā maksimālos augstumus tika vizualizēts ar krāsu izmaiņām vai pauguru relatīvā augstuma rādītājus vizualizēt ar krāsu izmaiņām.

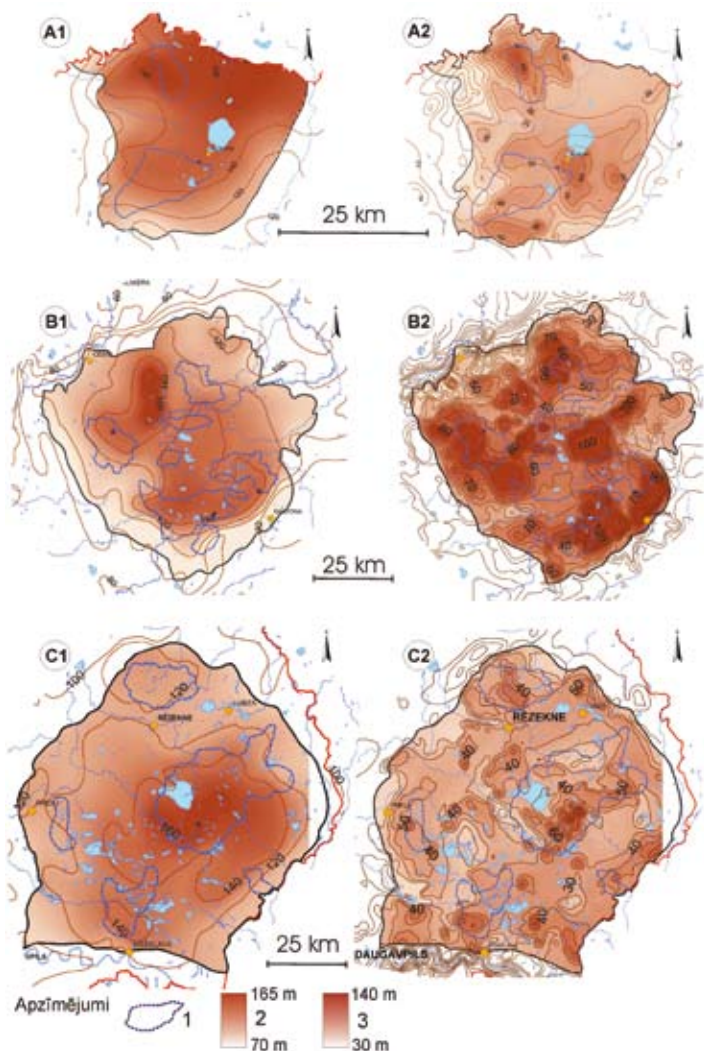
4.2. Zemvislas virsmas raksturs un augšējā pleistocēna slāņkopas uzbūve plakanvirsas pauguru izplatības areālos

Ledāja salveida akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu un tām raksturīgā reljefa mezoformu kompleksa veidošanās ir ledāja segas un tā gultnes sarežģītās mijiedarbības rezultāts. Laiktelpiskā skatījumā, kā to īpaši uzsver virkne pētnieku (Āboltiņš, 1972, 1975, 1989; Āboltiņš *et al.*, 1987, 1988; Raukas *et al.*, 2004), šī mijiedarbība ir bijusi mainīgā atkarībā no segledāja perifēriālās segas dinamiskās struktūras, ledus masu kustības veida, un, protams, arī no segledāja vispārīgās attīstības rakstura, t.i. ledāja transgresīvās uzvirzīšanās vai degradācijas ledāja transgresijas etapā, kā to norāda O. Āboltiņš (1972, 53. lpp.). Tādējādi minētie pētījumi pierāda zemledāja gultnes reljefa ietekmi uz ledus masu dinamiku un pleistocēna veidojumu litomorfoģenēzes procesiem. Neapšaubāmi, ka zemvislas (zembaltijas vai zemvaldaja pēc Āboltiņš *et al.*, 1975, 1976; Meirons, 1976; Meirons, Straume, 1979; Meirons, Juškevičs, 1984 lietotās terminoloģijas) virsmas reljefs un pēdējā apledojuma nogulumu uzbūve bija faktori, kas ietekmēja ne tikai plakanvirsas pauguru glaciotehtoniskās pamatnes veidošanos, bet ļoti iespējams – arī plakanvirsas pauguru veidošanās apstākļu lokalizāciju saistībā ar ledājukušanas ūdeņu uzkrāšanos zem ledāja un zemledāja gultnes nogulumu filtratīvajām īpašībām.

Kaut arī Alūksnes augstienē pēdējā apledojuma nogulumu biezums ir palielināts, tomēr salīdzinājumā ar Vidzemes augstieni, to sega ir nedaudz plānāka (4. att.). Veclaicenes paugurainē, Dēliņkalna un Sauleskalna pirmmasīvpauguru apkārtnē, tas sasniedz aptuveni 65 m, bet Icēniešu plakanvirsas pauguru areālā – 40–50 m (Āboltiņš *et al.*, 1976). Malienas paugurainē, D no Alūksnes un ap Kalncempjiem, pēdēja apledojuma nogulumu biezums ir 40 m, bet Strautiņu plakanvirsas pauguru izplatības areāla dienviddaļā tas ir 30–40 m (*ibid.*). Var uzskatīt, ka lielākais nogulumu biezums saistās tieši ar augstākajiem pauguriem un plakanvirsas pauguru areāliem, bet pārējā teritorijā tas ir ap 20 m. Minimālais biezums konstatēts augstienes R malā. Augstienes lielākā ezera – Alūksnes ezera – ieplakas apkārtnē šīs segas biezums dienvidu virzienā ievērojami pieaug – no apmēram 20 m līdz 40 m.

Pēdējā apledojuma nogulumu vidējais biezums Vidzemes augstienē ir 60–80 m (4. att.). Ir izteiktas 3 subparalēlas joslas ar palielinātu nogulumu biezumu. Tās stiepjas RDR–AZA virzienā.

Vislielākais Vislas apledojuma nogulumu biezums ir augstienes dienvidu daļā – Vestienas paugurainē, kur vietām tas pārsniedz 120 m (Juškevičs, 2000). Aprēķini liecina, ka šajā teritorijā maksimālais pleistocēna nogulumu slāņkopas biezums sasniedz ap 200 m (Zelčs, Markots, 1998). Vestienas paugurainē atrodas arī 13 no 15 augstākajiem Latvijas mūsdienu virsas punktiem (Zelčs, 1997b), kā



4. attēls. Zemvislas virsmas reljefs un pēdējā apledojuma nogulumu biezums salveida akumulatīvi glaciostruktūrālo augstieņu teritorijā: A1, B1, C1 – zemvislas virsmas reljefs; A2, B2, C2 – pēdējā apledojuma nogulumu biezums. A1, A2 – Alūksnes augstiene; B1, B2 – Vidzemes augstiene; C1, C2 – Latgales augstiene. Kartes sastādīšanā izmantoti O. Āboltiņš *et al.* (1975, 1976) un Z. Meirons (1976) dati.

Apzīmējumi: 1 – plakanvirsa pauguru areāls; 2 – zemvislas virsmas reljefs; 3 – Vislas apledojuma nogulumu biezums.

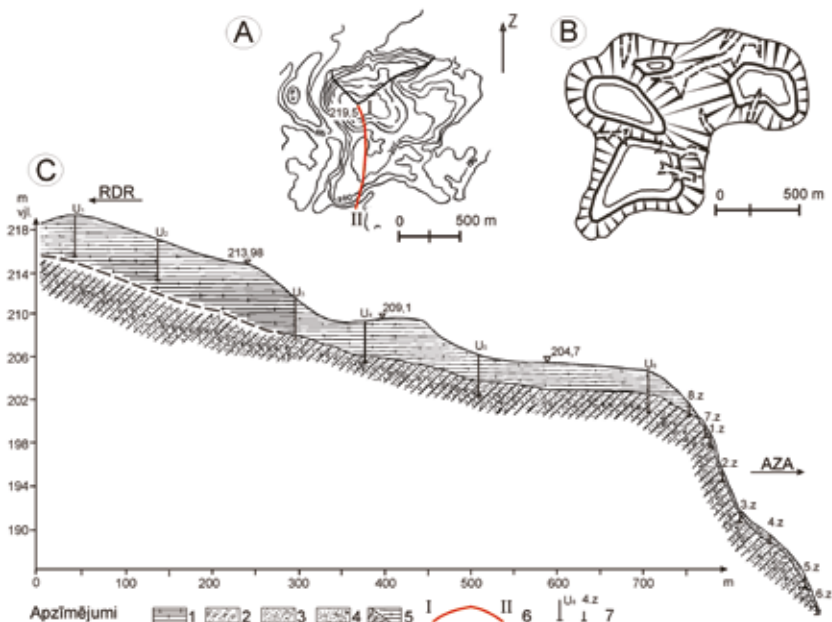
arī Savītes un daļēji Ērgļu plakanvirsas pauguru areāli. Augstienes vidusdaļā esošajā Piebalgas paugurainē Vislas apledošanas nogulumu biezums vietām sasniedz ap 100 m. Relatīvi plānāks tas ir Mežoles paugurainē, kas aizņem augstienes ziemeļu daļu, kur maksimālais biezums svārstās no 80 līdz 90 m (Juškevičs, 2000).

Latgales augstienē Vislas apledošanas nogulumu kārta ir ievērojami plānāka. Lielākais biezums ir aptuveni 80 m un izplatīts salīdzinoši nelielā apvidū ap Lielo Liepukalnu, kas atrodas Rāznavas paugurainē. Tādējādi šis palielinātais biezums attiecas uz Rāznavas-Pildas plakanvirsas pauguru areālu un salīdzinoši cieši saistās tieši ar plakanvirsas pauguru sakopojumiem. Palielināts biezums ir raksturīgs arī pārējiem Latgales augstienes plakanvirsas pauguru areāliem. Pārējā augstienes teritorijā Vislas apledošanas nogulumu biezums mainās no 20 m līdz 40 m, kas tomēr ir krietni lielāks nekā augstienei piegulošajos ledāja zemieņu apvidos (Juškevičs, 2002; Juškevičs, Skrebels, 2003; Meirons, 2004). Visām teritorijām, kurās koncentrējas vai atrodas lielākie Latgales augstienes ezeri, raksturīga plāna Vislas apledošanas nogulumu kārta. Tās vidējais biezums ir aptuveni 20 m vai pat mazāks.

Jāņem vērā, ka autora veiktajos aprēķinos nav iekļautas dažādas izcelsmes ielejveida formas zemvislas virsmā. Pēdējā apledošanas nogulumu biezumu samazināt var arī iepriekšējā apledošanas nogulumu asimilācija jaunākajos mazpārveidotu atrauteņu vai lokālmorēnas nogulumu veidā, jo pastāv grūtības tikai pēc urbumu datiem noteikt to atrašanos *in situ* (Ginters, 1984). Uz līdzīgām metodiskām problēmām, pētot ledāja veidojumus, ir norādījuši arī citi autori (Āboltiņš, 1989; Zelčs, 1993; Zelčs, Dreimanis, 1997; Strautnieks, 1998), atzīmējot, ka reizēm mezoformu kodolos esošo pamatiežu atrauteņi pēc ģeoloģiskās urbšanas datiem tiek traktēti kā liecības par pamatiežu virsmu.

4.3. Plakanvirsas pauguru iekšējā uzbūve

Ar mērķi noskaidrot plakanvirsas pauguru divu atšķirīgo sastāvdaļu – pamatnes un glaciolimniskās pārsedzes – veidošanās apstākļus, tika veikti padziļināti iekšējās uzbūves pētījumi dažādos karjeru atsegumos (5. un 6. att.). Diemžēl pētījumiem bija pieejams tikai neliels karjeru skaits, jo sakarā ar atteikšanos no plakanvirsas pauguru māla un grants–smilts iegulu izmantošanas un pāreju uz lielāku māla un grants–smilts iegulu krājumu izmantošanu Latvijā, lielākā daļa karjeru ir rekultivēti, to sienas ir nogruvušas vai arī stipri apaugušas ar krūmiem (Zelčs, Markots, 1999a, b). Tomēr detaļi pētītie karjeru atsegumi un iegūtie rezultāti sniedz pietiekamu informāciju par plakanvirsas pauguru iekšējās uzbūves detaļām, ko nav iespējams iegūt, izmantojot ģeoloģiskās urbšanas datus.



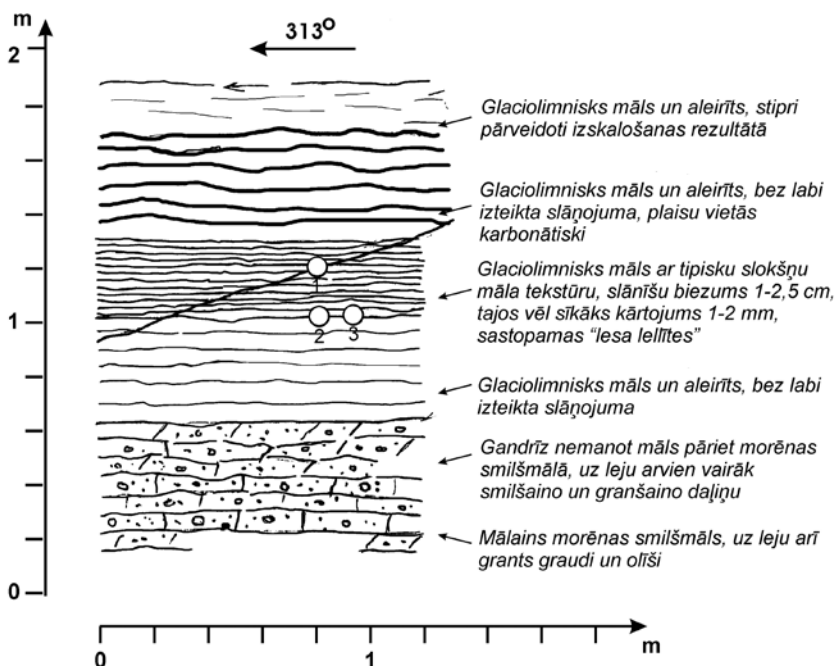
5. attēls. **Apseskalna plakanvirsas paugura hipsometriskā shēma, reljefa šķēlums 5 m (A), morfoloģiskā shēma (B) un DR nogāzes ģeoloģiski geomorfoloģiskais griezum (C) pa profila līniju I–II. Paugurs atrodas Vidzemes augstienē, 2,5 km ZZA no Liezēres.**

Apzīmējumi: 1 – sīkslāņots aleirītisks māls; 2 – morēnas smilšmāls; 3 – smilts; 4 – grants; 5 – iespējamā nogulumu ģenētisko tipu robeža; 6 – profila līnija; 7 – urbumi un zondējumi.

Reljefa formu morfoloģijas saistība ar to iekšējo uzbūvi ir viens no mūsdienu ģeomorfoloģisko, to skaitā glaciāli ģeoloģisko pētījumu nozīmīgākajiem stūrakmeņiem (Aber *et al.*, 1989; Benn, Evans, 1998; Easterbrook, 1999). Iekšējās uzbūves īpatnības nosaka vairāki apstākļi – gan ledāja dinamikas īpatnības un tās izmaiņas reģionālā un lokālā mērogā, gan arī zemledāja gultnes iežu reljefa raksturs un litoloģiskās īpašības (Benn, Evans, 1998, Menzies, 2002a; Āboltiņš, 1989).

Apseskalns atrodas Vidzemes augstienē Liezēres plakanvirsas pauguru izplatības areāla vidusdaļas Z malā. Tā virsmas maksimālais absolūtais augstums ir 219,5 m, relatīvais augstums sasniedz pat 41 metru. Pauguram ir stāva R, Z un ZA nogāze, tas ir terasēts, lēveraina apveida paugurs. Šī augura garenass orientēta ZA–DR virzienā (5.B att.). Augstākā virsotne ir paugura R malā, no tās radiāli tika pētītas trīs nogāžu profila līnijas, izmantojot rokas ģeoloģisko

urbšanu un nivelēšanu. Kā redzams DDR virziena profila līnijā, nogāzei raksturīgs kāpļveida profils. Tajā salīdzinoši labi 209 m un 204,5 m augstumā izdalās 2 terašu fragmenti. Paugura virsu, ieskaitot augstākos punktus, klāj labi izteikta glaciolimnisko nogulumu segkārtā, tās biezums virsotnes daļā pārsniedz 5 m, bet lejup pa nogāzi tas pakāpeniski samazinās.



6. attēls. Glaciolimnisko nogulumu (augšējā daļā) un glaciģēno nogulumu (apakšējā daļā) kontaktjoslas zīmējums karjerā Alūksnes augstienē Sauleskalna nogāzē.

Atsevišķos gadījumos robeža starp nogulumu tipiem vizuāli var būt arī gandrīz nemanāma un atspoguļo pakāpenisku pāreju no morēnas sedimentācijas uz glaciolimnisko nogulumu uzkrāšanos (6. att).

4.4. Plakanvirsas pauguru paleoģeogrāfiskais novietojums

Plakanvirsas pauguru izplatība un to ievērojamais īpatsvars Latvijas akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu centrālās zonas ledāja reljefa formu vidū liecina par to nozīmīgo vietu ledāja veidojumu kopā. Kaut gan plakanvirsas pau-

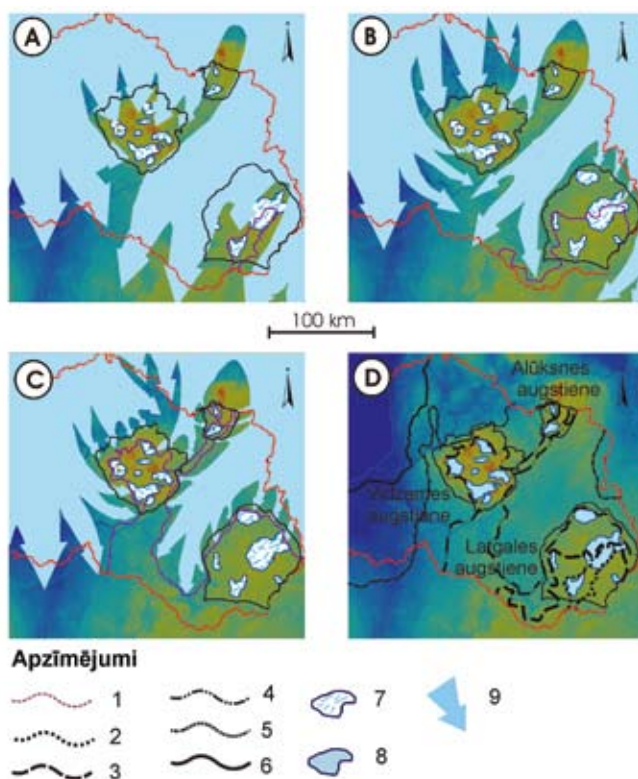
guru morfoloģija un uzbūve satur svarīgas liecības par procesiem un vides apstākļiem kādos norisinājās šo formu veidošanās, nozīmīga, ja ne pati nozīmīgākā, loma reljefa veidojošo nogulumu sedimentācijas un postsedimentācijas procesu norisēs bija plakanvirsas pauguru izplatības areālu paleoģeogrāfiskajam novietojumam attiecībā pret ledus lobiem un mēlēm dažādos pēdējā Fenoskandijas segledāja attīstības etapos. Tāpēc plakanvirsas pauguru telpiskā izvietojuma, morfoloģijas un iekšējās uzbūves likumsakarību analīze tika veikta kopsakarībā, no vienas puses – ar pašu salveida akumulatīvi glaciostruktūrālo augstieņu, bet no otras puses – ar plakanvirsas paugurus pavadošo ledāja reljefa formu veidošanās paleoģeogrāfiskajiem apstākļiem un morfoģenēzes īpatnībām.

Informāciju par teritorijas paleoglacioloģisko novietojumu iegūst ar tradicionālām gadu desmitu gaitā pārbaudītām metodēm, kuras ļauj noskaidrot ledāja plūsmas virzienus un ietver ledāja veidotā reljefa (Punkari, 1997; Boulton *et al.*, 2001; Marks *et al.*, 2003; Zelčs *et al.*, 2003; Morawski, 2005; Kalm, 2010), ledāja skrambu (Zāns, 1935) un oļu garenasu linearitātes (Sprinģis, Konshin, Savvaitov, 1963; Āboltiņš, 1987; Dreimanis, 1999), glaciostruktūru (Dreimanis, 1935; Aber *et al.*, 1989; Āboltiņš, 1989; Marks *et al.*, 2003; Zelčs *et al.*, 2003) un mikromorfoloģijas telpiskās orientācijas mērījumus, kā arī vadakmeņu izneses konusus (Viiding *et al.*, 1971; Markots, 1986), kas, sākot ar 20. gadsimta 60. gadiem, Latvijā tiek papildināti ar nogulumu uzkrāšanās vecuma noteikšanas un laukakmeņu izkušanas no ledāja kosmogēnā vecuma datiem. Šo datējumu rezultātu apkopojums ir pieejams Z. Meirona un V. Juškēviča (1984), V. Rinterknehta un līdzautoru (Rinterknecht *et al.*, 2006) un V. Zelča un līdzautoru (Zelčs *et al.*, *in press*) publikācijās.

Pētījumu teritorijas daļā, kurā ietilpst tikai Vidzemes augstienes ZR un R daļa, Rīgas ledus lielplūsmas ledus masas uzvirzījās no ZZR un ZR (7. att.). Tomēr pētījumu teritorijas lielākā daļa atradās Peipusa ledus lielplūsmas ietekmē (7. att.). Šajā teritorijā dominēja ledāja plūsma no ZZA un ZA. Ledus lobiem aizpildot plašās pirmsvislas apledojuma depresijas un reaģējot uz lielpacelumiem ledāja gultnē, ledus plūsmas virzienu struktūra sarežģījās un radās lokālie ledāja plūsmas virzieni no ZR, ZA un pat DA rumbiem.

Augstāk minētais ledāja plūsmas virzienu sadalījums noteica galvenās ledsaplūdes (ledsadures – pēc O. Āboltiņa (1989) piedāvātās terminoloģijas) zonas veidošanos ledus masu konverģences joslā starp Rīgas un Peipusa lielplūsmām (7. att.). Šī zonas robeža pa Sēlijas paugurvalni ir nosacīta un domājams, kā to atzīmē arī Z. Meirons *et al.* (1976) un J. Straume (1979), ir radusies tikai Kaldabruņas fāzes laikā, kamēr ledāja maksimālās transgresijas laikā abu ledāja lielplūsmu ledus masas saplūda kopā un veidoja vienotu plūsmu Fenoskandijas ledusvairoga D sektorā. Ledus masu konverģences zona Vidzemes augstienē (7. att.), iespējams, pastāvējusi jau transgresīvajā fāzē, kaut gan nav

izslēdzama arī O. Āboltiņa un līdzautoru (Āboltiņš *et al.*, 1972) izteiktā ideja, ka tā ir sākusi veidoties deglaciācijas posma pašos pirmsākumos, ko iezīmēja ledus segas biezuma samazināšanās. Šo laiku V. Zelčs un A. Markots (2004) apzīmē kā deglaciācijas sākumposmu pirms Dagdas deglaciācijas fāzes. Tajā laikā, pēc minēto autoru atziņas, ledsaplūdes zonā aizsākās pirmmasīvpaugurus veidojošo glaciostruktūru rašanās Latgales augstienē. Virsledāja ūdeņi, kas radās ledāja ablācijas gaitā, noplūda pa cietā un ūdensnecaurīdīgā ledus virsmu. Spriežot pēc dažādu autoru (Āboltiņš *et al.*, 1972; Meirons *et al.*, 1976; Zelčs *et al.*, 2010,



7. attēls. **Pēdējā apledojuuma deglaciācijas procesa rekonstrukcija saistībā ar ledāja oscilācijas fāzēm (Zelčs *et al.*, 2010, *in press*, *ar izmaiņām*). A – Dagdas fāze; B – Kaldabruņas fāze; C – Gulbenes fāze; D – pēdējā Fenoskandijas ledusvairoga deglaciācijas fāzes Austrumlatvijā.**

Apzīmējumi: 1 – ledāja malas oscilāciju maksimālās izplatības robeža (A–C); 2 – Dagdas fāze; 3 – Kaldabruņas fāze; 3 – Gulbenes fāze; 5 – Linkuvas fāze. 6 – Valdēmārpils fāze; 7 – plakanvirsas pauguru izplatības areāli (A–C); 8 – plakanvirsas pauguru izplatības areāli (D); 9 – ledus lobi un ledāja mēles.

in press), relatīvi agrāk zemledāja pirmmasīvpauguru struktūru un plakanvirsas pauguru glaciotehtoniskās pamatnes veidošanās sākās Latgales augstienes augstākajā daļā, bet Vidzemes un Alūksnes augstieņus centrālajā daļā tās radās par vienu līdz divām deglaciācijas fāzēm vēlāk (7. att.).

Plakanvirsas pauguru glaciostrukturālās pamatnes atrodas proksimālā virzienā gan no Vidzemes augstienes galvenās lielpūsma ledsaplūdes zonas, gan arī Latgales un Alūksnes augstieņu ledus lobu konverģences zonām. Tādējādi plakanvirsas pauguru telpiskais novietojums tika noteikts jau pēdējā ledāja deglaciācijas sākumposmā reizē ar ledsaplūdes zonu glaciostrukturūru veidošanos zemledāja apstākļos (8. att.).

Veiktā plakanvirsas pauguru izvietojuma un savstarpējā sakārtojuma ģeotelpiskā analīze liecina, ka šo ledāja mezoformu glaciotehtoniskās pamatnes, virs kurām atrodas glaciolimnisko nogulumu segslānis, radušās dažādās salveida akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu deglaciācijas fāzēs. Kā to uzsver J. Straume (1979), tad katra no deglaciācijas fāzēm ir iezīmējusies ar ledāja mēles oscilāciju, kuras sākumā vispirms tā vai cita ledāja mēle ir aktivizējusies, bet pēc tam aprimusi pakāpeniski šaurākā vai plašākā teritorijā.

Kā jau tas iepriekš tika uzsvērts (20. lpp.), Latgales augstienes augstākajā daļā plakanvirsas pauguru glaciotehtoniskās pamatnes veidošanās ir aizsākusies vēl pirms Dagdas deglaciācijas fāzes. Vēlāk tā turpinājās Dagdas un Kaldabruņas fāzes, bet Burzavas paugurainē – arī Gulbenes fāzes ledus malas oscilācijas laikā. Vidzemes augstienē Vestienas grēdas DR daļā uz R no Aronas noteces ielejas plakanvirsas pauguru glaciotehtoniskās pamatnes veidojās Dagdas fāzes laikā, kad galvenajā ledsaplūdes zonā jau bija izveidojies stagnantais ledus. Pārējā šīs augstienes teritorijā un Alūksnes augstienes apvidos tās veidojās Kaldabruņas bāzes laikā. Gulbenes deglaciācijas fāzes laikā veidojās šo abu augstieņu marginālie veidojumi, t.s. orientētais paugurgrēdu reljefs, kura veidošanās laikā ledājukušanas ūdeņi uzkrājās zem ledāja vai arī noplūda uz lokālajiem glaciālajiem ezeriem, kuri izveidojās no ledus brīvajās ledāja mēļu depresijās, vai arī noplūda gar ledus mēļu un lobu sāniem pa laterālajām un radiālajām ielejām uz ledus ezeru baseiniem, kuri aizņēma zemieņu pazeminātos apvidus. Neizslēdzot teorētisku iespēju, ka nākotnē turpmāko pētījumu gaitā atsevišķi plakanvirsas pauguri varētu tikt atklāti arī šo augstieņu orientētā paugurgrēdu reljefa izplatības joslā, varam uzskatīt, ka plakanvirsas pauguru veidošanās Latvijas akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu teritorijā noslēdzās Gulbenes deglaciācijas fāzes laikā, tomēr vislabvēlīgākie apstākļi to veidošanās procesa norisei bija Kaldabruņas deglaciācijas fāzes laikā, kad ledāja glaciodynamiskā struktūra bija vissarežģītākā un ledāja malas zonā darbojās, iespējams, vislielākais skaits ledus mēļu un mikromēļu, kuras bija aizpildījušas mūsdienu virsmas pazeminājumus augstienēs.

5. DISKUSIJA

Līdzšinējie pētījumi par pēdējā Fenoskandijas segledāja salveida akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu reljefa veidošanos ir veikti vairākos virzienos un galvenokārt bijuši virzīti augstieņu paleogeogrāfiskā novietojuma galvenokārt bijuši virzīti augstieņu paleogeogrāfiskā novietojuma (Asejev, 1973) un veidošanās mehānisma noskaidrošanai kopumā (Āboltniņš, 1972, 1975, 1989; Mozhajev, 1973; Āboltniņš *et al.*, 1988; 1989) vai arī dažāda tipa ledāja reljefa mezoformu izplatības apzināšanā atsevišķu šī tipa augstieņu teritorijā (Lazdāne, 1959, 1963; Shultz *et al.*, 1963; Basalikas, 1969; Vanaga, 1970; Isachenkov, Tatarnhikov, 1972; Āboltniņš *et al.*, 1975, 1976; Meirons, 1976; Straume, 1979; Raukas, 1978; Raukas, Karukāpp, 1979; Tatarnhikov, 1985; Bitinas, 1990, 1994). Minētie pētījumi balstās gan uz reljefa makroformu, mezoformu un atsevišķu reljefa formu morfoloģiskās izpētes rezultātiem, gan arī uz to iekšējās uzbūves datiem. Ņemot vērā šajā darbā iegūtos rezultātus, dažādās ģenēzes apstākļu interpretācijas nosaka nepieciešamību diskutēt paleogeogrāfiskā aspektā plakanvirsas pauguru morfoloģijas īpatnības visplašākā nozīmē, t.i. ietverot plakanpauguru un tos pavadošo reljefa formu izplatību, telpisko sakārtojumu, un hiposometriskā novietojuma telpiskās izmaiņas atsevišķu augstieņu, kā arī izplatības areālu robežās, un iekšējās uzbūves kopsakarības.

5.1. Morfoloģijas un iekšējās uzbūves paleogeogrāfiskās konsekvences

Plakanvirsas pauguru izplatība un to īpatsvars Latvijas akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu centrālās zonas ledāja reljefa formu vidū liecina par to nozīmīgu vietu ledāja veidojumu kopā. Kaut gan plakanvirsas pauguru morfoloģija un uzbūve satur nozīmīgas liecības par procesiem un vides apstākļiem, kādos norisinājās šo formu veidošanās, nozīmīga, ja ne pati nozīmīgākā, loma reljefa veidojošo nogulumu sedimentācijas un postsedimentācijas procesu norisēs bija plakanvirsas pauguru izplatības areālu paleogeogrāfiskajam novietojuma attiecībā pret ledus lobiem un mēlēm dažādos pēdējā Fenoskandijas segledāja attīstības etapos.

Tāpēc plakanvirsas pauguru telpiskā izvietojuma, morfoloģijas un iekšējās uzbūves likumsakarību analīze ir veicama kopsakarībā, no vienas puses, ar pašu salveida akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu, bet no otras puses, plakanvirsas paugurus pavadošo ledāja reljefa formu veidošanās paleogeogrāfiskajiem apstākļiem un morfoģenēzes īpatnībām. Kā liecina daudzu autoru pētījumi (Asejev, 1974; Āboltniņš, 1975, 1989; Straume, 1979; Raukas *et al.*, 1995; Punkari, 1997; Boulton *et al.*, 2001; Zelčs, Markots, 2004), nozīmīgākais paleogeogrāfiskais

indikators ir teritorijas novietojums attiecībā pret ledus lobu un ledāja mēļu konverģences zonām ledāja transgresijas un degradācijas etapā, kā arī ledāja malas oscilācijas un recesijas fāžu laikā.

Smilts noguluma vecuma noteikšanas datējumi ar OSL metodi norāda, ka ledāja reljefa glaciotehtoniskās mezoformas veidojošās smilšaini granšainās slāņkopas Vidzemes augstienes teritorijā varēja uzkrāties dažādā laikā (Zelčs *et al.*, *in press*). Brežģakalna pirmmasīvpaugura dienvidu daļas paugura formveidojošās krokas austrumu spārnā 7,5 m dziļumā glaciotehtoniski dislocēto smalkgraudainas smilts nogulumu vecums starpslāņi starp rupjgraudainākas smilts, grants un oļainas grants slāņiem atbilst priekšpēdējā (Zāles, vietējais apzīmējums – Kurzemes) apledojuma beigu posmam (paraugs Brezgis 01, 125±24 tūkst. OSL g., Hel-TL04174,). Savukārt Veselavas paugurvalnī, kas atrodas aptuveni 1,5 km uz ziemeļiem no Vidzemes augstienes pakājes, uzbidījuma zvīņas pamatnē esošās smilts OSL vecums ir 59±10 tūkst. OSL g. (paraugs Veselava 02, Hel-TL04178). Mēru un Ezernieku apkārtnē veiktie smilšaino nogulumu datējumi attiecīgi 30,00 un 40,34 tūkst. TL gadi un arī norāda uz šo nogulumu uzkrāšanos Vidusvislas (Lejasciema) interstadiāla laikā. Par to, ka Latvijas teritorija šajā laikā nebija klāta ar segledāju, liecina arī smilts nogulumu OSL datējumu sērija Baltijas jūras Kurzemes piekrastē, kas uzkrājušies laikā no 52 līdz 26 tūkst. g. (Saks *et al.*, *in press*).

5.2. Plakanvirsas pauguru veidošanās apstākļi

Jautājumā par plakanvirsas pauguru ģenēzi un to vietu ledāja reljefa paraģenētiskajā kopā pastāv vairāki, pat pretēji uzskati (Tatarnhikov, 1985; Bitinas, 1990, 1994; Straume, 1979; Āboltiņš, 1989; Āboltiņš, Markots, 1995, 1998b). Iespējamais iemesls ir to pētījumi dažādās ledāja reljefa makroformās, kurām ir atšķirīga ģenēze un, informācijas ticamība par to iekšējo uzbūvi un tās ņemšana vērā plakanvirsas pauguru izcelsmes skaidrojumos.

A. Bitinas (1990) norāda, ka visas zvoncu izcelsmes hipotēzes satur virkni strīdīgu elementu, jo morēnas cokola (kā noskaidrots šajā pētījumā – glaciotehtoniskās pamatnes – *autora piezīme*) veidošanās aprīmuša ledus caurkusumos un plaisās ir maz ticama, it īpaši ņemot vērā zvoncu izmērus, kas sasniedz vairākus desmitus kvadrātkilometru, tāpat ledāja biezumu malas zonā tā aprīšanas stadijā.

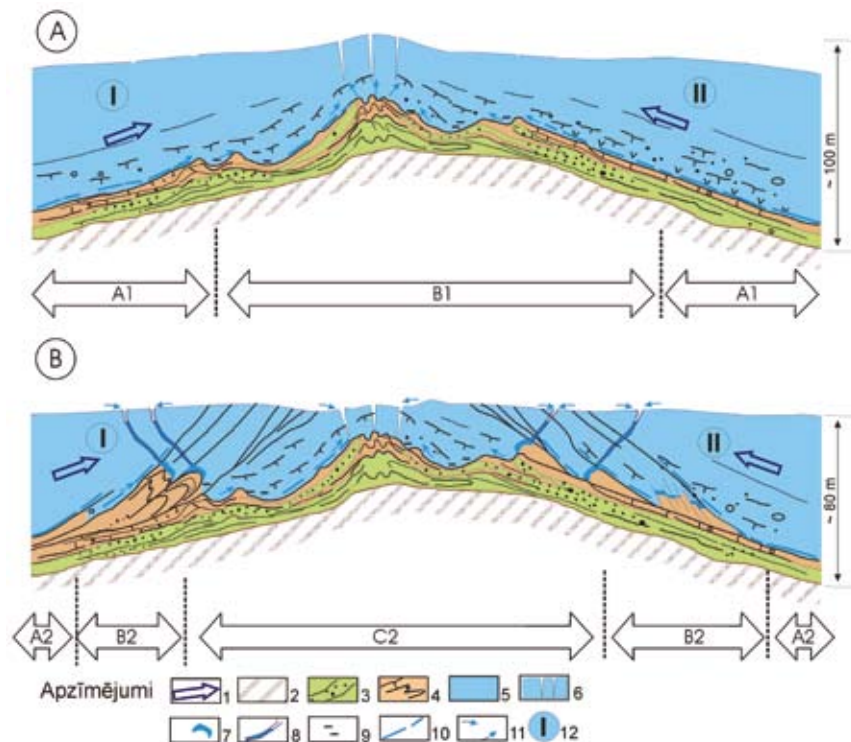
A. Bitinas (*ibid.*, 22. lpp.) īpaši uzsver, ka plakanvirsas pauguru ģenēzes skaidrojumā īpaši ir jāņem vērā, ka tie nevis vienkārši atrodas pēdējā apledojuma malas zonā, bet gan ledusšķirtņu (pēc šī darba autora lietotās terminoloģijas – ledsaplūdes jeb ledus konverģences) zonu stūra masīvos. Pēc viņa domām (*ibid.*,

24. lpp.) tas vedina domāt, ka to veidošanās notika ne tikai viena mēles vai loba deglaciācijas laikā, bet ir daudz sarežģītāku procesu rezultāts.

Īpaši A. Bitinas (1990) uzsver plakanvirsas pauguru morēnas pamatnes un to plakumu veidojošo glaciolimnisko nogulumu izcelsmes nozīmi. Iespējama ir arī viņa aprakstītā paleoģeogrāfiskā situācija un notikumu secība. Taču Latvijā nav paleoģeogrāfiska un glaciolitomorfoloģiska rakstura pierādījumu par ledāja malas atkāpšanos un atkārtotu uzvirzīšanos salveida akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu deglaciācijas laikā, uz ko norāda arī J. Straume (1979). Salīdzinājumā ar Lietuvu, Latvijas teritorija atradās Fenoskandijas ledusvairoga perifēriālās segas iekšējā zonā, kur deglaciācijas procesi notika relatīvi vēlāk, un kas, kā norāda O. Āboltiņš un V. Zelčs (1988), noteica virkni specifisku ledāja litomorfoģenēzes īpatnību. Tāpēc, nenoraidot A. Bitina (Bitinas, 1990) izstrādāto zvoncu veidošanās modeli un pamatojoties uz veiktā pētījuma rezultātiem, kas salīdzinājumā ar A. Bitina pētījumiem, parāda atšķirības plakanvirsas pauguru paleoglacioloģiskajā un hipsometriskajā novietojumā un telpiskajā sakārtojumā, bet it īpaši plakanvirsas pauguru cokola uzbūvē, turpmāk tiek diskutēti plakanvirsas pauguru veidošanās apstākļi Latvijā. Jāuzsver, ka Latvijā plakanvirsas pauguri atrodas ne tikai starplobu vai starpmēļu teritorijā, bet arī ledāja mēļu malas zonā, ko distālā un laterālā virzienā norobežo hipsometriski augstākā līmenī izvietotās pirmamsīvpauguru virknes, kas gan rada zināmu līdzību ar A. Bitinas (1990) aprakstīto situāciju, taču rada priekšnoteikumus ledus ezeru veidošanās procesam ledāja recesijas gaitā bez atkārtotas tā malas uzvirzīšanās.

Jāuzsver, ka Latvijā plakanvirsas pauguri atrodas ne tikai starplobu vai starpmēļu teritorijā, bet arī ledāja mēļu malas zonā, ko distālā virzienā norobežo hipsometriski augstākā līmenī izvietotās pirmamsīvpauguru virknes, kas gan novietojuma ziņā ir zināmā līdzībā ar A. Bitinas (1990) aprakstīto situāciju, taču rada priekšnoteikumus ledus ezeru veidošanās procesam ledāja recesijas gaitā bez atkārtotas tā malas uzvirzīšanās. Pētījumā iegūtais plakanvirsas pauguru telpiskais sakārtojums un glaciostrukturū morfoloģiskā asimetrija un uzbūve norāda vismaz uz divām ar plakanvirsas pauguru ģenēzi saistītām parādībām. Pirmām kārtām, par glaciotehtoniskās pamatnes krokojuma struktūru ar perpendikulāri ledus plūsmas virzienam vērstiem šarnīriem veidošanos vienpusēji orientēta ledāja spiediena apstākļos un, otrām kārtām, par ledāja gultnes nogulumu un atlūzu materiālu saturošā ledus zvīņveida uzbūvējumu struktūru veidošanos ledāja malas zonā, tam pakāpeniski aprīstot (8. att.).

Plakanvirsas pauguru morfoloģiskās analīzes dati liecina, ka to glacio-tektoniskās struktūras ir veidojušās gultnē, kuram virsma pazeminās proksimālā virzienā. Pēc O. Āboltiņa domām (1975), šādos apstākļos notiks ledus masu bremzēšanās un pastiprināta pamatmorēnas akumulācija, kas galu galā



8. attēls. **Ledāja gultnes termālo apstākļu, ledus plūsmas rakstura un zemledāja gultnes dominējošo procesu principiālā shēma: A – pirmmasīvpauguru veidošanās laikā; B – plakanvirsas pauguru veidošanās laikā. Vertikālais pārspīlējums 1:20.**

Apzīmējumi: 1 – ledus kustības virziens; 2 – pirmsvislas nogulumu; 3 – glacioakvālie nogulumu; 4 – Vislas apledoja glacigēnie nogulumu; 5 – ledus; 6 – plaisains ledus; 7 – spiedienūdeņi; 8 – ūdensriņeji; 9 – atkārtotas sasaldšanas zona; 10 – kušanas ūdens uzkrāšanās; 11 – virsleđa un zemleđa ūdeņu plūsmas (evakuācijas) virziens; 12 – leđa mēle I un leđa mēle II. Leđa-gultnes kontaktzonas termālie apstākļi: A att.: A1 – mitra gultne; B1 – sasaldstoša gultne; B att.: A2 – atkususi gultne; B2 – sasaldstoša gultne; C2 – sasalusi gultne. Ledus plūsmas raksturs: A att.: A1 – bazālā slīdēšana kombinācijā iekšējo krīpu; B1 – iekšējais krīps ar sporādisku bazālo slīdēšanu un gultnes deformāciju; B att.: A2 – bazālā slīdēšana kombinācijā ar iekšējo krīpu; B2 – iekšējais krīps ar sporādisku bazālo slīdēšanu un gultnes deformāciju; C2 – iekšējais krīps. Leđa gultnē dominējošie procesi: A att.: A1 – bazālās morēnas izgulsnēšanās; B1 – gultnes nogulumu deformācijas un morēnas vienlaidus segas dezintegrācija; B att.: A2 – bazālās morēnas izgulsnēšanās; B2 – gultnes nogulumu deformācijas un morēnas vienlaidus segas dezintegrācija; C2 – leđa sakabināšanās ar gultni.

izraisīs ledāja sakabināšanos ar gultni. Efektīvajam spiedienam gultnes-ledāja kontaktzonā sasniedzot maksimumu, sākas gultnes nogulumu deformācija (Boulton, 1986). Tomēr pirms tam, ledāja aktīvas uzvirzīšanās laikā, politermāla ledus apstākļos zemledāja virsmas pazeminājumos, ko aizpildīja ledus lobi un mēles, dominēja bazāla slīdēšana un ledājūdeņu veidošanos.

Jau 1981. gadā A. Aikens (Iken, 1981) norādīja, ka gadījumos, kad pamatnes virsma krīt pret ledāju un ir raupja, tas kopā ar ledus biezuma samazināšanos sekmē ledājūdeņu uzkrāšanos gultnē un kriostatiskā spiediena palielināšanos tajā. Ūdens zem ledāja var akumulēties vietās, kur iecirkņiem ar zemu hidraulisko potenciālu pieguļ iecirkņi ar relatīvi augstu hidraulisko potenciālu (Bennett, Glasser, 1996). Hidrauliskā gradienta atšķirības izsauks ūdens pārplūšanu no augsta hidrauliskā potenciāla uz zema hidrauliskā potenciāla iecirkņiem. Visticamāk, ka, veidojoties krokām vai uzbīdījumiem, zemledāja ūdeņi nonāca virs šīm glaciostruktūrām. Virs tām, it īpaši to distālajā daļā, sakarā ar ledus mazāku biezumu un vājāku dinamisko iedarbību veidojās zema hidrauliskā potenciāla iecirkņi. Bīdes zonu attīstība un zvīņveida uzbīdījumu veidošanās sekmēja hidrauliskā spiediena gradientu pieaugumu starp augstā un zemā hidrauliskā potenciāla iecirkņiem. Tā rezultātā pieauga ledājūdeņu erozijas spēja, kas izsauca bīdes radīto plaisu strauju paplašināšanos un ledāja gultnes atūdeņošanos. Erozijas ietekmē ledāja gultnes nogulumi un ledāja bazālās daļas atlūzu materiāls tika erodēts un transportēts perpendikulāri ekvipotenciāla līnijām uz ezeriem, kas pakāpeniski veidojās ledāja virsā.

Dž. Menzijs (Menzies, 2002b) īpaši uzsver, ka “atrodoties sadūrā starp ledāju un tā gultni, zemledāja (hidroloģiskā – *autora precīzējums*) sistēma ir spējīga pārvietot lielu daudzumu nogulumu, iegrauzties ledāja gultnes nogulumos un pamatnes iežos, un tādā veidā dod kritisku ietekmi uz glaciodinamiku, kas nekavējoties noteiks apledojuma ģeomorfoloģisko “efektu” (*ibid.*, 112. lpp.). Dž. Menzijs (*ibid.*) norāda, ka ledājos ar subpolāro termālo režīmu ierobežotos zemledāja gultnes iecirkņos var eksistēt zemledāja hidrauliskās sistēmas, bet tas tikpat labi attiecināms arī uz visiem tiem gadījumiem, kur novērojama auksti un silti bāzētas gultnes termālā režīma mijas iecirkņi. Visur tur, kur parādās politermāla režīma apstākļi, iespējams, attīstīsies un eksistēs pārtraukta, mainīga un ierobežota subglaciāla sistēma, kas telpiski var izzust laika gaitā. Galvenie bazālā sprieguma apstākļi mainās atkarībā no novietojuma zem ledus un attāluma līdz ledāja malai vai virs nozīmīgiem topogrāfiskiem pacēlumiem uz pazeminājumiem (*ibid.*, 113. lpp.). Zemledāja ūdens spiediens, kamēr sublaciālā hidroloģiskā sistēma nav tieši savienota ar atmosfēru, līdzināsies ledāja radītās slodzes spiedienam.

Zemledāja gultnes deformāciju veidošanās notika dinamiski mainīgā vidē un apstākļos, kur zemledāja gultnes topogrāfija sekmēja ledājūdeņu uzkrāšanos

(7. att.). Tieši deformācijas un stabilo plankumu robežjoslā pastāvēja vislielākie spriegumi ledāja ķermenī, kas izraisīja zvīņveida uzbīdījumu veidošanos. Zvīņveida uzbīdījumu attīstības laikā hidrostatiskā spiediena gradients momentāni kritās un izsauca strauju zemledāja ūdens spiedienplūsmu gar uzbīdījuma plaknēm. Atsevišķas uzbīdījuma zvīņas iekšējā uzbūve liecina, ka tā sastāv no diviem slāņiem, kas raksturojas ar atšķirīgu ūdenscaurlaidību. Apakšējā zvīņas daļa ir veidota no smilšaina materiāla, ko pārsedz bazālā morēna. Savukārt zvīņas bazālās daļas smilšainais materiāls uzguļ glaciokrokas spārnā vai apakšējās zvīņas augšējās daļas pagulslānim, kas sastāv no bazālās morēnas. Šādos apstākļos, kā to norāda Dž. Menzijs (Menzies, 2002b, p. 115), var veidoties zemledāja ūdeņu ierobežota plūsma un tie var izplūst virs ledāja.

Neapšaubāmi par labu zemledāja ūdeņu hidrauliskās plūsmas nozīmei plakanvirsas pauguru glaciolimniskā segslāņa veidošanā liecina arī fakts, ka kontinentālo ledusvairogu gadījumos nozīmīgākais sanešu materiāla avots ir atlūzas saturošais ledus un ledāja gultnes nogulumi, kamēr iekšledāja un virsledāja slāņi satur maz atlūzu materiāla un tas parasti ir sastopams stipri izkliedētā veidā (Drewry, 1986). Tieši ledāja gultnē ir sastopami morēnas nogulumi, kas, kā atzīmē daudzi autori, piemēram, I. Danilāns (Danilāns, 1973; Kuršs, Stinkule, 1969), ir nozīmīgs glaciolimnisko nogulumu cilmes avots. Pēc I. Danilāna (Danilāns, 1973) pētījumiem līdz 90% no morēnas tilpumsvara veido smalknes frakcijas ($\varnothing < 2$ mm), bet plakanvirsas pauguru glaciolimnisko pārsegu veidojošo raksturīgo aleirīta un māla frakciju saturs tajā ir attiecīgi 10–30% un 15–30%. Tomēr neskatoties uz to, ir nepieciešama padziļināta zemledāja ūdeņu hidrauliskās sistēmas lomas un tās dinamikas pētījumi glacigēno procesu radītās topogrāfijas pārveidošanās kontekstā, tajā skaitā iespējamā zemledāja hidrauliskās sistēmas ietekme uz plakanvirsas pauguru virsmu saposmojošo gravveida formu attīstību.

SECINĀJUMI

Šī pētījuma rezultāti ļauj izdarīt vairākus nozīmīgus secinājumus par plakanvirsas pauguru izplatības, savstarpējā sakārtojuma, morfoloģijas, iekšējās uzbūves raksturu un to paleoģeogrāfisko novietojumu attiecībā pret galvenajiem ledus lobiem un mēlēm, un to konverģences zonām ledus uzvirzīšanās un izžušanas etapā. Uz pētījumiem balstās arī svarīgākie secinājumi par plakanvirsas pauguru veidošanās apstākļiem salveida akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu teritorijā.

Plakanvirsas pauguru novietojums saistībā ar tiem blakus esošo salveida akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu mezoformu tipiem un to kompleksiem ļauj iegūt padziļinātu priekšstatu par reljefa veidojošo procesu dinamiku un vides izmaiņām plakanvirsas pauguru veidošanās laikā.

Pētījuma gaitā izveidotās, uz ĢIS balstītās, datu bāzes par plakanvirsas pauguriem un izmantotie ĢIS analīzes rīki ir ļāvuši atrast kritērijus plakanvirsas pauguru un to izplatības areālu robežu noteikšanai un precizēt, kā šo pauguru, tā arī to areālu izplatības robežas. Tāpat tas ir palīdzējis noskaidrot plakanvirsas pauguru un to izplatības areālu teritoriālo sasaisti ar pēdējā ledāja pabiezinātas segas nogabaliem, īpaši Latgales un Alūksnes augstienēs, kur ārpus ledāja pirmasivpauguru un plakanvirsas pauguru izplatības teritorijās, tā vidēji ir plānāka nekā Vidzemes augstienē.

Iegūtie rezultāti par plakanvirsas pauguru sakārtojuma likumsakarībām, to pārsedzošās glaciolimnisko nogulumu segas uzbūvi, kā arī glaciotehtoniskās pamatnes uzbūvi un to veidojošo nogulumu, iespējams, pat ļoti atšķirīgo vecumu ļauj daudz pārliecinošāk un ticamāk argumentēt šo formu morfoģenēzi. Diemžēl lielpauguru iespaidīgo izmēru un lielā relatīvā augstuma dēļ, kā arī uzbūves īpatnību iespaidā, tajos pašlaik ir ļoti maz derīgo izrakteņu ieguves vietu, kuras izpētot, var tieši un nepastarpināti papildināt zināšanas un precizēt priekšstatus par to veidošanās apstākļiem.

Tomēr iegūtie pētījumu rezultāti, kaut arī pieļauj iespēju pieturēties pie tradicionālā priekšstata par glaciolimnisko nogulumu sedimentāciju iekšledāja baseinos aprimušu ledus lauku ietvaros, ļauj izvirzīt un attīstīt modeli par plakanvirsas pauguru bezakmens mālu pārsedzes veidošanos zemledāja kušanas ūdeņu atslodzes vietās. Tās veidojās ledus lobu un ledus mēļu zvīņveida uzbīdījumu zonās, kur, saistībā ar plaisu veidošanos traušlajā ledū hidrostatiskā un hidrodinamiskā spiediena gradientu atšķirību dēļ, noplūda ledāykušanas ūdeņi, kas transportēja uz zemledāja kušanas ūdeņu atslodzes vietām arī no zemledāja gultnes ar atlūzu materiālu piesātinātā ledus erodēto materiālu. Kušanas ūdeņi un Saules radiācija sekmēja šo plaisu paplašināšanos un daudz

plašāku apūdeņotu nogabalu veidošanos ledus lobu un ledus mēļu malas zonās. Ledāja biezuma samazināšanās un tā apīmšana noteica zemledāja kušanas ūdeņu hidrostatiskā spiediena samazināšanos un atslodzes, kā arī zvīņveida uzbīdījuma zonu regresīvu migrāciju proksimālā virzienā, un ekvipotenciālās virsmas līniju pazemināšanos.

Pētījuma rezultāti apstiprina darba hipotēzi par plakanvirsas pauguru veidošanos kā vairākpakāpju procesu, un vienlaicīgi arī apliecina, ka dotajā pētījumā izvirzītais mērķis ir sasniegts, un galvenie izvirzītie uzdevumi ir izpildīti.

Neapšaubāmi, ka plakanvirsas pauguru izplatības areāli tikai ar tiem raksturīgajām reljefa formu morfoloģiskajām īpatnībām un nogulumu saguluma raksturu sekmē ainavisko un bioloģisko daudzveidību un nosaka arī teritorijas zemes lietojuma īpatnības gan senatnē, gan mūsdienās. Šie paši faktori ir noteikuši plašu gravu erozijas tīkla veidošanos, kas rada papildu riskus teritorijas izmantošanai. Vienlaikus gravas ir viena no ļoti drošām reljefa formu tipa identifikācijas pazīmēm, jo liecina par glaciolimnisko nogulumu klātbūtni pauguru virsotnes daļā. Minētie apstākļi norāda uz nepieciešamību turpināt plakanvirsas pauguru kā specifisku ģeogrāfiskās vides elementu padziļinātu kompleksu izpēti, pētījumos iesaistot daudz plašāka profila zemes un vides pētnieku loku.

PATEICĪBAS

Promocijas darbs izstrādāts ar ESF projekta “Atbalsts doktora studijām Latvijas Universitātē”, Nr. 2009/0138/IDP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/004, LU reģistrācijas Nr. ESS2009/77 finansiālu atbalstu. Nogulumu datēšana veikta ar LZP pētniecības projekta Nr. 09.1420 “Ledājukušanas ūdeņu radītā ledāja gultnes modifikācija politermāla ledāja malas joslā Fenoskandijas ledusvairoga dienvidaustrumu sektora Latvijas daļā” atbalstu. Autors pateicas promocijas darba vadītājam profesoram, Dr. ģeol. Vitālijam Zelčam par ieguldīto lielo darbu, atbalstu un padomiem disertācijas tapšanas gaitā, ļoti noderīgiem ieteikumiem zinātnisko rakstu sagatavošanā, kā arī par palīdzību un atbalstu lauka pētījumu veikšanā. Izsaku pateicību SIA “Envirotech” par iespēju izmantot *ArcGIS* 9.3. sevišķo doktorantūras atbalsta licenci telpisko datu analīzei ĢIS vidē. Liela atzinība pienākas Jānim Jātniekam par ieguldīto darbu un neordināriem risinājumiem telpisko datu bāzes un servisa izveidošanas procesā Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes karšu pārlūkā. Autors īpaši pateicas Dr. Tomas Sakam par disertācijas kopsavilkuma angļu valodas teksta rediģēšanu. Autors izsaka pateicību Valsts sabiedrībai ar ierobežotu atbildību “Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs” par Ģeoloģijas Fondu materiālu visplašāko pieejamību. Īpaša pateicība pienākas LU emeritētajam profesoram un emeritētajam zinātniekam, habilitētajam ģeoloģijas zinātņu doktoram Ojāram Āboltiņam par atbalstu, idejām un skološanu reljefa formu izpētē un sadarbību kopīgajos lauka pētījumos.

LITERATŪRA

- Aber, J.S., Croot, D.G., Fenton, M.M., 1989. *Glaciotectonic Landforms and Structures. Glaciology and Quaternary Geology*. Kluwer Academic Publishers, London, 200 pp.
- Āboltniš, O., 1972. K voprosu o formirovaniji ostrovovidnih vozvishennostei. *Grām. Lhednhikovij morfogenhez*. Zinātne, Rīga, s. 51–61. (in Russian).
- Āboltniš, O., 1975. Glaciodynamiceskiye osobennosti formirovanhija vozvishennostei Latviji. *Grām. Voprosi chetvertichnoy geologii*, s. 8. Zvaigzne, Rīga, s. 5–23. (in Russian)
- Āboltniš, O., 1989. *Glhaciostruktura i lhednikovij morfogenhez*. Zinatne, Rīga, 286 s (in Russian).
- Āboltniš, O., Zelčs, V., 1988. Litomorfogenhez vnutrenney zony drevnhelhednhikovoy oblasti (na primere isslhedovaniy v Latvii). *Grām*. Purin, V., Zvejnieks, R. (Dds.), *Razvitiye geograficheskoy mysli v Sovetskoj Latvii*. Latviyskiy Gosudarstveniy Universitet, Rīga, s. 103–126. (in Russian).
- Aboltniš, O., Mikalauskas, A., Raukas, A., 1974. Morphogenetic classification of extramarginal glacioaquatic formations based on investigation in the Baltic States. In Biske, G., Mikalauskas, A. (eds.), *Predfrontalnye krayevye lednikovye obrazovaniya*, Mintis, Vilnius, s. 25–31. (in Russian).
- Āboltniš, O., Asejev, A., Vonsavičus, V., Isačenko, I., Mozhahev, B., Raukas A., 1988. *Ostrovniye vozvishennosti kak osobim obrazom organhizovanniye geologicheskije objekti*. AN ESSR, Tallinn, 56 s (in Russian).
- Āboltniš, O., Asejev, A., Vonsavičus, V., Isačenko, V., Možajev, V., Raukas, A., 1989. Formirovanije i osvojenije lednikovih akumulativnih ostrovnih vozvisennostei. *Izvestija AN ESSR*, Tallinn, s. 32–45. (in Russian).
- Āboltniš, O., Danilāns, I., Ilyin, E.A., Isachenkov V.A., Karukapp, R., Raukas, A., Faustova, M. A., 1977a. The structure of the principal ice shed zones. In Chebotareva, N. S. (ed.), *The structure and dynamics of the last ice sheet of Europe*, Nauka, Moscow, s. 101–112. (in Russian).
- Aboltniš, O., Isachenkov V.A., Faustova, M.A., Chebotareva N.S., 1977b. The Chudskoye ice stream. In Chebotareva, N.S. (ed.), *The structure and dynamics of the last ice sheet of Europe*, Nauka, Moscow, s. 44–54. (in Russian).
- Āboltniš, O., Isachenkov, V., Karukjapp, R., Raukas, A., Faustova, M., 1977c. Strojenhije glavnih lhedorazdelhnih zon. *Grām. Strojenije i dinamika poslednhego lhednhikovogo pokrova Evropi. K X kongessu INQUA (Velhikobritanhija, 1977)*. Nauka, M., s. 191–112. (in Russian).
- Āboltniš, O., Veinbergs, J., Danilāns, I., Meirons, Z., Straume, J., Eberhards, G., Juškevičs, V., Jaunputniņš, A., 1972. Osnovnije cherti lednhikovogo morfogenheza i osobennosti deglhaciaciji poslhednego lhednikovogo pokrova na territoriji Latviji. *Grām. Putevoditelh polhevoگو simpoziuma IV vsesojuznogo*

- mezhhved. soveshch. po izucheniju krayevih obrazovaniy materikovikh oledeneniy.* Zinātne, Rīga, s. 3–16. (in Russian).
- Alley, R.B. 1991. Deforming – bed origin for Laurentide till sheets. In *Journal of Glaciology*, 37, 67–76.
- Alley, R.B. 1993. In search of ice stream sticky spots. In *Journal of Glaciology*, 39, 447–454.
- Ansbergs, N., Rinks, E., Seļicka, J., 1955. *Vazhnheishije chetvertichnije glhini Latvijas SSR.* LPSR ZA izd., Rīga, 47 s (in Russian).
- Bennett, M.R., Glasser, N.F., 1996. *Glacial geology: ice sheets and landforms.* Wiley, Chichester. 376 p.
- Benn, D.I., Evans, D.J.A., 1996. The interpretations and classification of subglacially deformed materials. In *Quaternary Science Reviews* 15, pp. 23–52.
- Benn, D.I., Evans, D.J.A., 1998. *Glaciers and Glaciation.* Arnold, London, 734 pp.
- Bitinas, A., 1990. Problēmi fiziskās un lauksaimniecības ģeogrāfijā. K teorijai par Latvijas līdzenības veidošanos un tās ietekmi uz apkārtni. *Grām. Naucnīgie darbi un izdevumi Latvijas Zinātņu akadēmijā.* Nr. 26. s. 19–32. (in Russian).
- Bitinas, A., 1994. Peculiarities of formation of flat glaciolacustrine hills. *Grām. Coleman, R.G., Juvinge, E.H. (red.), Proceedings of the 29th International Geological Congress: Reconstruction of the Paleo-Asian Ocean.* Part B. VSP, Tokyo, pp. 193–199.
- Boulton, G. S., Dongelmans, P., Punkari, M., Broadgate, M., 2001. Palaeoglaciology of an ice sheet through a glacial cycle: the European ice sheet through the Weichselian. *Quaternary Science Reviews*, 20, 591–625.
- Daniļāns, I., 1965. Nekotrijas īpatnības deģlaciācijas un lednikotvāru morfogēnēzē uz teritorijā Latvijas. *Grām. Basalīkas, A. (red.), Krajevīje obrazovaniija materikotvāru olhedeheniija.* Mintis, Viļņa, s. 65–72. (in Russian).
- Drewry, D., 1986. *Glacial geologic processes.* Edward Arnold, 276 pp.
- Eberhards, G., 1977. *Glaciālā ģeomorfoloģija.* P. Stučkas LVU, Rīga, lpp. 56–60.
- Ginters, G., 1984. Īpatnības un rašanās īpatnības moren Vidzemeskās paaugstības. *Grām. Paleogeografija i stratigrafija chetvertichnogo perioda Pribaltiki i sopredelnih rajonov.* Vilnius, s. 68–73. (in Russian).
- Grīne, I., Zelčs, V., 1997. *Latviešu-angļu-vācu-krievu ilustratīvā ģeomorfoloģijas vārdnīca.* P&K, Rīga, 210 lpp.
- Guobytė R., 2004. A brief outline of the Quaternary of Lithuania and the history of its investigation. In Ehlers, J., Gibbard, P.L. (eds.), *Quaternary Glaciations – Extent and Chronology, Part I: Europe.* Elsevier, Amsterdam, pp. 245–250.
- Guobytė, R., 2007b. Stop 3. The Medvegalis mound: plateau-like hills of the Samogitian Upland. In Guobytė, R., Stančikaite, M. (eds.), *The Quaternary of Western Lithuania: from the Pleistocene glaciations to the evolution of the Baltic Sea: Excursion guide: The INQUA Peribaltic Group Field Symposium.* LGT, Vilnius, pp. 24.

- Hoppe, G., 1952. Hummocky moraine regions with special reference to the interior of Norrbotten, *Geogr. Ann. Arg.* 34, Heft 1–2, 1–72.
- Iken, A., 1981. The effect of the subglacial water pressure on the sliding velocity of a glacier in an idealized numerical model. *Journal of Glaciology*, Vol. 27, No. 97, p. 07–21.
- Isachenkov, V., Tatarnihov, O., 1972. "Ostrovnije" vozvishennosti severo-zapada Russkoi ravnini, jih polozhenije v sisteme krajevih obrazovanij Valdaiskogo lhednhika. *Grām. Lhednhikovij morfogenez.* Zinatne, Riga, s. 63–78. (in Russian).
- Jaunputniņš, A., 1975. Reljefs. *Grām. Pūriņš, V. (red.), Latvijas PSR ģeogrāfija.* Otrais papild. izd., Zinātne, Rīga, lpp. 32–45.
- Juškevičs, V., 2000. Kvartāra nogulumi. *Krāj. Āboltiņš, O., Kuršs, V. (red.), Latvijas ģeoloģiskā karte, Mērogs 1:200 000, 43. lapa – Rīga, 53. lapa – Ainaži; pasakaidrojuma teksts un kartes.* VĢD, Rīga, lpp. 10–31.
- Juškevičs, V., Skrebels J., 2002. Kvartāra nogulumu karte. *Krāj. Āboltiņš, O., Brangulis, A.J. (red.), Latvijas ģeoloģiskā karte, Mērogs 1:200 000, 44.–45.–54. lapa – Aliūksne – Viļaka- Valka; paskaidrojuma teksts un kartes.* VĢD, Rīga, 1 l.
- Juškevičs, V., Skrebels, J., 2003. Kvartāra nogulumi. *Krāj. Āboltiņš, O., Brangulis, A.J. (red.), Latvijas ģeoloģiskā karte, Mērogs 1:200 000, 34. lapa – Jēkabpils, 24. lapa – Daugavpils; paskaidrojuma teksts un kartes.* VĢD, Rīga, lpp. 10–28.
- Kalm, V., 2006. Pleistocene chronostratigraphy in Estonia, southeastern sector of the Scandinavian glaciations. *In Quaternary Science Reviews*, 25, 960–975.
- Karabanov, A.K., Matveyev, A.V., Pavlovskaya, I.E., 2004. The main glacial limits in Belarus. *In Ehlers, J., Gibbard, P.L. (eds.), Quaternary Glaciations – Extent and Chronology, Part I: Europe.* Elsevier, Amsterdam, pp. 15–18.
- Kuršs, V., Stinkule A., 1969. O raznovidnostjah lhentochnoi sloistosti v lhimnoglacialnhnih glhinah Latvii. *Grām. Voprosi chetvertichnoj geologii*, s. 4. Zinatne, Riga, s. 83–100. (in Russian).
- Lazdāne, A., 1959. Vidzemes Centrālās augstienes ģeomorfoloģisks apskats. *Grām. Zinātniskie raksti; XXVII sēj.* LVU, Rīga, lpp. 119–161.
- Lhevkov, E.A., 1980. *Glahiotektonika.* Nauka i tehnika, Minsk, 278 s (in Russian).
- Malahovskiy, D., Vigdorichik, M., 1963. Nekotorije formi lhednikovogo akumulhativnogo relhjefa na severo-zapade Russkoi ravnini. *Grām. Krajeviye formi relhjefa materikovogo oledenhenhija na Russkoi ravnine.* Izv. AN SSSR, Moskva, s. 47–63. (in Russian).
- Markots, A., Āboltiņš, O., 1998. STOP 9. Morphology and internal structure of plateau-like hills at Skujene. *In Field Symposium on Glacial Processes and Quaternary Environment in Latvia*, Excursion guide. University of Latvia, Rīga, pp. 57–62.
- Markots, A., in review. Distribution, spatial arrangement and internal composition of plateau-like hills in insular accumulative-glaciostructural uplands of Latvia. *In Eiszeitalter und Gegenwart – Quaternary Science Journal (E&G)*, 12 pp.

- Markots A., 2010. Distribution, spatial arrangement and internal composition of plateau-like hills in insular accumulative-glaciostructural uplands of Latvia. *In* Lorenz S. (ed.), Gletscher, Wasseer, Mensch – Quartären Landschaftswandel in Peribaltischen Raum; Conference Proceedings, Greifswald, pp. 126–127.
- Marks, L., 2004. Pleistocene glacial limits in Poland. *In* Ehlers, J., Gibbard, P.L. (eds.), *Quaternary Glaciations - Extent and Chronology*, Part I: Europe. Elsevier, Amsterdam, pp. 295–300.
- Meirons, Z., 1975. Relhĵef Latgalhskoj vozvishennosti i sopredelnhĵ rayonov Vostocno-Latvijskoj nhizmennosti. *Grām. Danilāns, I. (ed.), Voprosi cetvertichnoj geologii*, v. 8. Zinātne, Rīga, s. 48–82. (*in Russian*).
- Meirons, Z., Straume, J., Juškevičs, V., 1974. Harakteristika podcervtičnoĵ poverhnosti Latviji i neĵotorije voprosi formirovaņĵĵ pogrebennih donin. *Grām. Danilāns, I. (red.), Voprosi cetverticnoi geologii*, s. 7. Zinatne, Riga, s. 9–21. (*in Russian*).
- Meirons, Z., Juškevics, V., 1984. Quaternary deposits. *In* Misans, J., Brangulis, A., Straume, J. (eds), *Geologija Latvijskoi SSR*, (Explanatory text with geological maps on scale of 1:500,000. Zinatne, Riga, s. 89–122. (*in Russian*).
- Meirons, Z., 1986. Stratigrafija pleistocenovih otlozhenhĵ Latvii. *In* Kondratĵene, O., Mikalauskas, A. (eds.), *Issledovaniya lednikovyx obrazovaniy Pribaltiki*, Vilnius, pp. 69–81. (*in Russian*)
- Meirons, Z., 1992. Stratigrafichesĵkaja shema pleistocenovih otlozhenhĵ Latvii. *Grām. Veinbergs, I., Danilāns, I., Sorokin, V., Ulst, R. (eds.), Paleogeografiya i stratografiya fanerozoya Latvii i Balstiyskogo morya*, Zinatne, Riga, s. 84–98. (*in Russian*).
- Menzies, J., 2002a. Ice flow and hydrology. *In* Menzies, J. (ed.), *Modern and past glacial environments*. Butterworth Heinemann, pp. 79-130.
- Menzies, J., 2002b. *Modern and Past Glacial Environments*. Butterworth-Heinemann, 576 pp.
- Morawski, W., 2005. Reconstruction of ice sheet movement from the orientation of glacial morpholineaments (crevasse landforms): an example from northeastern Poland. *In* *Geological Quarterly*, 49 (4), Warszawa, pp. 403–416.
- Mūrnieĵs, A., 2002. Pirmsĵkvartāra nogulumi. *Krāj. Āboltiņš, O., Brangulis, A.J. (red.), Latvijas ĵeoloģiskā karte, Mērogs 1:200 000*, 44. – 45. – 54. lapa – Alūĵksne – Viļaka- Valka; paskaidrojuma teksts un kartes. VĒD, Riga, lpp. 5–9.
- Par Eiropas ainavu konvencĵiju*. LR likums, 2007. Latvijas Vēstnesis, 18.04.2007. Nr. 63 (3639).
- Prest, V.K., 1975. *Nomenclature of moraines and ice-flow features as applied to the glacial map of Canada*. Ottawa. p. 27.
- Punkari, M., 1997. Subglacial processes of the Scandinavian Ice Sheet in Fennoscandia inferred from flow-parallel features and lithostratigraphy. *In* *Sedimentary Geology*, 111, pp. 263–283.

- Ramans, K., 1975. Latvijas PSR. Fiziski ģeogrāfisko rajonu apskats. Teritoriālie dabas kompleksi un fiziski ģeogrāfiskā rajonēšana. Viduslatvija. *Grām.* Pūriņš, V. (red.), *Latvijas PSR ģeogrāfija*. Otrais papild. izd. Zinātne, Rīga, lpp. 164–199.
- Raukas, A., 1978. *Pleistocenovije otlozhenija Estonskoi SSR*. Valgus, Tallin, 310 p.
- Raukas, A., Karukäpp, R., 1979. Eesti Ilustikutekkeliste akumulatiivsete saarkorgustike ehitus ja kujunemine. *Grām.* Eesti NSV saarkorgustige ja järvenogude kujunemine. Valgus, Tallin, p. 6–26. (*Summary in Russian*).
- Raukas, A., Äboltniš, O., Gaigalas, A., 1995. Deglaciation of the territory. In Schirmer W. (ed.): *Quaternary field trips in Central Europe 1*, Verlag Friedrich Pfeil, München, pp. 148–151.
- Raukas, A., Kalm, V., Karukäpp, R., Rattas, M., 2004. Pleistocene Glaciations in Estonia. In Ehlers, J., Gibbard, P.L. (eds.), *Quaternary Glaciations - Extent and Chronology, Part I: Europe*. Elsevier, Amsterdam, pp. 83–91.
- Rinterknecht, V.R., Clark, P.U., Raisbeck, G.M., Yiou, F., Bitinas, A., Brook, E. J., Marks, L., Zelčs, V., Lunkka, J.-P., Pavlovskaya, I.E., Piotrowski, J.A., Raukas, A., 2006. The Last Deglaciation of the Southeastern Sector of the Scandinavian Ice Sheet. *Science* 10 March 2006: Vol. 311. no. 5766, pp. 1449–1452.
- Serebrjannij, L.R., 1978. *Dinamika pokrovnogo olhedenhennija i glhacioevstazija v pozdnechetvertichnoje vremja*. Nauka, Moskva, 271 s (*in Russian*).
- Sietinsone, L., 2006. Latvijas pilskalnu datubāzes izveide un telpiskā izvietojuma analīze ģeogrāfisko informāciju sistēmu vidē. *Grām.* Latvijas universitātes raksti, Zemes un vides zinātnes. Pilskalni Latvijas ainavā. LU, Rīga, lpp. 41–56.
- Stalker, A.M., 1960. *Ice – pressed drift forms and associated deposits*. Geol. Surv. Canada., Bull. 57, p 38.
- Stinkule, A., 1977. Glhini. *Grām.* Stinkule, A. (otv. red.), *Minherallhnoje sirjo Latviji dlha promishlhennosti stroitelhnih materialov*. Zinātne, Rīga, s. 57–75. (*in Russian*).
- Straume, J., 1979. Sovremennij relhfej Latvii. *Grām.* *Geologicheskoe strojenije i polheznije iskopajemije Latvii*. Zinātne, Rīga, s. 326–329.; 359–364. (*in Russian*).
- Strautnieks, I., 1988. *Austrumkursas augstienes glacigēnais reljefs un tā ģenēze*. Promocijas darba kopsavilkums. Latvijas Universitāte, Rīga, 55 lpp.
- Slater, G., 1929. Quaternary period. In *Handbook of the Geology of Great Britain*. London, pp. 457–498, 503–510.
- Vanaga, A., 1970. O morfolohii i nhektorih osobennostjah razvitija relhjeфа Aluksnenskoy vozvishennosti. *Grām.* *Voprosi chetvertichnoj geologii*, s. 4. Zinātne, Rīga, s. 77–94. (*in Russian*).
- Velichko, A.A., Faustova, M.A., Gribchenko, Y.N., Pisareva, V.V., Sudakova, N.G., 2004. Glaciations of the East European Plain – distribution and chronology. In Ehlers, J., Gibbard, P.L. (eds.), *Quaternary Glaciations – Extent and Chronology, Part I: Europe*. Elsevier, Amsterdam, pp. 337–354.
- Viiding, H., Gaigalas, A., Gudelis, V., Raukas, A., Tarvidas, R., 1971. *Crystalline indicator boulders in the East Baltic area*, Mintis, Vilnius, 95 s (*in Russian*).

- Zāns, V., 1935. Glaciālās skrambas un frikcijas parādības Latvijas pamatiežos. *Grām. Ģeogrāfiski raksti (Folia Geographica)*, V, lpp. 63–84. (with English summary).
- Zāns, V., 1936. Leduslaikmets un pēcduslaikmets Latvijā. *Grām. Malta, N., Galenieks, P., (red.), Latvijas, zeme, daba un tauta, I.* Valters un Rapa, Rīga, lpp. 49–127.
- Zelčs, V., 1987. Raznovidnosti glhacioidislokacij i ih relhjefoobrazujushchaja rolh v predelah glhaciodepressionniih nhizmennostei Latvii. T107-/la88. LVU, Rīga. 35 s (in Russian).
- Zelčs, V., Šteins, V., 1989. Latvijas daba un fiziogēogrāfiskie rajoni. *Zinātne un Tehnika*, Rīga, Nr. 7.
- Zelcs, V., Dreimanis, A., 1997. Morphology, internal structure and genesis of the Burtnieks drumlin field. In *Sedimentary Geology*, 111 (1–4), pp. 73–90.
- Zelčs V., Markots A., 1999. Ģeoloģiskās informācijas izmantošana teritorijas attīstības plānošanā. Rīga, Valsts ģeoloģijas dienests. 123 lpp.
- Zelčs V., Markots A., 1999. *Derīgie izrakteņi. Nozares pārskats. Rajonu plānošana Latvijā. Kuldīgas rajons kā piemērs.* Jumava, Rīga. 87 lpp.
- Zelčs, V., Markots, A., 2004. Deglaciation History of Latvia. In Ehlers, J., Gibbard, P.L. (eds.), *Quaternary Glaciations – Extent and Chronology, Part I: Europe.* Elsevier, Amsterdam, pp. 225–243.
- Zelčs, V., Markots, A., Nartišs M., Saks, T., 2010. Pleistocene glaciations in Latvia. In Ehlers, J., Gibbard, P., Hughes, P. (eds.), *Quaternary Glaciations – Extent and Chronology. Part IV: A closer look.* Elsevier, 21 pp. (in press).

Nepublicētie materiāli

- Aleksāns, O., Ginters, G., Vilcāns, J., Kozļinskis, S., Mazajeva, T., Selivanovs, I., Stiebrīņa, L., Šķiņķis, P., 1988. *Otchet o rezulhtatah kompleksnoi gidrogeologicheskoi i inženerno-geologicheskoi sjemki so sjemkoi četvertichnih otlozhenhij masshtaba 1:50 000 dlha celhei melhiorativnogo stroitelstva v predelah listov O-35-90-A,B,V,G; O-35-91-A,B,V,G; O-35-92-A,V, (Alūksne) 1985.-1988. g.g.* Rīga, 1. grām. 164 lpp. (VĢF Inv. Nr. 10580), (in Russian).
- Aleksāns, O., Ginters, G., Juškevičs, V., 1991. *Rezultati kompleksnoj gidrogeologicheskoi i inženerno-geologicheskoi sjemki M 1:50 000 so sjemkoi četvertichnih otlozenij M 1:50 000 dlja celei melioracii v predelah listov O-35-127-A,B,V,G; O-35-128-A,B,V,G; O-35-129-A,V (Rezekne). Otchet gidromeliorativnogo otrjada 1988.–1991.gg.* Ģeoloģijas pārvalde, Rīga, 1. grām. 309 lpp. (VĢF Inv. Nr. 10840), (in Russian).
- Lazdāne, A., 1963. *Vidzemes Centrālās augstienes ģeomorfoloģisks raksturojums.* Disertācija ģeogrāfijas zinātņu kandidāta grāda iegūšanai. R., 288 lpp.
- Mironovs, G., Tracevskis, G., Bendrupe, L., Podgurskis, V., Spudas, G., Tracevska, L., Straume, J., Juškevičs, V., Brijo H., 1973. *Otchet o glubinnom doizuchenijji territoriji lista O-35_XXVI (Cesis). Lhivanskaja GSP 1969-1973.* Rīga, 481 lpp. *Ģeomorfoloģiskā karte [9]* (VĢF Inv. Nr. 9200), (in Russian).

- Ramans, K., 1958. *Vidzemes vidienas ģeogrāfisko ainavu tipoloģija (Latvijas PSR)*. Disertācija ģeogrāfijas zinātņu kandidāta grāda iegūšanai. P. Stučkas Latvijas Valsts universitātes Ģeogrāfijas fakultāte. Rīga, 573 lpp.
- Uļģis, M., Ginters, G., Aleksāns, O., 1981. *Otchet o kompleksnoi gidrogeologicheskoi i inženerno-geologicheskoi sjemke so sjemkoi chetvertichnih otlozhenij mashtaba 1:50 000 dlha celhei mehiorativnogo stroitelstva na Vidzemski vozvishennosti*. Rīga, 1. grām., 158 lpp. (VGF Inv. Nr. 9811), (in Russian).
- Uļģis, M., Ginters, G., Aleksāns, O., Stiebriņš, O., Deglis, A., Meirons, Z., Markovs, V., 1983. *Otchet o kompleksnoi gidrogeologicheskoi i inženerno-geologicheskoi sjemke so sjemkoi cetvertichnih otlozenij mashtaba 1:50 000 dlha celei meliorativnogo stroitelstva v predelah listov O-35-139-A,B,V,G. Tom 1*. Rīga, 1. grām., 280 lpp. (VGF Inv. Nr. 10035), (in Russian).

PUBLIKĀCIJU SARAKSTS

Monogrāfijas un raksti kolektīvajās monogrāfijās

1. Zelčs, V., Markots, A., Nartišs, M., Saks, T., *in review*. Pleistocene glaciations in Latvia. In Ehlers, J., Gibbard, P.L., Hughes, P. (eds.), *Quaternary Glaciations – Extent and Chronology. Part IV: A closer look*. Elsevier, 21 pp. (*in press*).
2. Zelčs, V., Markots, A., 2004. Deglaciation history of Latvia. In Ehlers, J., Gibbard, P.L. (ed.), *Quaternary glaciations – extent and chronology. Part I: Europe*. Elsevier. pp. 225–243.
3. Zelčs, V., Markots, A., 1999a. *Ģeoloģiskās informācijas izmantošana teritorijas attīstības plānošanā*. ZB “Zalktis”, Rīga, 123 lpp.
4. Zelčs, V., Markots, A., 1999b. *Derīgie izraktenī. Rajonu plānošana Latvijā. Kuldīgas rajons kā piemērs*. Jumava, Rīga. 87 lpp.

Raksti starptautiskos izdevumos

1. Markots, A., 2010. Distribution, spatial arrangement and internal composition of plateau-like hills in insular accumulative-glaciostructural uplands of Latvia. In *Eiszeitalter und Gegenwart – Quaternary Science Journal*. 12 pp. (*in preparation*).
2. Markots, A., Āboltniņš, O., 1998a. STOP 7 and 8. Morphology and internal structure of Smetes composite hills. In Zelčs, V. (ed.), *Field Symposium on Glacial Processes and Quaternary Environment in Latvia, Excursion guide*. Rīga. pp. 51–57.
3. Markots, A., Āboltniņš, O. 1998b. STOP 9. Morphology and internal structure of plateau-like hills at Skujene. In Zelčs, V. (ed.), *Field Symposium on Glacial Processes and Quaternary Environment in Latvia, Excursion guide*. University of Latvia, Rīga, pp. 57–62.
4. Markots, A., Zelčs, V., Strautnieks, I., 1995. Zabegi exposure, Feimanka microglaciodepression. In Schirmer, W. (ed.), *INQUA 1995. Quaternary field trips in Central Europe, 1. C–3 Baltic Traverse*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munchen, pp. 159–160.
5. Āboltniņš, O., Markots, A., Strautnieks, I., 1995. Smetes hills primary massif. In Schirmer, W. (ed.), *INQUA 1995. Quaternary field trips in Central Europe, 1. C–3 Baltic Traverse*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munchen, p. 161.
6. Āboltniņš, O., Markots, A., 1995. Skujene plateau-like hills area. In Schirmer, W. (ed.), *INQUA 1995. Quaternary field trips in Central Europe, 1. C–3 Baltic Traverse*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munchen, pp. 161–162.

Citas publikācijas

1. Markots, A., 2001. Geographical location. *In ProGEO Working Group Nr. 3 Meeting. Guidebook & abstracts.* University of Latvia, Rīga, p. 8.
2. Markots, A., Zelčs, V., 2001. Overview of surface topography and Quaternary geology. *In ProGEO Working Group Nr. 3 Meeting. Guidebook & abstracts.* University of Latvia, Rīga, pp. 13-16.
3. Markots, A., Zelčs, V., 2001. Geological and geomorphological nature monuments as specifically protected nature areas of state significance in Latvia. *In ProGEO Working Group Nr. 3 Meeting. Guidebook & abstracts.* University of Latvia, pp. 32-33.
4. Markots, A., 1997. Rāznavas pauguraines. Grām. Kavacs, G. (red.), *Enciklopēdija Latvija un latvieši. Latvijas daba*, 4. sēj. Preses nams, Rīga, lpp. 226-228.
5. Markots, A. 1995. Feimaņu pauguraine. Grām. Kavacs, G. (atb. red.), *Latvijas Dabas Enciklopēdija*, 2. sēj.. Latvijas Enciklopēdija, Rīga, lpp. 70-71.
6. Markots, A., 1994. Burzavas pauguraine. Grām. Kavacs, G. (atb. red.), *Enciklopēdija Latvija un latvieši. Latvijas daba*. 1. sēj. Latvijas Enciklopēdija, Rīga, lpp. 177-178.
7. Markots, A., 1994. Dagdas pauguraine. Grām. Kavacs, G. (atb. red.), *Enciklopēdija Latvija un latvieši. Latvijas daba*. 1. sēj. Latvijas Enciklopēdija, Rīga, lpp. 207-208.

Starptautisku konferenču tēzes

1. Markots, A., 2010. Distribution, spatial arrangement and internal composition of plateau-like hills in insular accumulative-glaciostructural uplands of Latvia. *In Ice, Water, Humans – Quaternary landscape evolution in the Peribaltic region. 35. Hauptversammlung der Deutschen Quartärvereinigung DEUQUA E.V., 12th Annual meeting of the INQUA Peribaltic Working group. Conference proceedings. 13. – 17. september in Greifswald, Germany*, pp. 126-127.
2. Dzelzītis, J., Markots, A., Zelčs, V., 2004. Database and map of Late Weichselian directional ice flow features of Latvia. *In Zelčs, V., Segliņš, V. (eds.), International Field Symposium on Quaternary Geology and Modern Terrestrial Processes, Western Latvia, September 12-17, 2004: Abstract of papers and posters.* Rīga, University of Latvia, pp. 13-14.
3. Zelčs, V., Markots, A., Dzelzītis, J., 2003. Map of Late Weichselian directional ice-flow features of Latvia. Paper No. 24-12. Sesion No. 24. T10. Glaciogeological and geomorphological evidence of ancient ice streams and outlet glaciers. *In Shaping the Earth: A Quaternary Perspective. The XVI INQUA Congress Programs with Abstracts.* Reno, Nevada, p. 118.
4. Zelčs, V., Markots, A., 2003. Deglaciation history of Latvia. Paper No. 40-8. Sesion No. 40. T6. Glacier Extent and Ice Thickness in Eurasia at the Last (?)

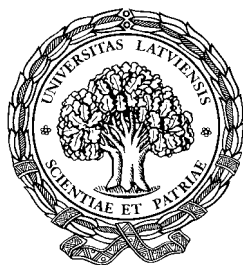
- Glacial Maximum. In Shaping the Earth: A Quaternary Perspective. The XVI INQUA Congress Programs with Abstracts.* Reno, Nevada, p. 144.
5. Dzelzītis, J., Markots, A., Zelčs, V., 2003. Mapping of directional ice flow features during Late Weichselian deglaciation of Latvia. *In* Raukas, A., Kukkk, H. (eds.), *International symposium on Human impact and geological heritage. Excursion Guide and abstracts.* Tallinn, pp. 63–64.
 6. Zelčs, V., Markots, A., Strautnieks, I., 1998. Novije dannije ob uslovijah zaļeganija Raunskih sloev, Centrālñaja Vidzeme, Latvija. *Krāj. Glavnheisije itogi v izucheniji chetvertichnogo perioda i osnovnije napravlhienija isslhedovanhij v XXI veke.* Sanktpeterburg, s. 158–159. (in Russian).
 7. Markots, A., 1998. Uporjadochennosti i osnovnije osobennosti vnutrenhnego strojenija krupnoholmistogo relhjea ostrovnih glhaciostrukturno – akumuljativnih vozvisjennosti Latvii. *Krāj. Glavnheisije itogi v izucheniji chetvertichnogo perioda i osnovnije napravlhienija isslhedovanhij v XXI veke.* Sanktpeterburg, s. 166. (in Russian).
 8. Markots, A., 1992. Formirovanije glaciostrukturnogo relhjea severnoi chasti Latgalhskei vozvishennosti. *Krāj. Geologija chetvertichnih otlozhenij i noveishaja tektonika lhednhikovih oblastei Vostochnoi Evropi.* Rossijskaja AN, Kolhskij nauchnij centr, Apatiti, s. 52. (in Russian).

Latvijas konferenču tēzes

1. Markots, A., 2010. Plakanvirsas lielpauguru morfoloģisko īpatnību raksturs Latvijas austrumdaļas augstienēs. *Krāj. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. LU 68. zinātniskās konferences referātu tēzes.* LU Akadēmiskais apgāds. Rīga, lpp. 332–333.
2. Zelčs, V., Dzelzītis, J., Markots, A., 2004. Ledāja plūsmas virzieni Latvijā pēdējā apledojuma laikā. *Krāj.: Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. Latvijas Universitātes 62. zinātniskā konference. Referātu tēzes.* Latvijas Universitāte, Rīga, lpp. 185–187.
3. Zelčs, V., Dzelzītis, J., Markots, A., Menniks, M., 2001. Neparasti ledāja kustības virzieni Latvijā pēdējā apledojuma deglaciācijas laikā. *Krāj. II Pasaules latviešu zinātnieku kongress, Tēžu krājums, Rīga, 277. lpp.*
4. Markots, A., Āboltiņš, O., 1999. Vidzemes augstienes zvoncu morfoloģiskie tipi. *Grām. Zeme. Daba. Cilvēks, LU 57. konference, Tēžu krājums, LU, Rīga, lpp. 95–99.*
5. Markots, 1996. Osveidīgās reljea formas salveida glaciostruktūru – akumulatīvajās augstienēs. *LU 55. zinātniskās konferences tēzes un programmas.* LU, Rīga, 33. lpp.

DISERTATIONES GEOLOGICAE UNIVERSITAS LATVIENSIS

NR. 19



Aivars Markots

**MORPHOLOGY, STRUCTURE AND
FORMATION CONDITIONS
OF PLATEAU-LIKE HILLS OF INSULAR
ACCUMULATIVE-GLACIOSTRUCTURAL
UPLANDS IN LATVIA**

Summary of Doctoral Thesis

In partial Fulfilment of the Requirements of the Doctor Degree in Geology
Subdiscipline of Quaternary Geology and Geomorphology

RĪGA, 2011

The doctoral thesis was carried out: the Chair of Geomorphology and Geomatics, the Faculty of Geography and Earth Sciences, University of Latvia

Supervisor:

Vitālijs Zelčs, Professor, Dr. Geol., University of Latvia

Reviewers:

Albertas Bitinas, Dr. Geol., Klaipeda University (Lithuania)

Oļģerts Nikodemus, Professor., Dr. Geog., University of Latvia

Valdis Segliņš, Professor, Dr. Geol., University of Latvia

Doctoral Committee:

Vitālijs Zelčs, Professor, Dr. Geol. – chairman

Ervins Lukševičs, Professor, Dr. Geol. – deputy chairman

Aija Dēliņa, Dr. Geol.

Laimdota Kalniņa, Assoc. Professor, Dr. Geog.

Valdis Segliņš, Professor, Dr. Geol.

Ivars Zupiņš, Dr. Geol.

Secretary:

Ģirts Stinkulis, Assoc. Professor, Dr. Geol.

This thesis is accepted for the commencement of the degree of Doctor of Geology on November 30th, 2010, Protocol No. 008/2010, by the Doctoral Committee of Geology, University of Latvia.

The thesis will be defended at the public session of the Doctoral Committee of Geology University of Latvia, Alberta Street 10, Jāņa un Elfrīdas Rutku auditorium (Room 313), on March 4th, 2011.

The thesis is available at the Scientific Library of the University of Latvia, Kalpaka Blvd. 4, Rīga, and Academic Library of Latvia, Rūpniecības Street 10, Rīga.

The publication of this summary of doctoral thesis is granted by the University of Latvia.

Address for submitting of comments:

Dr. Ģirts Stinkulis, Department of Geology, University of Latvia, Raiņa Blvd. 19,
LV-1586, Rīga. Fax: +371 733 2704, e-mail: Girts.Stinkulis@lu.lv

© Aivars Markots, 2011

© University of Latvia, 2011

ISBN 978-9984-45-315-6

Contents

ABSTRACT	52
INTRODUCTION	53
Topicality of the study	53
The aim and main objectives of the study	55
Scientific novelty of the study	55
Approbation and implementation of the study results	56
1. LOCATION, GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL OVERVIEW OF THE STUDY AREA	57
1.1. Alūksne Upland	58
1.2. Vidzeme Upland	59
1.3. Latgale Upland	60
2. PREVIOUS INVESTIGATIONS	61
3. METHODS AND MATERIALS	63
3.1. Acquisition, compilation and analysis of geospatial data	64
3.2. Field investigations, and processing of statistical data	65
4. RESULTS AND INTERPRETATION	66
4.1. Distribution, spatial arrangement and morphology of the plateau-like hills	66
4.2. The characteristics of the sub-Weichselian surface and thickness of the Late Weichselian sediments in plateau-like hill areas	69
4.3. The internal composition of the plateau-like hills	72
4.4. Palaeogeographical location of the plateau-like hills	74
5. DISCUSSION	79
5.1. The paleogeographical consequences of morphology and internal composition	79
5.2. The formation conditions of the plateau-like hills	80
CONCLUSIONS	86
ACKNOWLEDGEMENTS	88
REFERENCES	89
LIST OF PUBLICATIONS	96
Monographs and papers in monographs	96
Scientific papers	96
Other scientific publications	97
Abstracts of papers in international scientific events	97
Abstracts of papers in conferences in Latvia	98

ABSTRACT

The dissertation is based on findings of enduring research that have been made using methods of geospatial analysis and data statistical processing, and generally established glaciomorphologic and Quaternary sediment field research techniques. This resulted in new data about distribution of plateau-like hills, their morphology and spatial arrangement, as well as ability to concretize the internal structure of these landforms and their place in the complex of the glacial relief mesoforms that occur in the insular accumulative-glaciostructural uplands. Clarification of the glacial plateau-like hill morphological features and spatial arrangement, comparative analysis of their structure within different uplands and distinct areas of their distribution that are encounter there, gave an opportunity to establish the development of these glacial landforms in a context of deglaciation of insular accumulative-glaciostructural uplands.

Key words: Glacial landforms, occurrence, glacial sediments, glaciotectonics, glacier tongues, deglaciation.

.

INTRODUCTION

Topicality of the study

Plateau-like hills belong to the most prominent continental ice formations in the areas covered by the Pleistocene ice sheets. They are common mainly for the insular accumulative-glaciostructural uplands characterised by the most pronounced segmentation of the glacial landscape. The morphological and compositional peculiarities of the uplands determine a comparatively high risk of the soil erosion, particularly linear erosion on the slopes. The diversity of the glacial landscape promotes the biological diversity, as well as extensive possibilities for tourism and recreation in these areas. As it is recognised in the European Landscape Convention of October 20, 2000, landscapes are "...an essential component of people's surroundings, an expression of the diversity of their shared cultural and natural heritage, and a foundation of their identity...". Being one of the most significant constituent parts of the insular accumulative upland glaciostructures, the plateau-like hills stand out with their characteristic morphology, spatial arrangement, composition, specific parent rock and soil features that have an impact upon the formation of specific geographic landscapes, as well as local microclimate and biogeographic peculiarities. Investigations of the plateau-like hills and the results obtained are significant for sustainable development of the area. These results provide an initial data which may serve as the basis for the elaboration of the spatial planning and management. The results of this study provide evidence on the climatic changes which took place during the final stages of the Weichselian glaciation in the area, particularly on the changes of the glacier dynamics, which are topical issues within the context of contemporary global warming in the glaciated regions today.

Plateau-like hills have been one of the first landforms affected in the uplands by clearance crop-growing (Ramans, 1958). The segments of the plateau-like hills with natural borders, formed as a result of gully erosion, have served as hillforts. By using the database on the the hillforts of Latvia developed by L. Sietinsone (Sietinsone, 2006), and the author's created database on the plateau-like hills (Markots, 2010) it was calculated that at least 10 hillforts are situated on the plateau-like hills, and approximately 45 hillforts and non-fortified castle hills in areas of their distribution. The stoneless clay, which appears on the topmost part of the plateau-like hills, was used as an effective mineral deposit for local needs. In our days sand and gravel material is being extracted in pits. These sediments form the cores and subsoil parts of the slopes of these hills.

In spite of the singularity of the plateau-like hills and their use in economy, neither in Latvia, nor the other Baltic countries, and even on the entire territory covered with the Pleistocene continental inland ice the plateau-like hills have never been an object of complex glaciogeological and geomorphological studies. Investigations of these landforms in Russia are confined mainly to their distribution and morphology, and some aspects of occurrence of the glaciolacustrine clay on their tops (Isachenkov, Tatarnhikov, 1972; Malahovskiy, Vigdorchik, 1963). The last and more substantial studies of formation of these “flat glaciolacustrine hills” located into interlobate areas related to marginal zones of the last glaciation were carried out in course of the large scale geological mapping in Lithuania (Bitinas, 1990, 1994).

The clay deposits occurring on the topmost parts of plateau-like hills were regarded in the 1950-ties, 1960-ties and 1970-ties as a potential mineral raw material for local brickyards and pottery, and were studied by several researchers (e.g. Ansbergs *et al.*, 1955; Kur s, Stinkule, 1969; Stinkule, 1977). Yet neither these investigations, nor the data obtained later in the course of geological mapping did not provide sufficiently detailed and spatially referenced information about the hypsometric location of the plateau-like hills in different uplands, their spatial arrangement within the areas of their location, and the bedding conditions of sediments forming the base of the hills and there relations with the capping clayey layer.

The introduction of structural geological methods into studies of the internal structure of the glacial landforms (Āboltiņš, 1978a, 1978b; Āboltiņš, Zelčs, 1988; Āboltiņš, 1989; Markots, Āboltiņš, 1998), application of geomatic methods, growing availability and use of varied spatial materials, as well as all-embracing advancement of the scientific conceptions have changed essentially about the regularities of the distribution, composition and the conditions of the origin of individual glacial landforms (Lhevkov, 1980; Boulton, 1986; Aber *et al.*, 1989; Āboltiņš, Zelčs, 1988; Āboltiņš, 1989; Alley, 1991; 1993; Arnold, Sharp, 2002; Benn, Evans, 1996; Zelčs, Dreimanis, 1997; Bitinas, 1990; Markots, 2010).

Plateau-like hills occur in the hypsometrically highest parts of the accumulative-glaciostructural uplands. They should be certainly defined as glacial landforms of complex genesis and composition (Āboltiņš, 1989; Bitinas, 1994; Markots, in *review*). Their research allows clarification of the glacial dynamics existed at the initial stages of the insular deglaciation of the Weichselian Ice Sheet (according to the terminology used by Āboltiņš *et al.*, 1972; Āboltiņš 1975) when shrinkage of the glacier ice started in the inner parts of the insular accumulative-glaciostructural uplands as lessening of the ice thickness and appearance of the stagnant ice marking the transition from the glacier bed deformation to formation of the glacial meltwater lakes.

The aim and main objectives of the study

The aim of this thesis is to establish the regional and local regularities of the distribution, morphology, spatial arrangement, internal composition and development of plateau-like hills in the insular accumulative-glaciostructural uplands of Latvia.

In order to achieve this, the following main tasks were established in this thesis: 1) to review previous studies on the plateau-like hills in Latvia and in the areas covered by the Pleistocene ice sheets; 2) to obtain and sum up data of the morphology, distribution, arrangement and location of the plateau-like hills in relation to other glacial landforms in insular accumulative-glaciostructural uplands by using contemporary methods of geospatial analysis; 3) to clarify and analyse structural peculiarities of the studied landforms; 4) to clarify the formation of these landforms on the basis of morphology, spatial arrangement and internal composition of the plateau-like hills.

Scientific novelty of the study

Although the plateau-like hill landforms have already been described in many publications and their distribution reflected in diverse, initially small, later chiefly small and medium-scale geomorphologic maps (Isachenkov, Tatarnikov, 1972; Malahovskiy, Vigdorichik 1963; Vanaga, 1970; Āboltiņš *et al.*, 1974, 1976; Meirons, 1975; Eberhards, 1977; Straume, 1979; Ginters, 1984; Bitinas, 1990, 1994; Guobyte, 2007b), even the most detailed of them do not provide equally qualitative information about the location, morphology and composition of these peculiar upland landforms.

The novelty of this thesis is mirrored in the detail of the acquired material used in the work and the scope of the applied research methods. By using a wide range of sources of spatial information a high-precision digital map of distribution of the investigated landforms has been compiled which was constructed in to GIS environment based plateau-like hill landform database. The database comprises 354 morphological indicators of the plateau-like hill landforms and information about their internal composition (Markots, 2010, in *review*). This allows a critical appraisal of the data obtained earlier by other researchers and draw conclusions about the peculiarities of the location, morphology and composition of these landforms. Additionally this allows to study these landforms in connection with the development of the upland topography and composition, and particularly with the results of the latest investigations on the deglaciation course of the ice sheet, its chronology in Latvia and neighbouring countries (Rinterknecht *et al.*, 2006; Raukas *et al.*, 2004; Guobyte, 2004; Zelčs, Markots 2004; Karabanov *et al.*, 2004; Marks, 2004; Velichko *et al.*, 2004; Zelčs *et al.*, 2010, in press). For the first

time digital models (DTM) of Earth's surface were also applied in the research of the plateau-like hills, created from large-scale topographic maps, as well as from the laser scanning (LIDAR) data. As a particularly significant accomplishment should be regarded the analysis of spatial arrangement of the distribution areas of individual plateau-like hills comprising a comparative analysis of their hypsometric location, relative altitude, linearity of landforms and area. Detailed-scale mapping (1:10 000) by using the geological hand drill of the upper sedimentary sequence was carried out at the study area (Fig. 1). Levelling on the cross profile lines of the hills or individual slopes was done by means of a dumpy level N-3. The macrofabric and bedding of strata were measured at outcrops located in clay, sand and gravel pits. The data of these measurements were statistically processed by statistical methods in a computerised environment (the *StereoNet* 3.1).

Consequently, the novelty of the work results from the amount of the acquired material used in the work and the scope of the applied methods.

Approbation and implementation of the study results

The results of this thesis are published in 10 scientific papers, 5 of which have been published or accepted in peer reviewed journals and monographs. The results of this research have been presented in the post-congress field excursion (INQUA 1995. Quaternary field trips in Central Europe; C-3 Baltic Traverse) arranged by the International Quaternary Research Association (INQUA), and in the field symposium "International Field Symposium on Glacial Geology and Quaternary Environment in Latvia" organised by the Peribaltic Working Group which took place in 1998. Two larger publications have been prepared as guidelines on the application of the geological information, including the glacial landforms and sediments, for needs of spatial planning (Zelčs, Markots, 1999a, 1999b).

The results of this thesis have been presented in total 17 scientific conferences, 8 of which were presented at scientific congresses, international conferences and symposia.

The developed materials and methods are approbated and applied also at the academic courses "Remote sensing of Earth", Maps, remote sensing and GIS, "Geomorphology" for Bachelor of Science level study programmes, and "Remotely-sensed image processing and interpretation", and "Environmental geomorphology" for Master of Science level study programmes at the University of Latvia.

1. LOCATION, GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL OVERVIEW OF THE STUDY AREA

The study area covers the insular accumulative-glaciostructural uplands of Eastern Latvia. This group of glacial uplands is comprised by the Alūksne, Vidzeme and Latgale uplands (Fig. 1). During the last glacial maximum these uplands were situated within the accumulation zone (Āboltniš, 1972; 1989; Āboltniš *et al.*, 1988, 1989; Straume, 1979; Zelčs, Markots, 2004). Along with the Haanja and Otepää uplands in Estonia, the Žemaitia and the Telshiai uplands in Lithuania, the Bezhanitsi and the Sudoma uplands in the Russian Federation, and some other interlobate uplands in Northern Poland and Germany form a belt of glacioelevations of isometric shape which are separated by glacial lowlands (Āboltniš, 1972, 1975, 1989; Āboltniš *et al.*, 1988, 1989). During the the Late Weichselian glaciation these uplands were located in the ice mass convergence zone (Āboltniš, Zelčs, 1988; Zelčs, Markots, 2004). Although in many papers

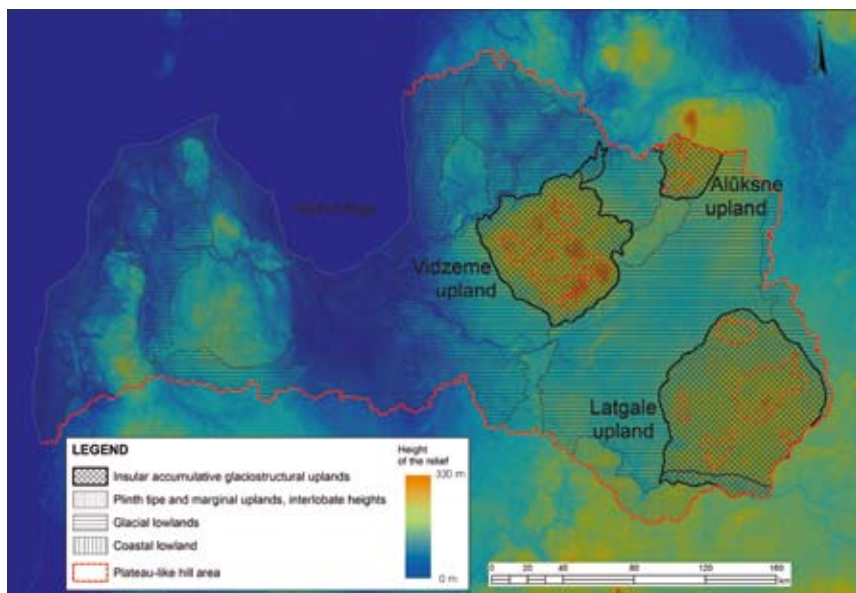


Figure 1. Location insular accumulative-glaciostructural uplands in Latvia with respect to digital elevation model (DEM) derived from SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission). (SRTM, LU ĢZGF WMS).

it was misinterpreted as an ice divide zone (Āboltiņš, 1972, 1975; Raukas, 1978; Raukas, Karukäpp, 1979; Āboltiņš *et al.*, 1977a; 1988, 1989; Straume, 1979). L. Serebrjannij (Serebrjannij, 1978, p.61) pointed out that the imprecise palaeoglaciological terming of location of these interlobate areas.

The insular accumulative-glaciostructural uplands are located on macro-elevations of the sub-Quaternary surface (Āboltiņš, 1972, 1975; Āboltiņš *et al.*, 1975, 1975, 1988, 1989; Meirons *et al.*, 1974). These sub-Quaternary elevations are covered by an increased thickness of the Pleistocene sediments, mainly of glacial origin (Āboltiņš, 1972, 1975, 1984; Straume, 1979; Dreimanis, Zelčs, 1995; Zelčs, Markots, 2004). Here the Pleistocene sequence is also stratigraphically most complex (Meirons, 1986; 1992). Modern topography is dominantly shaped by the Late Weichselian sediments and landforms (Āboltiņš, 1972, 1989). Most of these sediments have been glaciotectionized by the glacier ice. The glaciotectionic deformation structures of various types are reflected in the landscape as composite hills of primary massifs, bases of plateau-like hills, morainic hummocks, cupola hills and ice marginal formations (Āboltiņš, 1989). Āboltiņš (1989, 1995) and Āboltiņš *et al.* (1988, 1989) has distinguished two zones with distinct assemblages of the glacial, mainly glaciostructural landforms in the territory of the insular accumulative-glaciostructural uplands.

The central zone of these uplands is composed of large to medium-sized glaciostructural hills that form hummocky terrain in different hypsometric levels (Āboltiņš, 1975, 1989; Āboltiņš *et al.*, 1988, 1989). The comparatively lower lateral zone includes mainly marginal formations and their complexes formed during glacier recession in contact between active and passive ice, and subsequent stagnant ice features.

1.1. Alūksne Upland

The Alūksne upland is in the farthest North and smallest insular accumulative-glaciostructural upland in Latvia. It covers an area of 887 km². Furthermore, the composition, morphology and the formation conditions of it is similar to the Vidzeme upland (Āboltiņš *et al.*, 1975; 1976; Straume, 1979; Āboltiņš, 1989).

Glacial topography reflects variations in distribution of the thickness of the Pleistocene. The Pleistocene sediment thickness reaches 90 to 100 m in the highest parts of the Veclaicene and Maliēna hummocky areas, but in the upland marginal zone it decreases up to 30–40 m (Āboltiņš *et al.*, 1976; Āboltiņš, 1994). The sub-Quaternary surface peculiarities have also direct reflection in the contemporary topography to a great extent as elevated hilly areas or depressions occupied by glacial lakes and mires (Mūrnieks, 2002).

1.2. Vidzeme Upland

The Vidzeme upland can be regarded as a classical pattern of the accumulative- glaciostructural insular upland (Āboltiņš, 1972, 1989, 1995; Āboltiņš *et al.*, 1975, 1988; Straume, 1979).

The thickness of the Pleistocene sediments for the most part of the upland exceeds 60–80 m but in the hypsometrically highest part of the Vestiena hummocky area it exceeds 150 m. Near the foot of the upland, at the Augšgauja depression, the thickness decreases up to 30–40 m (Āboltiņš *et al.*, 1975; Straume, 1979; Āboltiņš, 1995, 1998; Juškevičs, 2000; Juškevičs, Skrebels, 2002).

Hummocky topography of the central zone is very well separated by wide depressions from the oriented marginal hilly ridges of the lateral zone of the Vidzeme upland (Āboltiņš *et al.*, 1975; Straume, 1979; Āboltiņš, 1989). In the central zone the altitude of the glacial hummocks exceeds 180–200 m a.s.l. The formation of the glacial landforms, accumulation and disturbance of the glacial sediments in this zone were controlled to a great extent by the interaction of the glacier with its bed. The elevated areas of penultimate glaciation influenced in the dynamics of the ice flows changing their directions and interaction in glacier-bed interface (Āboltiņš, 1975). As a result of this, the pressure gradients rose remarkably, particularly in a horizontal direction. At the glacier recession stage, when ice thickness was decreasing, glacier bed irregularities enhanced more intense accumulation of the till and glaciotectionic deformation of previously deposited glacial sediments. Due to glaciotectionic disturbance these strata were squeezed and pushed in various types of folds and/or imbricated in scale-like structures, or displaced as megablocks. It resulted in mega-scale redistribution of initial thicknesses of the glacial deposits, and formation of such landforms as composite hills of primary massifs, bases of plateau-like hills, cupola and cone-shaped hills. This area of hummocky topography predominantly consist of glaciotectionically deformed sediments – brown or reddish brown till of different facies and dislocated to some extent glacioaquatic sediments, including sand, gravel and silt (Āboltiņš, 1989). The glaciotectionically disturbed deposits form the cores of the mentioned above landforms, but just some of individual hilltops are also formed of the glaciofluvial sediments. In the area of Ergli, Vestiena, Liezere and Drusti plateau-like hills are positioned on a hypsometrically lower level (200–240 m a.s.l.). Plateau-like hills in these areas are 25–30 m high and cover 0.5 km² to 5 km² wide areas with steep, gullied slopes and quite often flat-topped surface and terraced slopes. These hills are built up by glaciotectionically deformed glacial sediments covered by 8–10 m thick layer of the glaciolacustrine clay (Āboltiņš, Markots, 1995b, Āboltiņš, Markots, 1998b).

1.3. Latgale Upland

The Latgale upland is located on a large rise of the pre-Quaternary surface. Bedrock elevations range from 100–110 m a.s.l. in the south to 120–135 m a.s.l. in the northern part of the upland (Meirons *et al.*, 1974). The bedrock surface consists of Upper Devonian sandstone (in the south) and dolostone (northern part). It is covered by a 40–100 m thick blanket of Quaternary sediments, predominantly deposits of the last Pleistocene glaciation (Meirons, 1975). They are mainly represented by basal and deformation tills, with a thickness of 30–80 m (Āboltiņš, 1989). On the peripheral zone of the upland the ice marginal relief forms include small ridges, hilly ridge systems, ramparts, elongated hills etc. The landforms are mainly composed of glaciotectonically deformed glacial deposits, in some cases, large rafts (megablocks) of Upper Devonian dolostone (Āboltiņš, 1989).

The central zone of Latgale upland is characterized by glaciostructural and glaciostructural accumulative relief forms. The largest of these forms are “primary massifs”: plateau-like, dome-shaped or morainic hills.

2. PREVIOUS INVESTIGATIONS

The plateau-like hills have been distinguished as a separate type of glacial landforms since the 1930-ies (Zāns, 1936). There are also known as “flat-surface clay hills”, (Vanaga, 1970), “flat-surface hills” (Lazdāne, 1963), “plateau-like heights” (Danilāns, 1965), “flat hills” (Ramans, 1975, Jaunputniņš 1975), “end moraine”, “table hills” (Āboltiņš, Straume, Juškevičs, 1976), “flat-surface large size hills with a cover of limnoglacial sediments” (Eberhards, 1977), “flat hills, plateau-like hills” (Grīne, Zelčs, 1997), “limnoglacial massifs”, “kame plateaus”, “prairie plateaus”, “table-like heights”, “prairie plateaux” (Slater, 1929), “flat-topped moraine plateaus”, “plateau-like hills”, “prairie mounds” (Gravenor, 1955), “moraine plateaux” (Stalker, 1960; Prest, 1975), “glaciolimnic kames”, “end-moraine plateau”, “aquaglacial plateau-like elevations”, “glacial lake plateaux” (“озерно - ледниковые плато”), “glacial lake massifs”, “table-like elevations or glacial lake plateaus”, “zvontsy” (Malahovskiy, Vigdorchik, 1963), “table-like elevations”, “column-like hills”, “kame plateau”, “zvontsy” (Bitinas, 1994; Velichko *et al.*, 2004), “flat glaciolacustrine hills with till foundation” (Bitinas, 1994). These terms do not always unequivocally distinguish just these landforms and their names or name variations often found outside the glacier-covered territories in various geographical and vertical zonality regions.

A. Stalker (1960) was one of the first researchers who investigated the plateau-like hills in Alberta, Canada in his study of the ice-pressed drift forms and their sediments. In his study he described the plateau-like hills or “*dead-ice plateaux*”, subdividing them into: a) moraine plateaux and b) plains plateaux. However, A. Stalker (*ibid.*) himself mentioned C. P. Gravenor’s (Gravenor, 1955) publication as his predecessors in the study of these forms in which moraine plateaux are mentioned, as well as the paper by G. Hoppe (1952)

One of the first researchers in Latvia who has studied the glacial landforms in insular uplands and emphasised the significant role of “the plateau-like hills” in the landform complexes of the Vidzeme Central upland (the Vidzeme upland, according to Straume, 1979) is A. Lazdāne (1959). She described and provided a detailed for that time concept of the formation of the entire upland and the types of the elementary glacial genetic complexes. A. Lazdane (Lazdāne, 1963) has distinguished several types of plateau-like hills. Later characterising the landform morphometry of the Alūksne upland and the peculiarities of its development, A. Lazdāne (already as A. Vanaga, 1970) used the term “plateau-like hills” and already presented a comparatively detailed geomorphologic map in which several types of glacial landforms were shown. Afterwards this map was modified and a conditionally new designation appears among the landforms of Latvia – “zvontsy” (Āboltiņš *et al.*, 1976; Straume, 1979).

In Latvia these forms were established only in the central zone of the insular accumulative-glaciostructural uplands where groups of plateau-like hills are common. In this thesis the term “group” is replaced with a term “area” which describes more precisely the main peculiarities of spatial distribution of these landforms. Yet the field research suggests that individual plateau-like hills can be found also in the interlobate ice zones and also in the highest part of the insular exaration-accumulative (plinth-type) uplands (termed by O. Āboltniš, 1972) and in the Augstroze hilly wall, which has developed in the convergence zone of the Zemgale and Burtnieki glacial lobes (Strautnieks, 1998; Zelčs, 1992; 1995).

3. METHODS AND MATERIALS

This thesis is mainly based on original data obtained in course of analysis and interpretation of the geospatial cartographic data, and the data acquired during the long-term field studies. Various geospatial, geological and geomorphological methods and techniques were applied for aggregating and analysis the data in order to gain the objectives of this study. For location of the areas of the plateau-like hills in insular accumulative-glaciostructural uplands see Fig. 2.

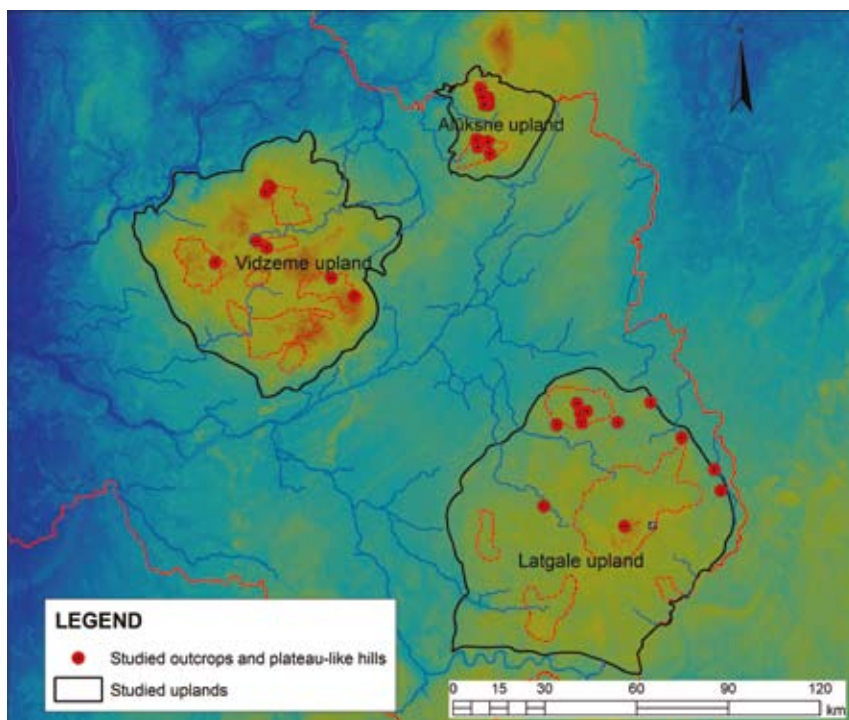


Figure 2. Location of the study areas and studied in details outcrops and plateau-like hills. DEM derived from SRTM.

Integration and analyses of background geological information about the study area based the reports of field studies and expeditions, as well as geological maps available in the Geological Fond of the Latvian Environment, Geology and Meteorology Centre.

As it was not possible to study these landforms in other countries immediately, a comparative analysis was applied (see Chapter 2) about nearer

and more distant countries in which similar glacier landforms occur with a similar history of geological development in the Pleistocene, particularly the last ice sheet advancement and degradation.

3.1. Acquisition, compilation and analysis of geospatial data

One of the tasks of this thesis was to produce a detailed map of the the plateau-like hills using a wide range of sources of spatial information, and analyse the available spatial information in order to analyse both individual landforms and their complexes on three conditional levels: 1) distribution of the plateau-like hills in the Latvian insular accumulative-glaciostructural uplands; 2) distribution of the plateau-like hills in individual insular accumulative-glaciostructural uplands; and 3) spatial arrangement of the plateau-like hills in the areas of their distribution. Topographic maps at scales 1:10,000 and 1:25,000, and geomorphological maps at scale 1:50,000 were used to reach mentioned above tasks.

The *ESRI ArcMap 9.3*. statistical tools were used for processing spatial data. Comparison of morphological differences partly were carried out in *Microsoft Office Excel*.

Based on the results a plateau-like hills database was prepared consisting of 354 plateau-like hill data (Table 1). The table of plateau-like hills as geometrically precise shapes or polygon attributes attached to the coordinate space (LKS-92) contains varied information about the objects of research.

Table 1. **Distribution of plateua-like hills in the insular accumulative-glaciostructural uplands of Latvia.**

	Alūksne Upland	Vidzeme Upland	Latgale Upland	Total
Area (km ²)	887	4605	6376	11 868
Number of plateau-like hills areas	2	8	5	15
Number of plateau-like hills	24	145	185	354
Area covered by plateau-like hills (km ²)	85,06	221,47	245,5	566,70
Percentage from the upland area	9,59	4,80	3,85	4,77
Average area of plateau-like hill (km ²)	3,40	1,58	1,33	1,62
Area of plateau-like hill localities (km ²)*	134	855	1365*	2354
Density of plateau-like hills (landforms/km ²)	0,18	0,17	0,14	0,16

* Without separate plateau-like hills located outside of distinguished areas

3.2. Field investigations, and processing of statistical data

In order to complete the advanced tasks, the already approbated glacial geology and geomorphology methods were applied. Data used in the palaeogeographical interpretations about the accumulation time of sediments and the last deglaciation of the Scandinavian ice sheet were borrowed from investigations carried out by other authors and were available in the latest publications (Rinterknecht *et al.*, 2006; Kalm, 2006; Raukas *et al.*, 2004; 2010; Zelčs *et al.*, 2010, *in press*).

In the field studies main attention was paid to the internal composition and morphology of the plateau-like hills and neighbouring glacial hummocks. The detailed fieldworks comprise the three dimensional determination of arrangements macrofabric and sediment units in sand, gravel and clay pits, and mapping of thickness and occurrence of glaciolacustrine deposits by logging 56 hand-drilled boreholes to the depth of 6 m. The measurement data were processed and plotted by *StereoNet*.

The morphological case studies included instrumental geometric levelling of the selected profiles with fixing of boring sites high-precision GPS receiver. However some profiles were measured by the geological compass.

4. RESULTS AND INTERPRETATION

The results of this thesis comprise the data of morphological investigations based on GIS geospatial and statistical analysis, and the data of the Quaternary geological and geomorphologic field survey on the basis of which the distribution regularities and spatial arrangement, as well as the peculiarities and development of the internal composition of the of the plateau-like hills and their accompanying glacial hummocks, particularly composite hills of primary massifs are found out in connection with the ice mass dynamics and glacier deglaciation phases.

In general, the results of investigations allow to make more complete morphological classification of the plateau-like hills, and to clarify they occurrence, spatial arrangement and internal structure, and preconditions of their formation.

4.1. Distribution, spatial arrangement and morphology of the plateau-like hills

The total area of all the insular accumulative-glaciostructural uplands in Latvia reaches almost 11 900 km² (Table 1). All plateau-like hill localities covers an area more than 2300 km² or about 20% of the total area of the uplands. The total area of the plateau-like hills is approximately 570 km² or 24% of the entire area of all localities. Maximum their proportion is less than 50% of the total area of individual locality. This greatest specific weight of these landforms is encountered in the Savīte area, the smallest one locality in the Vidzeme upland comprising 0.62 landforms/km².

The main areas of distribution of the plateau-like hills is the Icenieši and Strautiņi in the Alūksne upland, the Drusti, Stepēļi, Liezēre, Lautere, Savīte, Ērgļi, Kaibēni and Skujene in the Vidzeme upland, and the Burzava, Rāzna-Pilda, Osva, Auleja and Gailiši in the Latgale upland.

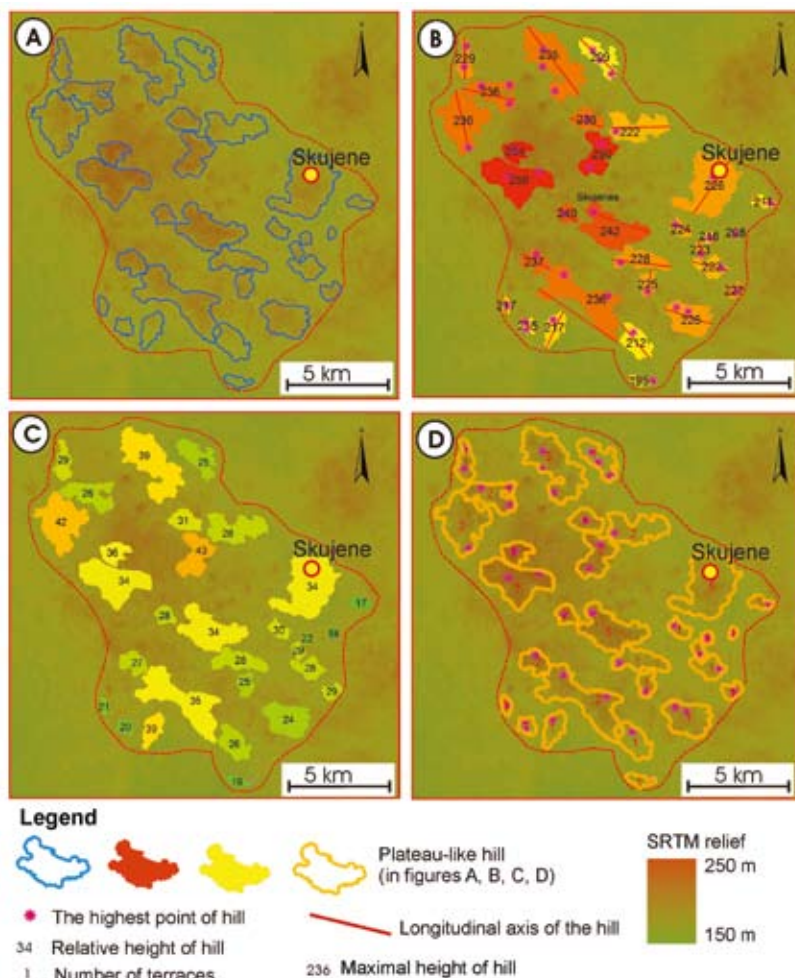
The analysis of distribution, spatial arrangement and morphology of the plateau-like hills are based on the database developed by the author. This database enables visual comparison and geostatistical analysis of various parameters, e.g. changes of the shape and morphometrical characteristics within the area and between areas of the plateau-like hills, clustering of orientation of the individual landforms their longitudinal axes supplemented with visualised lines (Fig. 3.B). Data for the three dimensional morphological characteristics and for processing of topography are derived either from the Latvian Geospatial Information Agency (LGIA) or the SRTM DEM.

The plateau-like hills spatially are arranged rather irregularly. Using as an example the Skujene area of plateau-like hills for a more detailed geospatial analysis (Fig. 3), the following conclusions can be distinguished:

- (1) The plateau-like hills of the Skujene area occupy the highest hypsometric level in the NW corner of the Vidzeme upland;
- (2) The plateau-like hills are arranged in five belts. These belts stretch from NW to SE, and coincide with general elongation of the area under consideration. The belts adjoining the central one on either side are placed at approximately equal distances.
- (3) All five belts can be encountered only in the widest SE end of the area, and the dimensions of the hills in the outer belts are considerably smaller, except the Skujene hill on the eastern side of the area (Fig. 3.A). It stands out in the area and all the accumulative-glaciostructural uplands of Latvia not only with its great parameters (its area – 5.8 km² and length – up to 3.5 km) but also with the greatest number of terraces. Here in total five terraced levels can be traced;
- (4) In most cases the highest peaks of the hills are not situated in the centre of the landform (Fig. 3.B). They are often located at the ends of the landforms (if the landforms are stretched out, or even on the sides; the hills of a more complicated shape usually have several (2–3) tops, frequently represented by conically or cupola-like small hummocks, very close by their altitudes (with 1–2 m differences);
- (5) In most cases the crests of the elongated plateau-like hills are also stretches from NW to SE; only the smallest hills or the marginal hills of the area have different orientation;
- (6) Although, by its absolute dimensions, the central part of this area is higher, the relative relief of the hills does not correspond to it. Besides, in the figure, where the relative altitudes are differentiated by colours (Fig. 2.C.), marked belt appear to be oriented in the NE–SW direction. In such a way the arrangement of the plateau-like hills is determined by a transverse component to ice flow direction definitely marking the formation dynamics of the landforms, including the foundation of the plateau-like hills, and potential limiting of the accumulation of the overlapping glaciolacustrine sediments.
- (7) Most hills of the Skujene area (21 of 30) have only one terraced level (Fig. 3.D). Seven hills have two terraces, but three and five terraces are encountered for others.

Discussed above pattern from view point of the planar distribution and spatial arrangement of plateau-like hills is quite common also for other their areas with exception to hypsometry and local relief characteristics. As a result

of geospatial analyses it has found that in most cases the plateau-like hills with maximum elevation appear in the distal part of the corresponding area. Distribution of the relative height values is rather chaotic.



4.2. The characteristics of the sub-Weichselian surface and thickness of the Late Weichselian sediments in plateau-like hill areas

The formation of the insular accumulative-glaciostructural uplands and the complex of glacial mesorelief landforms occurring in their territory are the result of the complicated interaction between the ice masses and glacier bed. Temporal and spatial aspects of this interaction have been analysed in details by O. Āboltiņš (1972, 1975, 1989), O. Āboltiņš *et al.* (1987, 1988) and A. Raukas *et al.* (2004). It has also been emphasized (*ibid.*), that this interaction was highly variable and depended upon the glaciodynamic structure of the peripheral ice cover (i.e. location and dynamics of distinct ice lobes and glacier tongues), ice flow pattern and ice mass balance, i.e. advancing or receding of glacier, as pointed out by O. Āboltiņš (1972, p.53). Thus these investigations prove the influence of the subglacial bed topography on the glacier dynamics and on the processes of glacial sedimentation and landform formation. There is no doubt that the sub-Weichselian surface (sub-Valdaian or sub-Baltic surface according to the terminology by Āboltiņš *et al.* 1975, 1976, Meirons, 1976, Meirons, Straume, 1979; Meirons, Juškevičs, 1984) and the composition of the sediments from the Late Weichselian time were the factors which affected not only the formation of the glaciotectonic foundation of the plateau-like hills but it is very plausible that also localisation of the favourable environmental conditions for formation of these hills particularly in relation to subglacial meltwater storage and discharge, and water permeability properties of the glacier bed sediments.

Data for construction of the maps of the sub-Weichselian surface and Weichselian sediment thickness in the plateau-like hill areas are derived from the maps of the Quaternary deposits at scale 1:50,000, borehole and also published data by O. Āboltiņš *et al.* (1975, 1976) and Z. Meirons (1976) (Fig. 4). The calculations of the Late Pleistocene sediment thickness made by the author do not include valley-like landforms of various origins in the sub-Weichselian surface. These valley-like landforms and time of their origin can not be detected for this time because of glaciotectonism and subglacial erosion, and in course of the Weichselian glaciation, particularly during Last glacial maximum, and lack in age determination data. The original thickness of the Weichselian glacial sediments can be changed also by assimilation and rafting of the oldest pre-Late Pleistocene sediments by the glacier (Ginters, 1984). Similar methodological problems were discussed more detailed by other authors (Āboltiņš, 1989; Zelčs, 1993; Zelčs, Dreimanis, 1997; Strautnieks, 1998).

Nevertheless increase of the Weichselian sediments in the Alūksne upland its thickness is lower than in the Vidzeme upland (Fig. 4). In the highest part of the Veclaicene hummocky area that includes the vicinity of the Dēliņkalns

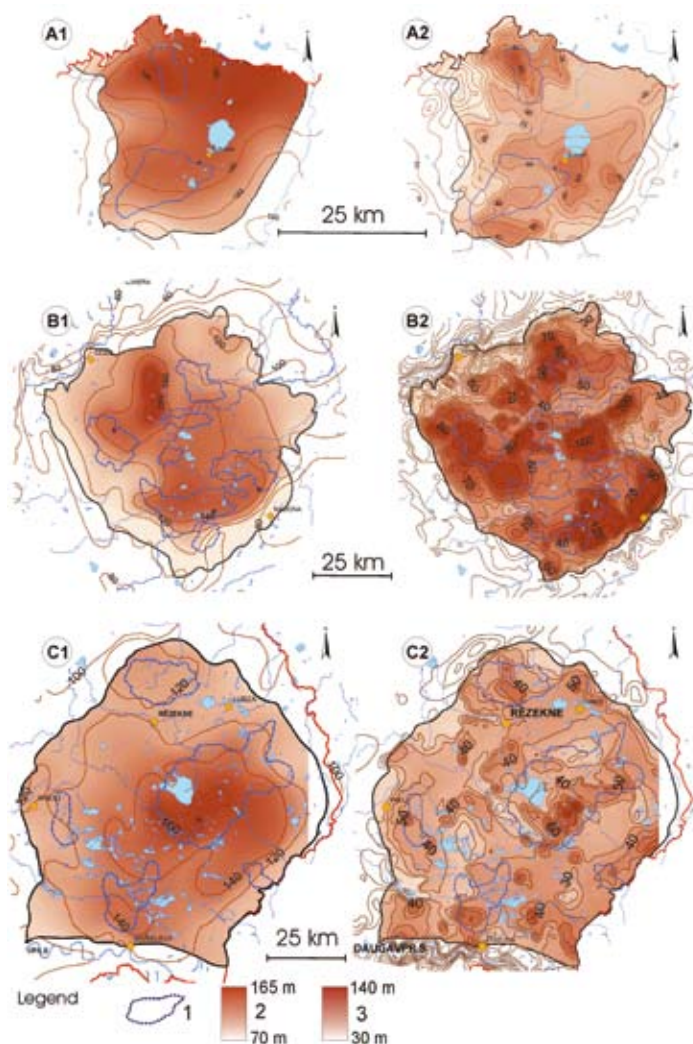


Figure 4. Topography of the sub-Weichselian surface (A1, B1, C1) and thickness of the Late Pleistocene sediments in distinct insular accumulative-glaciostructural uplands (A2, B2, C2). Accordingly A1, A2 – Alūksne upland; B1, B2 – Vidzeme upland; C1, C2 – Latgale upland. Dotted contours denote the plateau-like hill areas. The constructed maps are based on the borehole and geological mapping, and published data by O. Āboltiņš *et al.* (1975, 1976) and Z. Meirons (1976).

Legend: 1 – plateau-like hills areas; 2 – Topography of the sub-Weichselian surface; 3 – thickness of sediments of the Weichselian glaciation.

and Sauleskalns composite hills of primary massifs the Late Weichselian sediment thickness reaches up to 65 m. In the Icenieši area, and Maliena hummocky area S of the Alūksne town it does not exceed 40–50 m, but in the southern part of the Strautiņi area of plateau-like hills it is only 30–40 m. One can be sure that the greatest thicknesses are related just with the hypsometrically highest parts of the upland that includes areas of the plateau-like and composite hills; in the remaining territory it is about 20 m, the minimal thickness being at the western margin of the upland. The thickness of the Late Weichselian sediments near the Lake Alūksne – the largest lake in the upland – considerably increases – from 20 to 40 m in S from the lake depression (Āboltniņš *et al.*, 1976).

The average thickness of the Late Pleistocene sediments is 60–80 m in the Vidzeme upland (Fig. 3.). The thickest Late Pleistocene sediment cover occurs in three most elevated and subparallelly arranged interlobate belts of hummocky topography. These belts stretch from WSW to ENE. The elongated glacial depressions occupied during last glaciations by the Upper Gauja, Upper Amata, Ogre and Tirza glacier tongues locate in between (Zelčs, Markots, 2004).

The maximum thickness of the Pleistocenes sediments reaches about 200 m (Zelčs, Markots, 1998) in the southern part of this upland. This part of the upland is occupied by the Vestiena hilly area where there are 13 of the 15 highest points on the contemporary surface of Latvia (Zelčs, 1997b), as well as the Savite and partly the Ērgļi areas of plateau-like hills. Here in some places only the Weichselian glacial sediment cover exceeds 120 m (Juškevičs, 2000). Maximum Weichselian glacial sediment thickness is encountered several kilometres SE from the Lake Kaņepēni where it is about 140 m. In both remaining belts of hummocky areas the the Late Weichselian sediments form a thinner cover. The thickness of the Weichselian glacial sediments in the topographically highest parts of the Piebalga hilly area, which is located in the middle of the Vidzeme upland, exceeds 100 m (Āboltniņš, 1975). It is relatively thinner in the Mežole hilly area (80–90 m), which occupies the northern part of the upland (Juškevičs, 2000).

The Late Pleistocene sediments in the Latgale upland are remarkably thinner (Fig. 4). Its thickness does not exceed 80 m in the Rāzna hilly area, and is less than that in other upland areas. This increased thickness refers to the Rāznapilda area of plateau-like hills. An increased thickness is also common for other areas of the plateau-like hills in the Latgale upland. It can be noted, that in the territories with large concentration of lakes or depressions the thickness of the Weichselian glacial sediments is rather low, comprising 20 m or less. On the remaining territory occupied by basins of glacier tongues the thickness of the Late Pleistocene sediments varies from 20 to 40 m, which is still much greater than in the glacial lowlands adjoining the upland (Juškevičs, 2002; Juškevičs, Skrebelis, 2003; Meirons, 2004).

4.3. The internal composition of the plateau-like hills

The relationship of the landform morphology with its internal composition is one of the most significant keystone of contemporary glacial geomorphology investigations (Aber *et al.*, 1989; Benn, Evans, 1998; Easterbrook, 1999). The internal composition is determined by several conditions: glacier dynamics and changes on the regional and local scales, as well as the character of the subglacial bed and lithology (Benn, Evans, 1998; Menzies, 2002a; Āboltiņš, 1989).

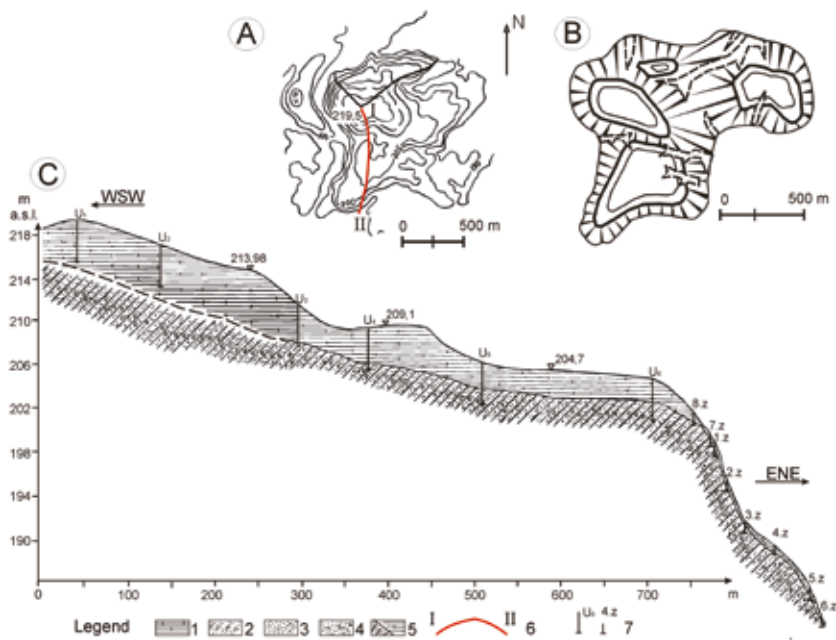


Figure 5. The hypsometric sketch of the Apseskalns plateau-like hill, countour interval is 5 m (A), the morphological scheme (B) and the geological-geomorphologic section (C) of the SW slope along the profile line I-II. The hill is situated in the Liezere area, Vidzeme upland, 2.5 km NNE of the Liezēre village.

Legend: 1 – fine-grained silty clay; 2 – till; 3 – sand; 4 – gravel; 5 – fixed and supposed bedding contact between till and covering glaciolacustrine sediments; 6 – the profile line; 7- boreholes.

The results of the internal composition are obtained from field investigations. These investigations are aimed to find out information helping in reconstruction of the formation conditions of the plateau-like hills. The examination of the

internal structure of the base of plateau-like hills was mainly based on boreholes data (Fig. 4.). The topmost part of the base, bedding contacts between base-forming deposits and capping layer of glaciolacustrine sediments were studied in details in clay, sand and gravel pits (Fig. 5.). In course of these fieldworks not only composition of the plateau-like hills, but also accompanying them glacial landforms – composite hills of primary massifs, cupola hills and conic-shaped hills has been described.

The main results of these findings have already been published (Āboltniš, Markots, 1995; Āboltniš *et al.*, 1995; Markots, Āboltniš, 1998a, b) or submitted for publication (Markots, *in review*). Unfortunately the studies were proceeded with variable success due to the termination of the use of small clay and sandy gravel deposits from the plateau-like hills and transition to the use of larger clay and sandy gravel deposits in Latvia (Zelčs, Markots, 1999a, b). Nevertheless, overall investigation results allow to draw conventional pattern of the internal composition of the plateau-like hills and to identify interconnection between internal structure of the base of these hills and composite hills of primary massifs. According to O. Āboltniš (1975), V. Zelčs and A. Markots (2004) last ones were formed and freed from ice relatively earlier than plateau-like hills.

In general the base of the plateau-like hills is built-up by glaciotectonic structure. This glaciotectonic moulding forms up to two thirds of the relative height of hills. The main landforming-structures of individual hills are asymmetric folds that incline to the direction of the ice flow, or complex of imbricate thrusts or rafted megablocks of glacial strata with thrust planes dipping upglacier. The subsequent imbricate scales on the proximal slopes of asymmetric landforming folds can be observed.

The internal structure of the disturbed glaciofluvial material overlaid by fragmented till unit in the outcrop of the Svikļi gravel pit located in the middle-upper part of the Tumuži plateau-like hillslope also suggest subglacial glaciotectonic deformation (Markots, *in review*).

A more detailed insight into the relationship between underlying basal till unit and capping glaciolacustrine sediments of the slopes of the plateau-like hills can be gained by inspecting a section of the south-western slope of the Apseskalns hill (Fig. 5.), and the outcrop of the Sauleskalns hill pit (Fig. 6.).

The Apseskalns plateau-like hill is located on the northern margin of the middle part of the Liezēre area of the Vidzeme upland. The maximum elevation is 219.5 m, and its relative relief reaches approximately 40 m. The hill has steep W, N and SE slope. The slopes are terraced and gullied. The longitudinal axis of this hill is weakly pronounced, but in general oriented in the NE–SW direction (Fig. 5.A, 5.B). The profile lines of the hillslopes were studied using geological hand-drilling and levelling. It is evidently from the SSW profile line, that the

slope is characterised by a step-like profile. Fragments of two terraces reveal themselves in it comparatively well at the height of 209 m and 204.5 m. The surface of the hill, including its highest points, is covered with up to 8 m bed of glaciolacustrine sediments. The thickness of glaciolacustrine sediments is uneven, but decreases down the slope.

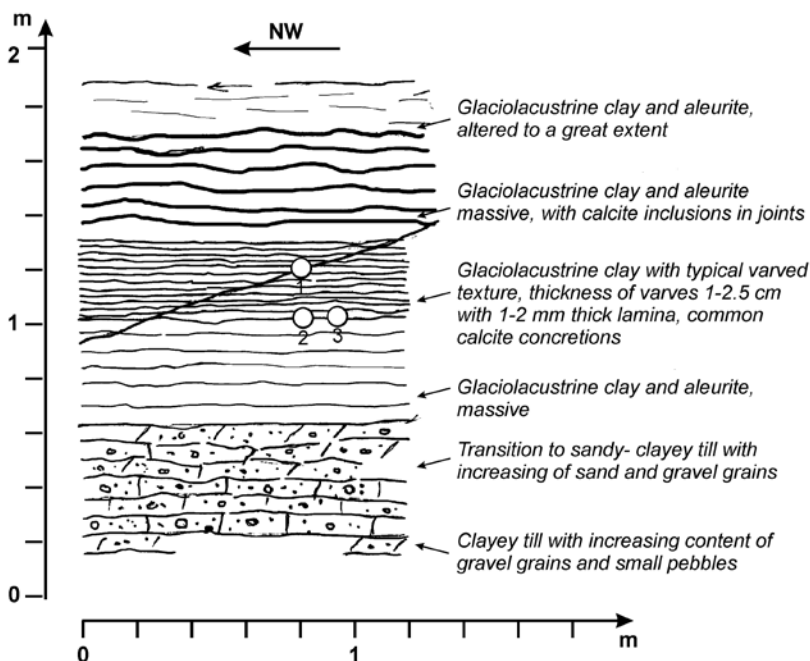


Figure 6. A picture of the contact zone of the glaciolimnic sediments (the upper part) and glacial sediments in a quarry at the slope of Sauleskalns in the Alūksne upland.

It is important to note, that in some places, for instance in the outcrop of the clay pit shown in Fig. 6, the bedding contact between till and clay is very gradual reflecting a gradual transition from till accretion to glaciolimnic accumulation.

4.4. Palaeogeographical location of the plateau-like hills

Information about the palaeoglaciological location of the territory is obtained by traditional methods, tested during many decades, which allow to establish the ice flow directions, and include the determination of the glacial landform lineation (Punkari, 1997; Boulton *et al.*, 2001; Marks *et al.*, 2003; Zelčs

et al., 2003; Morawski, 2005; Kalm, 2010), measurements of the glacial striation (Zāns, 1935) and macrofabric orientation (Sprīngis, Konshin, Savvaitov, 1963; Āboltiņš, 1987; Dreimanis, 1999), examination of glaciotectionic structures (Dreimanis, 1935; Aber *et al.*, 1989; Āboltiņš, 1989; Marks *et al.*, 2003; Zelčs *et al.*, 2003) and micromorphology and dispersion fans of indicator boulders (Viiding, 1971; Markots, 1986), which have been supplemented in Latvia since the 1960-ties with the dating results (see Meirons, Juškēvičs, 1984; Rinterknecht *et al.*, 2006; Zelčs *et al.*, *in the press* for detailed information).

During transgression of the Late Weichselian glaciation in the NW and W part of the Vidzeme upland the Riga ice stream moved up from NNW and NW (Fig. 7.). The most of the study territory was under the influence of the Peipsi ice stream (Fig. 7.). In this territory there was dominating ice flow from NNE and NE. As the ice lobes filled up the vast depressions of the pre-Weichselian surface and in response to the macroelevations in the glacier bed, the ice flow pattern became more complicated, and local directions of ice flow appeared from the NW, NE and even SE.

As a result the above mentioned ice flows determined the formation of the main ice mass convergence (collision between the Riga and Peipsi ice streams (Fig. 7.)). This zone was crossing the highest parts of the Vidzeme and Alūksne uplands. This zone is marked by distribution of the belt of the composite hills of primary massifs. Having the interlobate palaeogeographical position these glacial landforms form the hypsometrically highest level in these and as well as in the Latgale upland.

The ice mass convergence zone along the Sēlija interlobate heights is conditional and supposedly originated, as also Z. Meirons *et al.* (1976) and J. Straume (1979) remark, only during the Kaldabruna oscillation phase while the ice masses of both ice streams during the maximum transgression and in the earliest (Dagda) phase of the deglaciation of the glacier merged together forming a joint stream in the south central part of Latvia, and the southern sector of the Fenoscandian ice sheet. It seems that in the Vidzeme upland the convergence zone of the ice masses existed already in the transgressive phase.

Although also an idea pointed out by O. Āboltiņš *et al.* (1972) that its formation was started at the very beginning of the deglaciation stage, which was marked by decreasing ice thickness cannot be rejected. V. Zelčs and A. Markots (2004) denote this time as the starting stage of deglaciation before the Dagda oscillation phase.

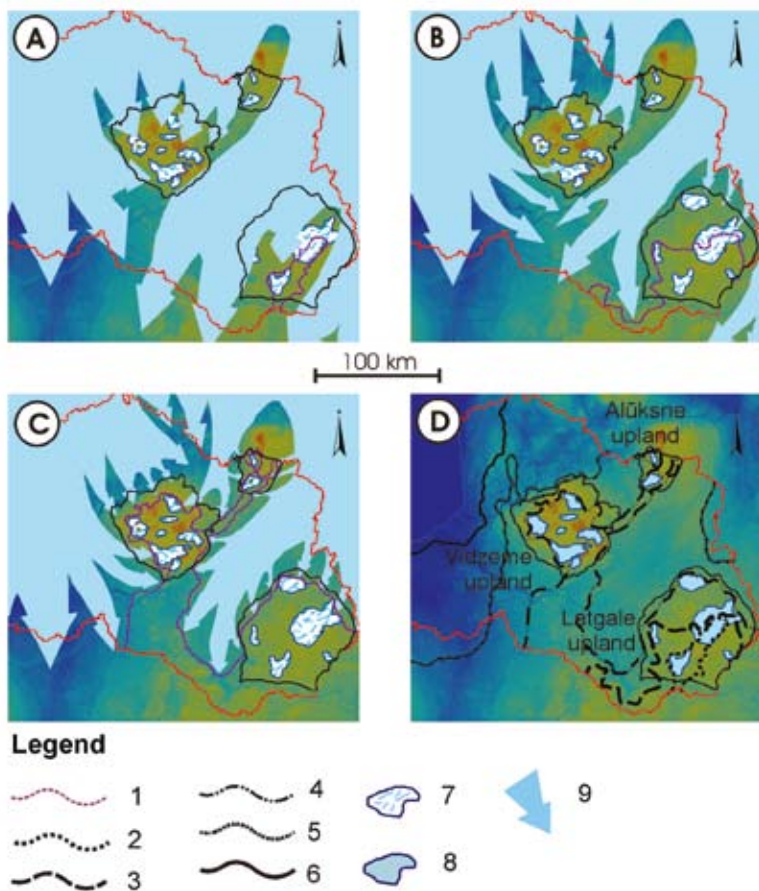


Figure 7. **Reconstruction of the deglaciation process of the Late Weichselian glaciation with respect to ice margin oscillations (adopted after Zelčs *et al.*, 2010, *in press*). A – Dagda phase; B – Kaldabruņa phase, C – Gulbene phase; D – ice marginal oscillations during deglaciation of the last Fennoscandian ice sheet in Eastern Latvia.**

Legend: 1 – oscillation limits (A–C); 2 – Dagda phase; 3 – Kaldabruņa phase; 4 – Gulbene phase; 4 – Linkuva phase; 5 – Valdemārpils phase; 7 – plateau-like hill areas during deglaciation (A–C); 8 – plateau-like hill areas (D); 9 – ice lobes and glacier tongues.

According to these authors (*ibid.*), during that time the formation of the subglacial glaciotectonic structures which built-up the composite hills of

primary massif started in the interlobate environment in the Latgale upland. The supraglacial meltwaters, which arose in the course of glacier ablation, escaped along the surface of the hard and water-impermeable ice. Judging by the opinion of various authors (Āboltiņš *et al.*, 1972; Meirons *et al.*, 1976; Zelčs *et al.*, *in press*), the formation of the subglacial structures of the composite hills of primary massifs and the glaciotectionic base of the plateau-like hills started relatively earlier in the highest part of the Latgale upland in comparison to the Vidzeme and Alūksne uplands. In the central part of the last both they appeared by one to two deglaciation phases later.

The glaciotectionic structures that form the base of the plateau-like hills are situated in a proximal direction of the main ice masses convergence (interlobate) zone in the Vidzeme upland, and also the interlobate or intertongue zones in the Latgale and the Alūksne uplands. Thus the spatial location of the plateau-like hills was determined already in the course of the formation of the glaciotectionic deformation structures of the interlobate and intertongue zones under subglacial conditions.

The realized geospatial analysis of the location and spatial arrangement of the plateau-like hills suggests that formation of the glaciotectionic base and subsequent deposition of the capping glaciolacustrine sediments were taken place in several deglaciation phases. As it was stressed by J. Straume (1979), at the beginning of the deglaciation phase someone or other ice lobe or glacier tongue had been activated. Each such oscillation has been marked by more prominent belt of the ice marginal formations (*ibid.*). Z. Meirons *et al.* (1976) and J. Straume (1979) emphasize that the closed-type ice marginal formations are common for the insular accumulative-glaciostructural uplands in Latvia. This oscillatory complex was formed in the contact zone between active and stagnant ice. After each oscillation ice masses had gradually receded on a narrower or wider territory. The results of this study suggest, the formation of the glaciotectionic structures forming the base of the plateau-like hills on the highest part of the Latgale upland has started already before the establishment of the Dagda marginal formations. Later it continued during ice mass receding from the Dagda and Kaldabruņa ice marginal formations, but in the Burzava area – also during the active ice margin recession from the ice marginal belt of the Gulbene phase. In the south-western part of the Vestiena hilly area in the Vidzeme upland, to W of the valley of the Arona meltwater drainage valley, the glaciotectionic structures of the plateau-like hills were formed in the course of the Dagda deglaciation phase when ice masses became stagnant in the highest part of the interlobate area. On the rest of the territory of this upland and the areas of the Alūksne upland they formed during the Kaldabruņa phase. During the Gulbene deglaciation phase only marginal formations, the so-called by O.

Āboltiņš (1972, 1975) “oriented hilly ridges relief”, have only been developed in the territory of both uplands. Without excluding a theoretical possibility that separate plateau-like hills could also be encountered in the course of further investigations also in the localities of the oriented hilly ridges relief of these uplands, it can be considered that the formation of plateau-like hills in the territory of the insular accumulative-glaciostructural uplands was completed during the Gulbene deglaciation phase. However, the most favourable conditions for their appearance were in the time of the Kaldabruna deglaciation phase when the glaciodynamic structure of the glacier was most complicated and, perhaps, there was the greatest number of the ice tongues and microtongues in the terminal zone of the glacier.

5. DISCUSSION

Previous investigations on the formation of the insular accumulative-glaciostructural uplands of the southeastern sector of the Last Fennoscandian ice sheet have been carried out in several directions, particularly clarification of the palaeogeographical location and mechanism of the formation of these uplands (Āboltniš, 1972, 1975, Āboltniš, *et al.*, 1976; Āboltniš, *et al.*, 1988, 1989), and cognition of the placement of the different type glacial landforms and examination their composition by using several techniques and methods (Āboltniš *et al.*, 1974, 1976; Meirons, 1976). The introducing methods of the structural geology by O. Āboltniš (1989) were a crucial milestone in studies of the internal structure of glacial landforms. This and previously obtained data are reflected in the spatial cartographic data of various scales and precision. On the whole, almost all of them give an idea about the nature of the surface sediments on the territory, their distribution and relationship to the landform morphology and genesis.

Considering the results of this thesis the various interpretations of the genetic conditions determine a necessity to view the morphological peculiarities of the plateau-like hills in a paleogeographical aspect in its widest sense, i.e. including the distribution of the plateau-like hills and their accompanying landforms, their spatial arrangement and spatial variations in the hypsometric location of individual uplands, as well as their distributions within the areas, and interrelationships of their morphology and internal structure..

5.1. The paleogeographical consequences of morphology and internal composition

The determined location of the plateau-like hills and their remarkable role among the glacier landforms of the central zone of the accumulative-glaciostructural uplands confirm their significant place in the set of the glacial formations. Although the morphology and composition of the plateau-like hills possess important evidence about the processes and environmental conditions under which they have been formed, a significant, if not the most significant, role in the the course of the depositional and landforming processes that shaped landscape of the plateau-like hills and accompanying glacial landforms belonged to the palaeogeographical location of their areas in relation to the ice lobes and glacier tongues during transgression and deglaciation of the last Fenoscandian ice sheet.

Therefore the analysis of the regularities of the spatial arrangement, morphology and internal composition of plateau-like hills was carried out in

correlation with the palaeogeographic conditions and morphogenetic peculiarities of the formation of the insular accumulative glaciostructural uplands themselves, on the one hand, and the formation of the glacier landforms that accompany the plateau-like hills, on the other. As it has been emphasized by many investigators (Asejev, 1974; Āboltiņš, 1975, 1989; Straume, 1979; Raukas *et al.*, 1995; Punkari, 1997; Boulton *et al.*, 2001; Zelčs, Markots, 2004) and shown in Chapter 4.4 of this thesis, the most significant palaeogeographical indicator is the location of the plateau-like hill areas in relation to the ice convergence (interlobate or intertongue) zones at the start of the decaying of the Last Fennoscandian ice and change of this superposition later, during subsequent oscillation and recession phases of the glacier margin.

The results of the luminescence age determination of the sandy material from the core of the glaciotectionic structure composing of the Brežgakalns composite hill of the primary massif (next to the Skujene plateau-like hill area) suggest that it has been deposited during the Late Saalian time (125 ± 24 OSL kyrs BP, Hel-TL04174). According to Zelčs *et al.* (*in press*) in other places subglacially disturbed OSL determinations give ages of about 59 ± 10 OSL kyrs BP (Hel-TL04178), and from 19.6 ± 1.0 OSL kyrs BP until 26.8 ± 1.1 OSL kyrs BP (Raukas *et al.*, 2010). Lake sediments occurring below the Late Weichselian basal till in the Vidzeme and Latgale uplands indicate age of 30.00 and 40.34 TL kyrs BP (Meirons, 1992). Therefore it can be tentatively assumed that waterlain sediments of the glaciotectionic base of the plateau-like hills have also been deposited in very different time – beginning with the Late Saalian glaciation until to transgression of the Last Weichselian ice sheet.

5.2. The formation conditions of the plateau-like hills

As regards the genesis of the plateau-like hills and their place in the paragenetic set of the glacial landforms, there are several, even opposite views (Tatarnhikov, 1985; Bitinas, 1990, 1994; Straume, 1979; Āboltiņš, 1989; Āboltiņš, Markots, 1995, 1998b). The most substantial contribution in solving the problem of formation of the plateau-like hill is done by Bitinas (1990; 1994). A possible reason for this is the fact that the studies of different glacial landforms are based on the different content, credibility and interpretation of information about their internal composition and its application in the interpretations of the origin of plateau-like hills.

As it was noted by Bitinas (1990) all of the hypotheses describing the origin of *zvonets* contain a series of controversial elements because the formation of the foundation (as interpreted in this research – glaciotectionic base – *author's note*) in the pot-holes of stagnant ice and its crevasses is unlikely, particularly,

considering the dimensions of *zvonets*, which reach several tens of square kilometers, as well as the thickness of the glacier in its marginal zone during the stage when it become still.

Bitinas (*ibid.*, p. 22) particularly emphasised that to resolve the genesis of plateau-like hills one should take into account the fact that these landforms were situated not simply in the marginal zone of the Last Fennoscandian ice sheet but in the corner massifs of the ice divide (according to the terminology used by the author of this work – interlobate or ice convergence) zones. Bitinas concluded (*ibid.*, p. 24), that formation of the plateau-like hills took place not only during the deglaciation period of one tongue or lobe but it was a result of much more complicated processes. He promoted idea (1990) about the formation of the plateau-like hills as a multi-stage process, and distinguished six successive stages in the formation of the *zvonets*, that included initial ice recession, subsequent activation and final stagnation.

A great importance in the location and origin of the plateau-like hills Bitinas (1990) allocated to the till base (plinth) and the flat-topped glaciolimnic sediments. A palaeogeographical situation and the sequence of events described by him (*ibid.*) are also very possible under certain conditions. However, as pointed out by Z. Meirons *et al.* (1976); Straume (1979), there is no a palaeogeographical and glaciolithomorphological evidence about the the ice margin retreat and repeated advance in the course of the deglaciation of the insular accumulative-glaciostructural uplands in Latvia. In contrast to Lithuania, the territory of Latvia was situated in the inner zone of the peripheral cover of the Fenoscandian ice sheet where the deglaciation processes took place relatively later and determined a number of specific lithomorphogenetic peculiarities (Āboltiņš, Zelčs, 1988; Āboltiņš, 1989). Therefore, without declining the *zvonets* formation model developed by A. Bitinas (Bitinas, 1990), and on the results of the current research which reveals differences in the palaeoglaciological and hypsometric distribution, as well as the arrangement, and particularly in the composition of the base of the plateau-like hills, there are discussions going on concerning the formation conditions of the plateau-like hills in Latvia. It should be stressed that in Latvia the plateau-like hills are located not only in the interlobe or intertongue territory but also in the marginal zone of the glacier tongues separated by the ridges of the primary massifs in a distal and a lateral directions. In these areas the separate composite hills of the primary massifs and their ridges occupy a hypsometrically higher level producing similarity with the the final stages of the formation of the plateau-like hills described by A. Bitinas (1990), and yet creating preconditions for the meltwater ponding without repeated advancement of the ice margin.

The spatial arrangement of the plateau-like hills, the morphological asymmetry and composition of the glaciostructures point at least to two phenomena connected with the genesis of the plateau-like hills. First of all, the asymmetric glaciotectionic folds composing the glaciotectionic base which planes are directed perpendicularly to the ice flow direction have been formed under the condition of the unilateral compressive ice flow (Markots, *in press*). Secondly, the formation of the recessional type imbricate scale complexes that comprise the glacier bed sediments and locate on the downglacier flanks of the glaciotectionic folds suggest the gradual calming down of ice mass activity (Fig. 8.).

The morphological data show that the structures of the glaciotectionic base have formed in a glacier bed which surface lowers upglacier. According to O. Āboltniš (1975), damping of the ice masses should increase the basal till accumulation, and, finally, would cause coupling of the glacier with its bed. When the effective pressure reached its maximum in the bed-glacier interface, deformation of the bed sediments started (Boulton, 1986). Yet before that, during the active ice mass advance basal sliding and formation of senglacial meltwater dominated in the glacier bed depressions under the conditions of a polythermal ice.

Already in 1981 A. Iken (Iken, 1981) concluded, that in cases when the surface of the glacier bed was inclined against the glacier and it was enough rough, this, alongside with the decrease in the thickness of the ice, promoted the meltwater storage in the bed and an increase in the kriostatic pressure in it. The subglacial water could accumulate in places where the sites with a low hydraulic potential to be adjacent on the sites with a relatively high hydraulic potential (Bennett, Glasser, 1996). The difference in the hydraulic gradients will cause the flow of water from the sites of a high hydraulic potential to the sites of a low hydraulic potential. Most likely that with the formation of the glaciotectionic folds or imbricate scales the subglacial waters escaped above these glaciostructures. Because of the reduced thickness and weaker dynamic impact there appeared places of low hydraulic potential over them, particularly in their distal part. The development of the imbricate scales and related to them faults enhanced the difference in gradients of the hydraulic pressure between the spots of a high and a low hydraulic potentials. As a result of this, the erosion capacity of the meltwater increased, which caused rapid broadening of the crevices created by faulting and dewatering of the glacier bed. Under the influence of erosion the glacier bed sediments were eroded and transported along the perpendicular lines of the equipotential to lakes that gradually appeared on the surface of the glacier.

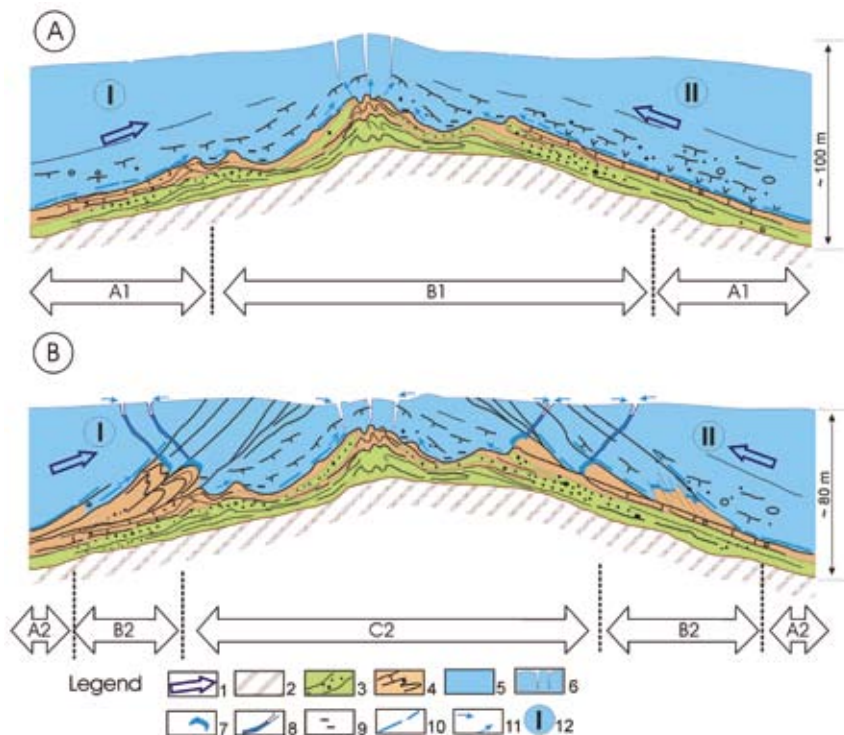


Figure 8. **A principal scheme of the thermal conditions of the glacial bed, character of the ice flow and the dominating processes at the ice-bed interface: A – during the formation of the primary massif hills; B – during the formation of plateau-like hills. The vertical exaggeration 1:20.**

Legend: 1 – Direction of the ice flow; 2 – pre-Weichselian sediments; 3 – glacioaquatic sediments; 4 – the glacial sediments of the Scandinavian ice sheet; 5 – ice; 6 – crevassed ice; 7 – subglacial meltwater; 8 – potholes and moulins; 9 – zone of repeated freezing; 10 – storage of the meltwater; 11 – subglacial water flow direction; 12 – ice tongues I and II.

The thermal conditions of the glacier-bed contact zone: Fig. A: A1 – wet bed; B1 – a freezing bed; Fig. B: A2 – a thawed bed; B2 – a freezing bed; C2 – a frozen bed. *The character of the ice flow:* Fig. A: A1 – basal sliding in combination with the internal creep; B1 – internal creep with sporadic basal sliding and bed deformation; Fig. B: A2 – basal sliding in combination with the internal creep; B2 – internal creep with sporadic basal sliding and bed deformation; C2 – internal creep. *The dominating processes in the glacier bed:* Fig. A: A1 – accretion of the basal till; B1 – deformation of the bed sediments by disintegrating of the

continuous till sheet; Fig. B: A2 – deposition of the basal till; B2 – deformation of the bed sediments by disintegrating the continuous till sheet; C2 – coupling of the glacier with its bed.

As it is accented by J. Menzies (2002b, p.112), the imprint of subglacial hydraulic system is unquestionably one of the most important features of any glaciated landscape. He particularly stresses that “lying as it does at the interface between the glacier and its bed, the subglacial system is capable of moving vast quantities of sediment, of cutting down into bedrock, and already existing deposited sediment, and thus imparting a critical influence under glaciodynamics that ultimately dictate geomorphologic “effect” of glaciations (*ibid.*, p.112). J. Menzies (2002b) pointed out that in glaciers with subpolar thermal conditions subglacial hydraulic systems may exist in limited areas of the subglacial bed, but this can be attributed as well to all those cases where zones of variable thermal conditions of warm and cold-based beds are common. Wherever polythermal conditions appeared, it was possible that there could exist a discontinuous, changeable and limited subglacial system which might spatially disappear with time. Principal basal stress conditions varied according to position beneath the ice mass and distance from the ice front or over significant topographic highs and lows on the bed (*ibid.*, p.113). Where no direct connection existed to the outside atmosphere, it could be expected that meltwater would be under hydrostatic pressure equal to the ice overburden pressure.

Formation of the subglacial bed occurred in a dynamically changing conditions, where the topography of the subglacial bed promoted storage of the subglacial waters (Fig. 8). It was the border zone of deformation and stable spots where the greatest stresses existed in the body of the glacier causing the formation of thrusts. During the thrusting the gradient of the hydrostatic pressure sharply diminished and as a result a fast flow of the subglacial water arose along the thrusting planes. The internal composition of the individual overthrust scales shows that they consist of two layers characterised by different water permeability. The lower part of the scale is built-up from the sandy material overlaid by a basal till that forms the upper part. In its turn, the sandy material of the basal part of the uppermost overthrust lies on flank of the fold or on the upper till bed of an older scale, and dips against ice flow direction. Under such circumstances, according to J. Menzies (2002b, p.115), a limited flow of the subglacial meltwater may arise and move towards low pressure via advective means.

There is no doubt that a fact gives evidence in favour of the relevant role of the hydraulic flow of the subglacial meltwater in the deposition of a glaciolacustrine sediments capping the glaciotectonic base (plinth) of the plateau-like hills. In the case of continental ice sheets the glacier bed and the

basal ice layers are the most significant source of the drift while the englacial and supraglacial layers contain debris in dispersed form or represent layers of almost pure ice (Drewry, 1986). As many authors remark, e.g. I. Danilāns (1973), V. Kuršs and A. Stinkule (1969), the basal till laid down in the glacier bed and basal ice interface is an important source of glaciolimnic sediments in Latvia. According to the investigations conducted by I. Danilans (1973), up to 90% of the volume-weight of the till consist of fine-grained fractions ($\varnothing < 2$ mm), but the content of the characteristic silt and clay fractions which form the glaciolimnic covering of the plateau-like hills in it is respectively 10–30% and 15–30%. In spite of the presented considerations, more profound studies of the role of the hydraulic system of the subglacial waters and its dynamics are necessary within the context of the changing topography caused by glacial processes, including the possible impact of the subglacial hydraulic system upon the development of gully-like forms on the surface of the plateau-like hills.

CONCLUSIONS

The results of this study yield several main conclusions about the distribution, spatial arrangement, morphology, internal composition and palaeogeographic location of the plateau-like hills in relation to the main ice lobes and ice tongues, and their convergence zones. They form also the basis for the conclusions about the genesis of the plateau-like hills in the territory of insular accumulative glaciostructural uplands.

The location of the plateau-like hills in relation to the mesoform types and their complexes of the adjoining insular accumulative glaciostructural uplands allow to draw deep-in understanding on dynamics of the glacial landforming processes and the changes of the environment in the time when plateau-like hills formed.

The GIS based database contains 354 plateau-like hills. The GIS tools of spatial and statistical analysis are enabled to find criteria for the determination of the plateau-like hills and border of their areas. This can also be used to clarify the territorial link between the plateau-like hill areas and the thickness of the Weichselian sediments. As a rule, the occurrence of the plateau-like hills and composite hills of glacial primary massifs marks the localities with increased thickness of the Late Pleistocene glacial sediments in the insular accumulative uplands. However, in the Alūksne and Latgale uplands in comparison to the Vidzeme upland an average thickness of the Late Pleistocene sediment cover is relatively thinner.

The study results on the arrangement peculiarities of the plateau-like hills, the composition and age of the glaciotectionic base-forming deposits and their capping glaciolacustrine sediments make possible a more convincing and credible argumentation about the morphogenesis of these landforms. Unfortunately the detailed studies of the internal composition of the plateau-like hills are restricted of their impressive dimensions, as well as peculiarities of their composition. There are very few mining sites of the mineral deposits associated with them at present. This has further implications that need to be proved knowledge on interpretation of the age and genesis of the Pleistocene sediments, and structural geology of the built-up them glaciotectionic structures. Such in-depth studies can give more conclusive evidences on the conditions of their time transgressive formation.

Although the results obtained in this dissertation leave open the possibility of the sediment deposition in supraglacial basins within the border of the stagnant ice fields, they rather suggest the model of the meltwater clayey and silty sediments accumulation in the subglacial meltwater escape zones. Such

subglacial meltwater discharge zones could be related to the fault surfaces of the imbricate scale and megablock structures produced in the migrating transitional zone between active and passive ice. Here, due to the development of subglacial pot-holes and subsequent formation of the crevasses in front of glaciotectionic obstacles in a glacier bed, and because of the different gradients of the hydrostatic and hydrodynamic pressure, the subglacial meltwaters flew away transporting also them eroded material to glacier surface. The meltwater erosinal activity and solar radiation enhanced widening of the crevasses and the appearance of much broader irrigated areas in the zones of ice lobes and ice tongues. Lessening of the thickness of the glacier and its coming to a standstill determined reduction of the hydrostatic pressure of the subglacial waters and discharge, gradual regressive migration of the active-passive ice transition zone in a proximal direction and lowering of the lines of the equipotential surface.

The results of the research confirm the working hypothesis about the formation of the plateau-like hills as a multi-stage process acknowledging at the same time that the aim of the present research has been reached and the chief advanced tasks fulfilled.

There is no doubt that the distribution areas of the plateau-like hills promote through the morphology of their landforms and the style of sedimentation a variety of landscapes and a biological variety, and determine also the land use of the territory both in antiquity and in our days. The same factors have determined the origin of a wide network of the gully erosion creating additional risks for the use of the territory. At the same time gullies are one of very certain features for the landform identification since they witness the presence of glaciolimnic sediments in the upper part of the hills. These circumstances point to the necessity to continue the study of the plateau-like hills as complexes of the geographical environment including a much wider profile of land and environment specialists.

ACKNOWLEDGEMENTS

The thesis has been developed with a financial support of the ESF project “Support of Doctoral Studies at the University of Latvia”, No. 2009/0138/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/004, LU registration No. ESS2009/77. Dating of the sediments was carried out with a support of the LSC research project No. 09.1420 “Modification of the glacier bed created by the glacial melting waters in the marginal zone of a polythermal glacier in the Latvian part of the south-eastern sector of the Fennoscandian ice sheet”. The author thanks Professor, Dr. Geol. Vitālijs Zelčs, the leader of the promotion work, for his great contribution, support and advice during the writing of my thesis, very useful recommendations how to prepare scientific articles, as well as for the support and assistance in doing the field research. I express my gratitude to *SIA Envirotech* for the possibility to use the *ArcGIS* 9.3. special licence to support doctoral studies for the analysis of spatial data in the GIS environment. Great acknowledgement goes to Jānis Jātnieks for his contribution and unordinary solutions in the process of setting up a spatial database and service in the browser of maps at the Faculty of Geography and Earth Sciences, University of Latvia. Author is grateful to Dr. Tomas Saks for correcting the English wording of the thesis. The author conveys his thanks to the State Company with limited liability “The Latvian Centre of Environment, Geology and Meteorology” for the widest access to the materials of the Geology Funds. Special gratitude goes to Ojārs Aboltniš, LU Professor Emeritus and Scientist Emeritus, Dr. Habil. Geol. for his support, ideas and schooling in the research of glacial formations and cooperation in the joint field investigations.

REFERENCES

- Aber, J.S., Croot, D.G., Fenton, M.M., 1989. *Glaciotectonic Landforms and Structures. Glaciology and Quaternary Geology*. Kluwer Academic Publishers, London, 200 pp.
- Āboltniš, O., 1972. K voprosu o formirovaniji ostrovovidnih vozvishennostei. *Grām. Lhednhikovij morfogenhez*. Zinātne, Rīga, s. 51–61. (in Russian).
- Āboltniš, O., 1975. Glaciodynamiceskiye osobennosti formirovanhija vozvishennostei Latviji. *Grām. Voprosi chetvertichnoy geologii*, s. 8. Zvaigzne, Rīga, s. 5–23. (in Russian).
- Āboltniš, O., 1989. Glaciostruktura i lhednikovij morfogenhez. Zinatne, Riga, 286 s (in Russian).
- Āboltniš, O., Markots, A., 1995. Skujene plateau-like hills area. In Schirmer, W. (ed.), *INQUA 1995. Quaternary field trips in Central Europe, 1. C–3 Baltic Traverse*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munchen, pp. 161–162.
- Āboltniš, O., Zelčs, V., 1988. Litomorfogenhez vnutrenney zony drevnhelhednhikovoy oblasti (na primere issledovaniy v Latvii). *Grām. Purin, V., Zvejnieks, R. (eds.), Razvitiye geograficheskoy mysli v Sovetskoy Latvii*. Latviyskiy Gosudarstveniy Universitet, Riga, s. 103–126. (in Russian).
- Āboltniš, O., Asejev, A., Vonsavičus, V., Isačenkov, I., Mozhajev, B., Raukas A., 1988. *Ostrovnije vozvishennosti kak osobim obrazom organhizovannije geologicheskiye objekti*. AN ESSR, Tallinn, 56 s (in Russian).
- Āboltniš, O., Asejev, A., Vonsavičus, V., Isačenkov, V., Možajev, V., Raukas, A., 1989. Formirovanije i osvojenije lednikovih akumulativnih ostrovnih vozvisennostei. *Izvestija AN ESSR, Tallinn*, s. 32–45. (in Russian).
- Āboltniš, O., Danilāns, I., Ilyin, E.A., Isachenkov V.A., Karukapp, R., Raukas, A., Faustova, M. A., 1977a. The structure of the principal ice shed zones. In Chebotareva, N. S. (ed.), *The structure and dynamics of the last ice sheet of Europe*, Nauka, Moscow, s. 101–112. (in Russian).
- Āboltniš, O., Isachenkov V.A., Faustova, M.A., Chebotareva N.S., 1977b. The Chudskoye ice stream. In Chebotareva, N.S. (ed.), *The structure and dynamics of the last ice sheet of Europe*, Nauka, Moscow, s. 44–54. (in Russian).
- Āboltniš, O., Isachenkov, V., Karukjapp, R., Raukas, A., Faustova, M., 1977c. Strojehije glavnih lhedorazdelhnih zon. *Grām. Strojehije i dinamika poslednhego lhednhikovogo pokrova Evropi. K X kongessu INQUA (Velhikobritanhija, 1977)*. Nauka, M., s. 191–112. (in Russian).
- Āboltniš, O., Markots, A., Strautnieks, I., 1995. Smetes hills primary massif. In Schirmer, W. (ed.), *INQUA 1995. Quaternary field trips in Central Europe, 1. C–3 Baltic Traverse*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munchen, p. 161.
- Āboltniš, O., Mikalauskas, A., Raukas, A., 1974. Morphogenetic classification of extramarginal glacioaquatic formations based on investigation in the Baltic

- States. In Biske, G., Mikalauskas, A. (eds.), *Predfrontalnye krayevye lednikovye obrazovaniya*, Mintis, Vilnius, s. 25–31. (in Russian).
- Āboltniš, O., Veinbergs, J., Danilāns, I., Meirons, Z., Straume, J., Eberhards, G., Juškevičs, V., Jaunputniņš, A., 1972. Osnovnije cherti lednhikovogo morfogeneza i osobennosti deghlaciaciji poslhednego lhednikovogo pokrova na teritoriji Latviji. *Grām. Putevoditelh polhevoogo simpoziuma IV vsesojuznogo mezhved. soveshch. po izucheniju krayevih obrazovaniy materikovikh oledenieniy*. Zinātne, Rīga, s. 3–16. (in Russian).
- Alley, R.B. 1991. Deforming – bed origin for Laurentide till sheets. In *Journal of Glaciology*, 37, 67–76.
- Alley, R.B. 1993. In search of ice stream sticky spots. In *Journal of Glaciology*, 39, 447–454.
- Ansbergs, N., Rinks, E., Selicka, J., 1955. *Vazhnheishije chetvertichnije glhini Latvijaskoi SSR*. LPSR ZA izd., Rīga, 47 s (in Russian).
- Bennett, M.R., Glasser, N.F., 1996. *Glacial geology: ice sheets and landforms*. Wiley, Chichester. 376 p.
- Benn, D.I., Evans, D.J.A., 1996. The interpretations and classification of subglacially deformed materials. In *Quaternary Science Reviews* 15, pp. 23–52.
- Benn, D.I., Evans, D.J.A., 1998. *Glaciers and Glaciation*. Arnold, London, 734 pp.
- Bitinas, A., 1990. Problhemi fizicheskoi i landshaftnoi geografii. K teorii obrazovanhija form lhednhikovogo rheljefa. *Grām. Naucnije trudi vissih uchebnih zavedenij Litovskoy SSR. Geografija*. Nr. 26. s. 19–32. (in Russian).
- Bitinas, A., 1994. Peculiarities of formation of flat glaciolacustrine hills. *Grām. Coleman, R.G., Juvigne, E.H. (red.), Proceedings of the 29th International Geological Congress: Reconstruction of the Paleo-Asian Ocean*. Part B. VSP, Tokyo, pp. 193–199.
- Boulton, G.S., 1986. A paradigm shift in glaciology? *Nature* 322, p. 18.
- Boulton, G. S., Dongelmans, P., Punkari, M., Broadgate, M., 2001. Palaeoglaciology of an ice sheet through a glacial cycle: the European ice sheet through the Weichselian. *Quaternary Science Reviews*, 20, 591–625.
- Danilāns, I., 1965. Nekotoriji osobennosti deghlaciaciji i lednikovogo morfogeneza na teritoriji Latviji. *Grām. Basalikas, A. (red.), Krajevije obrazovanhija materikovogo olhedenhenija*. Mintis, Viļņa, s. 65–72. (in Russian).
- Drewry, D., 1986. *Glacial geologic processes*. Edward Arnold, 276 pp.
- Eberhards, G., 1977. *Glaciālā geomorfoloģija*. P. Stučkas LVU, Rīga, lpp. 56–60.
- Ginters, G., 1984. Osobennosti i raschlhenhenhije moren Vidzemskey vozvishennosti. *Grām. Paleogeografija i stratigrafija chetvertichnogo perioda Pribaltiki i sopredehlnih rajonov*. Vilnius, s. 68–73. (in Russian).
- Gravenor, C.P., 1955. The origin and significance of prarie mounds. *American Journal of Science*, 253, 475–481.
- Grīne, I., Zelčs, V., 1997. Latviešu-angļu-vācu-krievu ilustratīvā ģeomorfoloģijas vārdnīca. P&K, Rīga, 210 lpp.

- Guobyste R., 2004. A brief outline of the Quaternary of Lithuania and the history of its investigation. In Ehlers, J., Gibbard, P.L. (eds.), *Quaternary Glaciations – Extent and Chronology, Part I: Europe*. Elsevier, Amsterdam, pp. 245–250.
- Guobytė, R., 2007b. Stop 3. The Medvegalis mound: plateau-like hills of the Samogitian Upland. In Guobytė, R., Stančikaite, M. (eds.), *The Quaternary of Western Lithuania: from the Pleistocene glaciations to the evolution of the Baltic Sea: Excursion guide: The INQUA Peribaltic Group Field Symposium*. LGT, Vilnius, pp. 24.
- Hoppe, G., 1952. Hummocky moraine regions with special reference to the interior of Norrbotten, *Geografiska Annaler*, 34, 1–2, 1–72.
- Iken, A., 1981. The effect of the subglacial water pressure on the sliding velocity of a glacier in an idealized numerical model. *Journal of Glaciology*, Vol. 27, No. 97, p. 07–21.
- Isachenkov, V., Tatarhnikov, O., 1972. “Ostrovniye” vozvishennosti severo-zapada Russkoi ravnini, jih polozhenije v sisteme krajevih obrazovanhij Valdaiskogo lhednhika. *Grām. Lhednhikovij morfogenhez*. Zinatne, Riga, s. 63–78. (in Russian).
- Jaunputniņš, A., 1975. Reljefs. *Grām. Pūriņš, V. (red.), Latvijas PSR ģeogrāfija*. Otrais papild. izd., Zinātne, Riga, lpp. 32–45.
- Juškevičs, V., 2000. Kvartāra nogulumi. Krāj. Āboltiņš, O., Kuršs, V. (red.), *Latvijas ģeoloģiskā karte, Mērogs 1:200 000*, 43. lapa – Rīga, 53. lapa – Ainaži; *paskaidrojuma teksts un kartes*. VĢD, Rīga, lpp. 10–31.
- Juškevičs, V., Skrebels J., 2002. Kvartāra nogulumu karte. Krāj. Āboltiņš, O., Brangulis, A.J. (red.), *Latvijas ģeoloģiskā karte, Mērogs 1:200 000*, 44. – 45. – 54. lapa – Alūksne – Viļaka- Valka; *paskaidrojuma teksts un kartes*. VĢD, Rīga, 1 l.
- Juškevičs, V., Skrebels, J., 2003. Kvartāra nogulumi. Krāj. Āboltiņš, O., Brangulis, A.J. (red.), *Latvijas ģeoloģiskā karte, Mērogs 1:200 000*, 34. lapa – Jēkabpils, 24. lapa – Daugavpils; *paskaidrojuma teksts un kartes*. VĢD, Rīga, lpp. 10–28.
- Kalm, V., 2006. Pleistocene chronostratigraphy in Estonia, southeastern sector of the Scandinavian glaciations. In *Quaternary Science Reviews*, 25, 960–975.
- Karabanov, A.K., Matveyev, A.V., Pavlovskaya, I.E., 2004. The main glacial limits in Belarus. In Ehlers, J., Gibbard, P.L. (eds.), *Quaternary Glaciations – Extent and Chronology, Part I: Europe*. Elsevier, Amsterdam, pp. 15–18.
- Kur s, V., Stinkule A., 1969. O raznovidnostjah lhentochnhoi sloistosti v lhimnoglacialhnih glhinah Latvii. *Grām. Voprosi chetvertichnoj geologii*, s. 4. Zinatne, Riga, s. 83–100. (in Russian).
- Lazdāne, A., 1959. Vidzemes Centrālās augstienes ģeomorfoloģisks apskats. *Grām. Zinātniskie raksti*; XXVII sēj. LVU, Riga, lpp. 119–161.
- Lhevkov, E.A., 1980. *Ghaciotehtonika*. Nauka i tehnika, Minsk, 278 s (in Russian).
- Malahovskiy, D., Vigdorchik, M., 1963. Nekotorije formi lhednikovogo akkumulhativnogo relhjeja na severo-zapade Russkoi ravnini. *Grām. Krajevije formi relhjeja materikovogo oledenhenhija na Russkoi ravnine*. Izv. AN SSSR, Moskva, s. 47–63. (in Russian).

- Markots, A., Āboltniņš, O., 1998a. STOP 7 and 8. Morphology and internal structure of Smetes composite hills. In Zelčs, V. (ed.), *Field Symposium on Glacial Processes and Quaternary Environment in Latvia, Excursion guide*. Riga. pp. 51–57.
- Markots, A., Āboltniņš, O., 1998b. STOP 9. Morphology and internal structure of plateau-like hills at Skujene. In *Field Symposium on Glacial Processes and Quaternary Environment in Latvia*, Excursion guide. University of Latvia, Riga, pp. 57–62.
- Markots, A., *in review*. Distribution, spatial arrangement and internal composition of plateau-like hills in insular accumulative-glaciostructural uplands of Latvia. In *Eiszeitalter und Gegenwart – Quaternary Science Journal (E&G)*, 12 pp.
- Markots A., 2010. Distribution, spatial arrangement and internal composition of plateau-like hills in insular accumulative-glaciostructural uplands of Latvia. In Lorenz, S. (ed.), *Gletscher, Wasseer, Mensch – Quartären Landschaftswandel in Peribaltischen Raum*; Conference Proceedings, Greifswald, pp. 126–127.
- Marks, L., 2004. Pleistocene glacial limits in Poland. In Ehlers, J., Gibbard, P.L. (eds.), *Quaternary Glaciations - Extent and Chronology*, Part I: Europe. Elsevier, Amsterdam, pp. 295–300.
- Meirons, Z., 1975. Relhjeif Latgalhskoj vozvishennosti i sopredelnhnih rayonov Vostocno-Latvijskoj nhizmennosti. *Grām. Danilāns, I. (ed.), Voprosi cetvertichnoj geologii*, v. 8. Zinātne, Rīga, s. 48–82. (*in Russian*).
- Meirons, Z., Straume, J., Juškevičs, V., 1974. Harakteristika podcervertičnoi poverhnosti Latviji i nekotorije voprosi formirovaņija pogrebennih donin. *Grām. Danilāns, I. (red.), Voprosi cetverticnoi geologii*, s. 7. Zinatne, Riga, s. 9–21. (*in Russian*).
- Meirons, Z., Juškevics, V., 1984. Quaternary deposits. In Misans, J., Brangulis, A., Straume, J. (eds), *Geologija Latviyskoi SSR*, (Explanatory text with geological maps on scale of 1:500,000. Zinatne, Riga, s. 89–122. (*in Russian*).
- Meirons, Z., 1986. Stratigrafija pleistocenovih otlozhenhij Latvii. In Kondratene, O., Mikalauskas, A. (eds.), *Issledovaniya lednikovvykh obrazovaniy Pribaltiki*, Vilnius, pp. 69–81. (*in Russian*)
- Meirons, Z., 1992. Stratigraficheskaja shema pleistocenovih otlozhenhij Latvii. *Grām. Veinbergs, I., Danilāns, I., Sorokin, V., Ulst, R. (eds.), Paleogeografiya i stratigrafija fanerozoya Latvii i Balstiyskogo morya*, Zinatne, Riga, s. 84–98. (*in Russian*).
- Menzies, J., 2002a. Ice flow and hydrology. In Menzies, J. (ed.), *Modern and past glacial environments*. Butterworth Heinemann, pp. 79–130.
- Menzies, J., 2002b. *Modern and Past Glacial Environments*. Butterworth-Heinemann, 576 pp.
- Morawski, W., 2005. Reconstruction of ice sheet movement from the orientation of glacial morpholineaments (crevasse landforms): an example from northeastern Poland. In *Geological Quarterly*, 49 (4), Warszawa, pp. 403–416.

- Mūrnieks, A., 2002. *Pirmskvartāra nogulumi. Krāj. Āboltiņš, O., Brangulis, A.J. (red.), Latvijas ģeoloģiskā karte, Mērogs 1:200 000, 44. – 45. – 54. lapa – Alūksne – Viļaka- Valka; paskaidrojuma teksts un kartes. VĢD, Rīga, lpp. 5–9.*
- Niewiarowski, W., 1963. Types of Kames occurring with in the area of the last glaciation in Poland as compared with Kames from other regions. *In Rep. of the 6th Intern. Congr. Quat., III. Warsaw, Lodz, pp. 475–485.*
- Niewiarowski, W., 1965. Kemy i formy pokrewne w Danii oraz romieszczenie obszarow kemowych na terenie ostatniego zlodowacenia. *In Zeszyty Naukowe UMK. Geografia IV. Torun, 117 p.*
- Par Eiropas ainavu konvenciju. LR likums, 2007. Latvijas Vēstnesis, 18.04.2007. Nr. 63 (3639).
- Prest, V.K., 1975. Nomenclature of moraines and ice-flow features as applied to the glacial map of Canada. Ottawa. p. 27.
- Punkari, M., 1997. Subglacial processes of the Scandinavian Ice Sheet in Fennoscandia inferred from flow-parallel features and lithostratigraphy. *In Sedimentary Geology, 111, pp. 263–283.*
- Ramans, K., 1975. Latvijas PSR. Fiziski ģeogrāfisko rajonu apskats. Teritoriālie dabas kompleksi un fiziski ģeogrāfiskā rajonēšana. Viduslatvija. Grām. Pūriņš, V. (red.), *Latvijas PSR ģeogrāfija. Otrais papild. izd. Zinātne, Rīga, lpp. 164–199.*
- Raukas, A., 1978. *Pleistocenovije otlozhenija Estonskoi SSR. Valgus, Tallin, 310 p.*
- Raukas, A., Karukäpp, R., 1979. Eesti llustikutekkeliste akumulatiivsete saarkorgustike ehitus ja kujunemine. Grām. Eesti NSV saarkorgustige ja järvenogude kujunemine. Valgus, Tallin, p. 6–26. (Summary in Russian).
- Raukas, A., Āboltiņš, O., Gaigalas, A., 1995. Deglaciation of the territory. *In Schirmer W. (ed.): Quaternary field trips in Central Europe 1, Verlag Friedrich Pfeil, München, pp. 148–151.*
- Raukas, A., Kalm, V., Karukäpp, R., Rattas, M., 2004. Pleistocene Glaciations in Estonia. *In Ehlers, J., Gibbard, P.L. (eds.), Quaternary Glaciations - Extent and Chronology, Part I: Europe. Elsevier, Amsterdam, pp. 83–91.*
- Rinterknecht, V.R., Clark, P.U., Raisbeck, G.M., Yiou, F., Bitinas, A., Brook, E J., Marks, L., Zelčs, V., Lunkka, J.-P., Pavlovskaya, I.E., Piotrowski, J.A., Raukas, A., 2006. The Last Deglaciation of the Southeastern Sector of the Scandinavian Ice Sheet. *Science 10 March 2006: Vol. 311. no. 5766, pp. 1449–1452.*
- Serebrjannij, L.R., 1978. *Dinamika pokrovnogo olhedenhenhija i glhacioevstazija v pozdnechetvertichnoje vremja. Nauka, Moskva, 271 s (in Russian).*
- Sietinsone, L., 2006. Latvijas pilskalnu datubāzes izveide un telpiskā izvietojuma analīze ģeogrāfisko informāciju sistēmu vidē. Grām. Latvijas universitātes raksti, Zemes un vides zinātnes. Pilskalni Latvijas ainavā. LU, Rīga, lpp. 41–56.
- Stalker, A.M., 1960. Ice – pressed drift forms and associated deposits. *Geol. Surv. Canada., Bull. 57, p 38.*
- Stinkule, A., 1977. Ghlini. Grām. Stinkule, A. (otv. red.), Minheralhnoje sirjo Latviji dlha promishlhennosti stroitelhnih materialov. Zinātne, Rīga, s. 57–75. (in Russian).

- Straume, J., 1979. Sovremennij reljef Latvii. *Grām. Geologicheskoe strojenije i polheznije iskopajemije Latvii*. Zinātne, Rīga, s. 326–329.; 359–364. (in Russian).
- Strautnieks, I., 1988. *Austrumkursas augstienes glacigēnais reljefs un tā ģenēze*. Promocijas darba kopsavilkums. Latvijas Universitāte, Rīga, 55 lpp.
- Slater, G., 1929. Quaternary period. In *Handbook of the Geology of Great Britain*. London, pp. 457–498, 503–510.
- Vanaga, A., 1970. O morfoloģij i nhektorih osobennostjah razvitija relhjea Aluksnenskoj vozvishennosti. *Grām. Voprosi chetvertichnoj geologii*, s. 4. Zinātne, Rīga, s. 77–94. (in Russian).
- Velichko, A.A., Faustova, M.A., Gribchenko, Y.N., Pisareva, V.V., Sudakova, N.G., 2004. Glaciations of the East European Plain – distribution and chronology. In Ehlers, J., Gibbard, P.L. (eds.), *Quaternary Glaciations – Extent and Chronology, Part I: Europe*. Elsevier, Amsterdam, pp. 337–354.
- Viiding, H., Gaigalas, A., Gudelis, V., Raukas, A., Tarvidas, R., 1971. *Crystalline indicator boulders in the East Baltic area*, Mintis, Vilnius, 95 s (in Russian).
- Zāns, V., 1936. Leduslaikmets un pēcduslaikmets Latvijā. *Grām. Malta, N., Galenieks, P., (red.), Latvijas, zeme, daba un tauta, I*. Valters un Rapa, Rīga, lpp. 49–127.
- Zelčs, V., 1987. Raznovidnosti glhaciadislokacij i ih relhjefoobrazujushchaja rolh v predelah glhaciodepressionnih nhizmennostei Latvii. T107-11a88. LVU, Rīga. 35 s (in Russian).
- Zelčs, V., Šteins, V., 1989. Latvijas daba un fiziogeogrāfiskie rajoni. *Zinātne un Tehnika*, Rīga, Nr. 7.
- Zelcs, V., Dreimanis, A., 1997. Morphology, internal structure and genesis of the Burtnieks drumlin field. In *Sedimentary Geology*, 111 (1–4), pp. 73–90.
- Zelčs V., Markots A., 1999. *Ģeoloģiskās informācijas izmantošana teritorijas attīstības plānošanā*. Rīga, Valsts ģeoloģijas dienests. 123 lpp.
- Zelčs V., Markots A., 1999. *Derīgie izrakteņi. Nozares pārskats. Rajonu plānošana Latvijā. Kuldīgas rajons kā piemērs*. Jumava, Rīga. 87 lpp.
- Zelčs, V., Markots, A., 2004. Deglaciation History of Latvia. In Ehlers, J., Gibbard, P.L. (eds.), *Quaternary Glaciations – Extent and Chronology, Part I: Europe*. Elsevier, Amsterdam, pp. 225–243.
- Zelčs, V., Markots, A., Nartišs M., Saks. T., 2010. Pleistocene glaciations in Latvia. In Ehlers, J., Gibbard, P., Hughes, P. (eds.), *Quaternary Glaciations – Extent and Chronology. Part IV: A closer look*. Elsevier, 21 pp. (in preparation).

Unpublised materials

- Aleksāns, O., Ginters, G., Vilcāns, J., Kozļinskis, S., Mazajeva, T., Seļivanovs, I., Stiebrīņa, L., Šķiņķis, P., 1988. *Otchet o rezulhtatah kompleksnoi gidrogeologicheskoi i inženerno-geologicheskoi sjemki so sjemkoi chetvertichnih otlozhenhij masshtaba 1:50 000 dlha celhei melhiorativnogo stroitelstva v predelah listov O-35-90-*

- A,B,V,G; O-35-91-A,B,V,G; O-35-92-A,V, (*Alūksne*) 1985.-1988. g.g. Rīga, 1. grām. 164 lpp. (VĢF Inv. Nr. 10580), (*in Russian*).
- Aleksāns, O., Ginters, G., Juškevičs, V., 1991. Rezultati kompleksnoj gidrogeologicheskoj i inženerno-geologicheskoj sjemki M 1:50 000 so sjomkoi četvertichnih otlozenij M 1:50 000 dlja celei melioracii v predelah listov O-35-127-A,B,V,G; O-35-128-A,B,V,G; O-35-129-A,V (*Rezekne*). Otchet gidromeliorativnogo otrjada 1988.-1991. gg. Ģeoloģijas pārvalde, Rīga, 1. grām., 309 lpp. (VĢF Inv. Nr. 10840), (*in Russian*).
- Lazdāne, A., 1963. Vidzemes Centrālās augstienes ģeomorfoloģisks raksturojums. Disertācija ģeogrāfijas zinātņu kandidāta grāda iegūšanai. R., 288 lpp.
- Mironovs, G., Tracevskis, G., Bendrupe, L., Podgurskis, V., Spudas, G., Tracevska, L., Straume, J., Juškevičs, V., Brijo H., 1973. Otchet o glubinnom doizuchenijji territoriji lista O-35_XXVI (*Cesis*). Lhivanskaja GSP 1969-1973. Rīga, 481 lpp. Ģeomorfoloģiskā karte [9] (VĢF Inv. Nr. 9200), (*in Russian*).
- Ramans, K., 1958. Vidzemes vidienas ģeogrāfisko ainavu tipoloģija (*Latvijas PSR*). Disertācija ģeogrāfijas zinātņu kandidāta grāda iegūšanai. P. Stučkas Latvijas Valsts universitātes Ģeogrāfijas fakultāte. Rīga, 573 lpp.
- Uļģis, M., Ginters, G., Aleksāns, O., 1981. Otchet o kompleksnoi gidrogeologicheskoj i inženerno-geologicheskoj sjemke so sjemkoi četvertichnih otlozhenhij masshtaba 1:50 000 dlha celhei mehiorativnogo stroitelstva na Vidzemski vozvishennosti. Rīga, 1. grām., 158 lpp. (VĢF Inv. Nr. 9811), (*in Russian*).
- Uļģis, M., Ginters, G., Aleksāns, O., Stiebrīņš, O., Deglis, A., Meirons, Z., Markovs, V., 1983. Otchet o kompleksnoi gidrogeologicheskoj i inženerno-geologicheskoj sjemke so sjemkoi četvertichnih otlozenij masshtaba 1:50 000 dlha celei meliorativnogo stroitelstva v predelah listov O-35-139-A,B,V,G. Tom 1. Rīga, 1. grām., 280 lpp. (VĢF Inv. Nr. 10035), (*in Russian*).

LIST OF PUBLICATIONS

Monographs and papers in monographs

1. Zelčs, V., Markots, A., Nartišs, M., Saks, T., *in review*. Pleistocene glaciations in Latvia. In Ehlers, J., Gibbard, P.L., Hughes, P. (eds.), *Quaternary Glaciations – Extent and Chronology. Part IV: A closer look*. Elsevier, 21 pp. (*in press*).
2. Zelčs, V., Markots, A., 2004. Deglaciation history of Latvia. In Ehlers, J., Gibbard, P.L. (ed.), *Quaternary glaciations – extent and chronology. Part I: Europe*. Elsevier. pp. 225–243.
3. Zelčs, V., Markots, A., 1999a. Ģeoloģiskās informācijas izmantošana teritorijas attīstības plānošanā. ZB “Zalktis”, Rīga, 123 lpp.
4. Zelčs, V., Markots, A., 1999b. Derīgie izrakteņi. Rajonu plānošana Latvijā. Kuldīgas rajons kā piemērs. Jumava, Rīga. 87 lpp.

Scientific papers

1. Markots, A., 2010. Distribution, spatial arrangement and internal composition of plateau-like hills in insular accumulative-glaciostructural uplands of Latvia. In *Eiszeitalter und Gegenwart – Quaternary Science Journal*. 12 pp. (*in preparation*).
2. Markots, A., Āboltniņš, O., 1998a. STOP 7 and 8. Morphology and internal structure of Smetes composite hills. In Zelčs, V. (ed.), *Field Symposium on Glacial Processes and Quaternary Environment in Latvia, Excursion guide*. Rīga. pp. 51–57.
3. Markots, A., Āboltniņš, O. 1998b. STOP 9. Morphology and internal structure of plateau-like hills at Skujene. In Zelčs, V. (ed.), *Field Symposium on Glacial Processes and Quaternary Environment in Latvia, Excursion guide*. University of Latvia, Rīga, pp. 57–62.
4. Markots, A., Zelčs, V., Strautnieks, I., 1995. Zabegi exposure, Feimanka microglaciodepression. In Schirmer, W. (ed.), *INQUA 1995. Quaternary field trips in Central Europe, 1. C–3 Baltic Traverse*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munchen, pp. 159–160.
5. Āboltniņš, O., Markots, A., Strautnieks, I., 1995. Smetes hills primary massif. In Schirmer, W. (ed.), *INQUA 1995. Quaternary field trips in Central Europe, 1. C–3 Baltic Traverse*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munchen, p. 161.
6. Āboltniņš, O., Markots, A., 1995. Skujene plateau-like hills area. In Schirmer, W. (ed.), *INQUA 1995. Quaternary field trips in Central Europe, 1. C–3 Baltic Traverse*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munchen, pp. 161–162.

Other scientific publications

1. Markots, A., 2001. Geographical location. *In ProGEO Working Group Nr. 3 Meeting. Guidebook & abstracts.* University of Latvia, Rīga, p. 8.
2. Markots, A., Zelčs, V., 2001. Overview of surface topography and Quaternary geology. *In ProGEO Working Group Nr. 3 Meeting. Guidebook & abstracts.* University of Latvia, Rīga, pp. 13-16.
3. Markots, A., Zelčs, V., 2001. Geological and geomorphological nature monuments as specifically protected nature areas of state significance in Latvia. *In ProGEO Working Group Nr. 3 Meeting. Guidebook & abstracts.* University of Latvia, pp. 32-33.
4. Markots, A., 1997. Rāznavas pauguraines. *Grām.* Kavacs, G. (red.), *Enciklopēdija Latvija un latvieši. Latvijas daba*, 4. sēj. Preses nams, Rīga, lpp. 226-228.
5. Markots, A. 1995. Feimaņu pauguraine. *Grām.* Kavacs, G. (atb. red.), *Latvijas Dabas Enciklopēdija*, 2. sēj., Latvijas Enciklopēdija, Rīga, lpp. 70-71.
6. Markots, A., 1994. Burzavas pauguraine. *Grām.* Kavacs, G. (atb. red.), *Enciklopēdija Latvija un latvieši. Latvijas daba*. 1. sēj. Latvijas Enciklopēdija, Rīga, lpp. 177-178.
7. Markots, A., 1994. Dagdas pauguraine. *Grām.* Kavacs, G. (atb. red.), *Enciklopēdija Latvija un latvieši. Latvijas daba*. 1. sēj. Latvijas Enciklopēdija, Rīga, lpp. 207-208.

Abstracts of papers in international scientific events

1. Markots, A., 2010. Distribution, spatial arrangement and internal composition of plateau-like hills in insular accumulative-glaciostructural uplands of Latvia. *In Ice, Water, Humans – Quaternary landscape evolution in the Peribaltic region. 35. Hauptversammlung der Deutschen Quartärvereinigung DEUQUA E.V., 12th Annual meeting of the INQUA Peribaltic Working group. Conference proceedings. 13.-17. september in Greifswald, Germany*, pp. 126-127.
2. Dzelzitis, J., Markots, A., Zelčs, V., 2004. Database and map of Late Weichselian directional ice flow features of Latvia. *In Zelčs, V., Segliņš, V. (eds.), International Field Symposium on Quaternary Geology and Modern Terrestrial Processes, Western Latvia, September 12-17, 2004: Abstract of papers and posters.* Rīga, University of Latvia, pp. 13-14.
3. Zelčs, V., Markots, A., Dzelzitis, J., 2003. Map of Late Weichselian directional ice-flow features of Latvia. Paper No. 24-12. Session No. 24. T10. Glaciogeological and geomorphological evidence of ancient ice streams and outlet glaciers. *In Shaping the Earth: A Quaternary Perspective. The XVI INQUA Congress Programs with Abstracts.* Reno, Nevada, p. 118.
4. Zelčs, V., Markots, A., 2003. Deglaciation history of Latvia. Paper No. 40-8. Session No. 40. T6. Glacier Extent and Ice Thickness in Eurasia at the Last (?)

- Glacial Maximum. In Shaping the Earth: A Quaternary Perspective. The XVI INQUA Congress Programs with Abstracts. Reno, Nevada, p. 144.*
5. Dzelzītis, J., Markots, A., Zelčs, V., 2003. Mapping of directional ice flow features during Late Weichselian deglaciation of Latvia. *In* Raukas, A., Kuk, H. (eds.), *International symposium on Human impact and geological heritage. Excursion Guide and abstracts*. Tallinn, pp. 63–64.
 6. Zelčs, V., Markots, A., Strautnieks, I., 1998. Novije dannije ob uslovijah zaļeganija Raunskih sloev, Centrālajā Vidzeme, Latvija. *Krāj. Glavnheisije itogi v izucheniji četvertichnogo perioda i osnovnije napravlenija issledovanij v XXI veke*. Sanktpeterburg, s. 158–159. (in Russian).
 7. Markots, A., 1998. Uporjadochennosti i osnovnije osobennosti vnutrenhnego strojenija krupnoholmistogo reljefa ostrovnih glaciostrukturno – akumuljativnih vozvisjennosti Latvii. *Krāj. Glavnheisije itogi v izucheniji četvertichnogo perioda i osnovnije napravlenija issledovanij v XXI veke*. Sanktpeterburg, s. 166. (in Russian).
 8. Markots, A., 1992. Formirovanije glaciostrukturnogo reljefa severnoi chasti Latgalhskoj vozvishennosti. *Krāj. Geologija četvertichnih otlozhenij i noveishaja tektonika lhednhikovih oblastei Vostochnoi Evrope*. Rossijskaja AN, Kolhskij nauchnij centr, Apatiti, s. 52. (in Russian).

Abstracts of papers in conferences in Latvia

1. Markots, A., 2010. Plakanvirsas lielpauguru morfoloģisko īpatnību raksturs Latvijas austrumdaļas augstienēs. *Krāj. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. LU 68. zinātniskās konferences referātu tēzes*. LU Akadēmiskais apgāds, Rīga, lpp. 332–333.
2. Zelčs, V., Dzelzītis, J., Markots, A., 2004. Ledāja plūsmas virzieni Latvijā pēdējā apledojuma laikā. *Krāj.: Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. Latvijas Universitātes 62. zinātniskā konference. Referātu tēzes*. Latvijas Universitāte, Rīga, lpp. 185–187.
3. Zelčs, V., Dzelzītis, J., Markots, A., Menniks, M., 2001. Neparasti ledāja kustības virzieni Latvijā pēdējā apledojuma deglaciācijas laikā. *Krāj. II Pasaules latviešu zinātnieku kongress, Tēžu krājums, Rīga, 277. lpp.*
4. Markots, A., Āboltiņš, O., 1999. Vidzemes augstienes zvoncu morfoloģiskie tipi. *Grām. Zeme. Daba. Cilvēks, LU 57. konference, Tēžu krājums, LU, Rīga, lpp. 95–99.*
5. Markots, 1996. Osveidīgās reljefa formas salveida glaciostruktūru – akumulatīvās augstienēs. *LU 55. zinātniskās konferences tēzes un programmas*. LU, Rīga, 33. lpp.