

DISERTATIONES GEOLOGICAE UNIVERSITATIS LATVIENSIS
Nr. 19

AIVARS MARKOTS

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

DISERTĀCIJA

RĪGA, 2011

DISERTATIONES GEOLOGICAE UNIVERSITATIS LATVIENSIS
Nr. 19

AIVARS MARKOTS

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

DISERTĀCIJA

doktora grāda iegūšanai ģeoloģijas nozares
kvartārģeoloģijas un ģeomorfoģijas apakšnozarē

LATVIJAS UNIVERSITĀTE

Promocijas darbs izstrādāts:
Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas nodaļas 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, Lielvārdes ielā 4.

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

Latvijas Universitāte
www.lu.lv

SATURS

Anotācija	4
Abstract	5
IEVADS	6
1. PĒTĪJUMU TERITORIJAS NOVIETOJUMS UN ĢEOLOĢISKI ĢEOMORFOLOĢISKAIS RAKSTUROJUMS	15
1.1. Alūksnes augstiene	17
1.2. Vidzemes augstiene	19
1.3. Latgales augstiene	22
2. PLAKANVIRSAS PAUGURU PĒTĪJUMU VĒSTURE	25
3. MATERIĀLI UN METODES	31
3.1. Ģeotelpisko datu iegūšana, apkopošana un analīze	33
3.2. Lauka pētījumi un tajos iegūto datu statistiskā apstrāde	40
4. REZULTĀTI UN INTERPRETĀCIJA	43
4.1. Plakanvirsmas pauguru izplatība, telpiskais sakārtojums un morfoloģija	43
4.1.1. Alūksnes augstiene	45
4.1.2. Vidzemes augstiene	46
4.1.3. Latgales augstiene	54
4.1.4. Morfoloģisko rādītāju reģionālās analīzes rezultāti	57
4.2. Zemvislas virsmas raksturs un pēdējā apledošanas slāņkopas uzbūve plakanvirsmas pauguru izplatības areālos	60
4.3. Plakanvirsmas pauguru iekšējā uzbūve	68
4.4. Plakanvirsmas pauguru paleoģeogrāfiskais novietojums	77
5. DISKUSIJA	84
5.1. Morfoloģijas un iekšējās uzbūves paleoģeogrāfiskās konsekvences	85
5.2. Plakanvirsmas pauguru veidošanās apstākļi	96
SECINĀJUMI	107
PATEICĪBAS	109
LITERATŪRA	110

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, glaciotektonika, ledāja mēles, deglaciācija..

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.

IEVADS

“...pēc brīža kāds cilvēks no staigna briksnāju labirinta izspraucās klajumiņā, ko, acīm redzot, bija izveidojuši gan vēja, gan uguns postījumi. No šejienes pavērās skats uz debesīm. Mežnorā bija ne mazums kritušu koku, un tā pieklāvās vienam no tiem augstajiem uzkalniem, kas pacēlās gandrīz visā tanī apvidū.”
(“Zvērķāvis”, Džeimss Fenimors Kūpers, oriģ. 1841, tulk. 1976.)

Pētījumu tēmas aktualitāte

Plakanvirsas pauguri ir vieni no savdabīgākajiem kontinentālā segledāja veidojumiem pleistocēna apledojuumu klātajās teritorijās. Tie izplatīti galvenokārt salveida akumulatīvi glaciostrukturālajās augstienēs. Šīs augstienes raksturojas ar visizteiktāko ledāja radīto zemes virsmas saposmojumu, palielinātu pleistocēna nogulumu biezumu un ļoti sadrumstalotu ledāja nogulumu mozaīkveida izplatību. 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 (Par Eiropas ..., 2007), 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, kuru ietekmē veidojas specifiskas ģeogrāfiskās ainavas, kā arī mikroklimatiskās, augsnes seguma un bioģeogrāfiskās īpatnības. Plakanvirsas pauguru glaciāli ģeoloģiskie pētījumi un tajos iegūtie rezultāti ir nozīmīgi teritorijas ilgtspējīgas attīstības kontekstā. Tie sniedz izejas datus, kas var kalpot par pamatu teritorijas apsaimniekošanas plānu un pasākumu izstrādāšanā. Šie pētījumi ļauj iegūt liecības un izzināt pēdējā apledojuuma 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 augstienēs ir ietekmējusi līdumu zemkopība. Daudzās vietās,

piemēram, Vidzemes augstienē Pīkaņu kalna plakuma tiešā tuvumā ir konstatēta sena apmetne, bet sengravu izneses konusus ir daudz oglišu, kas liecina par līdumu līšanu šajā teritorijā ar bagātīgu augsnes cilmiezi jau 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), tika noskaidrots, ka vismaz 10 pilskalni atrodas uz plakanvirsas pauguriem, bet to izplatības areālos ir konstatēti pavisam 45 pilskalni un pilenes. Bezakmens māli, kuri atsedzas plakanvirsas pauguru plakumā, izmantoti kā vietējie derīgie izrakteņi ķieģeļu ražošanā un pat ēku būvēšanā. Mūsdienās būvniecībā un ceļu būvē tiek izmantots arī pauguru pamatnes daļu veidojošais smilts un grants materiāls.

Kaut arī plakanvirsas pauguri ir savdabīgi un tiek saimnieciski izmantoti, Latvijā, pārējās Baltijas valstīs un pat visā pleistocēna segledāju klātajā teritorijā, tie nav bijuši kompleksu un detālu 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, Tatarhnikov, 1972; Malahovskiy, Vigdorhik, 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 vēlāk ģeoloģiskās kartēšanas (oficiāli pārskatos sauktas “kompleksā hidroģeoloģiskā un inženierģeoloģiskā kartēšana ar kvartāra nogulumu kartēšanu melioratīvās būvniecības vajadzībām”) laikā iegūtie dati, nesniedz pietiekami detālu 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, 1969), pat tika uzsvērts, ka Zemes garozas augšējās kārtās visvairāk izplatītie ieži ir māli (Kuršs, Stinkule, 1969).

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; Markots, 2010).

Plakanvirsas pauguri ieņem nozīmīgu vietu augstieņu reljefā un tie noteikti definējami kā saliktas ģenēzes un uzbūves ledāja reljefa formas (Āboltiņš, 1989; Bitinas, 2004; Markots, 2010). To izpēte ļauj noskaidrot, kādi vides apstākļi pastāvēja kontinentālās segledāja salveida deglaciācijas pirmsākumos (pēc Āboltiņš *et al.*, 1972 un Āboltiņš, 1975 lietotās terminoloģijas), kad salveida akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu iekšējā zonā sākās ledāja sarukšana, kas vispirms izpaudās kā tā biezuma samazināšanās, un radās stagnantā ledus lauki, iezīmējot pāreju no ledāja gultnes deformācijas uz ledājkušanas ūdeņu baseinu veidošanos.

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 ģeomorfoloģiskajās kartēs (Isachenkov, Tatarhnikov, 1972; Malahovskiy, Vigdorčik 1963; Vanaga, 1970; Āboltiņš *et al.*, 1974, 1976; Meirons, 1976; Eberhards, 1977; Straume *et.al.*, 1976; 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 daudzveidības. Izmantojot daudzveidīgu telpiskās informācijas avotu klāstu, 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 izvērsti morfoloģiskie rādītāji un informācija par to iekšējo uzbūvi (Markots, 2010). Tas ļauj kritiski izvērtēt citu pētnieku agrāk iegūtos datus un izdarīt secinājumus par formu izvietojuma, morfoloģijas un uzbūves īpatnībām

saistībā ar augstieņu reljefa un ģeoloģiskās uzbūves attīstību, 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, 2010; Guobyte, 2004; Zelčs, Markots 2004; Karabanov *et al.*, 2004; Marks, 2004; Velichko *et al.*, 2004; Zelčs *et al.*, 2010, *in press*). Pirmo reizi plakanvirsas pauguru pētījumos izmantoti arī zemes virsmas digitālie modeļi (DTM), izveidoti gan, izmantojot liela mēroga topogrāfiskās kartes, gan 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. Minētie morfoloģiskie rādītāji sniedz informāciju par plakanvirsas pauguru raksturojumu horizontālā (plakniskā) un vertikālā griezumā, un ļauj veikt to izplatības likumsakarību analīzi trīsdimensionālā skatījumā.

Pētījumu teritorijā ir veikta detāla mēroga (1:10 000) augšējo nogulumu slāņkopas kartēšana pēc datiem, kas iegūti ģeoloģiskās urbšanas darbos ar rokas urbi, veicot kopumā 56 urbumus līdz 6 m dziļumam. Pauguru šķērsprofilos 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 metodes datorizētā vidē – *StereoNet* datorprogrammā.

Agrāk daudzviet pleistocēna mālus (līdz 20. gs. 70. gadu sākumam) izmantoja ķieģeļu, drenu cauruļu ražošanā vai keramikā. Kā viens no telpisko datu avotiem lauka pētījumiem bija arī autora sagatavotā esošo derīgo izrakteņu karjeru, galvenokārt grants, smilts un māla, datubāze. Tajā ir fiksēts derīgā izrakteņa veids (tips), taču pēdējos 40 gadus māla iegulas vairs nekur netiek uzrādītas, bet gan tikai grants, grants–smilts, vai smilts iegulas. Tāpēc mūsdienās plakanvirsas pauguros esošajos karjeros iegūst vai nu smilti, vai granti, bet derīgā izrakteņa ieguves vietas no pauguru virsotnēm ir pārceltas uz pauguru nogāzēm. Tādējādi pētījuma novitāte izriet no iegūto un darbā izmantoto materiālu kopuma un pielietojamo metožu klāsta.

Darba hipotēze

Līdz ar ledāja cilmes augstieņu kā kontinentālo līdzenumu makroformu ģenētiskās daudzveidības atklāšanu (Āboltiņš, 1972), glaciomorfoloģisko uzbūves atšķirību noskaidrošanai, salīdzinot tās ar glaciodepresiju zemieņu reljefa formām, Latvijā un citur Baltijas jūras reģionā un tam piegulošajā teritorijā, tika pievērsta pastiprināta uzmanība.

Pētījumu kompleksais raksturs noveda pie atziņas, ka ledāja reljefa mezoformas, kurām pieder arī plakanvirsas pauguri, ir radušās gan ledāja nogulumu nevienmērīgas uzkrāšanās, gan arī ledāja deformējošās iedarbības uz gultni rezultātā (Āboltiņš, 1972; 1975, 1989; Āboltiņš, Zelčs, 1988; Piotrowski *et al.*, 2004). Plakanvirsas pauguru morfoloģijas un uzbūves atšķirības ļāva izvirzīt darba hipotēzi, ka to veidošanās ir vairākpakāpju process, kura sākotnējā fāzē norisinās dažādas izcelsmes ledāja nogulumu pieledāja un zemledāja uzkrāšanās, ko nomaina aktīva ledus radītās ledāja gultnes nogulumu deformācijas, kas noslēdzas ar mālaino un aleirītisko nogulumu nogulsnešanu iekšledāja un virsledāja ledusezeros.

Aizstāvēšanai izvirzītās tēzes

Plakanvirsas lielpauguri ieņem nozīmīgu vietu Latvijas salveida akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu – Alūksnes, Vidzemes un Latgales reljefā un virskārtas nogulumu segas raksturā. Balstoties uz šī tipa pauguru, kas parasti atbilst lielpauguru izmēram (Straume, 1979) ģenētisko saistību ar pārējām zemledāja izcelsmes reljefa formām, telpisko izvietojumu, morfoloģiju un iekšējās uzbūves īpatnībām, aizstāvēšanai tiek izvirzītas šādas galvenās tēzes:

1. Plakanvirsas pauguru veidošanās ir sarežģīts vairākpakāpju process, kas aizsācies zemledāja gultnes deformācijas apstākļos, bet noslēguma fāzē norisinājies stāvošu ledājkušanas ūdeņu vidē.
2. Plakanvirsas pauguru areālu izvietojumu ir noteikusi aktīva ledāja ledus masu dinamika, tāpēc tie izvietojušies ledāja mēļu un mikromēļu malas zonā, proksimālā virzienā no galvenajām ledsaplūdes zonām, kas iezīmē ledāja lobu konverģences joslas un kurās atrodas pirmmasīvpauguri.
3. Ledājkušanas ūdeņu baseinu veidošanās un glaciolimnisko nogulumu uzkrāšanās procesā nozīmīga loma bija arī zemledāja ledājūdeņiem, kuru uzkrāšanos ledāja gultnē veicināja plašie zemledāja glaciostruktūru pacēlumi un ledāja gultnē izskaloto nogulumu transports hidrostatiskā spiediena gradienta ietekmē uz ledus plaisām un caurkusumiem recesējošā ledāja malas zonā.

Pētījuma mērķis un uzdevumi

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

Darbā izvirzītā 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.

Rezultātu aprobācija

Pētījuma rezultāti ir publicēti 10 zinātniskajās publikācijās, no kurām 5 ir publicētas vai pieņemtas starptautiski citējamos 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 no 25. līdz 31. maijam, maršruta sagatavošanā un vadīšanā. Tie publicēti divos lauka zinātnisko ekskursiju ceļvežos (skat. publikāciju sarakstu). 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, b).

Publikācijas

Monogrāfijas un raksti kolektīvajās monogrāfijās

Zelčs, V., Markots, A., Nartišs M., Saks, T., 2010, *in press*. 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.

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.

Zelčs, V., Markots, A., 1999a. *Ģeoloģiskās informācijas izmantošana teritorijas attīstības plānošanā*. ZB “Zalktis”, Rīga, 123 lpp.

Zelčš, V., Markots, A., 1999b. *Derīgie izrakteņi. Rajonu plānošana Latvijā. Kuldīgas rajons kā piemērs*. Jumava, Rīga. 87 lpp.

Raksti starptautiskos izdevumos

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*. 12 p

Markots, A., Āboltiņš, O., 1998a. STOP 7 and 8. Morphology and internal structure of Smetes composite hills. In Zelčš, V. (ed.), *Field Symposium on Glacial Processes and Quaternary Environment in Latvia, Excursion guide*. Rīga. pp. 51–57.

Markots A., Āboltiņš O. 1998b. STOP 9. Morphology and internal structure of plateau-like hills at Skujene. In Zelčš, V. (ed.), *Field Symposium on Glacial Processes and Quaternary Environment in Latvia, Excursion guide*. University of Latvia, Rīga, pp. 57–62.

Āboltiņš, 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.

Āboltiņš, 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.

Markots, A., Zelčš, 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.

Konferenču tēzes

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.

Dzelzītis, J., Markots, A., Zelčš, V., 2004. Database and map of Late Weichselian directional ice flow features of Latvia. In Zelčš, 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*. University of Latvia, Rīga, pp. 13–14.

Zelčš, 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.

Zelčš, 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.

Dzelzītis, J., Markots, A., Zelčš, V., 2003. Mapping of directional ice flow features during Late Weichselian deglaciation of Latvia. In Raukas, A., Kukk, H., (eds.), *International symposium on Human impact and geological heritage. Excursion Guide and abstracts*. Tallinn, pp. 63–64.

Zelčš V., Markots A., Strautnieks I., 1998. Novije dannije ob uslovijah zaļeganija Raunskih sloev, Centralnaja Vidzeme, Latvija. *Krāj. Glavnheisije itogi v izucheniji četvertichnogo perioda i osnovnije napravlhenija isslhedovanhij v XXI veke.* Sanktpeterburg, s. 158–159. (in Russian).

Markots, A., 1998. Uporjadochennosts i osnovnije osobennosti vnutrenhnego strojenija krupnoholmistogo relhjefa ostrovnih glhaciostrukturno – akumuljativnih vozvisjennostei Latvii. *Krāj. Glavnheisije itogi v izucheniji četvertichnogo perioda i osnovnije napravlhenija isslhedovanhij v XXI veke.* Sanktpeterburg, s. 166. (in Russian).

Markots, A., 1992. Formirovanije glaciostrukturnogo relhjefa severnoi chasti Latgalhskoj vozvishennosti. *Grām. Geologija četvertichnih otlozhenij i noveishaja tektonika lhednhikovih oblastei Vostochnoi Evropi.* Rossijskaja AN, Kolhskij nauchnij centr, Apatiti, s. 52. (in Russian).

Markots, A., 1991. Glhaciostruktura severnoy chasti Latgalhskoj vozvishennosti. *In Tezisi dokladov nauchnogo seminara Lhednhikovy litomorfoghenhez, paleografija četvertichnogo perioda, sovremennije eksogennije processi i ih geoekologicheskije aspekti.* Latvijiski Universitet, Riga, s. 41–42. (in Russian).

Konferenču tēzes Latvijā

Markots, A., 2010. Plakanvirsas lielpauguru morfoloģisko īpatnību raksturs Latvijas austrumdaļas augstienēs. *Krāj. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. LU 68. zinātniskās konferences referātu tēzes.* Rīga, LU Akadēmiskais apgāds. lpp. 332–333.

Zelčš, V., Dzelzītis, J., Markots, A., 2004. Ledāja plūsmas virzieni Latvijā pēdējā apledojuuma laikā. *Krāj. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. Latvijas Universitātes 62. zinātniskā konference. Referātu tēzes.* Latvijas Universitāte, Rīga, lpp. 185–187.

Zelčš, V., Dzelzītis, J., Markots, A., Menniks, M., 2001. Neparasti ledāja kustības virzieni Latvijā pēdējā apledojuuma deglaciācijas laikā. *Krāj. II Pasaules latviešu zinātnieku kongress, Rīga, 20001. gada 14. – 15. augusts. Tēžu krājums,* 277. lpp.

Markots, A., Āboltiņš, O., 1999. Vidzemes augstienes zvoncu morfoloģiskie tipi. *Grām. Zeme. Daba. Cilvēks LU 57. konference,* Tēžu krājums, LU, Rīga, lpp. 95–99.

Markots, A., 1996. Osveidīgās reljefa formas salveida glaciostruktūru – akumulatīvajās augstienēs. *LU 55. zinātniskās konferences tēzes un programmas.* LU, Rīga, 33. lpp.

Citas publikācijas

Markots, A., 2001. Geographical location. *In ProGEO Working Group Nr. 3 Meeting. Guidebook & abstracts.* University of Latvia, Rīga, p. 8.

Markots, A., Zelčš, 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.

Markots, A., Zelčš, 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.

Markots, A., 1997. Rāznavas pauguraines. *Grām. Kavacs, G. (red.), Enciklopēdija Latvija un latvieši. Latvijas daba,* 4. sēj. Preses nams, Rīga, lpp. 226–228.

Markots A. 1995. Feimaņu pauguraine. *Grām. Kavacs, G. (atb. red.), Latvijas Dabas Enciklopēdija,* 2. sēj.. Rīga, Latvijas Enciklopēdija. lpp. 70–71.

Markots, A., 1994. Burzavas pauguraine. *Grām. Kavacs, G. (atb. red.), Enciklopēdija Latvija un latvieši. Latvijas daba.* 1. sēj. Latvijas Enciklopēdija, Rīga, lpp. 177–178.

Markots, A., 1994. Dagdas pauguraine. *Grām.* Kavacs, G. (atb. red.), *Enciklopēdija Latvija un latvieši. Latvijas daba.* 1. sēj. Latvijas Enciklopēdija, Rīga, lpp. 207–208.

Referāti starptautiskos kongresos, konferencēs un simpozijos

Markots, A.: Distribution, spatial arrangement and internal composition of plateau-like hills in insular accumulative-glaciostructural uplands of Latvia. *Quaternary Landscape Evolution in the Peribaltic Region; 13–17 September 2010, in Greifswald, Germany.*

Dzelzītis, J., Markots, A., Zelčs, V.: Database and map of Late Weichselian directional ice flow features of Latvia. *International Field Symposium on Quaternary Geology and Modern Terrestrial Processes, Western Latvia, September 12–17, 2004.*

Dzelzītis, J., Markots, A., Zelčs, V.: Mapping of directional ice flow features during Late Weichselian deglaciation of Latvia. *International symposium on Human impact and geological heritage. Tallinn, 12–17 May, 2003.*

Zelčs, V., Markots, A., Dzelzītis, J.: 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, July 23 – 30, 2003.*

Zelčs, V., Markots, A.: Deglaciation history of Latvia. *Paper No. 40–8. Sesion No. 40. T6. Glacier Extent and Ice Thickness in Eurasia at the Last (?) Glacial Maximim. In Shaping the Earth: A Quaternary Perspective. The XVI INQUA Congress Programs with Abstracts. Reno, Nevada, July 23 – 30, 2003.*

Markots, A., Zelčs, V.: Overview of surface topography and Quaternary geology. *Ģeoloģiskā mantojuma saglabāšanas Eiropas Asociācijas (The European Association for the Conservation of the Geological Heritage – ProGEO), 3. – Ziemeļeiropas – darba grupas (ProGEO Working Group No. 3 North Europe) darba sanāksme Latvijā 2001.g. 24. – 28. maijs.*

Markots, A.: Uporjadochennosts i osnovnije osobennosti vnutrenhnego strojenija krupnoholmistogo reljefa ostrovnih glhaciostrukturno – akkumuljativnih vozvisjennostei Latvii. *Vserossijskoje soveshchanije: Glavneishije itogi v izucheniji chetvertichnogo perioda i osnovniye napravleniya issledovaniy v XXI veke. Sanktpeterburg, 12. – 19. septembris 1998.*

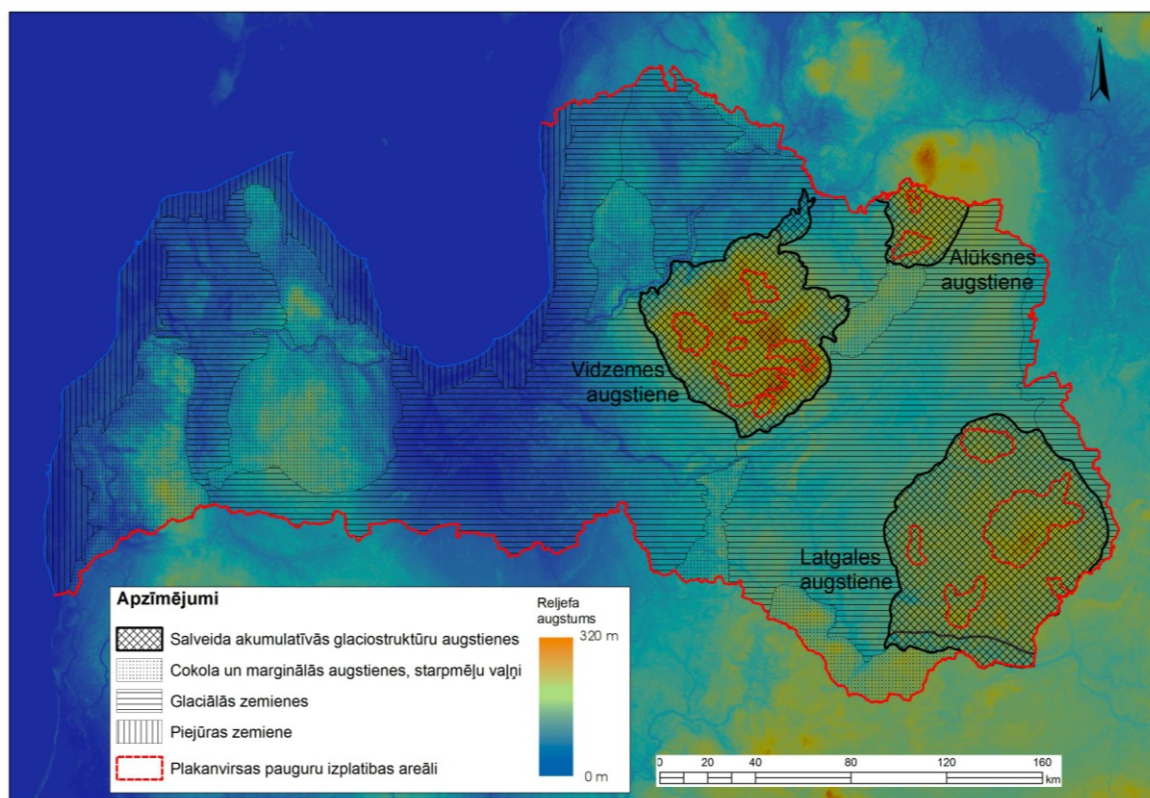
Markots, A.: Glhaciostruktura severnoy chasti Latgalhskey vozvishennosti. *Nauchniy seminar geologov i geomorfologov Estoniji, Latviji, Lhitvi, Belorussiji i Rossiji – Lhednhikoviyy litomorfoghenhez, paleografija chetvertichnogo perioda, sovremennije eksogennije processi i ih geoekologicheskije aspekti. Riga, 1991.*

Kopumā starptautiskās konferencēs ir nolasīti 8 referāti, bet Latvijā laikā no 1996. līdz 2010. gadam individuāli vai kopā ar līdzautoriem nolasīti 9 referāti, kas pilnībā atspoguļo disertācijas rezultātus un izriet no promocijas darbam izvirzītajiem uzdevumiem.

Izstrādātie materiāli un metodes tāpat aprobēti un izmantoti Latvijas universitātes (turpmāk 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. Visas tās atrodas pēdējā Fenoskandijas ledusvairoga perifēriālās segas iekšējā joslā (Āboltiņš, 1972, 1975, 1989; Asejev, 1974; Āboltiņš *et al.*, 1988, 1989; Straume, 1979; Zelčs, Markots, 2004). Tās kopā ar Hānjas un Otepē augstieni Igaunijā, Žemaitijas un Telšu augstieni Lietuvā, Bežanicu un Sudomas augstieni Krievijas Federācijā un daudzām citām augstienēm Ziemeļpolijā un Vācijā veido izometriskas formas glacioelevāciju joslu (Kajak, 1965, Basalikas, 1969), kurā šī tipa augstienes vienu no otras šķir ledāja zemienes (Āboltiņš, 1972, 1975, 1989; Āboltiņš *et al.*, 1988, 1989).



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

Figure 1.1. Location insular accumulative-glaciostructural uplands in Latvia with respect to digital elevation model (*DEM*) derived from SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*).

Pēdējā apledošanas transgresīvajā etapā salveida akumulatīvi glaciostrukturālās augstienes atradās ledus lobu ledsaplūdes (konverģences) zonā (Āboltiņš, Zelčs, 1988;

Zelčs, Markots, 2004), kaut gan daudzās zinātniskajās publikācijās tā tiek ne visai precīzi definēta kā ledusšķirtņu zona (Āboltiņš, 1972, 1975; Raukas, 1978; Raukas, Karukäpp, 1979; Āboltiņš *et al.*, 1977a, b, c; 1988, 1989; Straume, 1979). Par termina “ledusšķirtne” nepareizu 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 griezumu (Meirons, 1986; 1992). Galvenā loma mūsdienu virsmas saposmju un reljefa formu veidošanā ir pēdējā apledošanas atstātajiem nogulumiem (Āboltiņš, 1972, 1989). Šie nogulumi ir pārsvarā deformēti ledāja dinamiskās iedarbības rezultātā. Dažāda tipa glaciotehtoniskās deformāciju struktūras atspoguļojas mūsdienu reljefā kā pirmmasīvpauguri, plakanvirsmas pauguru pamatnes daļas, morēnpauguri, dauguļi, osveida formas un orientētu paugurgrēdu reljefs. Vairāki autori (Āboltiņš, 1975, 1989; Āboltiņš *et al.*, 1988, 1989) arī norāda, ka salveida akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu reljefā izdalās divas zonas.

Iekšējā jeb centrālajā zonā ir izplatītas pārsvarā ledāja glaciostrukturālās lielpauguru un vidējpauguru reljefa formas un ledāja akumulācijas sīkpauguru reljefs, kas izvietots dažādā hipsometriskajā līmenī (Āboltiņš, 1975), bet kopumā augstākās no tām veido šo augstieņu mūsdienu virsmas augstākos punktus (Āboltiņš, 1989; Āboltiņš *et al.*, 1988, 1989). Pēc B. N. Možajeva (Mozhajev, 1973) domām augstienēs izdalāmo reljefa līmeņu veidošanās saistīta ar ledāja akumulatīvo darbību, un uzskatāma par ledāja nogulumu paraģenētiskās rindas veidošanās un uzkrāšanās likumsakarību atspoguļojumu. Tā kā šajā darbā galvenā uzmanība pievērsta plakanvirsmas pauguriem, kurus minētais autors dēvē par zvonciem, tad vislielāko interesi izraisa B. N. Možajeva (*ibid.*) izdalītais trešais, visaugstākais reljefa hipsometriskais līmenis, kurā noteicošā loma piemīt zvonciem. O. Āboltiņš (1975) gan norāda, ka šajā līmenī visaugstākos zemes virsas punktus veido ledāja pirmmasīvpauguri, bet plakanvirsmas pauguri izplatīti nedaudz zemākā hipsometriskā stāvoklī. Salveida akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu centrālās zonas reģionālās studijas (skat. Āboltiņš *et al.*, 1975, 1976, 1988, 1989; Meirons, 1976) apstiprina šo O. Āboltiņa slēdzienu, gan ar izņēmumu, jo augstākajam Latvijas mūsdienu zemes virsmas punktam – Gaiziņkalnam – raksturīga ļoti bieza glaciolimniskā māla sega.

Gaiziņkalns atbilst pirmmasīvu grupai tikai pēc hipsometriskā novietojuma (Āboltiņš, 1989), bet morfoloģijas un uzbūves ziņā ir pieskaitāms plakanvirsas pauguriem (Zelčs, Markots, 1999a, 2004).

Salveida akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu perifēriālo daļu veido orientētais paugurgrēdu reljefs, kuru parasti definē kā ledāja marginālos veidojumus (Āboltiņš, 1975, 1989; Meirons *et al.*, 1976; Straume, 1979). Starp dažādiem ledāja malas veidojumu pētniekiem (Āboltiņš *et al.*, 1972; Meirons *et al.*, 1976; Straume, 1979; Zelčs, Markots, 2004; Zelčs *et al.*, *in press*) pastāv vienots uzskats, ka perifēriālās zonas paugurgrēdu reljefs, un tātad arī deglaciācija Latgales augstienē aizsākās agrāk nekā Vidzemes un Alūksnes augstienē. Latgales augstienē tās sākumu pēc O. Āboltiņa *et al.* (1972), Z. Meirona *et al.* (1976) un J. Straumes (1979) uzskatiem fiksē Indras fāzes malas veidojumu josla. Pēdējos gados veiktie pētījumi ar *SRTM* un Latvijas zemes virsmas digitālā modeļa izmantošanu liecina, ka teritorija, kas pirmā atbrīvojās no pēdējā kontinentālā segledāja bija daudz plašāka un aptvēra arī Latgales augstienes augstāko daļu (Zelčs *et al.*, *in press*), tāpēc autori ierosina šo deglaciācijas fāzi saukt par Dagdas fāzi. Alūksnes un Vidzemes augstienes perifēriālais reljefs veidojās Gulbenes fāzes laikā, kas agrākajos pētījumos (Āboltiņš *et al.*, 1972, 1974, 1977a, b, 1988; 1989; Chebotareva *et al.*, 1965a; Chebotareva, 1972; Chebotareva, Makaricheva, 1974; Meirons *et al.*, 1976; Straumes, 1979; Punning *et al.*, 1967, 1968; Raukas *et al.*, 1995a, b, c; Serebryanny, Raukas, 1966, 1967; Zarrina, Krasnov, 1965; Raukas *et al.*, 2004; Guobyte, 2004; Velichko *et al.*, 2004; Zelčs, Markots, 2004) tika korelēta ar Viduslietuvas fāzi Lietuvā.

Turpmāk tekstā sniegts to augstieņu, kurās sastopami plakanvirsas pauguri, īss raksturojums, pievēršot uzmanību šo formu novietojumam un ietverošo reljefa veidojumu īpatnībām.

1.1. Alūksnes augstiene

No visām Latvijas akumulatīvi glaciostrukturālajām salveida augstienēm Alūksnes augstiene atrodas vistālāk ziemeļaustrumos. Tās platība ir 887 km². Tādējā (4.1. tabula) 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).

Alūksnes augstienes pamatnē atrodas lēzens pamatiežu lielpacēlums, kura virsu veido augšdevona Pļaviņu, Salaspils, Daugavas, Ogres un Katlešu svītas karbonātiem un

terigēnie nogulumi (Mūrnieks, 2002a, b). To virsmas absolūtais augstums mainās no 110–115 m augstienes dienvidu daļā Jaunannas un Zeltiņu apkārtnē, bet Veclaicenes paugurainē ziemeļos sasniedz pat 150–160 m. Subkvartāro virsmu nedaudz saposmo atsevišķi lokāli pacēlumi Veclaicenes pauguraines centrālajā daļā (145 m) un Jaunlaicenes tuvumā (130 m), un neliela ieplaka dienvidos no Alsviķiem (92 m). Rietumos pie robežas ar Trapenes līdzenumu devona iežu virsmas paaugstinājums pāriet lēzenā nogāzē, bet austrumos tas turpinās Adzeles pacēluma teritorijā (Āboltiņš *et al.*, 1976; Āboltiņš, 1994).

Kvartāra nogulumu biezuma izmaiņas saistītas galvenokārt ar izmaiņām mūsdienu reljefa raksturā. Augstākajos masīvos Veclaicenes un Malienas pauguraiņu centrālajā zonā kvartāra nogulumu biezums sasniedz 90 m līdz 100 m, bet augstienes malas joslā tas samazinās līdz 30–40 metriem (Āboltiņš *et al.*, 1976; Āboltiņš, 1994). Pamatiežu virsmas reljefa īpatnības daļēji atspoguļojas arī mūsdienu reljefā kā dažāda augstuma pacēlumi augstieņu un pauguraiņu pamatnē (Meirons, 2002).

Alūksnes augstienes teritorijā nodala Veclaicenes un Malienas pauguraini. Tās šķir Vaidavas pazeminājums (Zelčs, Šteins, 1989). Ziemeļaustrumos no Veclaicenes ar šauru pauguraina reljefa joslu Veclaicenes pauguraine savienojas ar Hānjas augstieni Igaunijā. Morfoloģiski un ģenētiski tās veido vienotu augstieni, ko nenodalot valstu robežas, visbiežāk sauc par Hānjas augstieni. Abu Latvijas teritorijā ietilpstošo Alūksnes augstienes pauguraiņu ģeoloģiskā uzbūve ir līdzīga. Nelielas atšķirības novērojamas tikai ledāja reljefa formu hipsometrijā, morfoloģijā un izvietojumā. Abās Alūksnes augstienes paugurainēs ir labi izteiktas salveidīgajām augstienēm raksturīgās centrālās zonas (Āboltiņš *et al.*, 1976). Kā norāda O. Āboltiņš (1989, 1994), to reljefs galvenokārt izveidojies zemledus akumulācijas un nogulumu deformācijas apstākļos vēl laikā, kad augstieni pārklāja vienlaidus ledus sega. Turpretim perifērijas zona pārsvarā sastāv no marginālajām reljefa formām, kuras veidojušās ledāja recesijas procesā Gulbenes deglaciācijas fāzes laikā saskarsmes zonā starp aprimušo ledāju pauguraiņu centrālajā daļā un vēl aktīvajām plūsmām zemienēs (Straume, 1979).

Augstākā un saposmotākā ir Veclaicenes pauguraine, kuras austrumu daļu no Hānjas augstienes norobežo relatīvi plašais Pērļupes (*Perlijōgi*) pazeminājums. Pēdējā apledošanas deglaciācijas etapā to aizņēma Pērļupes (*Perlijōgi*) ledus mēle (Zelčs, Markots, 2004). Pauguraines centrālajā daļā raksturīgi līdz 40–50 m augsti lielpauguri un dažāda izmēra, pārsvarā kupolveida, formu kompleksi, kuru augstākās virsotnes atrodas 230–270 m vjl. (Dēliņkalns – 271,5 m vjl., Sauleskalns – 266,7 m vjl.). Hipsometriski nedaudz zemāku līmeni ieņem ar māla segu pārklātie plakanvirsas pauguri ziemeļos no Māriņkalna.

Paugurus pārsvarā veido glaciotektoniski deformēti ledāja nogulumi, kuru sastāvā nereti dominē smilts un grants slāņkopas. Paugurus atdala dziļas ieplakas, kuras ir pārpurvotas vai tās aizņem mazi ezeri. Perifērijas zonā galvenokārt izplatīti zemāki vaļņveida pauguri, grēdas un kupolveida nedaudz iegareni vai izometriski morēnas pauguri. Izteikti lineāro vai nedaudz iegareno reljefa formu muguras stiepjas paralēli augstienes nogāzei. Ziemeļos šo zonu šķērso Kornetu-Peļļu subglaciālā vāga. Pauguri un grēdas sastāv no sabīdītām un sakrokotām morēnas zvīņām, kas mijas ar atšķirīga biezuma dažādgraudainas vai granšainas un oļainas smilts slāņkopām. Pēdējās nereti veido arī atsevišķas reljefa formas, piemēram, Ziemeļu atšķelšanās paugurvalni (Straume, 1979; Āboltiņš, 1994).

Malienas pauguraine aizņem Alūksnes augstienes austrumu un dienvidu daļu. Tās centrālā zona ir stiepta ZA–DR virzienā. Tajā pauguri atrodas zemākā hipsometriskā līmenī un tiem raksturīgs mazāks relatīvais augstums. Lielākas platības aizņem plakanvirsas pauguri, kā arī morēnas sīkpauguri, kuri veido sīkpauguraines, it īpaši ziemeļos no Mārkalnes un augstienes austrumu nogāzē. Kupolveida glaciostrukturū formas sastopamas tikai Alūksnes tuvumā. Marginālais reljefs veido pauguraines perifēriju, kā arī ietver Alūksnes ezera ieplaku. Tas sastāv no 5–7 m līdz 10–15 m augstu vaļņveida pauguru virknēm un sistēmām, kuras iezīmē dažādas aktivitātes ledāja plūsmu un mēļu saskarsmes zonas.

Vaidavas pazeminājums lokveidā atdala Veclaicenes un Malienas pauguraines. Tā virsma pakāpeniski paaugstinās no 140–150 m rietumos līdz 170–190 m vjl. Igaunijas pierobežā. To aizņem viļņots glaciofluviāls līdzenums ar atsevišķiem zemiem izometriskas formas morēnas pauguriem un to grupām, kā arī pārpurvotām ieplakām. Pazeminājuma centrālajā daļā atrodas Vaidavas ieleja. Tās platums mainās no 70–100 m līdz 500–700 m, dziļums nepārsniedz 5 metri (Āboltiņš, 1994). Pēdējā apledojuma deglaciācijas etapā Vaidavas pazeminājumu aizņēma Vaidavas ledus mēle, bet Alūksnes ezera ieplakā un tai ziemeļaustrumos piegulošajā augstienes pazeminātajā daļā izvietojās Alūksnes ledus mēle (Āboltiņš *et al.*, 1976; Zelčs, Markots, 2004).

1.2. Vidzemes augstiene

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

Vidzemes augstienes pamatni veido subkvartārās virsmas lielpacēlums, kas tās ziemeļos Rīgas – Pleskavas lūzumu zonas tuvumā izbeidzas ar aptuveni 40–50 m augstu

kāpļveida nogāzi, kas iezīmē litoloģisko robežu starp devona terīgēno iežu un karbonātiežu svītām. Denudācijas kāples pakājē devona iežu virsma atrodas vidēji aptuveni 60 m vjl., bet dienvidos no Smiltenes un tās augšējās krotēs – aptuveni 100–110 m vjl., paaugstinoties līdz 140–145 m vjl. Drustu apkārtnē (Meirons, 2002). Tālāk dienvidu virzienā Ērgļu un Madonas tuvumā tā pakāpeniski pazeminās līdz 80–90 m vjl. Pamatiežu lielpacēluma virsma ir lēzeni viļņota un tajā dziļāki iegrauzumi nav konstatēti (Āboltiņš *et al.*, 1975; Meirons *et al.*, 1976; Straume, 1979; Āboltiņš, 1995, 1998).

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).

Kvartāra nogulumu pamatā atrodas Lētīžas leduslaikmeta nogulumu, kuri gandrīz nepārtraukta slāņa veidā pārklāj devona iežus, izņemot Augšgaujas un Augšogres pazeminājumus (Juškevičs, 2000). Tur tie konstatēti tikai atsevišķos urbumos. Nogulumu pārsvarā sastāv no ļoti blīvas, samērā viendabīgas sarkanbrūnas vai brūnsarkanas morēnas mālsmilts. Tā aizpilda devona iežu virsmas pazeminājumus vai veido nelielus izciļņus Piebalgas un Vestienas pauguraiņu centrālajā daļā, kur morēnas biezums sasniedz 20 metrus. Mežoles paugurainē un Vidzemes augstienes perifērijā morēnas biezums reti pārsniedz 5 metrus. No augstāk gulošajiem Kurzemes leduslaikmeta veidojumiem Lētīžas morēnu bieži atdala smilšainu, aleirītisku nogulumu slāņkopa, kuras biezums Piebalgas paugurainē sasniedz pat 30 metri (Āboltiņš, 1997; Juškevičs, 2000).

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 bieži pārsniedz 180–200 metrus. 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 izciļņu bremsējošais 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 izciļņiem Gaiziņkalna un Nesaules kalna apkārtnē Vestienas paugurainē, Klētskalna apkārtnē Piebalgas paugurainē un Dzērbenes tuvumā Mežoles paugurainē. To virsotņu absolūtais augstums pārsniedz 250 m (Gaiziņkalns – 311,6 m, Sirdskalns – 296,8 m, Abrienas kalns – 287,3 m, Nesaules kalns – 284,2 m, Mazais Gaiziņkalns – 283,5 m, Ķelēnu kalns – 283,4 m un citi, kopumā vismaz 85 virsotnes paceļas augstāk par 250 m vjl. atzīmi. Šie paugurainie masīvi sastāv no glaciotektoniski deformētiem nogulumiem – sarkanbrūnas vai brūnas smilšainas morēnas ar biežām smilts, grants, retāk aleirīta, dislocētām starpkārtām (Āboltiņš, 1989). Tikai atsevišķas virsotnes veido glaciofluviālie nogulumu. Hipsometriski zemākā līmenī (200–240 m vjl.) atrodas plakanvirsas pauguru virsotnes Ērgļu, Vestienas, Liezēres un Drustu apkārtnē. 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 nogulumu, bet virsotnes pārklāj 8–10 m biezs mālu slānis (Āboltiņš, Markots, 1995b, Āboltiņš, Markots, 1998b). Ap minētajiem masīviem un plakanvirsas pauguriem grupējas pārsvarā hipsometriski zemāki dažāda augstuma un formas morēnas pauguri un pauguraini masīvi ar atsevišķiem kupolveida pauguriem, kuri satāv no dislocētiem smilšainiem, granšainiem vai aleirītiskiem nogulumiem. Starp pauguriem atrodas dažādu izmēru un formas pārpuvotas ieplakas, kuras nereti pārklāj glaciolimniskie vai glaciofluviālie nogulumu.

Ledāja kustībai apmestot augstienes centrālajā zonā, tās perifērijā no apkārtējām zemienēm turpināja uzvirzīties vēl aktīvās ledāja masas (Āboltiņš, 1975; Āboltiņš *et al.*, 1975; Meirons *et al.*, 1976; Zelčs, Markots, 2004). To saskares zonās sānu, frontālajos un starpmēļu apstākļos izveidojās sarežģīts vaļņveida vai iegarenu pauguru un paugurgrēdu komplekss ar ledāja kustības virzienam paralēli vai frontāli orientētu pauguru un tos atdalošo ieplaku sakopojumu (Āboltiņš, 1975; Āboltiņš *et al.*, 1975). Šāds labi izteikts marginālo formu komplekss aptver Piebalgas pauguraines centrālās zonas austrumu un dienvidu daļu posmā starp Cesvaini un Odzienu, kā arī atdala Mežoles pauguraini no Aumeisteru paugurvaļņa Smiltene apkārtnē. Minētās reljefa formas veido deformēti ledāja vai glaciofluviālie nogulumu. Pazeminājumus starp tiem bieži pārklāj dažādgraudaina vai aleirītiska smilts. Zemes virsmas absolūtie augstumi augstienes perifērijā reti pārsniedz 160–180 metrus.

1.3. Latgales augstiene

Latgales augstiene ir lielākā augstiene Latvijā. Tā aizņem Latvijas dienvidaustrumu daļu. 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 pauguraiņu robežās – Rāznavas paugurainē (84 pauguri, taču izvietoti ļoti nevienmērīgi, to nemaz nav pauguraines rietumu daļā), Feimaņu paugurainē (15 pauguri), Dagdas paugurainē (35 pauguri). Stingri ievērojot fiziogēogrāfiskās rajonēšanas apvidu robežas (Zelčs, Šteins, 1989), četri plakanvirsas pauguri atrodas Maltas pazeminājuma dienvidaustrumu galā. Ņemot vērā, ka šai augstienes daļi raksturīgs liels absolūtais augstums, kā arī ievērojot līdzšinējos areālu nodalīšanas kritērijus, gribētos apgalvot, ka arī šīs minētās 4 pauguru formas jāpieskaita Rāznavas paugurainei.

Burzavas pauguraine ir dabas apvidus Latgales augstienes ziemeļu daļā ar aptuveno platību 656 km². Tā labi izceļas virs apkārtējiem, īpaši ziemeļu pusē, plašajiem, purvainajiem pazeminājumiem un pārpurvotajiem mežu masīviem. Dienvidos Rēzeknes pazeminājums šaurā joslā pauguraini atdala no Rāznavas pauguraines (Markots, 1994).

Pauguraines pamatiežu virsu veido augšdevona Daugavas svītas karbonātieži, dolomīts, kā arī retas dolomītmergēļa un māla starpkārtas. Pamatieži zemes virspusē neatsedzas, tos klāj dažāda biezuma un ģenēzes kvartāra nogulumu, tomēr pauguraines ziemeļu daļā tie vairāk vai mazāk pārveidotā stāvoklī atrauteņu veidā ietilpst pozitīvajās reljefa formās. Pie Rogovkas un Kaziniekiem no šiem atrauteņiem ir iegūtas dabiski sadrupinātas dolomīta šķembas. Vietām pamatieži ir jau sajaukti ar ledāja nogulumu un piešķir tiem neraksturīgu pelēcīgu vai zaļganpelēcīgu nokrāsu. Pamatiežus sedz kvartāra, galvenokārt ledāja nogulumu, kuru biezums Latgales augstienes piekājē ir 10–20 m, bet augstākajos pauguros sasniedz pat 100–120 metrus (Juškevičs, Skrebels, 2003; Meirons, 2004).

Šo Latgales augstienes daļu sauc arī par Burzavas glaciopacēlumu (Straume, 1979; Markots, 1994). Tā centrālo daļu aizņem zvonci jeb plakanvirsas lielpauguri, kuru virsotnes ir 160–180 m vjl. augstumā, bet atsevišķi morēnu pauguri paceļas arī augstāk. Starp zvonciem atrodas pazeminājumi un ieplakas, kurās bieži ir nelieli purvi vai ezeri. Lielpauguru stāvās, 25–35 m augstās nogāzes saposmo biezs gravu tīkls. Ārpus plakanvirsas pauguru izplatības lauka reljefu veido arī morēnu pauguri, starp kuriem ir

lieli ezeri. Plakanvirsas pauguros ir vietējas nozīmes glaciolimnisko mālu, grants un smilts atradnes (Bērziņš, 1955; Meirons, 1976; Markots, 1994; Juškevičs, Skrebels, 2003, Meirons, 2004).

Rāznavas pauguraine aptver Latgales augstienes centrālo un arī augstāko daļu (Markots, 1994). Pauguraines augstākos virsmas punktus veido relatīvi augstākie (50–89 m) un lielākie pauguri Latvijā. Uz DA no Rāznavas ezera šie pauguri atrodas uz augsta reljefa pacēluma un veido izteiktu Latgales augstienes ass zonu ar Lielo Liepukalnu (289,3 m vjl.), kas ir trešā augstākā virsotne Latvijā, Dzerkaļu kalnu (286,3 m vjl.), Dubuļu kalnu (273,8 m vjl.), Karaļu kalnu (272,2 m vjl.), Kromaņu kalnu (271,1 m vjl.), Greizo kalnu (Mazo Liepukalnu; 263,7 m vjl.) un citām virsotnēm, kuru absolūtais augstums pārsniedz 250 m vjl. (Markots, 1994). Visas vismaz 19 virsotnes, kas Latgales augstienē pārsniedz 250 m atzīmi, atrodas Rāznavas paugurainē un tieši tās centrālajā daļā. Tikai šīs zonas rietumu galā esošā Mākoņkalna virsotne ir 247,9 m vjl. Dienvidos no Rēzeknes un Rogaižu ezera apkārtnē izplatīts kēmu–sandru reljefs (Meirons, 1976), ko raksturo viļņota virsma, virs kuras paceļas pārsvarā zemi pauguri un grēdveida formas (Markots, 1991), kā arī daži līdz 25 m augsti morēnas pauguri. Paugurainē atrodas otrs lielākais Latvijas ezers – Rāznavas ezers (57,56 km²). Starppauguru ieplakās izplatīti galvenokārt nelieli purvi.

Rāznavas pauguraine atrodas virs līdzena devona iežu pacēluma, kura virsma atrodas 105–120 m vjl. Tās austrumu daļā šī virsma nedaudz pazeminās (90–100 m vjl.) (Mūrnieks, *et al.* 2004).

Rāznavas paugurainei raksturīgs liels (50–80 m) kvartāra nogulumu biezums (Veinbergs, Krūkle, 1965; Meirons, 1976; Juškevičs, Skrebels, 2003; Meirons, 2004). Dienvidaustrumos no Rāznavas ezera tas palielinās līdz 120 m, bet atsevišķos augstajos pauguros sasniedz pat 140–170 m (Markots, 1997). Paugurainē kvartāra nogulumu ģeoloģiskā griezuma pamatā nelielās platībās, pārsvarā pauguraines dienvidos, saglabājusies Lētīžas leduslaikmeta morēna – ļoti blīvs sarkanbrūns morēnas smilšmāls, kuru retos gadījumos pārklāj plāns (2–8 m) smalkgraudainas un dažādgraudainas smilts un aleirītu slānis. Morēnas biezums sasniedz 10 metrus. To savukārt sedz Kurzemes leduslaikmeta nogulumi, kas pauguraines lielākajā daļā uzguļ devona iežiem (Juškevičs, Skrebels, 2003, Meirons, 2004). Šo nogulumu sastāvā dominē brūna, sarkanīgi un pelēcīgi brūna blīva morēnas mālsmilts un smilšmāls no 3–5 līdz 25 m biezumam. Nereti morēnu pārklāj 10–20 m biezas ledāja kušanas ūdeņu slāņkopas – dažādgraudaina smilts ar grants un oļu piejaukumu, smalkgraudaina smilts, aleirīts (Markots, 1997).

Dagdas pauguraine ir dabas apvidus Latgales augstienes dienvidu daļā. Tās platība ir aptuveni 2367 km². Dagdas pauguraine atrodas uz pamatiežu virsmas pacēluma, kas lielāko augstumu – 121 m vjl. – sasniedz Drīdža ezera apkārtnē. Pamatiežu virsu pauguraines ZA daļā veido augšdevona Pļaviņu svītas dolomīts un dolomītmerģelis ar retām mālu starpkārtām, D un DA daļā Gaujas un Amatas svītas smilšakmens, aleirolīti, retāk māli un konglomerāts. Senajos iegrauzumos, it īpaši pauguraines A daļā, kur subkvartārā virsma ir ļoti nelīdzena, sastopami arī vidusdevona smilšakmens, aleirolīts un māli. Pamatiežus sedz 60–100 m biezi dažādas ģenēzes kvartāra, galvenokārt glacigēnie, glaciofluviālie un glaciolimniskie nogulumu (Meirons, 2004). To biezums palielinās virzienā no pauguraines malām uz centru, augstākajos pauguros sasniedzot 120–130 m, bet senajos iegrauzumos – pat 160 metrus (uz D no Višķiem) (Meirons, 1976, 2004; Markots, 1994).

Dagdas paugurainē zemes virsmas absolūtais augstums tikai dažviet pārsniedz 200 m vjl. (Asaru kalns – 229 m vjl., Sauleskalns – 211 m vjl.). Dagdas paugurainē var nodalīt 6 submeridionāli vai DA–ZR virzienā orientētas marginālā reljefa joslas (veidošanās secuma kārtībā): Biķernieku, Romuļu, Sīvera, Indras, Asūnes un Andžānu joslu (Āboltiņš *et al.*, 1972a; Meirons, 1976; Straume, 1979; Āboltiņš, 1995). Tās veido 180–200 m augstas, 1–8 km platas un līdz 30 km garas paugurgrēdas ar atsevišķām augstākām virsotnēm. Starp grēdām atrodas zvonci, morēnu pauguri, atsevišķi kēmi vai to grupas, ielejveida pazeminājumi un subglaciālās iegultnes (it īpaši starp Skaistu un Indru, Sīvera ezeru un Aglonu). Dziļākajos pazeminājumos un iegultnēs atrodas ezeri (Garais, Ormijas, Lielais Gusena ezers).

2. PLAKANVIRSA PAUGURU PĒTĪJUMU VĒSTURE

Plakanvirsas pauguri, platopauguri jeb zvonci ir ģeomorfoloģiskajā literatūrā īsās formas dēļ kādu laiku visbiežāk lietotais izsmeļošāka termina “plakanvirsas lielpauguru ar glaciolimnisko nogulumu segu” apzīmējums.

Plakanvirsas pauguri kā atsevišķs reljefa formu tips zinātniskajās publikācijās vai pārskatos izdalīts 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 1961, 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”, “galdveida augstienes”, “prarie plateaux” (Slater, 1929), “prairie mounds” (Gravenor, 1955), “a flat-topped moraine plateau”, “plato-like hill”, “moraine plateaux” (Stalker, 1960; Prest, 1975), “glaciolimnic kames”, “конечноморенные плато”, “водно – ледниковые платообразные возвышенности”, “озерно - ледниковые плато”, “озерно – ледниковые массивы”, “столообразные возвышенности или озерно – ледниковые плато”, “звонец” (Malahovski, Vigdorčik, 1963), „столообразные возвышенности (“звонцы”)”, “столбообразные холмы – “звонцы””, “камовое плато”, “zvontsy” (Bitinas, 1994; Velichko *et al.*, 2004), “flat glaciolacustrine hills with till foundation” (Bitinas, 1994) u. c., kuri 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.

V. Zāns (1936) vispārīgi saistīja deglaciācijas gaitu un reljefa veidošanos, t. sk., ievēroja plakanvirsas pauguru ievērojamo klātbūtni vismaz Vidzemes augstienē un skaidroja to veidošanos ar iekšledāja sprostezieriem: “Vidzemes centrālā augstiene, kurai pieder augstākie Latvijas morēnu pauguri, savā uzbūvē ir ļoti sarežģīts apgabals. Ļoti biežas morēnu akumulācijas šē veido stipri nemierīgu reljefu, kurā nav saskatāmi gandrīz nekādi norādījumi par ledus kustību un atkāpšanās gaitu. Vismaz tās dienvidu daļā, kas no abām pusēm ieslēgta no Zemgales un Lubānas mēlēm, bija tipisks ledus sastrēguma apgabals, kur leduslaikmeta beigās izveidojās aprimušā ledus blāķi, starp kuriem pie kušanas radās augsti nosprostoti ezeri. Pēdējos nogulsnējās īpatnējais bezakmeņu

sedzējums, kas lielākiem vai mazākiem laukumiem sedz morēnmālu un sastopams līdz pat augstāko kalnu virsotnēm, kā, piemēram, Gaiziņkalnā” (Zāns, 1936, 97. lpp.).

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: a) morēnas plato (*moraine plateaux*) un b) līdzenumu plato (*plains plateaux*). Taču pats A. Stalkers par saviem priekšgājējiem šo formu izpētē min C. P. Gravenora 1955. gada publikācijas, kur ir minēti morēnas plato, tāpat G. Hoppes 1952. gada publikācijas (Stalker, 1960).

Latvijā viens no pirmajiem autoriem, 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).

Ilgāku laiku Latvijā lietotais termins ”zvoncs” cēlies no morfoloģiski līdzīgu reljefa formu apzīmējuma Tihvinas grēdā, kura iekļaujas Valdaja (Ziemeļeiropā un Viduseiropā – Vislas) apledojuma galvenajā malas veidojumu joslā un fiksē Fenoskandijas ledusvairoga maksimālās izplatības robežu augšējā pleistocēnā (Asejev, 1973; Chebotareva, Makaricheva, 1974). Šādas reljefa formas Zvonca (*Звонец*) sādžas apkaimē, kas atrodas Krievijā, Novgorodas apgabala Dregeļas rajonā, aprakstīja M. Vigdorčiks un D. Malahovskijs (Malahovskiy, Vigdorčik, 1963), uzskatot sevi par to pirmatklājējiem un dodot tām īpašu nosaukumu “zvonci”.

Pagājušā gadsimta 70. un 80. gados šis termins izometrisko (akumulatīvi glaciostrukturālo) salveida augstieņu centrālo zonu savdabīgo platoveida lielpauguru apzīmēšanai strauji ieviesās arī Latvijā (Āboltiņš *et al.*, 1975, 1976; Āboltiņš, 1975, 1989; Meirons, 1976; Straume, 1979). To ievērojami sekmēja lielmēroga ģeoloģiskās kartēšanas metodisko rekomendāciju un instrukciju izstrādāšana visā PSRS teritorijā un atsevišķos tās

reģionos (piemēram, Osnovnyje polozhenija..., 1968; Basalikas, 1970; Instrukcija..., 1977; Grigelis, 1981) un M 1:50 000 ģeoloģiskās kartēšanas uzsākšana. Jau D. Malahovskis un M. Vigdorčiks (Malahovski, Vigdorčik, 1963) norādīja, ka “zvonci ir izplatīti grupās”. 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, kas ir veidojies Zemgales un Burtnieka ledus lobu saplūdes zonā, tā hipsometriski augstākajiem pauguriem piegulošajā teritorijā Daibes apkārtnē (Zelčs, 1992, 1995).

D. Malahovskis un M. Vigdorčiks (Malahovski, Vigdorčik, 1963) uzsvēra arī aprakstīto formu plašu izplatību Krievijas ZR daļas salveida akumulatīvajās augstienēs. Lai noskaidrotu platoveida pauguru ģenēzi, viņi (*ibid.*), pamatojoties uz vairāku autoru publicētajiem darbiem, minētās reljefa formas izdalīja pēc šādām pazīmēm:

- 1) veidotas no horizontāli slāņaina sīkdispersa limnoglaciālas ģenēzes materiāla;
- 2) tajās nav glacioidislokāciju pēdu;
- 3) izvietotas katrā augstienē augstākajos hipsometriskajos līmeņos, aizņemot “pakarinātu stāvokli”;
- 4) tām raksturīgi ievērojami relatīvie augstumi un stāvas nogāzes, kuras mazāk posmotas, piemēram, nekā kēmu nogāzes;
- 5) izplatība saistās ar kontrastainu morēnas pauguru, kēmu, reizēm galamorēnu grēdu reljefu.

Minētie autori veikuši arī vienu no pirmajām platoveida pauguru tipizācijām.

Plakanvirsas lielpauguri sastopami Krievijas ziemeļrietumu daļā: Valdaja augstienē, Baltijas grēdā, Bežanicu augstienē, Sudomas augstienē, Lugas augstienē.

Valdaja augstiene ir sarežģīta, komplicēta reljefa makroforma, kuras uzbūvē piedalās subkvartārās virsmas reljefs un pleistocēna nogulumi. Valdaja augstiene stiepjas 500 km garumā no ZZA uz DDR. Zvonci aizņem augšējo hipsometrisko līmeni – to virsmas atrodas līdz 260–270 m augstumam, bet piekājei raksturīgas 180–190 m un arī lielākas augstuma atzīmes (Shultz *et al.*, 1963; Isačenkov, Tatarnhikov, 1972; Asejev, 1974; Tatarnhikov, 1985).

Bežanicu augstiene atrodas Lovates un Veļikajas ūdensšķirtnes dienviddaļā (Assejev, 1973; Isachenkov, Tatarnhikov, 1972; Isachenkov, 1974). Augstienei ir ovāla, no ZA uz DR, aptuveni 85 km garumā stiepta forma. Tās platums ir aptuveni 35–45 km, bet platība 4125 km². Tā par 100–150 m paceļas virs apkārtējām zemienēm ar labi izteiktām nogāzēm. Kvartāra nogulumu sedz devona nogulumus no 60 m līdz 180 m biezumā. Augstienes maksimālais augstums sasniedz 338 m – Lobno kalns. Tās trešajā augstākajā līmenī var izdalīt 2–4 km garus zvoncus ar relatīvo augstumu 30–40 m, stāvām nogāzēm un plakanām virsotnēm. Paugurus parasti veido smalkgraudains materiāls (māls, aleirīts un smilts), to kodolā atrodas morēnas smilšmāls (Isachenkov, 1974; Isachenkov, Tatarnhikov, 1972; Tatarnhikov, 1980, 1981, 1985). Zvonci izteikti grupējas augstienes A malā, stūru masīvos, kur ieņem to augstāko hipsometrisko līmeni. Vēl augstākā hipsometriskajā līmenī augstienes centra virzienā atrodas pirmmasīvi (Tatarnhikov, 2007).

Sudomas augstienē plakanvirsas pauguri jeb zvonci izplatīti galvenokārt tās centrālajā daļā ierobežotu teritoriju, kuras stiepjas augstienes gareniskās ass virzienā, veidā (Isačenko, Tatarnhikov, 1972). Šis reljefa komplekss ietver plakano augsto ūdensšķirtņu miju ar dziļām, nereti plakandibena katlienēm, kurās atrodas ezeri. Zvoncu absolūtais augstums svārstās no 155–160 m augstienes rietumos līdz 200–240 m centrā un 200–210 m austrumos. Līdzīga augstuma maiņa vērojama virzienā no ziemeļiem uz dienvidiem: 165–170 m ziemeļos, 240–250 m centrā, 190 m dienvidos. Taču, samazinoties absolūtajam augstumam, zvonci joprojām paceļas ievērojami augstāk par citām reljefa formām (Isačenko, Tatarnhikov, 1972). Zvoncu virsma parasti plakana ar ļoti lēzeniem nelieliem pazeminājumiem, nereti vāji viļņota vai sīkpaugurota (Shultz *et al.*, 1963). Tieši Sudomas augstiene tiek minēta kā augstiene, ar kuru sākās salveida augstieņu metodiska izpēte, jo tika noraidīts priekšstats par to, ka tās pamatnē ir tektonisks pacēlums, un pierādīta ledāja akumulatīvā loma augstienes uzbūves ģenēzē (Āboltiņš *et al.*, 1989). Ir ļoti maz datu par augstienes uzbūvi, ieskaitot, vai tās pamatnē atrodas pamatiežu pacēlums, jo iespējams, ka šādu pacēlumu tomēr veido senāku apledojumu nogulumu (Āboltiņš, 1989).

Lugas augstiene atrodas uz austrumiem no Pleskavas ezera. Tā aizņem aptuveni 2900 km² platību, tai ir ieapaļa pēc formas, aptuveni 65 km diametrā (Isačenko, Tatarnhikov, 1972). Vidējais augstienes augstums ir 145 m vjl., augstākais virsmas punkts sasniedz 204 m vjl. – Kočebuža kalns, kura relatīvais augstums no starppauguru iepakām ir 60–80 metri. Augstākais līmenis pārstāvēts kā plakano ūdensšķirtņu un to

atdalošo katlieņu reljefs. Zvoncu relatīvais augstums augstienē ir mazāks (15–20 m) un ledāja akumulācijas augšējais līmenis atrodas zemāk (170–190 m vjl.) nekā Valdaja un Sudomas augstienē (Mozhajev, 1973).

Hānjas augstiene (ieskaitot arī Alūksnes augstieni) veido Pleskavas un Lubāna ezera, kā arī Gaujas baseina ūdensšķirtni. Plānā tai ir trijstūra, kura viena virsotne ir izstiepta D virzienā, apveids. Augstienes hipsometriski augstākais apvidus atrodas tās centrālajā un dienvidu daļā (t.i., Alūksnes augstienē) (Mozhajev, 1973). Hānjas augstienes kopējā platība ir aptuveni 2500 km², vidējais augstums – aptuveni 200 m vjl., bet maksimālais augstums Lielajam Munameģim sasniedz 318 m vjl. (Raukas, 1978). Augstienē subkvartārā virsma paceļas līdz 150 m vjl. un pleistocēna nogulumu biezums pārsniedz 150 m. Tās centrālajā daļā atrodas augsti pauguri un grēdas, kurus veido no ledājkušanas ūdeņu nogulumi, pārsegti ar morēnu vai slokšņu māliem. Tomēr glaciolimnisko nogulumu klātbūtne mālu veidā ir neliela; tie atrodas 120–150 m vjl. un visbiežāk klāj sīkos un vidējos paugurus, bet reti – lielos. Atsevišķos gadījumos māla nogulumu biezums pārsniedz 1 m (Raukas, 1978).

Otepē augstiene Igaunijā veido Pleskavas ezera un Vertsjerva ezera ūdensšķirtni. Augstienes platība ir aptuveni 1180 km², vidējais augstums – 127 m vjl., bet virsmas augstākais punkts – Kūtsemegi sasniedz 217 m vjl. (Raukas, 1978). Augstienē labi izteikts ledāja akumulācijas augšējais līmenis. Šī līmeņa izdalīšanas pamatā ir reljefa formas, kuru augšējās daļas sastāv no mālainiem glaciolimniskiem nogulumiem (Hang, Karukäpp, 1979, 2009). Plakanvirsas pauguri atrodas Otepē augstienes centrālajā daļā kopā ar vidēja augstuma morēnas pauguriem un ledājkušanas ūdeņu pauguriem ar morēnas pārsegu (Karukäpp, 1978). Glaciolimniskie nogulumi izvietojas dažādā augstumā un dažādā novietojumā: slokšņu māls galvenokārt vidusdaļā, un pārklāj sīkos un vidējos paugurus, bet neslokšņots māls – vidējos un augstos paugurus; rietumdaļā slokšņu māls sedz gan sīkos, gan lielos paugurus. Spriežot pēc mālu segas izvietojuma, augstienes vidusdaļas veidošanās laikā baseinu līmenis, pēc A. Raukas uzskatiem, bijis 150–160 m vjl., bet rietumdaļā – 180–190 m vjl. vai augstāk (Raukas, 1978).

Žemaitijas augstiene atrodas Rietumlietuvā. Tā ir viena no lielākajām salveida augstienēm – garumā līdz 140 km, bet platumā līdz 100 km. Tās platība ir aptuveni 9000 km², augstākā virsotne ir Medvegalis (234,6 m vjl.), kas ir plakanvirsas paugurs, kā arī pilskalns (Guobyte, 2007a, 2007b, 2009a). Subkvartārajā virsmā ir noteiktas daudzas apraktās ielejas. Kvartāra nogulumu biezums mainās no 50–100 m līdz 150–200 m (Guobyte, 2007a). Centrālo, augstāko daļu, aizņem zvonci (lielu kēmu pauguru, kuru

līdzienās virsmas klātas ar glaciolimniskiem māliem, sakopojums). Žemaitijas augstienē zvonci sastopami grupās (Basalikas, 1969). Augstienes centrālajā daļā esošos platovirsas paugurus iedala trīs grupās: glaciolimniskie platovirsas pauguri, glaciofluviālie platovirsas pauguri un morēnas platovirsas pauguri (bez māla, aleirītu un smilts segas). Centrālajā jeb Ūdensšķirtnes masīvā tiek izdalīti trīs plakanvirsas pauguru areāli – Medvegalis, Girždūte, Šatrija. Medvegalis areālā māla nogulumu biezums mainās no 1–2 m līdz 8–10 m (Guobyte, 2007b), vai pat līdz 12 metriem (Kudaba, 1979). Č. Kudaba (*ibid.*) gan tur esošos plakanvirsas paugurus devē par limnokēmiem. Tāpat plakanvirsas pauguri atrodas Plateļu masīvā, uz austrumiem no Plateļu ezera (Guobyte, 2009b).

Baltijas grēda ir vairāk vai mazāk izteikts lineārs veidojums, kas stiepjas vairāk nekā 2500 km garumā no rietumiem, dienvidrietumiem uz ziemeļaustrumiem (arī caur Baltijas valstīm un Baltkrieviju; plašākā izpratnē – no Dānijas līdz pat Somu līcim) un iezīmē pēdējā apledojuma maksimālās izplatības robežu (Asejev, 1974). Ar šādu nosaukuma to kā marginālo augstieņu virkni izdala arī Lietuvā (Kudaba, 1969, 1972; Basalikas, 1969, Bitinas, 1990, 1994). Arī šajā augstienē, tāpat kā Valdaja augstienē, kas abas pēc O. Āboltiņa (1972) klasifikācijas atbilst marginālajām augstienēm, hipsometriski augstākos līmeņus aizņem zvonci (lielie plakanvirsas kēmi). Zvonci te gandrīz nav sastopami grupās, bet gan kā “izolētie kalni” (Basalikas, 1969). Savukārt A. Bitinas norāda, ka plakanvirsas pauguri ir izvietoti no dažu līdz 10 formu lielās grupās (areālos) ar gandrīz vienādiem virsmas augstumiem, kuri dominē virs apkārtnes. Utenas apkārtņē plakanvirsas pauguri veido divus labi izteiktus areālus morēnas masīvos: Sudeiķu masīvu uz ZA no Utenas un Rubiķu masīvu DR un R no Utenas (Bitinas, *ibid.*).

Plakanvirsas pauguri satopami arī citur kontinentālā apledojuma kādreiz klātajās teritorijās un aprakstīti gan Polijā (Niewiarowski, 1963), gan Dānijā (Niewiarowski, 1965), gan arī Zviedrijā (Hoppe, 1952) un Ziemeļamerikā (Prest, 1975, Trenhaile, Alan, 1990).

3. MATERIĀLI UN METODES

Pētījums balstās uz ilgstošā laikā iegūtiem lauka pētījumu datiem, publicēto literatūras avotu studijām un kartogrāfiska rakstura telpisko datu studijām, analīzi un interpretāciju. Autora veiktie pētījumi ar dažādu intensitāti pētījumu teritorijā turpinājušies vairāk nekā 15 gadus, taču līdz ar jaunāko informācijas tehnoloģiju, īpaši ģeomātikas metožu, t.i. ģeogrāfiskās informācijas sistēmu (ĢIS), globālās pozicionēšanas sistēmu (GPS) un tālīzpētes integrēšanu pētījumos, ir kļuvis iespējams veikt daudz detālizētāku un precīzāku telpisko analīzi, kas parāda reljefa formu izplatības, teritorijas virskārtas nogulumu un reljefa formu uzbūves savstarpējo saistību.

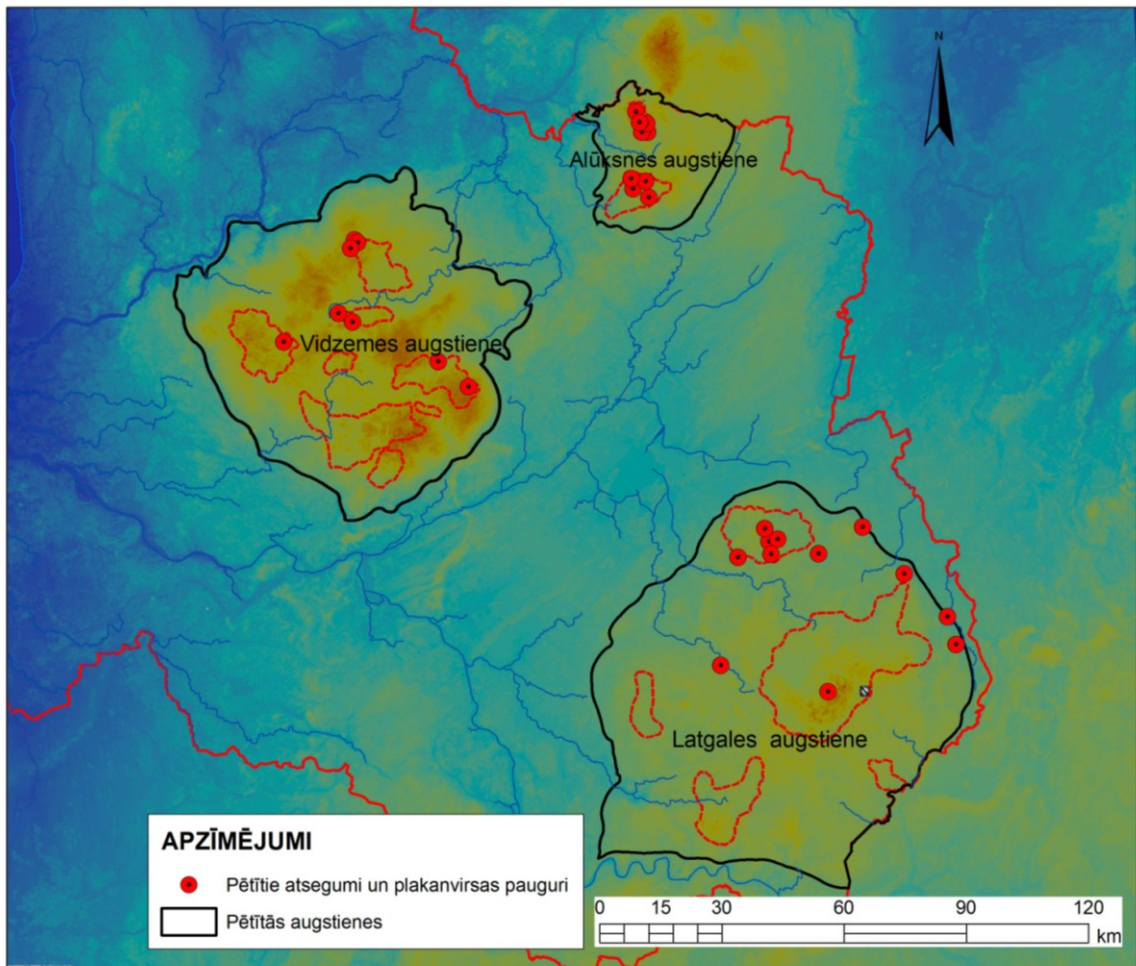
Tāpēc viens no darba uzdevumiem bija, izmantojot daudzveidīgu telpisko informācijas avotu klāstu, iegūt iespējami precīzāku pētāmo reljefa formu izvietojuma karti un analizēt pieejamo telpisko informāciju, lai pētītu gan atsevišķas formas, gan to kompleksus trīs mērogos: 1) plakanvirsas pauguru izplatība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

Izvirzīto uzdevumu veikšanai tika izmantotas jau aprobētas ģeoloģiskās un ģeomorfoloģiskās pētījumu metodes un paņēmieni, kaut gan ļoti ierobežotais pētījumu finansējums neļāva iekļaut pētījumu programmā nogulumu absolūtā vecuma noteikšanas mūsdienu metodes, tāpēc paleoģeogrāfiskajās interpretācijās ir izmantoti dati par nogulumu uzkrāšanās un lielo laukakmeņu izžušanas laiku no ledāja, kas iegūti citu autoru pētījumos un pieejami jaunākajās publikācijās (Rinterknecht *et al.*, 2006; Kalm, 2006; Raukas *et al.*, 2004, 2010; Zelčs *et al.*, 2010, *in press*). Plakanvirsas pauguru klasifikācija pēc izmēriem un to piederība kādai no reljefa formu linearitātes grupām noteikta, vadoties pēc Latvijā un citos senā segledāja apgabalos tradicionāli atzītās ledāja reljefa vidējformu morfoloģiskās klasifikācijas (skat. Zelčs, 1997a).

Kamerālo darbu periodā, izmantojot liela mēroga topogrāfiskās kartes, veikta plakanvirsas pauguru un to apkārtnes morfoloģiska un kartogrāfiska analīze, izstudēti un apkopoti publicētās literatūras avoti. Šajā laikā izdarīta arī lauka darbu posmā savākto materiālu analīze, ģeoloģisko griezumus sastādīšana un izvērtēšana, Valsts sabiedrības ar

ierobežotu atbildību “Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs”, uzkrāto Ģeoloģijas fonda materiālu studēšana un interpretēšana.

Lauka darbu posmā veikta maršrutu tipa ģeomorfoloģiskā kartēšana, kas ļāva, pirmām kārtām, iegūt priekšstatu par pētāmo reģionu reljefa formu kompleksu raksturu un tipiskāko plakanvirsas lielpauguru teritoriālo sadalījumu, otrām kārtām, ļāva izvēlēties nepieciešamos detaļo pētījumu objektus (3.1. att.).



3.1. attēls. Pētījumu teritorijas novietojums un detaļi pētītie atsegumi un plakanvirsas pauguri. Zemes virsmas reljefa attēlošanai izmantoti *SRTM* digitālā modeļa dati.

Figure 3.1. Location of the study areas and studied in details outcrops and plateau-like hills. *DEM* derived from *SRTM*.

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

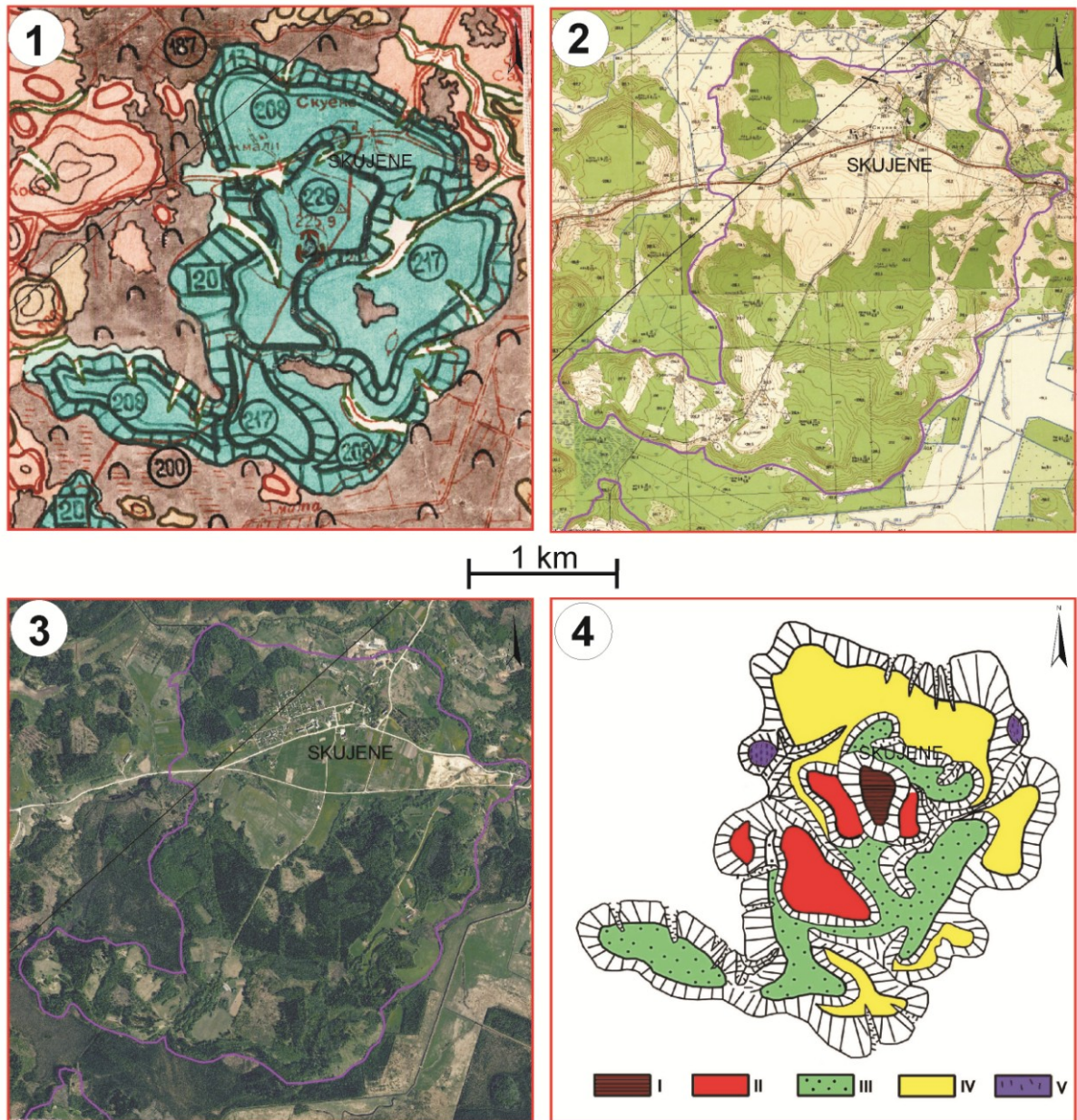
Plakanvirsas pauguru morfoloģijas un uzbūves specifika, to novietojums citu reljefa formu kompleksā, samērā nelielā saimnieciskās izmantošanas intensitātē pēdējos gados radīja diezgan lielas grūtības izvirzīto uzdevumu realizācijā. Tomēr darba izstrādes laikā ir veikti plakanvirsas pauguru pētījumi visās Latvijas salveida akumulatīvi glaciostrukturālajās augstienēs.

Literatūras studijas ietvēra publicētās literatūras analīzi, t. sk. internetā pieejamās publikāciju datu bāzes: žurnālu, galvenokārt *ScienceDirect* datu bāzi, npublicēto avotu, īpaši Valsts ģeoloģijas fondu krājumu – pārskatu un to grafisko pielikumu (karšu, griezumumu un urbumu datu) materiālu izvērtēšanu.

3.1. Ģeotelpisko datu iegūšana, apkopošana un analīze

Pētījumā izmantotas ģeoloģiski ģeomorfoloģiskās izpētes, kartogrāfiskā materiāla analīzes un ģeomātikas metodes. LU ĢZZF Karšu pārlūka (<http://kartes.geo.lu.lv>) izveidošana un pilnveidošana pēdējos gados, īpaši sadarbībā ar Valsts sabiedrību ar ierobežotu atbildību “Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs”, tās uzkrātā Latvijas Ģeoloģijas fonda materiāliem, ļāva veikt augstas precizitātes un detalitātes reljefa formu un nogulumu izplatības telpisko analīzi gan nelieliem areāliem (4.3. att.), gan visām salveida akumulatīvi glaciostrukturālajām augstienēm kopumā (3.2. att.).

Plakanvirsas lielpauguru ārējās morfoloģiskās pazīmes un īpatnības tika analizētas kartēšanas, kas veikta dažādos gados, galvenokārt mērogā 1:50 000 materiāliem (ieskenēti un ĢIS *ArcMap* 9.3. vidē ģeoreferencēti kartogrāfiskie dati). Materiālus pārstāv ģeomorfoloģiskās un kvartāra nogulumu karšu lapas, kā arī liela mēroga topogrāfiskās kartes, galvenokārt mērogā 1:10 000. Tika izmantoti ģeomātikas un ģeogrāfisko informācijas sistēmu (ĢIS) līdzekļi un datubāzes (3.2. att.). Tas ļāva daudzpusīgi analizēt un precizēt formu īpatnības un īpašības atsevišķās augstienēs, kā arī atsevišķos plakanvirsas lielpauguru izplatības areālos. Galvenais ieguvums, izmantojot ĢIS līdzekļus, ir plakanvirsas pauguru datu bāze ar pauguru kontūrām un dažādiem parametriem par tiem, kuri iegūti no karšu izpētes vai analīzes ar ĢIS rīkiem vai pat ar cita rakstura datorprogrammu atbalstu. Rezultātā tika iegūts ļoti pilnīgs informācijas apjoms par pētītajām reljefa formām, kas nepieciešamības gadījumā var tikt papildināts ar citiem datiem, kuri izmantojami ģeomorfoloģiska rakstura vai citiem pētījumiem, teritorijas plānošanas dokumentu izstrādei vai lietišķa rakstura mērķiem.



3.2. attēls. Plakanvirsas paugura attēlojums dažādos telpiskās informācijas avotos. Piemērs no Vidzemes augstienes Skujenes plakanvirsas pauguru izplatības areāla (areāla atrašanās vietu skat. 4.2. un 4.3. att.).

Avoti: 1 – M 1:50 000 ģeomorfoloģiskā karte; 2 – M 1:10 000 topogrāfiskā karte, šķēluma augstums 2 m; 3 – ortofotokarte (Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra); 4 – ģeomorfoloģiskā shēma (pārveidota, Markots, Āboltiņš, 1998b).

Apzīmējumi terašu līmeņiem (4): I – augstākais virsmas līmenis, 226 m vjl.; II – terase, 220 m vjl.; III – terase, 216 m vjl.; IV – terase 209 m un 207 m vjl.; V – terase, 196 m vjl.

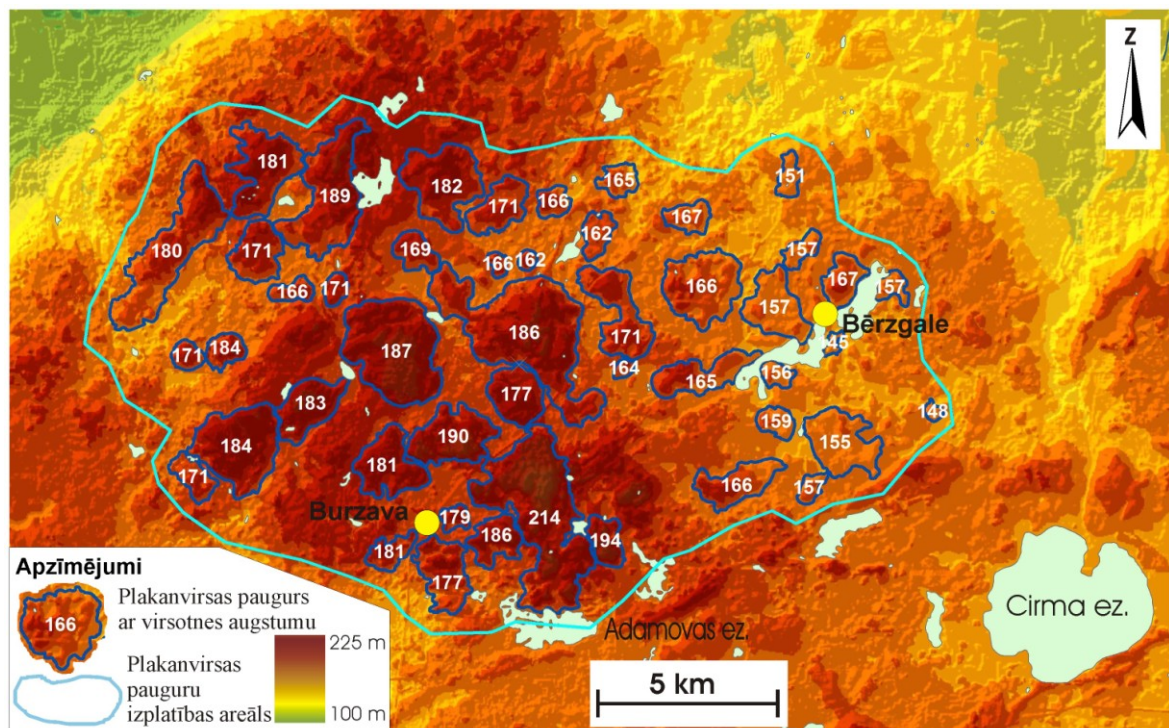
Figure 3.2. Different views of a typical plateau-like hill located at the Skujene plateau-like hill area, Vidzeme upland (see Figure 4.2. and 4.3. for location).

Sources: 1 – Geomorphological map of scale 1:50,000; 2 – Topographic map of scale 1:10,000, contour interval 2 m; 3 – Orthophotomap (Latvian Geospatial Information Agency); 4 – Geomorphological map (modified after Markots, Āboltiņš, 1998b).

Legend for terrace levels: I – the highest level 226 m a.s.l.; II – terrace 220 m a.s.l.; III – terrace 216 m a.s.l.; IV – terrace 209 m and 207 m a.s.l.; V – terrace 196 m a.s.l.

Tāpat plaši tika izmantoti LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes (ĢZZF) Karšu pārlūkā (<http://geo.lu.lv/>) esošie daudzveidīgie telpiskās informācijas avoti: pamatā izmantotas M 1:10 000 un 1:25 000 topogrāfiskās kartes, aerofotouzņēmumi ortofotokaršu formā, kā arī digitālie virsmas modeļi – Latvijas ģeotelpiskās informācijas aģentūras (LĢIA) sagatavotais (<http://karte.lgia.gov.lv/kartes.html>) Latvijas reljefa modelis un ASV kosmisko misiju brīvpieejamais *NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* globālā reljefa datu Latvijas teritorijas fragments, kas ļāva novērtēt un precizēt formu morfoloģiju, kā arī to savstarpējo hipsometrisko stāvokli un arī novietojumu attiecībā pret citiem plakanvirsmas pauguriem vai citas ģenēzes formām (3.2., 3.3., 5.2. un 5.3. att.). LU ĢZZF Karšu pārlūka materiāli izmantoti ar *ArcMap* 9.3. rīkiem, pamatā WMS atbalstu. Nelielai teritorijai uz dienvidiem no Gaiziņkalna Vidzemes augstienes dienvidu daļā tāpat tika izmantoti LĢIA lāzerskenēšanas dati.

Darba izstrādes gaitā tika izmantota dažāda rakstura licencētas un atvērtā koda datorprogrammas: *ESRI ArcMap* 9.3., *Quantum GIS* 13.0., *CorelDraw* 10.0. un *Corel PhotoPaint* 10.0., *Surfer* 8.0, *ERDAS Imagine* un *Image ProPlus*, *QuikGrid* 5.0. un *MS Office* programmatūra.



3.3. attēls. Burzavas plakanvirsmas pauguru izplatības areāls un formas ar maksimālā absolūtā augstuma atzīmēm. Reljefa slānis izmantots ar Latvijas Ģeotelpiskās aģentūras atļauju.

Figure 3.3. Burzava plateau-like hill area with maximum altitude values. Relief layer is used by courtesy of the Latvian Geospatial Information Agency.

Pamatrīks telpisko datu ieguvē un analizē bija *ESRI ArcMap 9.3.* ar paplašinājumiem, kas izmantoti digitizācijai un izzīmējot svarīgākos reljefa formu morfoloģijas elementus: nogāzes, virsotnes, virsmas terases un to augstumus. Tāpat tika digitizētas horizontāles un citas virsmas, attēlota formu orientācija, kā arī veikta telpiskā analīze, nosakot reljefa formu attiecības, tika veidoti un analizēti 3D modeļi, piesaistīti koordinātām (ģeoreferencēti jeb vārpoti) dažādi kartogrāfiskie materiāli, kā arī sagatavotas kartes promocijas darbam, ziņojumiem un prezentācijām.

Pētījuma gaitā sagatavota iespējami pilnīga 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 (2.1. tabula kā datu bāzes piemērs). Datu bāze aptver tikai salveida akumulatīvo glaciostruktūru augstieņu 354 plakanvirsas pauguru telpiskā stāvokļa un dažādu parametru raksturojumu.

3.1. tabula. ĢIS datu pamatstruktūra (ar 2 plakanvirsas pauguru datu piemēriem)

Table 3.1. GIS Data base-structure (with examples of 2 plateau-like hills data)

FID*	Shape*	ID	H max	H min	H relat	Platība	Areals
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
28	Polygon	1	231	180	51	1991542	1
62	Polygon	2	236	194	42	4239970	10

3.1. tab. turpinājums

Piez	Terases	F2	F3	Kods 2	Terases sk	Coment
<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>
Iceniešu kalns	Vaļņv.; ter; 220, 215; 210	170,930	1,919	3	3	Nivelēts un zondēts
Zelta kalns	Sh, 220, 227	167,301	2,192	2	2	Publicēta shēma

Tabulas 3.1. datu struktūras, ieguves veida un avotu īss skaidrojums:

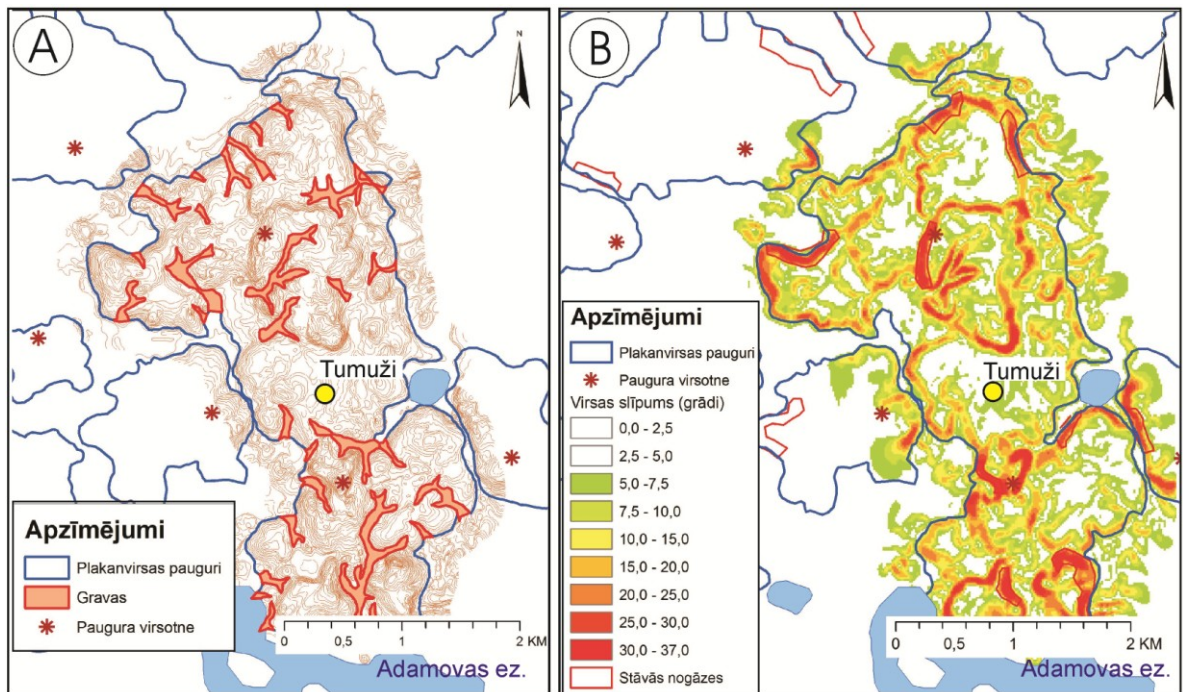
FID* (1) – ieraksts tiek ģenerēts automātiski objekta ievadīšanas secībā; Shape* (2) – ieraksts tiek ģenerēts automātiski, atkarībā no objekta attēlojuma formas (Feature type: Point, Polyline, Polygon, MultiPoint, MultiPatch), iespējams viens attēlojuma formas tips; ID (3) – tiek apzīmēta (kodēta ar ciparu) augstiene (šeit 1 – Alūksnes, 2 – Vidzemes, 3 – Latgales); H max (4) – maksimālais formas virsotnes augstums (iegūts no topogrāfiskās kartes, veselos m, lai nepārspīlētu precizitāti); H min (5) – minimālais formas piekājes augstums, iegūts no topogrāfiskās kartes, veselos m, lai nepārspīlētu precizitāti); H relat (6) – relatīvais formas virsotnes augstums, iegūts no H max atņemot H min (rēķināts veselos m, lai nepārspīlētu precizitāti); Platība (7) – ar programmu izrēķināta platība m²; Areals (8) – tiek nedefinēts plakanvirsas pauguru areāls (1 – Iceniešu, 10 – Skujenes, numerācija no Z uz D, 16 – ārpus areāliem esošie pauguri Latgales augstienē); Piez (9) – paugura (kalna)

nosaukums (ja tāds pastāv, izmantoti Satelītkartes dati, Latvijas Dabas enciklopēdijas dati u.c. avoti); Terases (10) – tiek aprakstīta forma un virsas terašu līmeņu augstumi (m); F2 (11) – formas orientācija, šeit iegūta ar *Image Pro Plus 5.1.* programmu (apzinoties, ka rezultāts pārspīlēts (3 zīmes aiz komata); F3 (12) – formas linearitātes rādītājs, iegūts ar *Image Pro Plus 5.1.* programmu; apzinoties, ka rezultāta precizitāte (3 zīmes aiz komata) pārspīlēts, jo mazliet precizējot formas kontūru, rezultāts mainīsies; Kods2 (13) – izmantojot datus par formas morfoloģiju, t. sk. izmēriem, terašu skaitu un veidolu kartēs, plakanvirsas pauguru tiek kodēti atbilstoši darbā izstrādātajai klasifikācijai: Terases sk (14) – plakanvirsas paugura virsas terašu skaits; Coment (15) – vieta piezīmēm.

ArcMap ĢIS vide neparedz vienā slānī (failā vai datnē) apvienot dažāda veida (vienkāršākā izvēlē punktveida, līnijveida un poligonveida) informāciju (3.1. tabula, *Shape** ieraksts – viens visai datu tabulai), tāpēc kopumā analizējot tikai pat vientipiskas reljefa formas, pētniekam veidojas salīdzinoši sarežģītu datu kopa. Tās izmantošana kļūst pietiekami komplicēta, taču spēj sniegt atbildes uz daudziem jautājumiem, ja tādi rodas, īpaši izmantojot plašo *ArcMap* saimes analīzes rīku kopu.

Izveidotās papildu datu kopas:

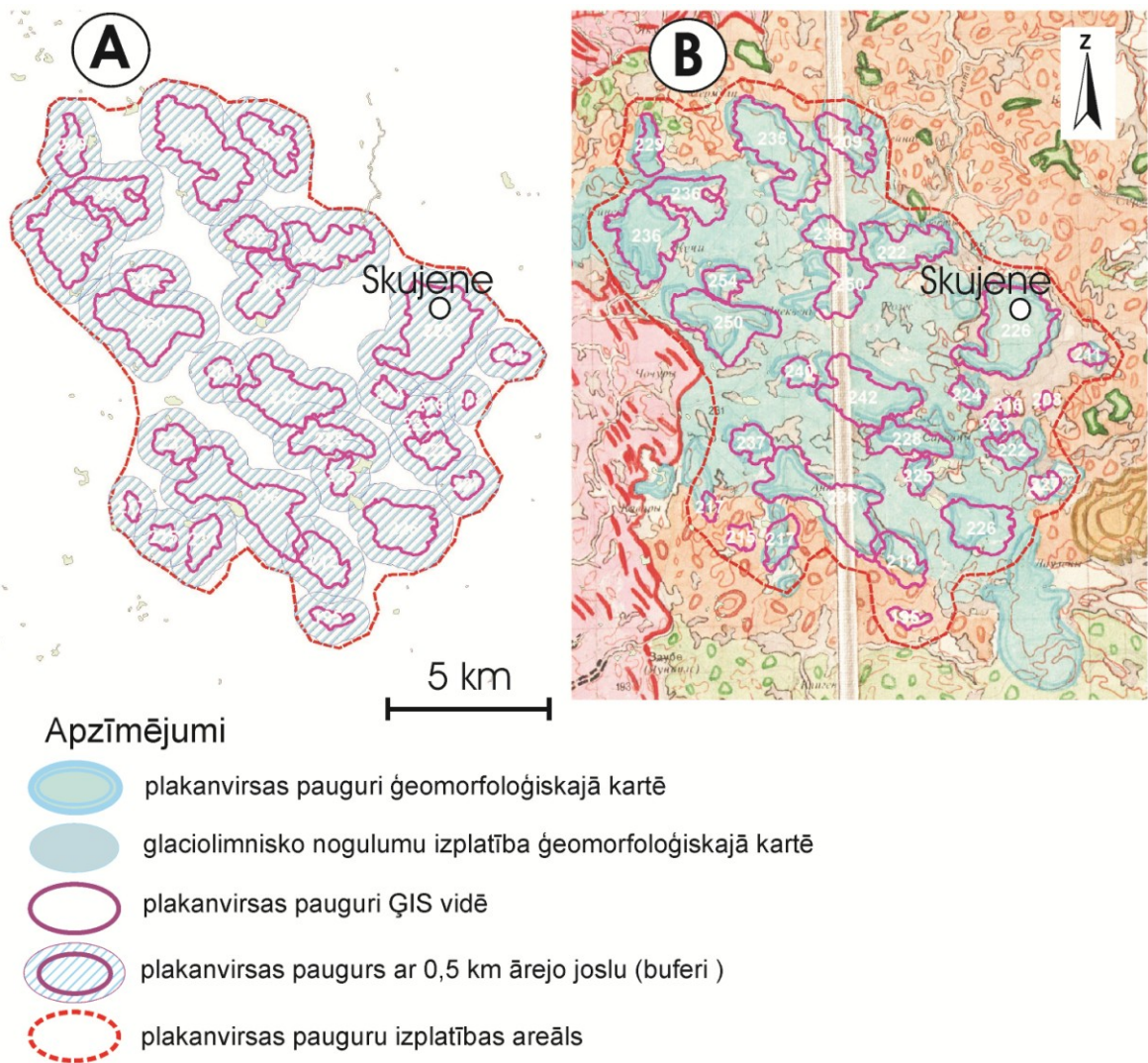
- (1) nogāzes – izdalīti tie plakanvirsas pauguru nogāžu iecirkņi, kuri raksturojas ar stāvākajām nogāzēm, cenšoties analizēt likumsakarības par nogāžu raksturu un orientāciju attiecībā pret areāla kopējo konfigurāciju un ledāja virzienu. Jāpiebilst, ka M 1:10 000 topogrāfisko karšu reljefa attēlošanas precizitāte ir atkarīga no reljefa saposmuma, bet garu un stāvu nogāžu gadījumos, kas plakanvirsas pauguriem ir ļoti raksturīgas, nogāžu stāvums attēlojas nepietiekoši korekti, jo nogāzes krituma leņķa izšķirtspējas robežlielums ir 20°. Tāpēc digitizēti reljefa dati no topogrāfiskajām kartēm izolīniju veidā saturēs šīs pašas kļūdas. Lai gan datorprogramma iedos skaitliski precīzākus datus, nekā analogās metodes, tie pēc savas būtības tomēr uzskatāmi par orientējošām vērtībām (3.4.A un 3.4.B att.);
- (2) virsotnes (1 vai arī vairākas pēc augstuma tuvas pauguru augstākās virsotnes, kas palīdz analizēt virsmas galveno slīpumu virzienus);
- (3) karjeri (izmantojot dažāda mēroga topogrāfiskās kartes un ortofotokartes, ir identificētas vietas, kur notikusi vai notiek derīgo izraķeņu ieguve). Pēc šiem datiem tika lokalizētas konkrēto pētījumu vietas pirms apsekošanas un lauka darbiem;
- (4) reljefs horizontālēs (digitizēts no M 1:10 000 topogrāfiskajām kartēm) (3.4.A att.) un analizēts ar *ArcMap* rīkiem (3.4. B att.);



3.4. attēls. Plakanvirsas pauguru nogāžu stāvuma analīze Tumužu pauguram Latgales augstienē. A – horizontāles un gravas digitizētas no topogrāfiskās kartes M 1:10 000; B – nogāžu slīpuma analīze, izceļot stāvākos iecirkņus.

Figure 3.4. Analysis of slope steepness of the plateau-like hill at Tumuži in the Latgale upland. A – contourlines digitized from topographic map scale 1:10,000; B – slope analysis (in degrees), to displayed escarpments areas.

(5) plakanvirsas pauguru izplatības areālu robežas. To izdalīšana nav līdz šim bijusi stingri noteikta un tās parasti attēlotas tikai maza mēroga kartēs (Straume, 1979; Ginters, 1984) un ir galīgi nepiemērotas kartējot formas tuvu mēroga 1:10 000 precizitātei. Tāpēc darbā iegūtais rezultāts tiek piedāvāts kā risinājums, kad šī robeža vilkta aptuveni 0,5–1 km attālumā no areāla malas pauguriem, precizēta pēc apkārtnes reljefa formām. Areāla robeža tiek izvilktā analizējot galvenokārt plakanvirsas pauguru formu savstarpējo izvietojumu. Ar *ArcMap* 9.3. rīku *Buffer* tiek izvilktas joslas dažādos attālumos, cenšoties atrast lielumu, pie kura veidotos pietiekams pārklājums, kas labi, bet ne pārmērīgi aizpildītu “tukšos” laukumus starp formām (3.5.A att.; ar 0,5 km lieluma robežu (buferi)). Iegūtais lielums ir salīdzināts un tam ir augsta sakritība ar 1:200 000 ģeomorfoloģisko karti (Mironovs *et al.*, 1973), kurā uzrādīta glaciolimnisko nogulumu izplatība plakanvirsas pauguru tuvumā (3.5.B att.).



3.5. attēls. Skujenes plakanvirsas pauguru izplatības areāla robežu izdalīšanas metodikas rezultāts; A – plakanvirsas pauguri ar izvilkto ārējo joslu (buferi) 0,5 km attālumā; B – plakanvirsas pauguri un robeža atlikta uz 1:200 000 ģeomorfoloģiskās kartes.

Figure 3.5. Results of various identification of boarder of the plateau-like hills area: A – boarder defined with 0.5 km wide outside buffer; B – border of the area and plateau-like hill derived from the geomorphologic map of scale 1:200,000.

(6) plakanvirsas pauguru garenasis ir iegūtas analizējot ar *ImagePro Plus 5.1.* programmu, un atliktas pēc iegūtajiem rezultātiem ar ĢIS rīkiem manuāli;

(7) nogulumu datējumu vietas un rezultāti, kas iegūti ar mūsdienu datēšanas metodēm (Rinterknecht *et al.*, 2006; Raukas *et al.*, 2010; Zelčs *et al.*, 2010, *in press*);

(8) ledāja dažādu vēlās Vislas apledojuma deglaciācijas etapa oscilācijas fāžu maksimālās izplatības robežas (Zelčs *et al.*, 2010, *in press*).

Jāņem vērā, ka reljefa modeļa precizitāte vienmēr atkarīga no vairākiem faktoriem, to skaitā: (1) mērīto datu precizitātes topogrāfiskās kartes veidošanas vajadzībām; (2) kartes zīmēšanas precizitātes; (3) kartes skenēšanas un iesiešanas

(ģeoreferencēšanas) kvalitātes, jo skenējot rasta attēlu, var rasties sagrozījumi, kā arī attēlu piesaiste koordinātu telpai ne vienmēr ir ideāli precīza; (4) reljefa datu digitizēšanas precizitātes, jo digitizētājam kļūdoties par 1 mm, t.i. aptuveni vienas horizontāles platumā, uz papīra, reljefa punkta horizontālā nobīde M 1:10 000 kartē veido 10 m dabā; (5) interpolācijas metodes un tās parametru izvēles (Markots *et al.*, 2010).

Turklāt analizējot pētīto reljefa formu attiecības ar mūsdienu zemes virsmas reljefu un pauguru morfoģenēzi tika izmantoti autora vai sadarbībā ar citiem pētniekiem radīti arī citi digitāli vektordati, kuri varētu būt noderīgi ar plakanvirsas pauguriem saistīto ledājkūšanas ūdeņu veidojumu identificēšanā un, iespējams, norādītu uz šo veidojumu ģenēzes kopsakarībām. Šī vektordatu grupa satur informāciju par apraktajām ielejām, osiem, gravām, purviem un kvartāra virsas nogulumu izplatību.

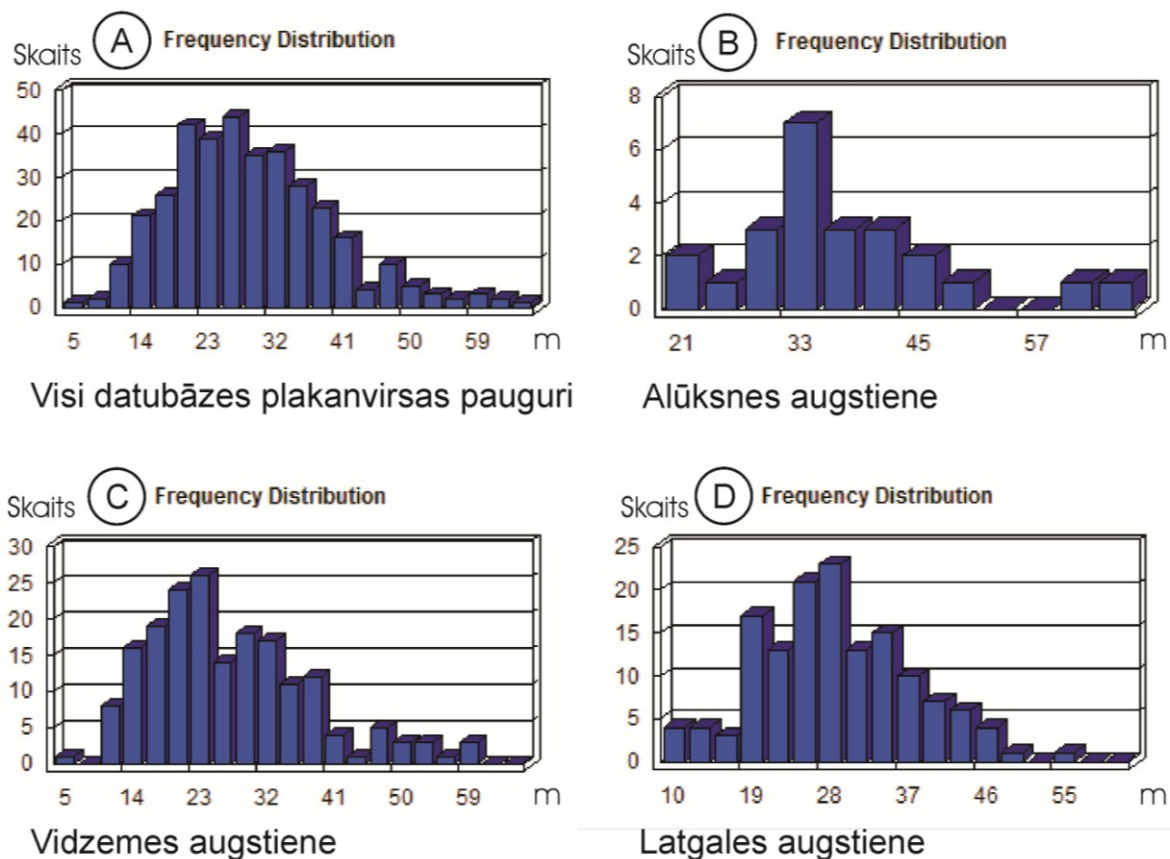
3.2. Lauka pētījumi un tajos iegūto datu statistiskā apstrāde

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.

Atsegumos tika mērītas oļu garenasis un slāņu saguluma elementi, kuru mērījumu datu apstrādē izmantotas statistiskās apstrādes metodes datorizētā vidē ar *StereoNet* datorprogrammu (4.10. att.).

Otrs analīzes veids bija datu bāzes skaitlisko rādītāju statistiska apstrāde skaitliskai vai grafiskai informācijas prezentācijai (4. nod. un 3.6., 4.5., un 4.6. att.). 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 (skat. atsevišķu plakanvirsas pauguru areālu aprakstus 4. nod.). Tika analizētas lielpauguru platības, formu skaits areālos (4.1. tab.), vidējie maksimālie augstumi, relatīvo augstumu sadalījums atsevišķos areālos, maksimālo un minimālo augstumu diferences (4.5. un 4.6. att.).

GIS datu bāzē datus šķietami vienkāršāk ir analizēt ar tā devētajiem “iekšējiem” statistikas rīkiem, ar kuriem var vienlaicīgi veikt atlasī pēc kāda kritērija, piemēram, vienas augstienes vai viena areāla ietvaros esošajām formām. Var analizēt datus par visiem ietvertajiem objektiem, t.i, plakanvirsa lielpauguru skaits katrā to izplatības areālā, areālu platība utt., vai, piemēram, pauguru relatīvā augstuma sadalījumu atsevišķās augstienēs (3.6.B, C, D att.) vai visiem plakanvirsa pauguriem kopā (3.6.A att.). Diemžēl ne vienmēr iespējams šos rezultātus eksportēt uz citu vidi vai vizualizēt savādāk.



3.6. attēls. Plakanvirsa pauguru analīze (grupējumi) pēc relatīvā augstuma (*ArcMap 9.3. vides statistiskā analīze*). Horizontālā ass – pauguru relatīvie augstumi (m); vertikālā ass – pauguru skaits atbilstošā augstumu kategorijā. Grupēšanas rezultāts: A – visi datubāzes plakanvirsa pauguri; B – Alūksnes augstienē; C – Vidzemes augstienē; D – Latgales augstienē.

Figure 3.6. Grouping of the plateau-like hills by their relative height (*ArcMap 9.3. Geo Statistical analysis*). Horizontal axis – relative height of the plateau-like hills (m); vertical axis – number of the plateaus in according to height class. Grouping result: A – all plateau-like hills in the database; B – in the Alūksne upland; C – in the Vidzeme upland; D – in the Latgale upland.

Šajā gadījumā *ArcMap 9.3. vidē* grupējumu parametrus izvēlas programma un katram grafikam (šoreiz augstienei) tā var izvēlēties tos dažādus (skat. salīdzināšanai 3.6.B un 3.6.C vai 3.6.D att.), operatora vajadzības neatbalstot.

Daļa GIS datu bāzes datu tika izmantoti pauguru morfoloģisko atšķirību salīdzināšanai, izmantojot *Microsoft Office Excel* iespējas augstieņu un plakanvirsas pauguru izplatības areālu ietvaros. Datu bāze, tās *.dbf fails viegli un pilnībā atverams *Microsoft Office Excel* vidē, kur tad var veikt cita satura analīzi, piemēram, pa atsevišķiem pauguru izplatības areāliem kādā augstienē (4.5. att.), vai arī to areālos (4.6. att.).

4. REZULTĀTI UN INTERPRETĀCIJA

Disertācijā ietvertie rezultāti atspoguļo plakanvirsas pauguru veiktās GIS ģeotelpiskās un statistiskās analīzes, morfoloģiskās izpētes, kvartārģeoloģisko un ģeomorfoloģisko lauka pētījumu datus, uz kuru pamata ir noskaidrota 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 sastopamību un sakārtojumu to izplatības areālos. Plakanvirsas pauguru detalizētu morfoloģisko pētījumu rezultāti raksturo pauguru hipsometriskā novietojuma izmaiņas katrā areālā (4.1., 4.2., 4.3., un 4.4. att.), kas savienojumā ar šo formu glaciotehtoniskās pamatnes hipsometrisko stāvokli, sniedz norādes par iespējamām ledājkūšanas ūdeņu līmeņa un kriostatiskā spiediena ekvipotenciālo līniju izmaiņām šo pauguru attīstības gaitā. Paleoģeogrāfiskā ziņā nozīmīgāku informāciju sniedz terasētie plakanpauguri. To terašu līmeņu atšķirības visticamāk norāda par vairākkārtēju strauju ledājkūšanas ūdeņu baseinu noplūdi vai kriostatiskā spiediena pazemināšanos šo pauguru glaciolimnisko nogulumu sedimentācijas laikā.

Pētījumos iegūtie rezultāti par plakanvirsas pauguru plakumus veidojošo glaciolimnisko nogulumu izplatību un biežumu, kā arī atklātie gadījumi par pakāpenisku pāreju no morēnas nogulumiem uz ekranizējošajiem glaciolimniskajiem māliem, konstatētā rupjgraudaināku deltas veida sedimentācijas ķermeņu un osu nogulumu saistība ar glaciolimniskajiem nogulumiem pauguru virsotnēs liecina, ka plakanvirsas pauguru veidošanās procesā nozīmīga, ja ne pati nozīmīgākā, loma bija zemledāja kūšanas ūdeņiem un ledāja gultnes pārskalotajam materiālam (skat. 5.2. nodaļu).

4.1. Plakanvirsas pauguru izplatība, telpiskais sakārtojums un morfoloģija

Visu Latvijas salveida akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu kopējā platība sasniedz gandrīz 11 900 km² (4.1. tabula). Plakanvirsas pauguru izplatības areāli aizņem apmēram 2343 km² platību jeb aptuveni 19,7 % no minēto augstieņu kopējās platības. Tieši pašu plakanvirsas pauguru kā pozitīvu reljefa formu summārā platība ir aptuveni 567 km² jeb 24 % no areālu kopējās platības, nepārsniedzot 50% atsevišķu areālu nosacītajās robežās. Lielākais pauguru īpatsvars ir Vidzemes augstienes Savītes areālā, kur reljefa

formu vidējais blīvums ir aptuveni 0,62 formas/km². Apskatītie rādītāji (4.1. tabula) apstiprina nozīmīgo pētīto reljefa formu klātbūtni visās pētītajās akumulatīvi glaciostrukturālajās augstienēs.

Teritoriju starp pauguriem aizņem dažāda izmēra ieplakas. Ieplaku malas zonā sastopamas ledāja reljefa vidēji vai sīki morēnas pauguri, dauguļi, kēmi, bet dažkārt arī osi. M. Dauškans un V. Zelčs (2010) norāda uz gadījumiem, kad plakanvirsas pauguriem ir pieguldītas segmentveida kēmu terases, kā tipiskāko piemēru minot Vidzemes augstienes Kārļu kalna nogāzi Ķežu ezera ieplakas pusē.

Detalizēta informācija par plakanvirsas pauguru vidējo platību un areālu platību ir apkopota 4.1. tabulā. No tās izriet, ka kopumā plakanvirsas pauguru loma katrā augstienē ir ar nelielām atšķirībām. Plakanvirsas pauguru izplatības galvenie areāli 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).

4.1. tabula. Plakanvirsas pauguru sadalījums Latvijas salveida akumulatīvi glaciostrukturālajās augstienēs.

Table 4.1. Distribution of plateau-like hills in the insular accumulative-glaciostructural uplands of Latvia.

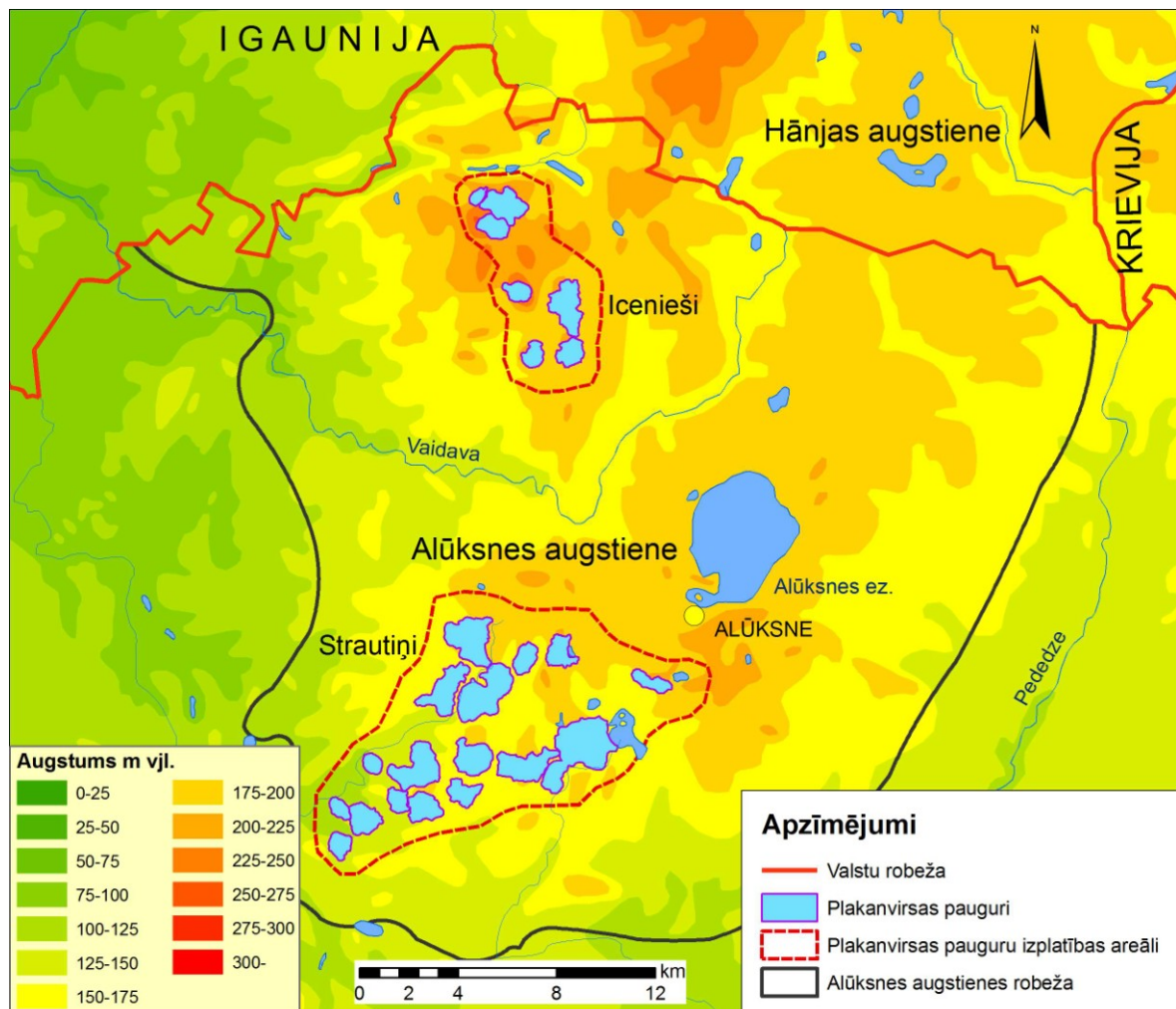
	Alūksnes augstiene	Vidzemes augstiene	Latgales augstiene	Kopā
Platība (km ²)	887	4605	6376	11 868
Plakanvirsas pauguru areālu skaits	2	8	5	15
Plakanvirsas pauguru skaits	24	145	185	354
Plakanvirsas pauguru kopplatība (km ²)	85,06	221,47	245,5	566,70
% no augstienes platības	9,59	4,80	3,85	4,77
Vidējā 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.

4.1.1. Alūksnes augstiene

Alūksnes augstienē plakanvirsas pauguri veido tikai 2 areālus: Iceniešu un Strautiņu plakanvirsas pauguru izplatības areālus. Platības ziņā lielākais ir Strautiņu areāls (4.1. att.).



4.1. attēls. Plakanvirsas pauguru izvietojums Alūksnes augstienē. Virsmas reljefs veidots, izmantojot SIA “Envirotech” brīvpieejas ģeodatubāzes “GIS Latvija 9.3.” izolīniju tematisko slāni ar šķēluma augstumu 25 m.

Figure 4.1. Distribution of plateau-like hills in the Alūksne upland. Digital terrain model (DTM) is generated from thematic layer *Contour lines* with interval 25 m. Contours are derived from open geodatabase “GIS Latvija 9.3.” by “Envirotech” Ltd.

Iceniešu areāls

Iceniešu areāls ir relatīvi neliels plakanvirsas pauguru sakopojums Alūksnes augstienes Veclaicenes pauguraines augstākajā daļā (4.1. att.). Tajā konstatēti tikai 7 minētā tipa pauguri. To izplatības areāls stiepts Z–D virzienā un sadalās divos atzaros. Pauguru platība mainās no 33,9 ha līdz 199,2 ha, bet vidējā platība ir 106,2 ha (~1,1 km²).

Pauguru virsmas maksimālais augstums mainās ievērojamā amplitūdā – no 215 m vjl. līdz 272 m vjl. (Dēļiņkalns, augstienes augstākais virsmas punkts). Vidējais reljefa formu virsmas augstums sasniedz 240,8 m vjl. Tādējādi, tas ir visaugstākais areāls augstienē. Virsmas absolūtais augstums izteikti samazinās no augstienes areāla centrālās daļas uz perifēriju, t.i., Pērļupes un Vaidavas ledāja mēļu atkāpšanās virzienā. Arī relatīvais augstums mainās diezgan ievērojami – no 35 m līdz 67 m, vidēji – 49,6 m. Areālā raksturīgas gan elementāras formas (novietotas areāla D un Z galā), gan vaļņveida formas, kurām ir izteikti vairāki terašu līmeņi. Reljefa formu linearitātes koeficients mainās no 1,3 līdz 1,9, vidēji 1,5, līdz ar to tie pēc linearitātes (Zelčs, 1997a) atbilst iegarenu pauguru grupai. Pašiem lielākajiem pauguriem ir izrobotāka (lēveraina) konfigurācija.

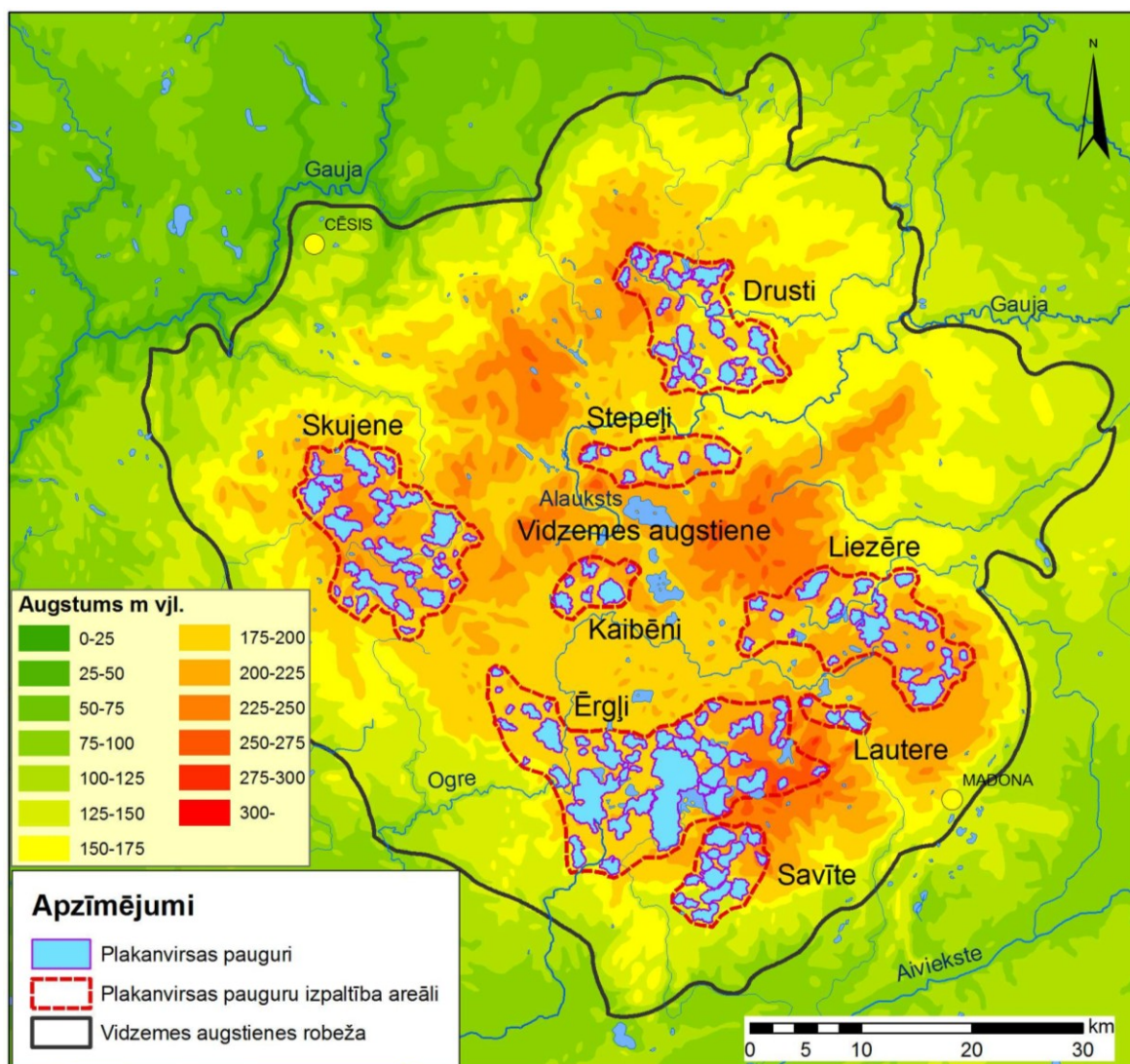
Strautiņu areāls

Tas ir platības ziņā lielākais un formu skaita ziņā daudzskaitlīgākais plakanvirsmas pauguru areāls Alūksnes augstienē (4.1. att.). Tajā konstatēti 17 pauguri, kas ir atšķirīgi pēc platības, jo tā mainās no 51,8 ha līdz 473,2 ha. Pauguru vidējā platība ir 162,2 ha. Pauguri veido trijstūrveida formas areālu. Tā īsākā mala ir tuvāk augstienes centram, bet virsotne pret šo īsāko malu izstiepta DR virzienā. Gandrīz pa vidu areāls sazarojas. Abi atzari ir stiepti AZA–RDR virzienā. Lielākas formas izvietotas areāla centrā.

Plakanvirsmas pauguru virsmas maksimālais augstums ievērojami atšķiras un mainās no 154 m vjl. līdz 215 m vjl., vidējais aprēķinātais pauguru virsmas augstāko punktu augstums ir 186,4 m vjl. Pauguru virsmas absolūtais augstums izteikti samazinās no augstienes centrālās daļas uz perifēriju, t.i., Vidusgaujas un Lubāna ledusloba atkāpšanās virzienā. Plakanvirsmas pauguri paceļas no 21 m līdz 48 m virs piegulošajām ieplakām, bet vidējais relatīvais augstums sasniedz 34,0 m. Areālā raksturīgas gan izometriskas formas, gan arī vaļņveida formas, starp kurām apmēram trešdaļai ir izteikti terašu līmeņi. Pauguru linearitātes koeficients svārstās no 1,1 līdz 2,3, vidējais koeficients ir 1,7. Atbilstoši ledāja reljefa formu linearitātes klasifikācijai (Zelčs, 1997a), tie pieder iegarenu pauguru tipam.

4.1.2. Vidzemes augstiene

Vidzemes augstienē plakanvirsmas pauguri grupējas 8 izplatības areālos (4.2. att.). Tie ievērojami atšķiras pēc platības, hipsometriskā novietojuma un daudziem citiem morfoloģiskajiem rādītājiem.



4.2. attēls. Plakanvirsmas pauguru izvietojums Vidzemes augstienē. Reljefa modeļa izveidei izmantots SIA “Envirotech” brīvpieejas ģeodatu bāzes “GIS Latvija 9.3.” izolīniju tematiskais slānis ar šķēluma augstumu 25 m.

Figure 4.2. Distribution of the plateau-like hills in the Vidzeme upland. Digital terrain model (DTM) is generated from thematic layer *Contour lines* with interval 25 m. Contours are derived from open geodatabase “GIS Latvija 9.3.” by “Envirotech” Ltd.

Drustu areāls

Drustu areāls ir viens no lielākajiem Vidzemes augstienē (4.2. att.). Tajā konstatēti 24 plakanvirsmas pauguri. Tie ir dažādi pēc platības, kas mainās no 29,6 ha līdz 376,8 ha. Vidējā pauguru platība ir 151,4 ha. Plakanvirsmas pauguri ir izvietojušies samērā kompakti, veidojot savdabīgu režģveida mozaīku. Tajā rindās izvietoti pauguri mijas ar kompaktiem sakopojumiem. Kopumā areāls stiepts ZR–DA virzienā. Pauguri grupējas vairākās plakanvirsmas pauguru grēdās (4.2. att.), orientētās ZZA–DDA virzienā, bet Z galā tās ir stieptas R–A virzienā. Atsevišķu plakanpauguru virsmas augstākie punkti atrodas

augstumā no 192 m vjl. līdz 242 m vjl. Relatīvais augstums mainās no 19 m līdz 37 m, ar vidējo vērtību 27 m.

Areālā pārsvarā raksturīgas ieapaļas vai vaļņveida formas plakanvirsas pauguri. To linearitātes koeficients svārstās no 1,2 līdz 3,1, bet vidējais koeficients ir 1,9. Tādējādi tie pārsvarā pieder iegarenu pauguru tipam, kaut gan dažiem ir izteikti lineāru pauguru jeb vaļņu apveids (pēc Zelča, 1997a klasifikācijas). Pauguru garenasis orientējas perpendikulāri Abula ledus mēlei un Augšgaujas ledus mēles ziemeļu daļas mikromēlēm, kuri lokalizējās augstienes galējos ZA Augšgaujas mēles izzušanas laikā (Āboltiņš *et al.*, 1975; Zelčs, Markots, 2004).

Stepeļu areāls

Stepeļu areālā ir tikai 6 plakanvirsas pauguri, kuri ievērojami atšķiras pēc platības (4.2. att.). Mazākais paugurs aizņem tikai 52,8 ha, bet lielākā paugura platība ir 363,3 ha. Aprēķinātā vidējā plakanpauguru platība ir 173,0 ha. Pauguri ir izvietojušies vienā grēdā, kas orientēta R–A virzienā (4.2. att.). Lielāka izmēra reljefa formas izplatītas pamīšus ar mazākām. Plakanpauguru garenasis vērsta apmēram 45° leņķī pret areāla kopējo izstiepumu un paralēli Augšgaujas ledus mēles D sānam.

Plakanpauguru virsmas maksimālais absolūtais augstums mainās no 212 m līdz 233 m vjl., bet vidēji – 219,0 m. Relatīvais augstums ir no 14 m līdz 39 m, vidējais – 23,8 m. Areālā pārsvarā ir raksturīgi iegareni pauguri. Tikai diviem pauguriem areāla galos ir vāji izteikti terašu līmeņi. Pauguru linearitātes koeficients svārstās no 1,4 līdz 2,7, bet vidējais ir 1,8.

Liezēres areāls

Liezēres areālā tika konstatēti 21 plakanvirsas pauguri (4.2. att.). Tie ievērojami atšķiras platības ziņā. Mazāko pauguru platība ir tikai 19,0 ha un platības ziņā tie sasniedz tikai vidējpaugura izmērus, bet lielāko pauguru platība atbilst lielpauguru izmēriem un sasniedz 488,0 ha. Pauguru vidējā platība ir 138,6 ha. Plakanvirsas pauguri izvietoti diezgan izkļiedēti. Lielākās formas ir areāla centrālajā daļā, veidojot lineāru un vietām lokveidā izlocītu režģveida mozaīku. Kopumā areāls stiepts R–A virzienā. Tā centrālajai daļai raksturīgas divas plakanvirsas pauguru grēdas, kuras stiepjas subparalēli areāla kopējai orientācijai, taču tajās esošo formu garenasis ir perpendikulāras grēdu orientācijai. Sīkākās formas izvietotas areāla R daļā un DA stūrī.

Zemākais plakanvirsmas paugura virsmas maksimālais absolūtais augstums ir 201 m, bet augstākie pauguri paceļas pat līdz 265 m vjl. Tātad tie nesasniedz areāla augstākā virsmas punkta – Nesaules kalna – maksimālo augstumu (284 m vjl.), to virsmas augstāko punktu vidējais maksimālais augstums ir 236,8 m vjl. Relatīvais augstums pauguriem mainās no 12 m līdz 51 m, bet vidējais relatīvais augstums ir 31,5 m. Areālā pārsvarā raksturīgais iegarenas formas pauguri, izstieptākajiem raksturīgas vairākas terases. Formu linearitātes koeficients svārstās no 1,2 līdz 2,7, bet vidēji ir 1,7. Plakanvirsmas pauguru garenas orientācija norāda to vērsumu perpendikulāri Ogres un Tirzas mēļu un Lubāna loba ledus plūsmām.

Lauteres areāls

Tas ir vismazākais areāls Vidzemē un pētījumu teritorijā (4.2. att.). Tajā konstatētas tikai 3 formas, kuras ir atšķirīgas pēc platības – no 56,1 ha līdz 242,4 ha, vidēji – 137,0 ha. Plakanvirsmas pauguri izvietoti gandrīz vienā rindā, areāls orientēts no RZR uz ADA, pauguri ir ieapaļi, areāla virzienā mazliet izstiepts ir lielākais paugurs areāla A galā.

Pauguru virsmas maksimālais absolūtais augstums mainās relatīvi nelielā amplitūdā – no 217 m vjl. līdz 228 m vjl., vidēji – 222,3 m vjl. Pauguru virsmas absolūtais augstums samazinās no centra uz malām. Relatīvais augstums mainās ievērojami – no 10 m līdz 28 m, vidējais rādītājs ir 20,3 m.

Areālā pārsvarā raksturīgi ieapaļi terasēti pauguri. Terases vai terasveidīgi virsmas iecirkņi ir izteikti augstākajām un lielākajām pauguru formām. Formu linearitātes koeficients ir samērā konstants un mainās tikai no 1,2 līdz 1,5, vidēji 1,4. Iegarēno pauguru gareniskās assis ir subparalēlas kopējai areāla izstiepuma asij.

Savītes areāls

Tas ir viskompaktākais areāls Vidzemes augstienē, lai gan ar nelielu formu skaitu. Tajā konstatētas tikai 13 formas (4.2. att.). Platības mainās no 64,8 ha līdz 323,2 ha. Plakanvirsmas pauguru vidējā platība ir 177,0 ha. Plakanvirsmas pauguri izvietoti ļoti tuvu viens otram, salīdzinoši kompaktā areālā, kas orientēts ZA–DR virzienā, veidojot vāji izteiktu paralēlās rindās izvietotu pauguru mozaīku. Lielākās formas atrodas areāla centrā, uz malām pauguri pakāpeniski kļūst mazāki. Vairumam pauguru, īpaši areāla D daļā, ir AZA–RDR orientācija, areāla Z galā 2 formu orientācija ZR–DA.

Pauguru virsmas maksimālais augstums mainās ievērojami, varbūt pat viskrasāk no visiem areāliem – no 171 m vjl. līdz 258 m vjl. (Ezerkalns), vidēji – 214,2 m vjl. Areālā labi izteikta secīga absolūtā augstuma pazemināšanās no ZA malas, kura atrodas vistuvāk blakus esošajam Ērgļu areālam un arī Gaiziņkalnam, uz DR malu. Relatīvais augstums mainās no 21 m līdz 48 m, vidēji – 34 m.

Areālā ir ļoti daudzveidīgs formu klāsts linearitātes un šķērsprofila ziņā. Pārsvārā raksturīgas izometriskas un vaļņveida formas. Pēdējās bieži vien ir arī terasētas, to linearitātes koeficients svārstās no 1,3 līdz 2,1, vidēji – 1,7. Raksturīga rādītāja asimetrija – vaļņveida formas (linearitātes koeficients lielāks) izvietojas virknē, kuras šķērso areāla centru tā kopējās orientācijas virzienā – no ZA uz DR, taču pauguru garenasis nesakrīt ar šo virzienu, bet ir iesšķērsām tam, izņemot pauguru uz DR no Kaņepēnu ezera. Savukārt ieapaļie pauguri izvietojas areāla perifērijā, tā ZA malā, veidojot vēl vienu virkni, paralēlu minētajai, vai DA malā.

Ērgļu areāls

Tas ir vislielākais areāls Vidzemes augstienē, kas raksturojas arī ar vislielāko formu skaitu. Tajā pavisam konstatēti 42 plakanvirsas vidējpauguri un lielpauguri, kuri ir ļoti daudzveidīgi. Tie savā starpā ir ļoti atšķirīgi pēc platības, kas atšķiras vairāk nekā 100 reizes un mainās no 18,5 ha līdz 2467,9 ha. Areālā atrodas pēc platības 2 lielākie plakanvirsas pauguri Latvijā. To platība sasniedz attiecīgi 24,68 km² un 13,76 km². Abas šīs formas dominē areāla plānskatījumā (4.2. att.). Plakanvirsas paugura vidējā platība areālā ir 241,2 ha. Pēc vidējās plakanvirsas pauguru platības tas ir vislielāko pauguru areāls starp visiem izdalītajiem. Vairums pauguru ir izvietoti salīdzinoši blīvi areālā, kas orientēts AZA–RDR virzienā, bet pie Pulgošna ezera un Ērgļiem veidojas nelielu plakanvirsas pauguru atzars, kas stiepjas ZR virzienā. Vislielākie pauguri atrodas areāla centrā, uz malām tie pakāpeniski kļūst mazāki. Labi izdalās vairākas pauguru virknes, kas orientētas ZZA–DDA virzienā, bet areāla A galā pat Z–D virzienā.

Pauguru virsmas maksimālā absolūtā augstuma izmaiņas ir lielākās starp visiem plakanvirsas pauguru areāliem – no 178 m vjl. līdz 312 m vjl. (Gaiziņkalns, Vidzemes augstienes augstākais virsmas punkts). Vidējais augstums sasniedz vidēji gan tikai 221,8 m vjl. Ir ļoti izteikta secīga absolūto augstumu pazemināšanās no areāla A malas uz R malu. Pauguru relatīvais augstums mainās no 10 m līdz pat 62 m (Gaiziņkalns), vidējais relatīvais augstums ir 31,3 m. Jāpiezīmē, ka jau A. Lazdāne (1963) Gaiziņkalnu pieskaitīja pie platoveida pauguriem, kaut gan māla sega, pēc viņas datiem, konstatēta tikai 6 m biežumā.

Vēlāk urbumu dati apliecināja, ka Gaiziņkalnā ir visbiezākā glaciolimnisko nogulumu sega visā Latvijā – 28 m (Kuršs, Stinkule, 1969) vai pat 28,5 m (Danilāns, 1973).

Pauguru morfoloģija ir ļoti daudzveidīga. Pārsvārā ir raksturīgi ieapaļas formas pauguri, kā arī plato un terasētās formas, kurām linearitātes koeficients svārstās no 1,2 līdz 3,74. To vidējais koeficients ir 1,8, bet dominējošā vairākumā tas mainās no 1,2 līdz 2,0.

Kaibēnu areāls

Kaibēnu areālā tika konstatēti 6 plakanvirsas pauguri (4.2. att.). Tie ievērojami atšķiras platības ziņā, kas mainās no 41,8 ha līdz 368,4 ha. Vidējā pauguru platība ir 148,3 ha. Pauguri izvietoti aploces veidā, bet atstatus stāvošais paugurs piedod areālam elipses formu, ar izstiepumu no AZA uz RDR. Pauguri ar augstākajām virsotnēm koncentrētas areāla centrā.

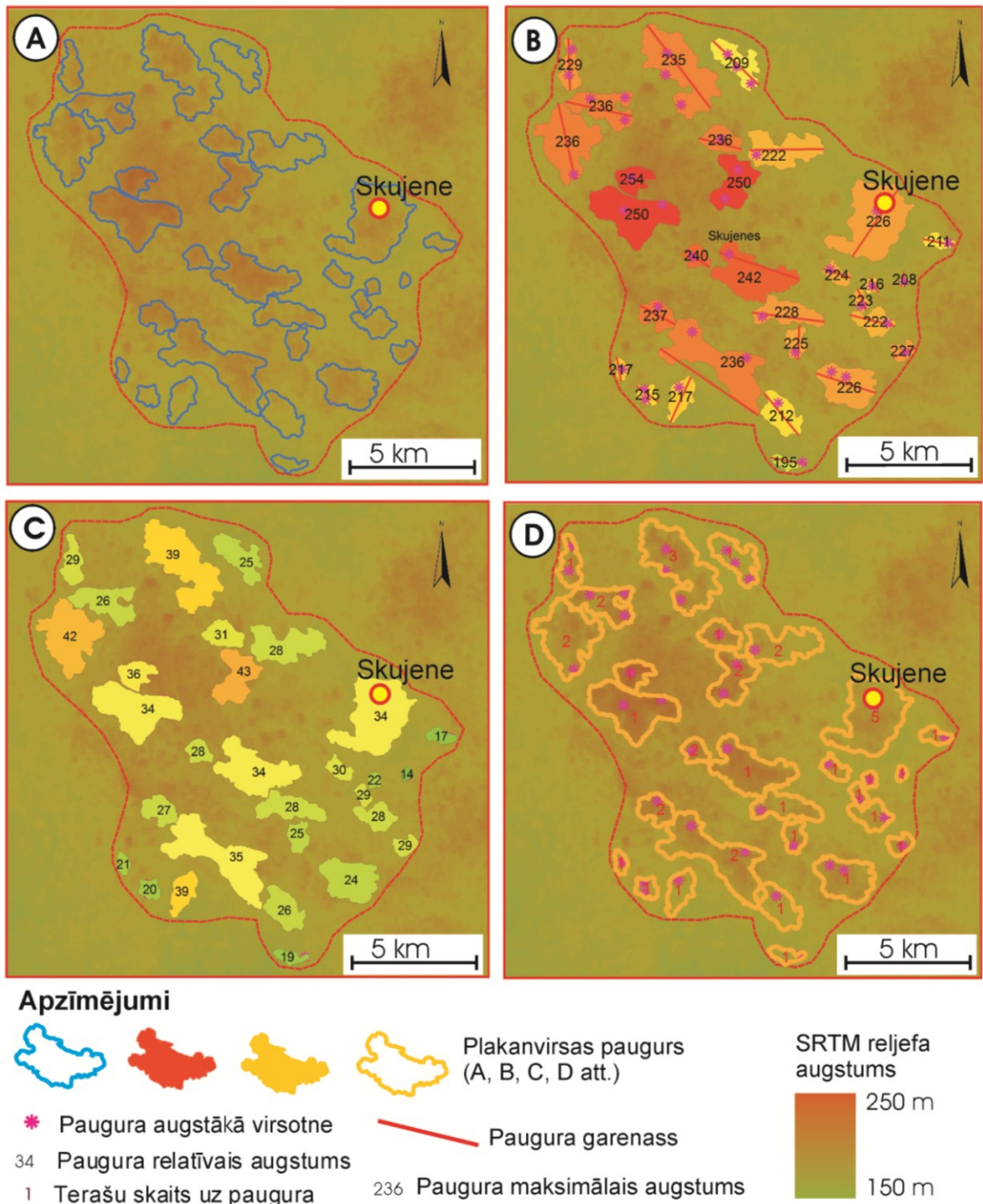
Atsevišķu plakanpauguru virsmas augstākie punkti paceļas no 206 m vjl. līdz 234 m vjl., bet to vidējais augstums ir 221,5 m vjl. Pauguru virsmas maksimālais absolūtais augstums samazinās virzienā no ZA uz DR. Relatīvais augstums mainās no 19 m līdz 30 m, vidējais – 25,5 m. Areālā pārsvārā raksturīgi iegareni pauguri ar vāji izteiktiem terašu līmeņiem, izņemot pašu lielāko pauguru (Ceplīšu kalns), kuram nogāzes ir terasētas. Pauguru linearitātes koeficients svārstās no 1,4 līdz 2,4, bet vidēji sasniedz 1,8. Neapšaubāmi, ka areāls veidojies Ogres ledus mēles Z sēnā.

Skujenes areāls

Skujenes areālā konstatēti 30 plakanvirsas pauguri (4.2. att.). Tie ir daudzveidīgi pēc platības, kura mainās no 16,3 ha līdz 581,0 ha. Vidējā paugura platība ir 189,7 ha. Plakanvirsas pauguri izvietoti diezgan kompakti, veidojot režģveida mozaīku (4.3. att.). Kopumā areāls orientēts ZR–DA virzienā, tam raksturīgas vairākas plakanvirsas pauguru grēdas, no kurām trīs grēdas ir orientētas subparalēli areāla kopējam izstiepumam. Ir izteikti maz formu, kuras orientētas perpendikulāri šo grēdu asīm.

Izmantojot izstrādāto datu bāzi (skat. 3.1. nod.), tika veikta arī vizuāla plakanvirsas pauguru dažādu morfoloģisko īpatnību un atsevišķu parametru savstarpēja salīdzinoša analīze (4.3. att.). Tā, piemēram, tika salīdzināta ārējo apveidu (formu) saistība ar: reljefu atsevišķu formu ietvaros (arī trijās dimensijās) vai lielākās teritorijās; izmantojot LĢIA veidoto reljefa modeli (3.2. att.), vai *SRTM* reljefa modeli (4.3.A att.), formu orientāciju (4.3. att.) vai papildinātu ar formas garenasu vizualizētām līnijām (4.3.B att.). Piemēram, virsmas maksimālais augstums tika vizualizēts ar krāsas izmaiņām (4.3.B

att.), tāpat arī ar krāsu izmaiņām tika vizualizēti un analizēti pauguru relatīvā augstuma rādītāji (4.3.C att.).



4.3. attēls. Vidzemes augstienes Skujenes plakanvirsas pauguru izplatības areāla morfoloģiskās analīzes piemērs. A – hipsometriskais novietojums (pēc SRTM datiem); B – pauguru virsas maksimālie augstumi (m), augstākie punkti un orientācijas asis; C – pauguru maksimālais relatīvais augstums; D – pauguru virsas augstākie punkti un terašu skaits.

Figure 4.3. An example of morphological analysis of the Skujene plateau-like hills area, Vidzeme upland. Legend: A – hypsometric positions derived from SRTM; B – distribution

of the highest elevations and longitudinal axis; C – relative relief; D – distribution of dots denotes number of terraces in each plateau-like hill.

Ņemot vērā Skujenes pauguru areāla labi izteikto iegareno plakanvirsas pauguru orientāciju un vienlaikus arī morfoloģisko daudzveidību, to izvēlējamies kā piemēru, lai parādītu, kā šie salīdzinoši morfoloģiskās analīzes ģeotelpiskie paņēmieni izmantojami to praktiskajā pielietojumā.

Veicot detālāku ģeotelpisko analīzi Skujenes plakanvirsas pauguru izplatības areālā (4.3. att.), var izdarīt šādus konstatējumus:

1) Skujenes plakanvirsas pauguri ieņem augstāko hipsometrisko līmeni Vidzemes augstienes ZR stūrī. Tur tiek izvilktā arī Mežoles un Piebalgas pauguraiņu robeža, kas šķērso areālu. Dabas apvidu robežas, iespējams, ir jāprecizē, jo šī areāla vidusdaļā atrodas arī augstākie reljefa punkti, kas, kā vērojams Latvijas fizioģeogrāfiskajā kartē, veido ģeomorfoloģisko apvidu, t.i., pauguraiņu centrālo daļu.

2) Plakanvirsas pauguri ir izvietoti piecās joslās. 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 apmēram vienādā attālumā, kas ir aptuveni vienāds ar formu platumu.

3) Areāla platākajā, DA galā, var izdalīt piecas joslas; malējās joslās pauguru izmēri ir ievērojami mazāki, izņemot Skujenes pauguru 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 akumulatīvi glaciostrukturālajās augstienēs.

4) Augstākās pauguru virsotnes vairumā gadījumu neatrodas formas centrā. Bieži tās atrodas formu galos (ja formas izstieptas), vai arī sānos; sarežģītāka apveida pauguriem mēdz būt vairākas (2–3) pēc augstuma līdzīgas (ar 1–2 m atšķirībām) virsotnes. Īpaši raksturīgi tas ir formām areāla ZR daļā.

5) Pauguru garenasis arī vairumā gadījumu orientētas no ZR uz DA, tikai atšķiras mazākajos vai areāla malas pauguros.

6) Ja pēc absolūtā augstuma izmēriem augstāka ir areāla centrālā daļa, tad lielākie pauguri pēc relatīvā augstuma atrodas perifērijā. Piedevām, attēlā diferencējot relatīvos augstumus ar krāsām (4.3.C att.), izteikti parādās ZA–DR virzienā orientētas joslas. Tādējādi areālā plakanvirsas pauguru izvietojumu nosaka arī kāda šķērseniskā komponente, kura 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. Tātad to virsma ir salīdzinoši līdzena. To sarežģīt galvenokārt gravas vai sengravas. Septiņiem pauguriem ir divas terases, vienam – trīs, bet vienam – piecas. Cita rakstura analīzes rezultāti tika statistiski apkopoti grafiku veidā (4.7. un 4.8. att.).

Skujenes areāla plakanvirsas pauguru virsmas maksimālais augstums mainās no 195 m vjl. līdz 254 m vjl. (4.3.B att.), bet vidējais absolūtais augstums ir 226,8 m vjl. Relatīvais augstums svārstās no 14 m līdz 43 m, bet vidēji plakanvirsas pauguri paceļas 29,7 m virs blakusesošajām ieplakām (4.3.C att.). Areālā pārsvarā raksturīgas iegarenas vai vaļņveida formas pauguri (4.3. att.), kuru linearitātes koeficients svārstās no 1,2 līdz 3,2, vidēji 1,9. Plakanvirsas pauguru garenasis R daļā ir vērstas perpendikulāri Amatas ledus mēles, bet R daļā – Zemgales ledusloba atkāpšanās virzienam.

4.1.3. Latgales augstiene

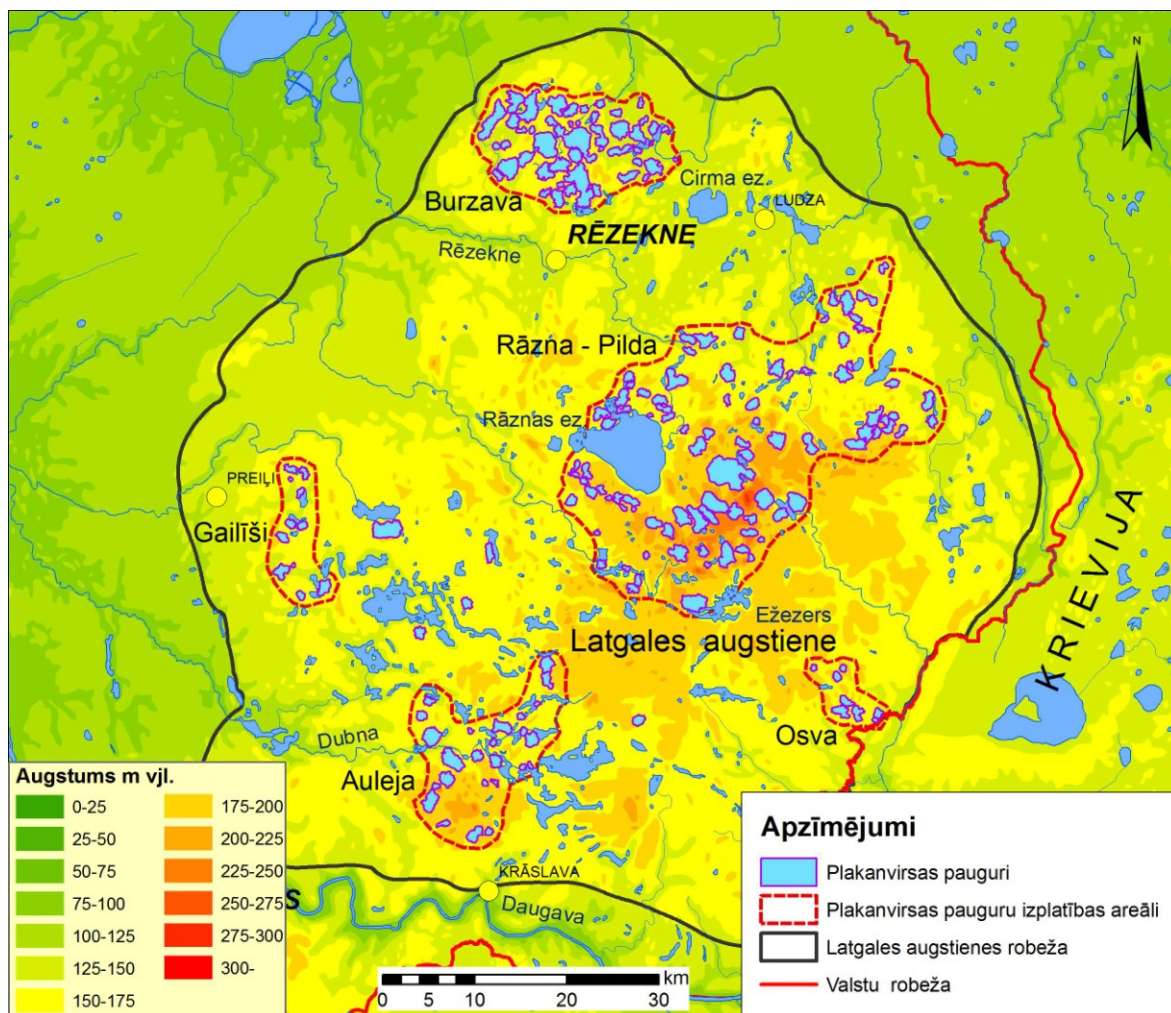
Latgales augstienē plakanvirsas pauguri grupējas 5 izplatības areālos (4.4. att.). Tie ievērojami atšķiras pēc platības, hipsometriskā novietojuma un daudziem citiem morfoloģiskajiem rādītājiem.

Burzavas areāls

Ļoti kompakts plakanvirsas pauguru areāls (4.4. att.). Tajā pavisam konstatētas 47 formas, kuras ir atšķirīgas pēc platības; tās mainās no 17,6 ha līdz 726,7 ha. Paugura vidējā platība ir 168,6 ha. Plakanvirsas pauguru formas izvietotas diezgan kompakti, veidojot elipses formas A–R virzienā izstieptu areālu ar režģveida struktūru. Pauguru virsmas maksimālais augstums areālā mainās no 145 m vjl. līdz 195 m vjl. Augstums 214 m vjl. ir kā izņēmums, kas izceļas visā teritorijā. Relatīvie augstumi ir no 12 m līdz pat 54 m, vidēji – 24 m, kaut arī viens paugurs ir tikai aptuveni 5 m augsts.

Areāla centrālajā daļā atrodas visaugstākais plakanvirsas paugurs – Tumužu kalns (3.4. att.). Tā virsmas absolūtais maugstums sasniedz 214 m vjl. un ir lielākais Burzavas paugurainē. Šis paugurs izceļas arī ar visbiezāko glaciolimnisko nogulumu segu Latgales augstienē, kas sasniedz 22,5 m (Kuršs, Stinkule, 1969).

Linearitātes koeficientam ir izteikts normāls sadalījums. Areālā pārsvarā raksturīgi nelieli ieapaļa apveida vai vaļņveida pauguri. Dažiem ir konstatētas terases. Pauguru linearitātes koeficients svārstās no 1,1 līdz 3,2, vidēji 1,9.



4.4. attēls. Plakanvirsas pauguru izvietojums Latgales augstienē. Reljefa modeļa izveidei izmantots SIA “Envirotech” brīvpieejas ģeodatubāzes “GIS Latvija 9.3” izolīniju tematiskais slāni ar šķēluma augstumu 25 m.

Figure 4.4. Distribution of plateau-like hills in Latgale upland. Digital terrain model (DTM) generated from thematic layer *Contour lines* with interval 25 m, included in geodatabase “GIS Latvija 9.3” prepared by “Envirotech” Ltd.

Rāznas-Pildas areāls

Tas ir vislielākais plakanvirsas pauguru areāls gan Latgales augstienē, gan visā pētījumu teritorijā (4.4. att.) Tajā konstatēti 89 plakanvirsas pauguri, kuri ir ļoti daudzveidīgi. Dažādība novērojama platības ziņā, kas mainās no 22,7 ha līdz 1163,2 ha (3. lielākais pēc platība plakanvirsas paugurs Latvijā), vidēji – 145,3 ha. Kopumā visi plakanvirsas pauguri aizņem 129,74 km². Tie izvietoti ZA–DR virzienā stieptā areālā. Formas grupējas vairākos domēnos, bet gandrīz areāla centrā atrodas Rāznas ezers. Tas rada areāla vidusdaļā “tukšumu” no plakanvirsas pauguriem. Absolūtā augstuma ziņā lielākie un augstākie pauguri atrodas areāla DA daļā. Lai gan areāls ietver Latgales

augstienes augstāko virsotni – Lielo Liepukalnu, minētās virsotnes virsmā glaciolimniskie nogulumi netika konstatēti. Pauguri lokveid'a apliec Rāznas ezera katlieni. Tajā pēdējā sedledāja deglaciācijas laikā atradās Rāznas mēle (Meirons, 1975). Atsevišķu iegareno pauguru garenasis ezera DA krastā ir vērstas paralēli ledāja plūsmas virzienam. Šo pauguru glaciotehtoniskās pamatnes varētu tikt klasificētas kā radiāla tipa glaciostruktūras (Zelčs, 1997b; Zelčs *et al.*, 2003).

Pauguru maksimālie augstumi mainās no 157 m vjl. līdz 289 m vjl., vidēji – 202 m, augstākās reljefa formas ir areāla DR malā, to relatīvie augstumi mainās no 12 m līdz 68 m, vidēji – 30,5 m. Areālā pārsvarā raksturīgas nelielas elementāras vai vaļņveida formas, daudzām no tām ir pat 3 terašu līmeņi. Pauguru linearitātes koeficients mainās no 1,2 līdz 2,0, vidēji 1,5, bieži sastopamas ieapaļa apveida formas.

Osvas areāls

Šis Latgales augstienes dienvidaustrumu daļas plakanvirsas pauguru areāls ir salīdzinoši neliels (4.4. att.). Tajā konstatēti tikai 8 plakanvirsas pauguri, kuri gan tomēr ir morfoloģiski daudzveidīgi. Tie atšķiras pēc platības, kas mainās no 26,1 ha līdz 163,8 ha un vidēji ir 84,3 ha. Šajā areālā ir vismazākās viidejaš plakanvirsas pauguru platības no pētītajām augstienēm. Plakanvirsas pauguri izvietoti Z–D virzienā stieptā areālā ar lielākajām formām pārsvarā tā dienviddaļā, bet augstākajām virsotnēm – areāla D galā.

Pauguru virsmas maksimālais augstums mainās no 155 m vjl. līdz 193 m vjl., vidēji – 179,4 m vjl., izteikts vidējais absolūtais augstums apmēram 180 m. Hipsometriski paaugstinātā daļa atrodas areāla Z galā. Relatīvais augstums mainās no 15 m līdz 31 m, vidēji – 22,8 m. Areālā pārsvarā raksturīgas nelielas izometriskas vai vaļņveida formas, daudzām no tām ir pat trīs terašu līmeņi. Pauguru linearitātes koeficients mainās no 1,2 līdz 2,0, vidēji 1,5, vairumā dominē ieapaļa apveida formas.

Aulejas areāls

Aulejas plakanvirsas pauguru izplatības areāls atrodas Latgales dienvidaustrumu daļā (4.4. att.). Tas ir diezgan liels un tajā konstatēti 25 plakanvirsas pauguri, kuri ir būtiski atšķirīgi platības ziņā. To platība mainās no 26,6 ha līdz 357,7 ha, vidējā paugura platība ir 116,0 ha. Pauguru izvietoti V–veida areālā. Lielākās formas tajā ir pārsvarā vidusdaļā, bet augstākie virsas punkti atrodas areāla D galā. Pauguru virsmas maksimālais augstums mainās no 173 m vjl. līdz 231 m vjl., vidēji – 198 m vjl. Hipsometriski augstāk

esošajām formām areāla DR malā relatīvais augstums mainās no 11 m līdz 50 m, vidēji – 31,6 m.

Areālā pārsvarā raksturīgi ieapaļi vidējpauguri vai vaļņveida formas. Pauguru linearitātes koeficients mainās no 1,2 līdz 3,76, vidēji 1,6. Daudzām formām ir pat 3 terašu līmeņi.

Gailīšu areāls

Gailīšu plakanvirsmas pauguru izplatības areāls atrodas Latgales augstienes rietumu malā (4.4. att.). Tas ir relatīvi neliels un tajā konstatēti 11 plakanvirsmas pauguri, kuri ievērojami atšķiras platības ziņā – no 17,4 ha līdz 177,7 ha. Vidējā paugura platība ir 87,1 ha. Pēc vidējās pauguru platības, tas ir otrs vismazāko plakanvirsmas pauguru areāls pētītajās augstienēs. Tas ir stiepts Z–D virzienā.

Pauguru virsmas maksimālais absolūtais augstums mainās no 166 m vjl. līdz 193 m, vidēji – 174,5 m. Hipsometriski augstākie pauguri atrodas areāla centrā, un to relatīvais augstums svārstās no 14 m līdz 38 m, vidēji – apmēram 23 m. Areālā raksturīgi pārsvarā nelieli ieapaļas vai iegarenas formas pauguri. Lielākie no tiem atrodas areāla D galā. Pauguru linearitātes koeficients mainās no 1,2 līdz 2,0, vidēji – 1,5.

Ārpusareālu plakanvirsmas pauguri

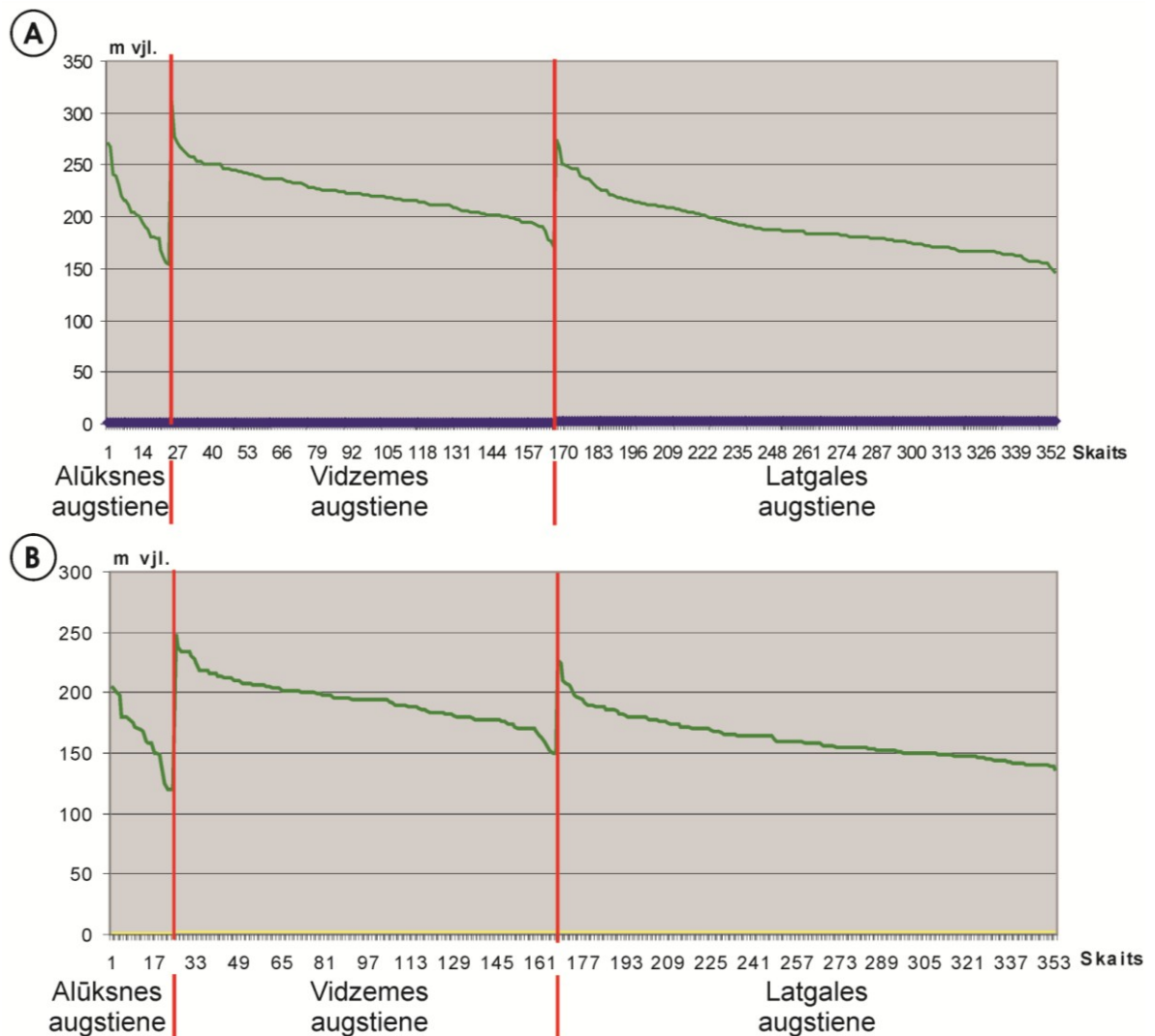
Ārpus augstāk minētajiem areāliem kā atsevišķas formas Latgales augstienē ir 5 plakanvirsmas pauguri, kuri atrodas augstienes DR daļā uz DR vai R no Rāznas-Pildas areāla (4.4. att.). Pēc J. Straumes (1979) klasifikācijas tie ir salīdzinoši tipiski plakanvirsmas pauguri. To platība svārstās no 110,7 ha līdz 501,9 ha, bet vidējā platība ir 198,6 ha.

Pauguru virsmas maksimālais absolūtais augstums svārstās no 164 m vjl. līdz 215 m vjl., un vidēji ir 182,5 m. Tie paceļas no 13 m līdz 59 m, vidēji – 26,8, m virs piegulošajām ieplakām un pazeminājumiem. Ārpusareāla pauguru vidū raksturīgas pārsvarā vidēji lielas un ieapaļas formas pauguri. Pauguru linearitātes koeficients mainās no 1,2 līdz 2,0, vidēji – 1,5. Savrupi izceļas paugurs uz D no Feimaņu ezera. Tas ir visplašākais un visaugstākais paugurs ar trīs terašu līmeņiem.

4.1.4. Morfoloģisko rādītāju reģionālās analīzes rezultāti

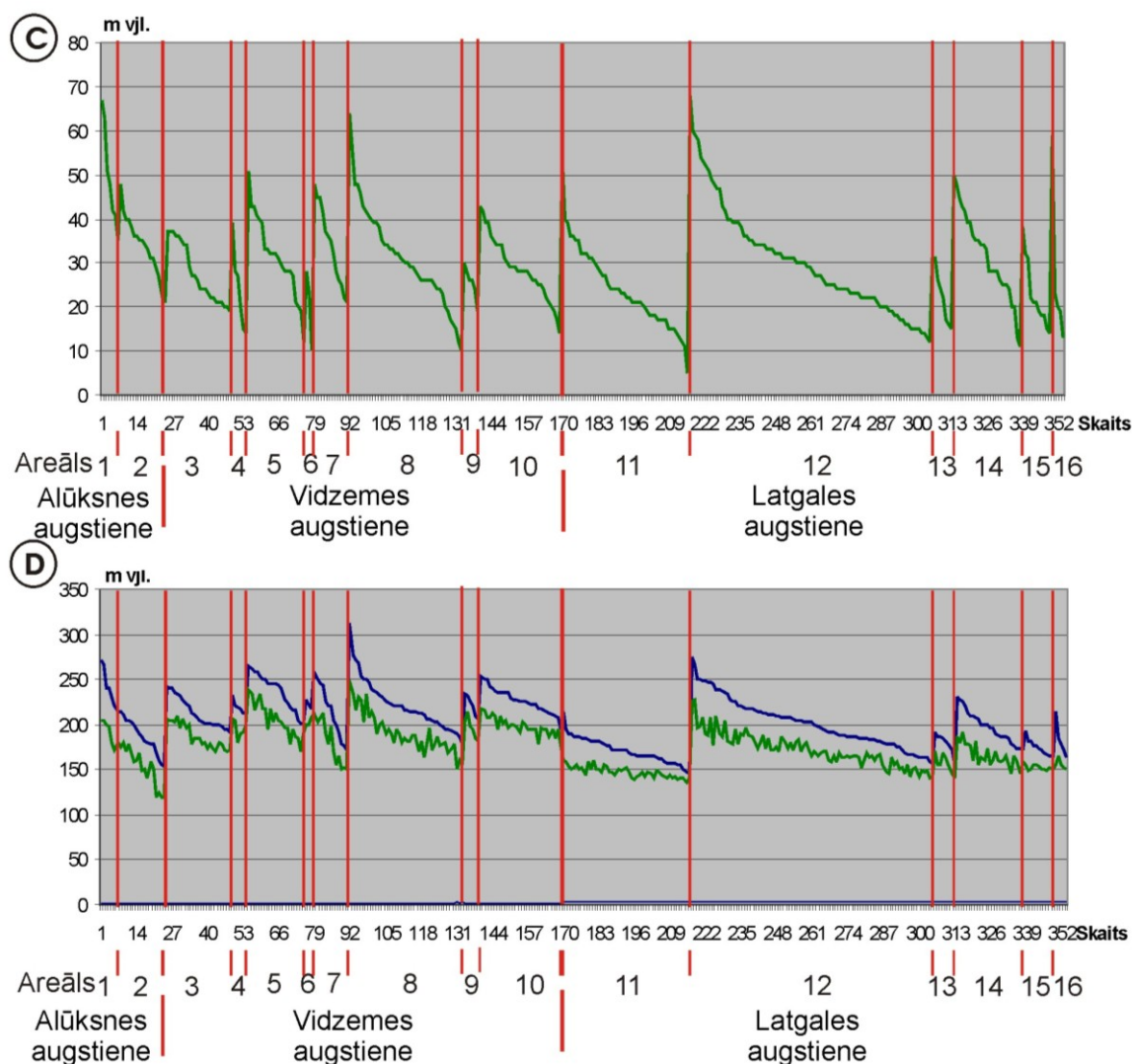
Plakanvirsmas pauguru telpiskās izplatības un morfoloģisko rādītāju, to skaitā ārējās morfoloģijas pazīmju analīze, kā arī iekšējās uzbūves pētījumu rezultāti, kuri tiks izklāstīti

nākamajā apakšnodaļā, liecina, ka dažādās augstienēs pastāv tikai nelielas reģionālas atšķirības apskatāmo pauguru morfoloģijas un iekšējās uzbūves ziņā. Alūksnes augstienē plakanvirsas lielpauguri pārstāvēti ar atsevišķām tipomorfām formām (skat. 5.1. nodaļu), savukārt Vidzemes augstienē un Latgales augstienē samērojamā daudzumā esošām formām (4.1. tabula) ir gan līdzīgas, gan arī atšķirīgas iezīmes. Ievērojami atšķiras to izvietojuma raksturs. Kā apliecinājumu šim apgalvojumam var minēt plakanvirsas pauguru hipsometriskā novietojuma sadalījumu atsevišķās salveida akumulatīvi glaciostrukturālajās augstienēs (4.5. att.). Attiecībā uz izplatības areāliem šī aina ir ievērojami komplicētāka (4.6. att.).



4.5. attēls. Plakanvirsas pauguru hipsometriskā novietojuma sadalījums atsevišķās salveida akumulatīvi glaciostrukturālajās augstienēs: A – pauguru virsotņu (maksimālā absolūtā augstuma) sadalījuma grafiks; B – pauguru piekājes (minimālā absolūtā augstuma) sadalījuma grafiks.

Figure 4.5. Hypsometric position of plateau-like hills in distinct insular accumulative glaciostructural uplands: A – maximum hypsometric position of hilltops; B – minimum hypsometric position of hilltops.



4.6. attēls. Plakanvirsas pauguru hipsometriskā novietojuma un relatīvā augstuma sadalījums dažādos izplatības areālos: C – pēc relatīvā augstuma; D – pēc pauguru virsmas maksimālā absolūtā augstuma (zilā līnija) un minimālā absolūtā augstuma (zaļā līnija).

Areāli: Alūksnes augstiene: 1 – Icenieši; 2 – Strautiņi; Vidzemes augstiene: 3 – Drusti, 4 – Stepēļi, 5 – Liezēre, 6 – Lautere, 7 – Savīte, 8 – Ērgļi, 9 – Kaibēni, 10 – Skujene; Latgales augstiene: 11 – Burzava, 12 – Rāzna-Pilda, 13 – Osva, 14 – Auleja, 15 – Gailīši, 16 – izolētie (ārpusareālu) plakanvirsas pauguri.

Figure 4.6. Hypsometric position of plateau-like hills in distinct areas of their distribution: C – according to relative relief in m; D – according to maximum hypsometric position of hilltops (blue line) and to minimum hypsometric position of hilltops (green line).

Areas: Alūksne upland: 1 – Icenieši; 2 – Strautiņi; Vidzeme upland: 3 – Drusti, 4 – Stepēļi, 5 – Liezēre, 6 – Lautere, 7 – Savīte, 8 – Ērgļi, 9 – Kaibēni, 10 – Skujene; Latgale upland: 11 – Burzava, 12 – Rāzna-Pilda, 13 – Osva, 14 – Auleja, 15 – Gailīši, 16 – separate plateau-like hills.

Ja salīdzina plakanvirsas pauguru virsmas maksimālos augstumus (4.5.A att.), tad vidējie maksimālie augstumi lielāki ir Vidzemes augstienē (aptuveni 223 m vjl.). Alūksnes un Latgales augstienē tie ir līdzīgāki (attiecīgi aptuveni 202 m vjl. un 190 vjl.), kaut gan pauguru skaits ievērojami atšķiras. Ja šī paša parametra analīzi veic pa areāliem

(4.6. D att.), tad vizuāli šķiet, ka hipsometriski visaugstāk izvietotas plakanvirsas pauguru virsotnes ir Savītes areālā Vidzemes augstienes dienvidos. Taču to absolūtais augstums nepārsniedz augstienes vidējo absolūto augstumu vidējo rādītāju, kas ir 221 m vjl. Kā jau norādīts 4.1.2. apakšnodaļā, Skujenes areālā šis rādītājs ir par 6 m lielāks. Ja salīdzina lielapauguru pamatnes jeb pakājes (nav ņemts vērā purvu katlieņu un ezerdobju dibena reljefs) atrašanos dažādos hipsometriskajos līmeņos (4.6.B att.), tad jākonstatē, ka Latgales augstienē pauguru pakājes atrodas vidēji par 32 m zemāk nekā Vidzemes augstienē.

Izkliedētajiem plakanvirsas pauguriem Latgales augstienē ir mazāk atšķirīgi un zemāki pamatnes augstuma rādītāji nekā pauguriem, kas grupējas areālos. Vidzemes augstienē pamatnes augstumi raksturojas ar ievērojamām atšķirībām pat atsevišķu areālu robežās. Vairumā gadījumu pauguru virsmas augstumpunkti pazeminās vienā virzienā, izņemot Skujenes apkārtni, kur tieši areāla centrālajā daļā formām ir ievērojami lielāki augstumi (4.3. att.). Tas skaidrojams ar areālu novietojumu attiecībā pret augstieņu augstākajām daļām, īpaši pirmapauguru virknēm. Salīdzinot kaut vai maksimālā relatīvā augstuma datus dažādās augstienēs (4.6.C att.), var apgalvot, ka visaugstākās formas atrodas Latgales augstienē, taču tām ir neliels īpatsvars. Kopumā pētītajā teritorijā dominē relatīvais augstums no 20 m līdz 40 m, tomēr formu ar relatīvo augstumu mazāku par 20 m, tāpat kā augstāku par 40 m, ir visai maz.

Līdzīgi ir iespējams analizēt arī plakanvirsas pauguru relatīvos augstumus pa areāliem (4.6.C att.) vai arī plakanvirsas pauguru virsmas maksimālā un minimālā absolūtā augstuma līknes (4.6.D att.). Tajās konstatējama likumsakarība: šie rādītāji ir atšķirīgi un vāji korelējas ar formu absolūtajiem augstumiem, kā tas tika aprakstīts un bija vērojams 4.3. attēlā Skujenes plakanvirsas pauguru izplatības areālā.

4.2. Zemvislas virsmas raksturs un pēdējā apledošanas 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 (Āboltniņš, 1972, 1975, 1989; Āboltniņš *et al.*, 1988, 1988; Raukas *et al.*, 2004), šī mijiedarbība ir bijusi mainīga atkarībā no segledāja paleoglacioloģiskās zonalitātes, perifēriālās segas dinamiskās struktūras, ledus masu kustības veida, un arī no segledāja vispārīgās attīstības rakstura, t.i., ledāja transgresīvās uzvirzīšanās vai degradācijas. Ledāja transgresijas etapā, kā to norāda

O. Āboltiņš (1972), zemienēm ledājs uzvirzījās atsevišķu plūsmu un lobu veidā, apliecot virsmas lielpacēlumus, kuru izvietojumu noteica pamatiežu virsas un iepriekšējo apledojumu pabiezinātās nogulumu segas radītais lielsaposmojums. Pēdējā apledojuma laikā šo lielpacēlumu virsējo slāņkopu tagadējās salveida akumulatīvi glaciostrukturālajās augstienēs pārsvarā veidoja Zāles (Kurzemes) apledojuma atstātie nogulumi.

Vispirms morēnas nogulumu akumulācija notika vai nu augstieņu nogāzēs vai ledāja lobu un mēļu frontālajās daļās. Palielinoties ledāja biezumam, tas pārklāja arī nelīdzenumus, un zemledāja morēnas nogulumu uzkrāšanās zona pārbīdījās uz pacēlumu augstākajām daļām. Šī akumulācija kādu laiku turpinājās arī ledāja deglaciācijas laikā (Āboltiņš, 1972, 1975). Minētie pētījumi pierāda zemledāja gultnes reljefa ietekmi uz ledus masu dinamiku un ne tikai morēnas, bet arī citu ledāja nogulumu, veidošanās procesiem. Zemvislas (zembaltijas vai zemvaldaja pēc Āboltiņš *et al.*, 1975, 1976; Meirons, 1975; Meirons, Straume, 1979; Meirons, Juškevičs, 1984 lietotās terminoloģijas) virsmas reljefs un pēdējā apledojuma nogulumu uzbūve bija faktori, kuri ietekmēja ne tikai ledāja nogulumu uzkrāšanos un uzbūvi, bet, ļoti iespējams, arī radīja priekšnoteikumus dažāda tipa zemledāja glaciostruktūru un reljefa formu attīstībai un lokalizācijai saistībā ar zemledāja gultnes nogulumu filtratīvajām īpašībām un ar ledājkušanas ūdeņu uzkrāšanos ledāja gultnē, kā arī ledāja un gultnes kontaktzonā (Benn, Evans, 1998).

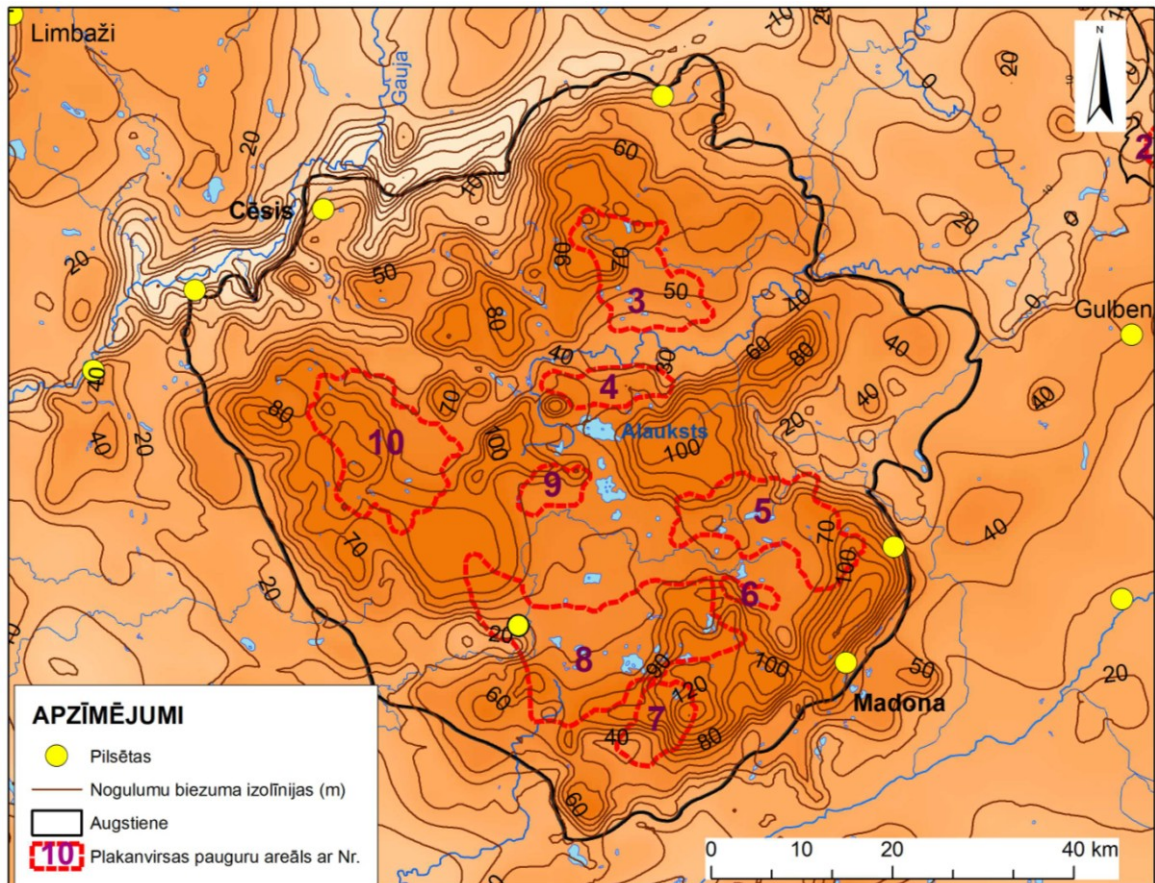
Salveida akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu zemvislas nogulumu virsma raksturojas ar vairākām kopīgām iezīmēm. Viena ir tās maksimālo virsmas absolūto augstumu līdzība (Straume, 1979). Parasti virsas augstuma maksimālās atzīmes tikai nedaudz pārsniedz 160 m vjl. Izņēmums ir Alūksnes augstienes ziemeļdaļa, kur atrodas arī Iceniešu plakanvirsas pauguru izplatības areāls, Vidzemes augstienes Mežoles grēda (Dzērbenes apkārtnē, 172 m vjl., uz D – pat 177 m vjl.), kā arī starp Drustu un Skujenes plakanvirsas pauguru izplatības areāliem (4.8. att.). Arī Gaiziņkalna apkārtnē ir līdzīgas virsmas augstuma maksimālās atzīmes (Āboltiņš *et al.*, 1975). Latgales augstienē augstākie zemvislas virsmas pacēlumi sakrīt ar Rāznas-Pildas plakanvirsas pauguru areālu (4.8. att.) un atrodas uz A un D no Rāznas ezera augstienes centrālajā daļā. No tā izriet, ka kopumā zemvislas virsmas augstākās vietas (4.8. att.) sakrīt ar augstākajiem mūsdienu zemes virsmas apvidiem.

Salveida akumulatīvi glaciostrukturālajās augstienēs, kā to vairākkārt uzsvēris O. Āboltiņš (1972, 1975, 1989), ir palielināts pleistocēna nogulumu biezums. Kvartāra nogulumu biezuma kartes (Meirons, Straume, 1979; Meirons, Juškevičs, 1984) ir sastādītas, balstoties uz aptuveni 1200 urbumiem, kā arī ģeofizikālās zondēšanas datiem,

kuri dod pietiekami objektīvu priekšstatu par kvartāra nogulumu slāņkopas telpisko sadalījumu un izmaiņām. Tomēr tas un pašreiz pieejamās ledāja nogulumu segas uzbūves pētījumu metodes neatsedz sākotnējo ledāja nogulumu biezumu, jo, kā atzīmē J. Piotrovskis, N. J. Larsens un F. V. Junge, (Piotrowski *et al.*, 2004), no nekonsolidētiem (“mīkstiem”) iežiem vai nogulumiem veidotā zemledāja gultnē veidojas gultnes deformāciju un stabilo plankumu mozaīka. Tās veidošanās laikā norisinās sākotnējā zemledāja gultnes nogulumu biezuma pārdalīšana, ko minētie autori raksturo kā megamēroga parādību (*ibid.*). Līdzīga ideja jau agrāk ir izteikta par Latvijas ledāja augstieņu un zemieņu pleistocēna nogulumu sākotnējā biezuma izmaiņām zemledāja glaciotektonisko deformācijas struktūru un reljefa formu veidošanās procesā (Āboltiņš, Zelčs, 1988; Āboltiņš, 1989; Āboltiņš, Dreimanis, 1995; Dreimanis, Zelčs, 1995; Zelčs, Dreimanis, 1997). Lai arī šis iepriekšminētais nozīmīgais paleoģeogrāfiskais secinājums, attiecas uz salveida akumulatīvi glaciostrukturālajām augstienēm kā makroformām, to mezoreljefa kompleksu veidošanā nozīmīgākā loma ir pēdējā apledojuma nogulumiem. Izmantojot digitizēto M 1:1 000 000 zemvislas un mūsdienu zemes virsmas reljefa datus, ar GIS programmu *ArcMap* 9.3. tika ģenerēta pēdējā apledojuma un holocēna nogulumu slāņkopas biezuma karte. Lai gan iegūtā karte vizuāli it kā uzrāda augstu precizitāti, tās izšķirtspēja nav sevišķi augsta, jo zemvislas virsmas izolīniju šķēluma augstums ir 20 m un tām piemīt augsta ģeneralizācijas pakāpe. Arī zemes virsmas reljefa šķēluma augstums 25 m ir samērā raupjš. Tomēr iegūtais rezultāts pietiekami viennozīmīgi apstiprina pēdējā apledojuma nogulumu segas palielināta biezuma dominējošo lomu salveida akumulatīvi glaciostrukturālajās augstienēs, kā tas redzams Vidzemes augstienes piemērā (4.7. un 4.8.B2 att.).

Alūksnes augstienē pēdējā apledojuma nogulumu biezums ir palielināts, tomēr nedaudz mazāk nekā Vidzemes augstienē (4.8. 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, pēdējā apledojuma nogulumu biezums ir 40 m, bet Strautiņu plakanvirsas pauguru izplatības areāla dienviddaļā tas ir 30–40 m (*ibid.*). Var uzskatīt, ka lielākais biezums saistās tieši ar augstākajiem pauguriem un plakanvirsas pauguru areāliem, pārējā teritorijā tas ir apmēram 20 m. Vismazākais biezums konstatēts augstienes R malā. Augstienes lielākā ezera – Alūksnes ezera – ieplakas apkārtnē nogulumu biezums dienvidu virzienā ievērojami pieaug – no apmēram 20 m līdz 40 m.

Alūksnes augstienes pēdējā apledojuuma nogulumus galvenokārt veido sarkanīgi brūna un brūna morēnas mālsmilts ar dažāda biezuma dislocētām un izvalcētām smilts, grants, retāk māla un aleirīta starpkārtām (Juškevičs, Skrebels, 2002). Tas daudzviet raksturīgs šīs augstienes centrālajā daļā, kur morēnas nogulumi bieži ir atsegti zemes virspusē. Augstienes nogāzēs un Vaidavas pazeminājumā bieži ir arī smilts ar grants un oļu piemaisījumu, kas veidojušies ledāja kušanas ūdeņu strauņņu darbības rezultātā (Juškevičs, Skrebels, 2002).



4.7. attēls. Pēdējā apledojuuma nogulumu biezums Vidzemes augstienē (m). Ar sarkano līniju ir apvilkti plakanvirsa pauguru izplatības areāli (3 – Drusti, 4 – Stepeli, 5 – Liezēre, 6 – Lautere, 7 – Savīte, 8 – Ērgļi, 9 – Kaibēni, 10 – Skujene).

Figure 4.7. Thickness of the Late Pleistocene sediments in the Vidzeme upland. Contours marked by red uninterrupted line denote location of the plateau-like hill areas (3 – Drusti, 4 – Stepeli, 5 – Liezēre, 6 – Lautere, 7 – Savīte, 8 – Ērgļi, 9 – Kaibēni, 10 – Skujene).

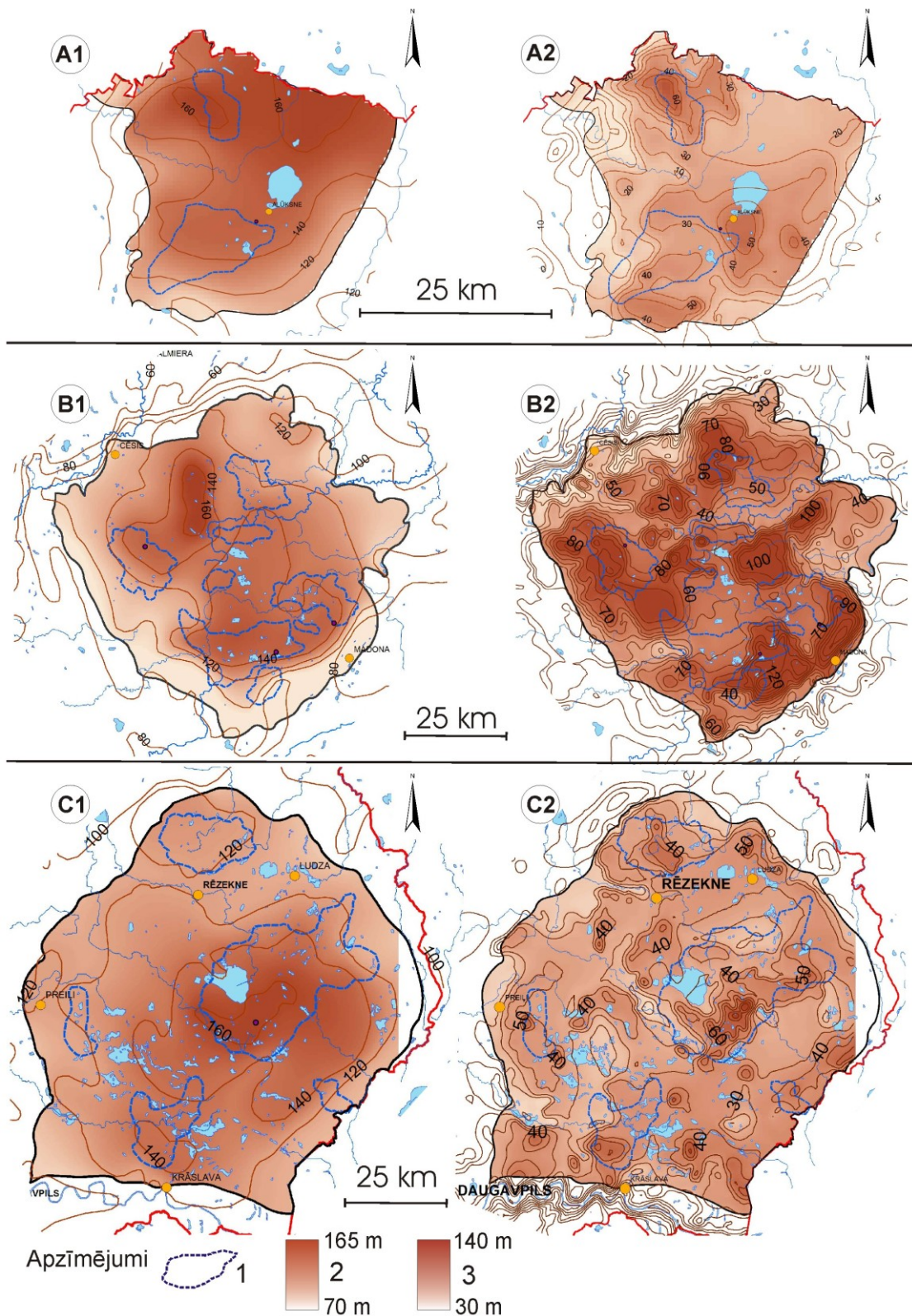
Pēdējā apledojuuma nogulumu biezums Vidzemes augstienē svārstās ap 60–80 m (4.7. un 4.8.B2 att.). Augstienē izdalās trīs subparalēlas joslas, kurām raksturīgs palielināts kvartāra nogulumu biezums. Tās stieptas RDR–AZA virzienā (4.7. att.) un kopumā atspoguļojas mūsdienu virsmā kā trīs pauguraiņu joslas (Sleinis, 1935, 1936; Straume, 1979; Zelcs, Šteins, 1989). Vislas apledojuuma nogulumu vislielākais biezums ir augstienes dienvidu daļā, kur vietām tas pārsniedz 120 m (Juškevičs, 2000). Aprēķini liecina, ka šajā

teritorijā kopējais pleistocēna nogulumu slāņkopas biezums var sasniegt pat 200 m (Zelčs, Markots, 1998). Šo augstienes daļu aizņem Vestienas pauguraine, kurā atrodas 13 no 15 augstākajiem Latvijas mūsdienu virsmas punktiem (Zelčs, 1997b), kā arī Savītes un daļēji Ērgļu plakanvirsas pauguru areāli.

Aprēķini liecina, ka maksimālais Vislas apledošanas nogulumu biezums (140 m) Vidzemes augstienē ir dažus km uz DA no Kaņepēnu ezera, kas atrodas Vestienas paugurainē. Augstienes vidusdaļā esošajā Piebalgas paugurainē pēdējā apledošanas nogulumu biezums vietām sasniedz aptuveni 100 m. Relatīvi plānāks tas ir Mežoles paugurainē, kas aizņem augstienes ziemeļu daļu, kur maksimālais biezums svārstās no 80 m līdz 90 m (Juškevičs, 2000).

Kvartāra segas augšējās daļas, t. sk. mūsdienu reljefa formu veidošanā galvenokārt piedalās sarkanīgi brūna un brūna morēnas mālsmilts, retāk smilšmāls (Juškevičs, Skrebels, 2002), bet it īpaši glaciotektoniski deformētie glacioakvālie nogulumi (Āboltiņš, Markots, 1995a, Markots, Āboltiņš, 1998a). V. Juškevičs un J. Skrebels (2002) norāda, ka morēna ir glaciotektoniski stipri deformēta, ar biežām smilšainu un mālainu nogulumu starpkārtām vai ieslēgumiem, kas visdrīzāk ir traktējami kā zvīņveida uzbūvējumu struktūras (Āboltiņš, 1989). Zemvislas virsā atrodas arī biezas granšainas vai aleirītiskas smilts slāņkopas, ko Z. Meirons (1975) un J. Straume (1979) nošķir kā starpmorēnu nogulumus, norādot, ka to piederība Kurzemes apledošanas deglaciācijas vai Baltijas apledošanas transgrīvajai fāzei ir grūti pierādāma.

Latgales augstienē Vislas apledošanas nogulumi ir ievērojami plānākā kārtā (4.8.C2 att.). Lielākais biezums sasniedz tikai aptuveni 80 m un konstatēts salīdzinoši nelielā teritorijā Rāznavas paugurainē ap Lielo Liepukalnu. Tādējādi šis palielinātais biezums attiecas uz Rāznavas-Pildas plakanvirsas pauguru areālu. Palielināts pēdēja apledošanas nogulumu biezums ir raksturīgs arī pārējiem Latgales augstienes plakanvirsas pauguru izplatības areāliem. Līdz ar to nākas konstatēt, ka šāds palielinātais biezums sakrīt ar plakanvirsas pauguru izplatības areāliem. Pārējā augstienes teritorijā Vislas apledošanas nogulumu biezums ir no 20 m līdz 40 m, kas tomēr ir krietni lielāks nekā augstienei piegulošajos ledāja zemieņu apvidos (Juškevičs, 2002; Juškevičs, Skrebels, 2003; Meirons, 2004). Visās teritorijās, kur koncentrējas ezeri vai atrodas augstienes lielākie ezeri, raksturīga plāna Vislas apledošanas nogulumu kārta. Tās vidējais biezums nepārsniedz 20 m vai ir pat mazāks.



4.8. 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. Āboltniņš *et al.* (1975, 1976) un Z. Meirons (1976) dati.
 Apzīmējumi: 1 – plakanvirsmas pauguru areāls; 2 – zemvislas virsmas reljefs; 3 – Vislas apledojuma nogulumu biezums

Figure 4.8. Topography of the sub-Weichselian surface (A1, B1, C1) and thickness of sediments of the Last glaciation 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 data Āboltiņš *et al.* (1975, 1976), and Meirons (1976).

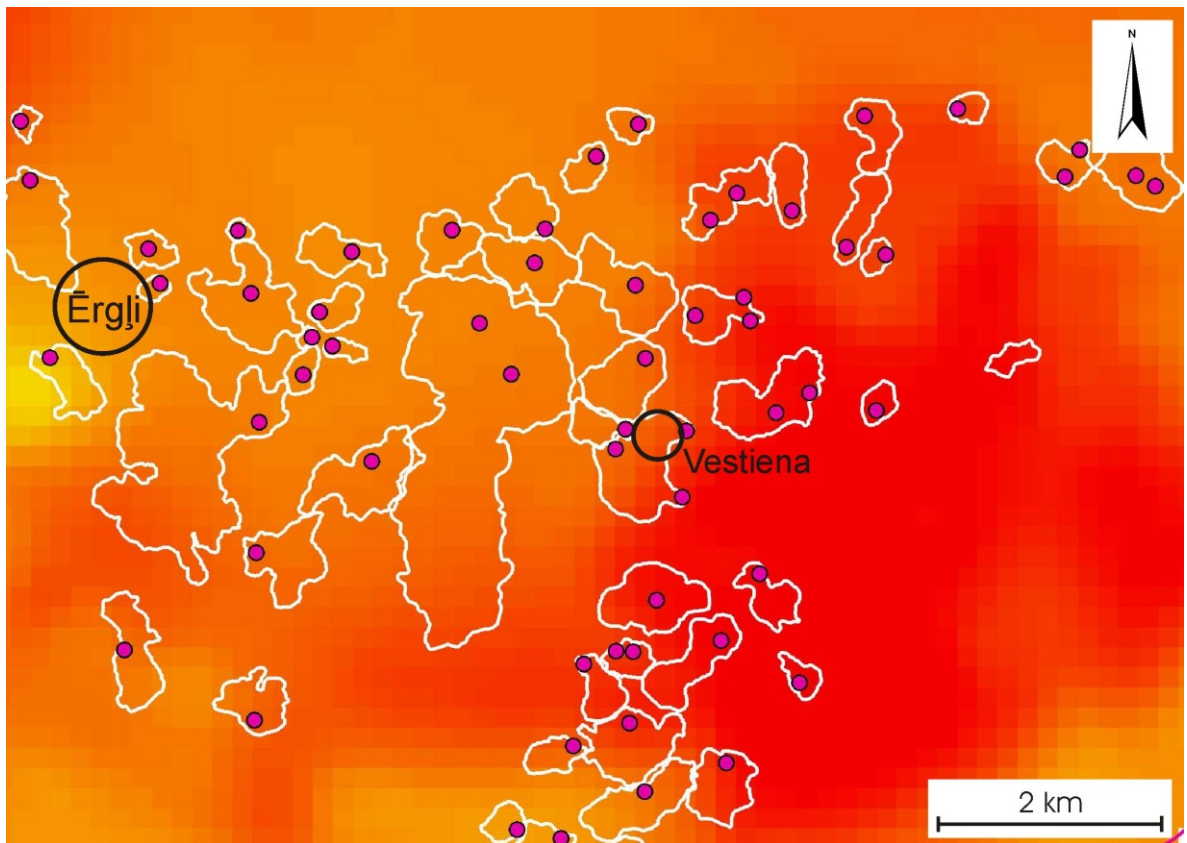
Legend: 1 – plateau-like hills areas; 2 – topography of the sub-Weichselian surface; 3 – thickness of sediments of the Weichselian glaciation.

Nākas konstatēt, ka kvartāra segas augšējo daļu mūsdienu reljefa formās Latgales augstienē veido galvenokārt pēdējā apledošanas bazālā morēna un starpmorēnu ledājkūšanas ūdeņu nogulumi. Burzavas paugurainē bazālās morēnas materiāls ir brūna, sarkanīgi brūna vai pelēcīgi brūna akmeņaina mālsmilts, retāk smilšmāls, kas ir glaciotektoniski deformēts. Raksturīga zvīņveida uzbīdījumu struktūra ar smilšainu un mālainu nogulumu starpkārtām vai ieslēgumiem. Pēdējā apledošanas nogulumu biezums sasniedz aptuveni 30–40 m, augstākajos lielpauguros – 50–60 m. Augstienes Z nogāzē pie Jakulinskiem un Briģiem bazālajā morēnā ir arī Daugavas svītas dolomītu atrauteņi, kas vietām ir inkorporēti un pārveidoti līdz tādai pakāpei, ka veido lokālmorēnu (Āboltiņš, Dreimanis, 1995). Zemvislas virsā atsedzas arī biezas granšainas vai aleirītiskas smilts slāņkopas. Rāznavas paugurainē pēdējā apledošanas nogulumi pārstāvēti ar 20–100 m biezu sarkanbrūnu, brūnu, pelēcīgi brūnu morēnas mālsmilti un smilšmālu, kas nereti satur dažāda biezuma (2–20 m) granšainas smilts, retāk smalkgraudainas smilts un aleirītu starpslāņus un ieslēgumus. Lielāko paugurmasīvu un grēdu kodolā šo glaciotektoniski deformēto slāņkopu biezums sasniedz 30–40 metri. Uz A no Rāznavas ezera satopami plaši izplatīti glaciofluviālie nogulumi – dažādgraudaina smilts ar grants un oļu piejaukumu. Slāņkopā vietām sastop arī dažāda rupjuma oļu, smalkgraudaina smilts un aleirītu ieslēgumus un starpslāņus, kā arī atsevišķos gadījumos – nelielus laukakmeņus. Virs Latvijas morēnas esošo glaciofluviālo nogulumu biezums svārstās no 5–7 m līdz 25 metriem (Meirons, 2004).

Reljefa un ģeoloģiskās uzbūves ziņā Dagdas un Feimaņu pauguraines ir ļoti līdzīgas. Virs salīdzinoši plānās Kurzemes morēnas bieži atrodas dažāda rupjuma smilts un granšainas smilts slāņkopa, nereti ar grants-oļu materiāla starpkārtām. Slāņkopa parasti sasniedz 5–20 m biezumu. Tā bieži ir glaciotektoniski deformēta, izveidojot apraktas glaciostruktūras, kuras nereti atspoguļojas reljefā kā izteiktas paugurgrēdas un paugurmasīvi (Meirons, 2004, 24. lpp.). Šo reljefa formu robežās minētās slāņkopas biezums pieaug pat līdz 30–48 metriem. Mazāk ir izplatīts aleirīts un aleirītiska smilts ar māla starpkārtām. Šo nogulumu biezums mainās no dažiem metriem līdz 40 m pamatiežu virsmas pazeminājumos. Pēdējā Vislas (Latvijas) leduslaikmeta nogulumi, kuru sastāvā

dominē brūns, sarkanīgs vai pelēcīgi brūns morēnas smilšmāls. Tā biezums pārsvarā ir 25–30 m, vietām sasniedzot arī vairāk nekā 40 m. Tāpat Z. Meirons (2004) norāda, ka morēna diezgan bieži, vietām pat samērā lielās platībās, satur mainīga biezuma (no dažiem līdz 25 m) glaciotektoniski deformētus dažāda rupjuma smilts, granšainas smilts, grants, retāk aleirīta un māla starpslāņus un slāņkopas.

Kopumā, izvērtējot minēto trīs salveida akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu pēdēja apledojuma nogulumu biezumu, var konstatēt, ka plakanvirsas pauguru virsmas ievērojamais hipsometriskais novietojums un relatīvais augstums, kā arī izplatības areāli sakrīt ar Vislas apledojuma nogulumu palielināta biezuma izplatības nogabaliem (4.8. att.). Tas vislabāk izpaužas Alūksnes un Latgales augstienēs, kur pēdējā apledojuma nogulumu kārtas biezums ir ievērojami plānāks nekā Vidzemes augstienē.



4.9. attēls. Pēdējā apledojuma nogulumu biezuma izmaiņas Vidzemes augstienē Ērgļu plakanvirsas pauguru izplatības areāla centrālajā daļā. Punkti apzīmē atsevišķu plakanvirsas pauguru augstākās virsotnes. Augstāka sarkanās krāsas intensitāte parāda lielāku nogulumu biezumu.

Figure 4.9. Thickness of the Last glaciations sediments in the central part of the Ērgļi plateau-like hill area in the Vidzeme upland. Dots denote the highest elevation points of distinct plateau-like hills. More intense red colour displays higher thickness of sediments.

Vidzemes augstienē plakanvirsas pauguru areālu saistība ar lielākajām Vislas apledojuma nogulumu biezuma vērtībām nav tik izteikta. Iespējamie iemesli ir kartogrāfisko datu nepilnība un nepietiekama ticamība, tāpat arī iespējami ilgāka nogulumu uzkrāšanās Vidzemes augstienē salīdzinājumā ar abām pārējām augstienēm un iespējami aktīvāka nogulumu uzkrāšanās saistībā ar ledus masu dinamiku, ko noteica pret ledāju vērstās nogāzes stāvums un ievērojama relatīvo augstumu starpība, kas izriet no Latvijas subkvartārās virsmas rakstura (Meirons *et al.*, 1974; Āboltiņš *et al.*, 1975, 1976; Meirons, 1976) un ko no glaciodinamiskā viedokļa ir pamatojis O. Āboltiņš (1972, 1975).

Jāņem vērā, ka autora veiktajos aprēķinos nav iekļautas dažādas izcelsmes ielejveida formas zemvislas virsmā, kas līdz šim nav droši konstatētas. Pēdējā apledojuma nogulumu biezumu izmaina arī senāko apledojumu, starpleduslaikmetu nogulumu vai pirmskvartāra nogulumiežu asimilācija mazpārveidotu atrauteņu vai lokālmorēnas nogulumu veidā, jo pastāv reālas grūtības tikai pēc urbumu datiem noteikt pirmsvislas nogulumu vai pamatiežu 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.

Ja analizējam pēdējā apledojuma nogulumu biezumus atsevišķu plakanvirsas pauguru izplatības areālu teritorijā (4.9. att.), tad jākonstatē, ka nepiepildās pieņēmums, ka zem plakanvirsas pauguriem šo nogulumu slāņkopai vajadzētu būt izteikti biezākai, īpaši tur, kur ir visaugstākie virsmas punkti. Ņemot vērā analīzes rastra šūnas lielo izmēru (500×500 m), nākas konstatēt, ka atsevišķās vidēja izmēra reljefa mezoformās šo parādību precīzi novērtēt nav iespējams, bet lielākajās novērojama pretēja tendence, t.i., biezums tajās ir mazāks (4.9. att.).

4.3. Plakanvirsas pauguru iekšējā uzbūve

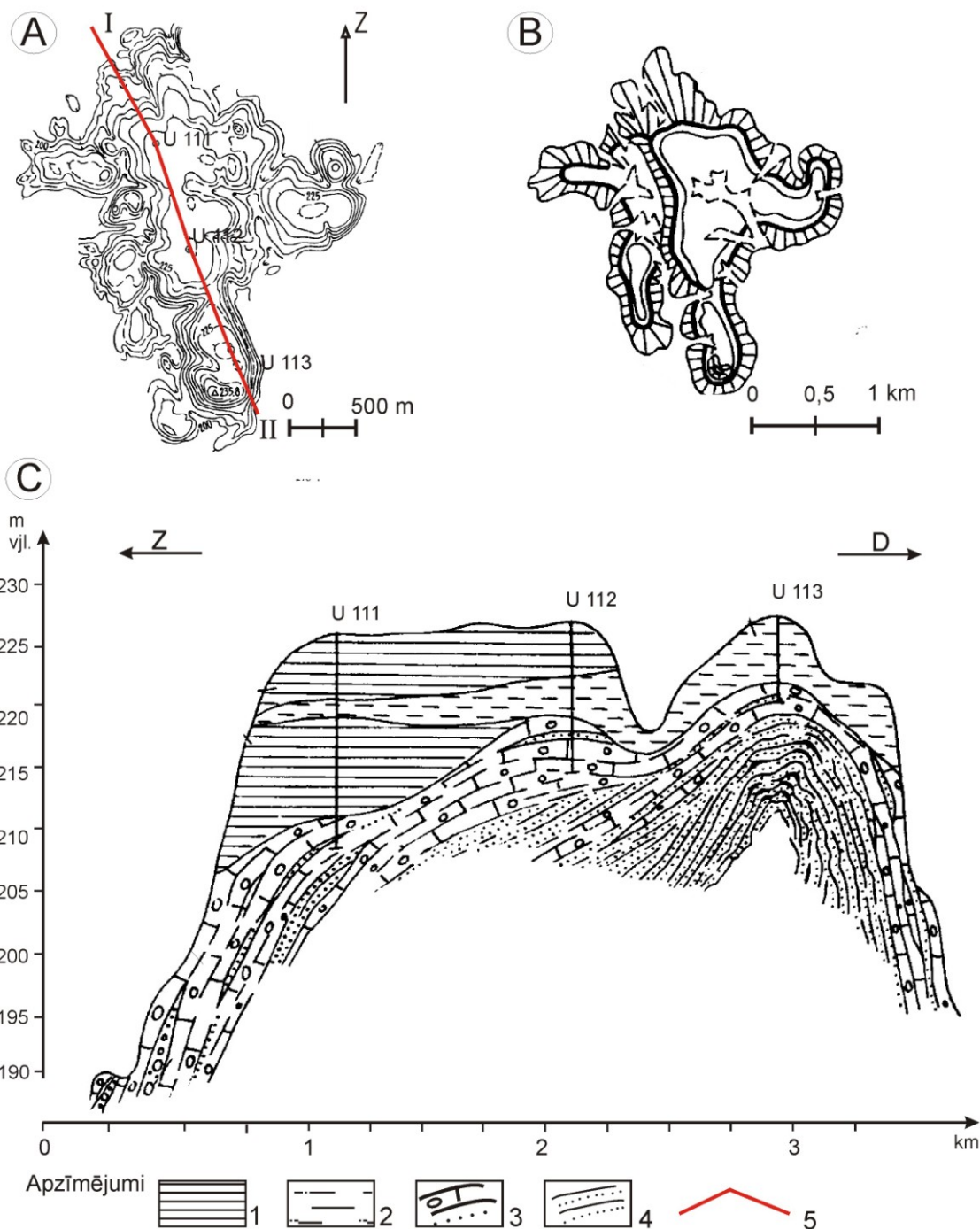
Plakanvirsas pauguru iekšējā uzbūve tika pētīta ar dažādiem paņēmieniem, kas ļāva iegūt vispārīgu informāciju par to veidojošajiem nogulumiem, kā arī deva iespēju veikt to formveidojošo nogulumu tekstūru un struktūru izpēti. Lai noskaidrotu plakanvirsas pauguru vispārīgās uzbūves, un līdz ar to arī veidošanās galvenās likumsakarības, tika izmantoti M 1:50 000 ģeoloģiskās kartēšanas laikā veiktie ģeoloģiskie urbumi, kas

pieejami Valsts ģeoloģijas fonda pārskatos (Straume, 1973; Ginters *et al.*, 1985, 1986; Mironovs *et al.*, 1973; Uļģis *et al.*, 1981; Uļģis *et al.*, 1983; Aleksāns *et al.*, 1988, 1991), kā arī uz to datiem konstruētie ģeoloģiski-ģeomorfoloģiskie griezumumi. Tomēr ģeoloģiskās kartēšanas, it īpaši M 1:200 000, darbu laikā urbumu izvietojums nebija pietiekami blīvs, lai tie izsmēloši atspoguļotu nogulumu saguluma apstākļus, it īpaši – glaciolimnisko nogulumu trīsdimensiālo telpisko izplatību. Tāpēc, lai novērstu šīs problēmas, autors veica virkni ģeoloģisko urbumu ar rokas ģeoloģisko urbi, kas veidoja jaunu vai papildināja esošo ģeoloģiskās kartēšanas urbumu tīklu. Ar mērķi noskaidrot plakanvirsas pauguru divu atšķirīgo sastāvdaļu – pamatnes un glaciolimniskās pārsedzes – veidošanās apstākļus, tika veikti padziļināti iekšējās uzbūves pētījumi karjeru atsegumos.

Diemžēl, pētījumiem bija pieejams tikai neliels karjeru skaits. Kā jau minēts, šie atsegumi atradās karjeros, bet sakarā ar pāreju no plānveida saimniekošanas uz brīvā tirgus ekonomiku, atteikšanos no plakanvirsas pauguru māla un grants-smilts ieguves un pāreju uz lielāku māla un grants-smilts iegulu izmantošanu (Zelčs, Markots, 1999a, b), kā arī ar zemes reformu, salīdzinājumā ar 20. gs. 80. gadu beigām strauji samazinājās plakanvirsas pauguros un pirmmasīvpauguros derīgo izrakteņu ieguvei izmantoto karjeru skaits. Tomēr par spīti šīm grūtībām, ģeoloģisko urbumu dati savienojumā ar detālām ledāja reljefa formu iekšējās uzbūves studijām atsegumos ļāva noskaidrot, ka plakanvirsas pauguru glaciotektoniskās pamatnes principāli neatšķiras no pirmmasīvpauguru uzbūves (Āboltiņš, Markots, 1995a, Markots, Āboltiņš, 1998a, b, skat. 4.10. un 5.4. att.).

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). Plakanvirsas pauguru iekšējās uzbūves īpatnības nosaka vairāki apstākļi: ledāja dinamikas īpatnības un izmaiņas reģionālā un lokālā mērogā, kā arī zemledāja gultnes iežu reljefa raksturs un litoloģiskās īpašības (Benn, Evans, 1998, Menzies, 2002a; Āboltiņš, 1989).

Ģeoloģiskās kartēšanas laikā veikto urbumu apraksti sniedz informāciju arī par pleistocēna nogulumu dziļākiem slāņiem, uzrādot, pirmām kārtām, pārsedzošās glaciolimnisko nogulumu segkārtas biežumu un, otrām kārtām, saguluma apstākļus saistībā ar formas morfoloģiju (4.10. un 4.11. att.). Pauguru garenass virzienā vai šķērseniski tai konstruētie ģeoloģiski-ģeomorfoloģiskie profili raksturo glaciolimnisko nogulumu saguluma apstākļus un biežuma telpiskās izmaiņas (4.10. un 4.11. att.).



4.10. attēls. Zelta kalna plakanvirsa paugura hipsometriskā shēma (A), morfoloģiskā shēma (B) un ģeoloģiski ģeomorfoloģiskais griezum (C) pa profila līniju I–II. Paugurs atrodas Skujenes lielpauguru izplatības areāla ziemeļu daļā, 6 km uz ZR no Kosas ezera (Āboltiņš, Markots, 1995b).

Apzīmējumi: 1 – glaciolimniskais māls; 2 – glaciolimniskais aleirīts; 3 – glaciģēnie nogulumu; 4 – glaciakvāla smiltis un aleirīts; 5 – ģeoloģiski ģeomorfoloģiskā profila līnija I–II.

Figure 4.10. Hypsometric sketch (A), morphologic sketch (B) and geological-geomorphological section (C) along line I–II of the Zelta kalns plateau-like hill. The hill is located 6 km NE from the Lake Kosa (Āboltiņš, Markots, 1995b).

Legend: 1 – glaciolacustrine clay; 2 – glaciolacustrine aleurite; 3 – glaciogenic sediments; 4 – glacioaquatic sand and aleurite; 5 – section line I–II.

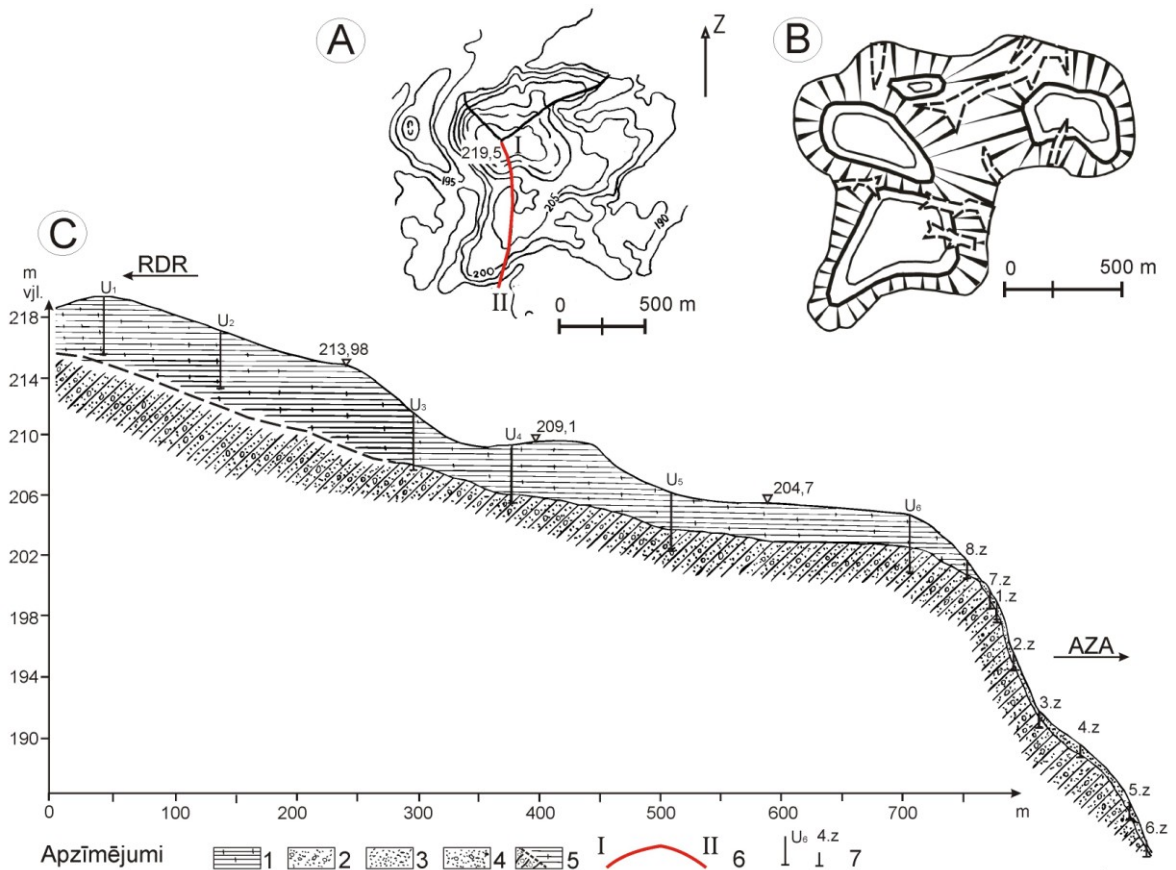
Neatkarīgi no šo profilu orientācijas, visās augstienēs plakanvirsas pauguru uzbūvē var izšķirt deformēto glaciotektonisko pamatni, kuru veido pārsvarā zemledāja apstākļos deformētie glacioakvālie nogulumu un pēdējā apledojuma morēnas nogulumu, kurus pārsež atšķirīga biezuma glaciolimniskie nogulumu. Glaciolimnisko nogulumu pārsež atsevišķiem pauguriem ir ļoti biezs, piemēram, Gaiziņkalnam līdz 28,5 m, Tumužu lielpauguram līdz 22,5 m, vidēji biezs – 5–15 m (Ķieģeļkalnam 8 m bieža māla sega, 3 km A no Taurenas, skat. Zelčs, Markots, 1997) un plāns – līdz 5 metri.

Zelta kalns (4.10. att.) atrodas Vidzemes augstienē Skujenes plakanvirsas pauguru izplatības areāla ZR malā. Tā virsmas maksimālais absolūtais augstums ir 236 m, virsotne (Bākas kalns) atrodas paugura D galā, relatīvais augstums sasniedz pat 42 m. Pauguram ir romba forma ar vāji lēverainu kontūru, tā gareniskā ass tuvu Z–D virzienam. Pauguram ir labi izteiktas nogāzes, stāvākās ir A un DA nogāzes; tas ir terasēts paugurs, labi izteikta plakanā virsa apmēram 227 m augstumā un R malā zemāk esošas terase apmēram 220 m augstumā. Paugura nogāzes saposmo izteikts gravu tīkls (4.10.B att.). Pāri pauguram pa profila līniju I–II no ZR uz DA veikta ģeoloģiskā urbšana (4.10.A, C att.), lai noskaidrotu paugura iekšējās uzbūves īpatnības. Profila līnija gandrīz sakrīt ar paugura garenasi un raksturo augstāko terases līmeni.

Zelta kalna plakanvirsas paugurā līdz pat 12–15 m biezuma glaciolimniskā māla ar aleirīta starpkārtu nogulumu pārklāj glaciotektoniski dislocēto paugura pamatni (4.10. att.). Glaciotektonisko pamatni veido asimetriska kroka. Šajā teritorijā ledāja plūsmas virziens apledojuma laikā ir bijis no Z (Zelčs *et al.*, 2003). Tādējādi glaciotektoniskās krokas lēzenais spārns krīt pret ledāja plūsmas virzienu, bet stāvais – distālā virzienā. Šāds profils raksturīgs krokām, kas veidojas ledus spiedes plūsmas apstākļos (Zelčs, 1993). Šāda plūsma ir raksturīga ledāja malas zonā (Lavrushin, 1976; Benn, Evans, 1998). Asimetriskā kroka ir veidota no bazālās morēnas un glaciolimniskas smilts. Iespējams, ka griezumā Z daļā starp bazālās morēnas augšējo un apakšējo slāni ieslēgtā glaciolimniskā smiltis ir apakšējā smiltis pagulslāņa virsējās daļas atrautenis vai asimilācijas tipa ievilkums. Novērojumi liecina par šī asimilētā slāņa pakāpenisku izķīlēšanos distālā virzienā. Šāda tipa glaciostruktūras parasti veidojas ledāja malas zonā. To izcelsme tiek saistīta ar zvīņveida uzbīdījumu veidošanos ledāja malas zonā (Lavrushin, 1976; Āboltiņš, 1989). Glaciolimniskie nogulumu, kuri pārklāj glaciostruktūras veidoto nelīdzeno virsmu, ir uzkrājušies nedaudz atšķirīgos apstākļos. To var skaidrot ar intensīvāku ledāja kušanu laikā, kad uzkrājās aleirītiskie nogulumu, bet iespējams, ka tās ir faciālās atšķirības. Nevar

arī izslēgt iespēju, ka glaciotektoniskās pamatnes virsējo daļu krokas proksimālajā spārnā ir erodējuši ledājkūšanas ūdeņi. Diemžēl, vadoties pēc ģeoloģisko urbumu datiem to nevar pilnīgi droši apgalvot.

Detālāku ieskatu plakanvirsas pauguru nogāžu uzbūvē sniedz Apseskalna DR nogāzes griezum (4.11. att.) un Svikļu karjera Tumuzu plakanvirsas paugura atsegums (4.12. att.).



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

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

Figure 4.11. Hipsometric sketch (A), morphologic sketch (B) and geomorphological section along line I–II (C) of the Apseskalns plateau-like hill. The hill is located 2.5 km NNE of the Liezēre village, in the Vidzeme upland. Contour interval 5 m.

Legend: 1 – laminated aleirite clay; 2 – till, 3 – sand; 4 – gravel; 5 – prospective border of sediments of genetic types; 6 – profile line, 7 – boreholes.

Apseskalns atrodas Vidzemes augstienē Liezēres plakanvirsas pauguru izplatības arēla 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

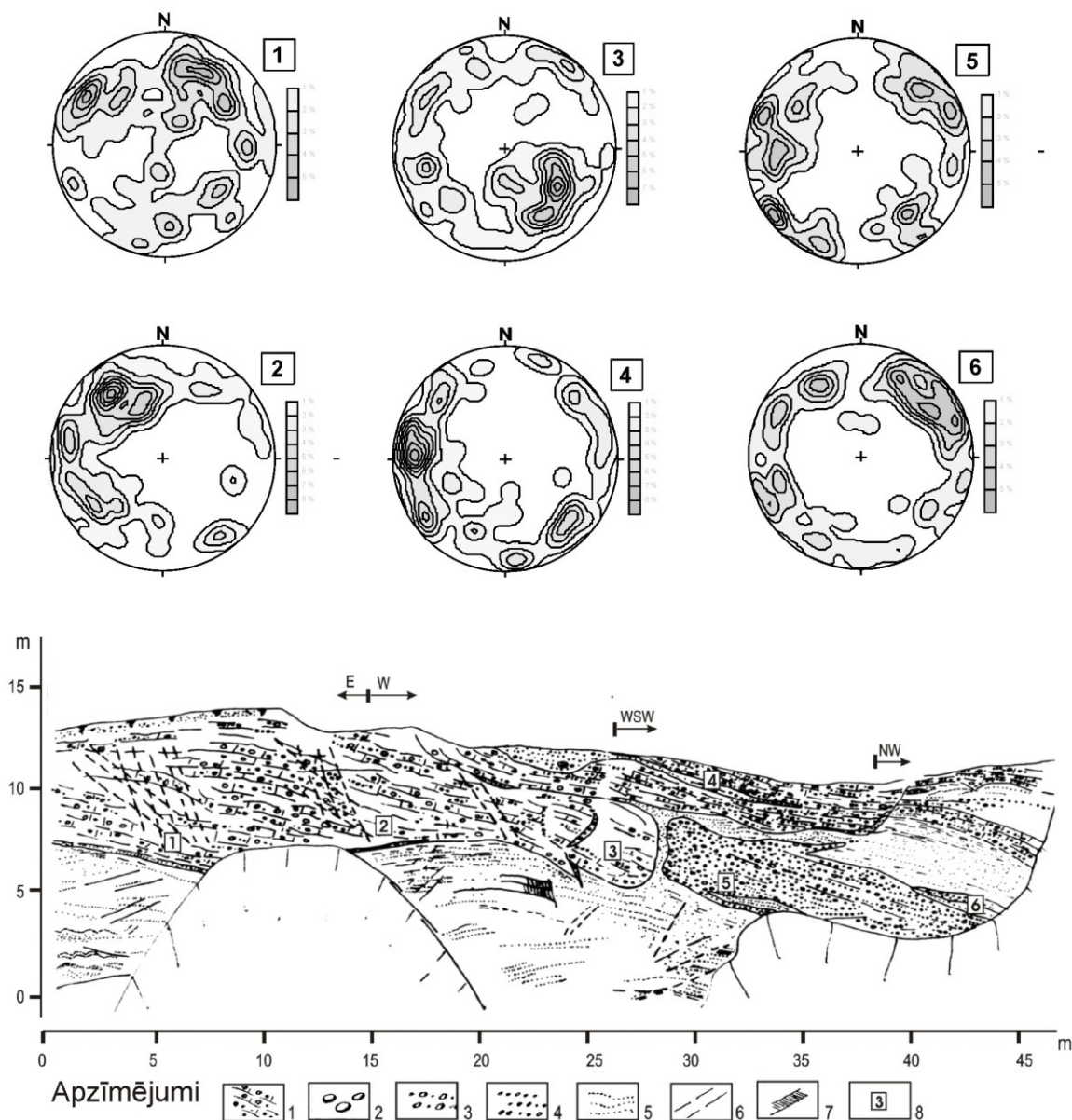
terasēts, lēveraina apveida paugurs. Šī paugura garenass orientēta ZA–DR virzienā (4.11.B att.). Augstākā virsotne ir paugura R malā, no tās radiāli tika pētītas trīs nogāžu profila līnijas, izmantojot rokas ģeoloģisko urbšanu un nivelēšanu. Kā redzams DDR virziena profila līnijā, nogāzei raksturīgs 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.

Savukārt Svikļu atsegumā, kas atrodas Latgales augstienē Tumužu plakanvirsas lielpaugura ZZA nogāzes vidusdaļā, atsedzas daļa formveidojošo nogulumu (4.12. att.).

Tumužu lielpaugurs atrodas Burzavas plakanvirsas pauguru izplatības areāla dienvidu malas vidusdaļā. Tumužu lielpaugurs ir lielākais, garākais un augstākais visā Burzavas plakanvirsas pauguru izplatības areālā. Pētītā atseguma sienas garums pārsniedz 45 m. Tās vērsums ir mainīgs (4.12. att.), zīmējuma kreisajā pusē vērsts R–A virzienā, labajā pusē vairāk uz ZR, tuvu perpendikulāram stāvoklim attiecībā pret paugura garenasi (3.4. att). Atsegums atrodas paugura garenass ZZA galā un ir orientēts iešķērsām ledus plūsmas virzienam, kas saistāma ar Cirmas un Rēzeknes ledāja mēļu dinamiku.

Atseguma augšējā daļā atsedzas brūna plātņaina pamatmorēnas mālsmilts, piesātināta ar granti un oļiem. Atseguma apakšējo daļu veido dažādas graudainības, galvenokārt rupjgraudaina smilts ar grants ieslēgumiem, kas atseguma zemākajā daļā pāriet smilšainā slāņkopā. Griezuma augšdaļu (4.12. att.) gandrīz līdz 10 m biezumam veido bazālās morēnas slāņkopa. Tajā ir izšķirami 3 slāņi. Slāņkopa ir glaciotektoniski deformēta. Īpaši raksturīgs ir dažādos virzienos vērsto plaisu komplekss, kas sarežģīt krokas struktūru (4.12. att.). Bazālās morēnas slāņkopas R daļā ir raksturīgas smilts un grants starpkārtas un lēcas. Bazālās morēnas slāņus atdala pārbīdījumu virsmas. Bazālajai morēnai ir raksturīga plātņaina struktūra un joslveida tekstūra, starpkārtas un ievilkuma lēcas, kā arī pastiprinātas plaisainības un klivāžas posmi. Vietām labās malas augšdaļā morēnā un zem tās esošajā smilšainajā un granšainajā materiālā sastopami nelieli krokveida izlocījumi.

Atseguma labajā un centrālajā daļā slāņu sagulums ir sarežģītāks. Dominē smilts un smilts-grants materiāls. Šajā atseguma daļā ir vērojama aptuveni 4 m bieža, vairāk kā 10 m gara grants-oļu materiālu saturoša zvīņa (4.12. att.). Bazālās morēnas slāņi, kuri veido formveidojošo nogulumu slāņkopas augšdaļu, pārstāv zvīņveida uzbīdījumu struktūru.



4.12. attēls. Glaciotektoniski deformētu formveidojošo nogulumu atsegums Tumužu plakanvirsas paugura ZZA nogāzes vidusdaļas lejaspusē 200 m uz Z no Svikļu mājām (7 km uz ZZA no Rēzeknes, Latgales augstienes Burzavas paugurainē).

Apzīmējumi: 1 – brūna plātņaina bazālās morēnas mālsmilts bagāta ar granti un oļiem; 2 – oļi; 3 – rupja grants ar oļiem; 4 – rupjgraudaina smilts; 5 – vidējgraudaina un smalkgraudaina smilts; 6 – plaisas un klivāža; 7 – slīpslāņota dažādgraudaina smilts; 8 – lineāro elementu masveida mērījumu vieta un struktūrdiagrammas numurs.

Figure 4.12. Section of the glaciotectonically deformed sediments in the outcrop located on the middle-lower part of NNE slope of the Tumuži plateau-like hill, 7 km NNE of the Rēzekne Town, 0.2 km N of the from Svikļi farmhouse, in the Burzava hummocky area, the Latgale upland.

Legend: 1 – brown basal clayed-sandy till rich in gravel and pebbles; 2 – pebbles; 3 – coarse gravel with pebble admixture; 4 – coarse grained sand; 5 – medium grained and fine grained sand; 6 – faults and joints; 7 – cross-bedded various grained sand; 8 – location of the mass-measurements of longitudinal axes of pebbles and the number of the structure diagram.

Redzamo slāņu saguluma tekstūru raksturs norāda uz to, ka sākotnēji izveidojušies nogulumi vēlāk tika pakļauti zemledāja deformācijām un ledāja gultnē bija raksturīgs zvīņveida uzbīdījumu pārvietošanās tips. Tas īpaši labi novērojams atseguma labajā pusē.

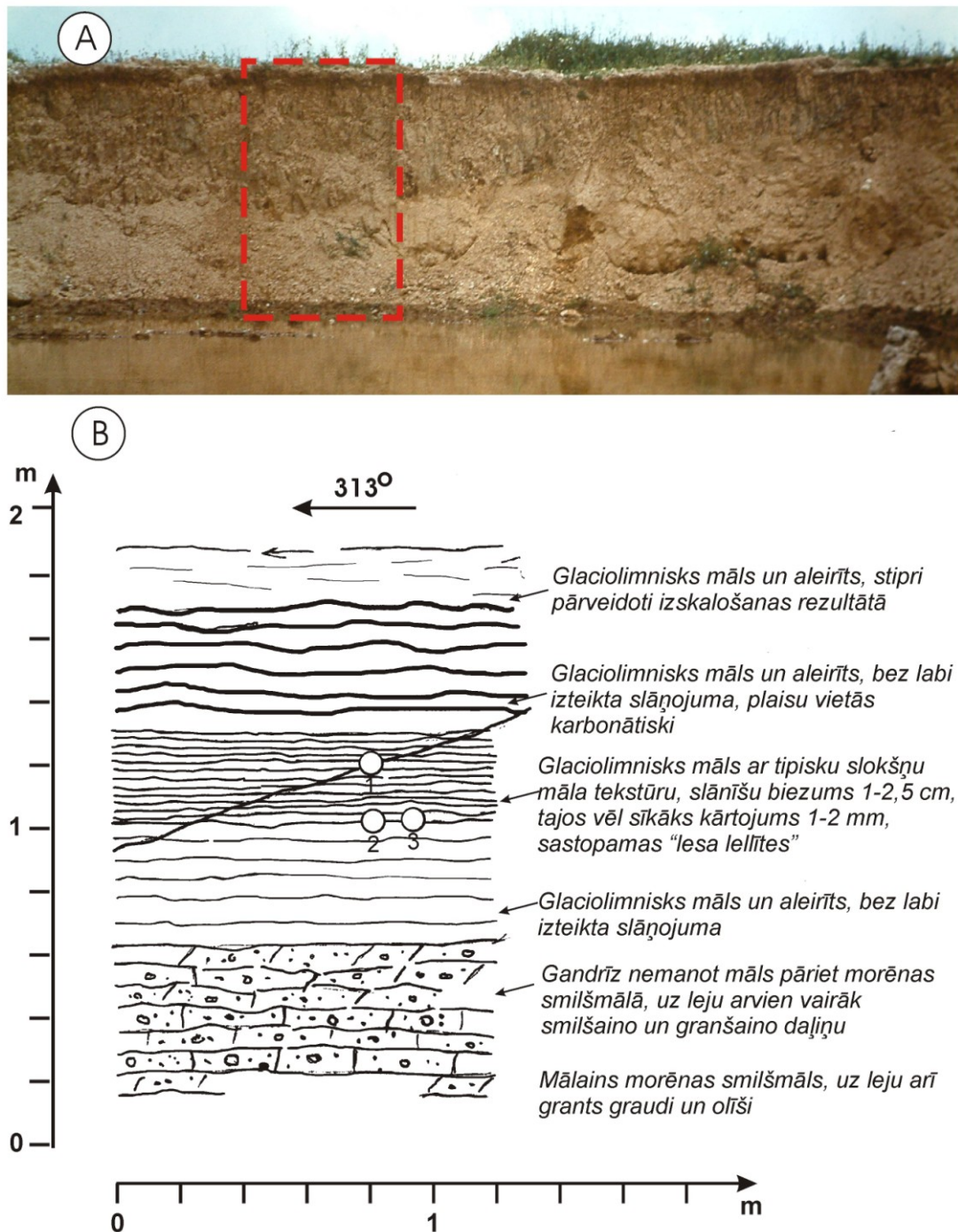
Spriežot pēc izolīniju izkļedes lineāro elementu struktūrdiagrammās, oļu linearitāte atspoguļo orientāciju, kas pēc O. Āboltiņa (Āboltiņš, 1986) raksturīga galvenokārt kompleksiem glaciotektonītiem. Dažās no tām (1. un 2. oļu garenasu linearitātes diagramma) makrolinearitātes dispersija raksturojas ar spirālveidīgu zīmējumu, kas liecina par koniska tipa krokveida deformāciju un R+S tipa glaciotektonītu ar b-linearitātes dominējošu stāvokli. Par šāda tipa deformācijām liecina arī lauka novērojumi pašā atsegumā, kur centrālajā daļā izplatīti vertikāli kontakti starp granšaini mālaino slāņkopu un morēnas nogulumiem. Krituma leņķis sasniedz 80°. Nošķēluma plaisu telpiskā orientācija norāda uz a-linearitātes pakāpenisku pārorientāciju un b-linearitātes īpatsvara pieaugumu.

Pašā augšējā zvīņā netālu no tās kontakta (4.12. att.) ar smilts un grants materiāla pagulslāni veikto mērījumu analīze ļauj izdalīt diagrammā divus pretēji vērstus maksimumu pārus. Šāds orientācijas veids, kā to norāda O. Āboltiņš (1986), atspoguļo b-glaciotektonītu. Pārējām diagrammām, īpaši tām, kuras tika veidotas, balstoties uz mērījumiem grants–oļu slāņkopā, raksturīgs joslveida zīmējums, kas atspoguļo R vai R+S rotācijas glaciotektonītus, kādus analogos apstākļos apraksta O. Āboltiņš (1986). Oļu vērsma azimutu lielās izmaiņas dažādās diagrammās ir izskaidrojamas ar sprieguma maiņu pašā ledājā vai arī saistībā ar gultnes materiāla reoloģiju etapā, kad notika ledāja atkabināšanās no gultnes. Uz to norāda arī sekundārās linearitātes maksimālās vērtības.

Atseguma centrālajā daļā parādās gandrīz vertikāli krītošas ievilkuma tekstūras, kuras liecina par vienusēji orientētu spiedienu deformācijas noslēguma fāzē. Nelielo sekundāro kroku šarnīri, kas vērsti ZR–DA virzienā, norāda uz kompresijas spiedienu no ZA virziena.

Tādējādi, kā tas redzams arī attēlā (4.12. att.), glaciotektonisko pamatni veidojošie ledājkušanas ūdeņu nogulumi, kuri glaciotektoniskās deformācijas rezultātā ir tikuši pakļauti zemledāja krokojuma deformācijai (rupjgraudaina smilts krokas kodolā), kas tālākajā gaitā ir pārtapusi zvīņveida uzbīdījumā šīs guļošās krokas karenspārnā, kur kroku veidojošais materiāls ir vidējgraudaina un smalkgraudaina smilts. Tā raksturojas ar mazāku iekšējās bīdes pretestību, kas arī tajā ir noteicis bīdes zonas veidošanos.

Ievērojami savādāki saguluma apstākļi vērojami Alūksnes augstienē Sauleskalna nogāzē (4.13. att.). Sauleskalns ir otra augstākā virsotne Iceniešu plakanvirsas pauguru izplatības areālā.



4.13. attēls. Glaciolimnisko nogulumu (augšējā daļā) un bazālās morēnas nogulumu (apakšējā daļā) kontakts karjerā Alūksnes augstienē Sauleskalna nogāzē. A – kopskats; B – A attēlā apzīmētās daļas detāls zīmējums.

Figure 4.13. Glaciolacustrine sediments (upper part) and basal till (lower part) gradual contact in a clay pit at the Sauleskalns hill in the Alūksne upland. A – overview of the outcrop; B – the sketch in details for the marked by the rectangle part of the section in Figure A.

Apmēram 2 m biezā slānī atsedzas glaciolimniskie nogulumi – masīvs un slokšņu māls un aleirīts. Tie pārklāj glaciģēnos nogulumus, kas atsedzas atsegumā no 0,0 m līdz 0,5 m no atseguma pamatnes. Kā tas redzams atseguma fotogrāfijā un zīmējumā (4.13. att.), robeža starp minētajiem nogulumu tipiem ir ļoti pakāpeniska un tāpēc gandrīz nemanāma. Domājams, ka tā atspoguļo pakāpenisku, laiktelpiskā ziņā nepārtrauktu pāreju no bazālās morēnas sedimentācijas uz glaciolimnisko nogulumu uzkrāšanos. Piedevām tika novērots, ka morēnai ir raksturīga brekčijveida struktūra un tā labi dalās garenos daudzstūrainos lītonos. Pēc A. Dreimaņa (1989), O. Āboltiņa un A. Dreimaņa (1995) sniegtās klasifikācijas, šāda veida morēna pieder zemledāja morēnas fāciju grupai un uzskatāma par deformācijas morēnu. Ņemot vērā iepriekš aprakstīto pārejas kontaktu starp šo bazālo morēnu un glaciolimnisko nogulumu segslāni, visticamāk, šāda sedimentācijas vides pakāpeniska izmaiņa ir notikusi tāpēc, ka zemledāja deformāciju ir nomainījis zemledāja kušanas ūdeņu pieplūdums.

4.4. Plakanvirsas pauguru paleoģeogrāfiskais novietojums

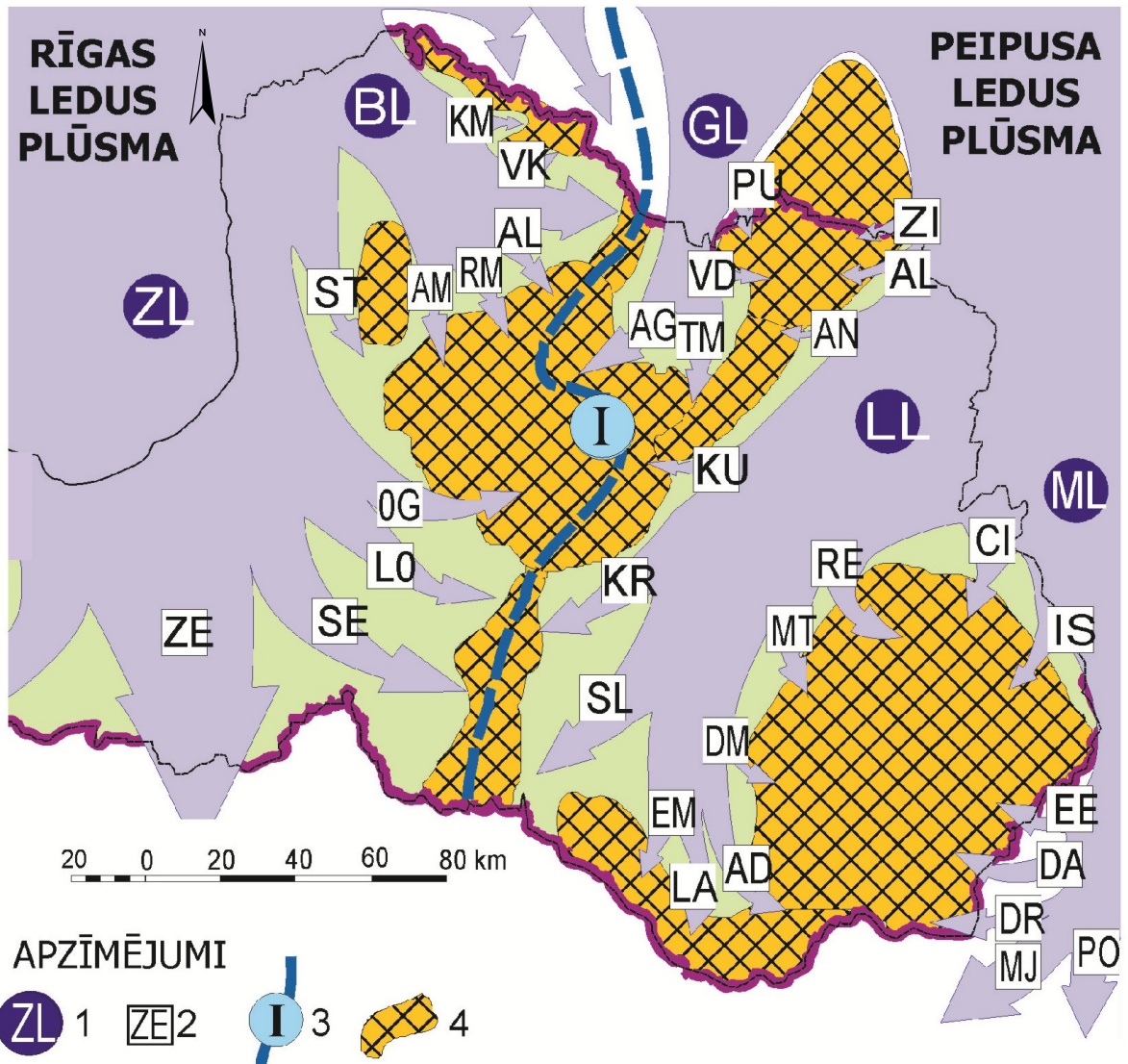
Plakanvirsas pauguru izplatība un to ievērojamais īpatsvars Latvijas akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu centrālās zonas ledāja reljefa formu vidū liecina par to nozīmīgo vietu ledāja veidojumu kopā. Kaut gan plakanvirsas pauguru morfoloģija un uzbūve satur svarīgas liecības par procesiem un vides 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 glaciostrukturālo augstieņu, bet no otras puses – ar plakanvirsas paugurus pavadošo ledāja reljefa formu veidošanās paleoģeogrāfiskajiem apstākļiem un morfoģenēzes īpatnībām. Kā liecina daudzu autoru pētījumi (Āboltiņš, 1972, 1975; Āboltiņš *et al.*, 1972a, 1972b, 1989; Asejev, 1973; Straume, 1979; Raukas *et al.*, 1995; Punkari, 1997; Boulton *et al.*, 2001; Zelčs, Markots, 2004), nozīmīgākais paleoģeogrāfiskais 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. Kā tas izriet no ledus plūsmas virzienu pētījumiem un paleoģeogrāfiskajām rekonstrukcijām (Āboltiņš *et al.*, 1972a,

1972b; Meirons *et al.*, 1976; Straume, 1979; Zelčs *et al.*, 2003), ledus plūsmas virzieni tā transgresīvajā un regresīvajā attīstības etapā bija mainīgi, ko noteica izmaiņas perifēriālās ledāja segas dinamikā. Šīs izmaiņas galvenokārt bija saistītas ar ledāja biezuma izmaiņām, kas, kā norāda minētie autori un arī I. Danilāns (1965, 1972, 1973), izraisīja zemledāja gultnes saposmājuma dažādu ietekmi ne tikai uz ledāja kustības virziena īpatnībām atsevišķās ledāja deglaciācijas fāzēs, bet arī uz ledāja litomorfoģenēzes procesu specifiku kopumā.

Informācija par teritorijas paleoglacioloģisko novietojumu ir iegūta ar tradicionālām, gadu desmitu gaitā pārbaudītām metodēm, kuras ļauj noskaidrot ledus plūsmas virzienus un ietver ledāja veidotā reljefa (Philipp, 1921; Punkari, 1997; Boulton *et al.*, 2001; Marks *et al.*, 2003; Zelčs *et al.*, 2003; Morawski, 2005; Kalm, 2010), ledāja skrambu (Zāns, 1935; Zelčs *et al.*, 2003) un oļu garenasu linearitātes (Sprinģis, Konshin, Savvaitov, 1963; Āboltiņš, 1986; Dreimanis, 1999; Zelčs, 1993; Zelčs *et al.*, 2003), glaciostruktūru (Dreimanis, 1935; Aber *et al.*, 1989; Āboltiņš, Zelčs, 1988; Āboltiņš, 1989; Marks *et al.*, 2003; Zelčs, 1986, 1993; Zelčs *et al.*, 2003) un mikromorfoloģijas telpiskās orientācijas mērījumus, kā arī vadakmeņu izneses konusus (Viiding *et al.*, 1971; Markots, 1986). Sākot ar 20. gadsimta 60. gadiem, Latvijā šīs metodes tiek papildinātas ar nogulumu uzkrāšanās vecuma noteikšanas un laukakmeņu izkušanas no ledāja kosmogēnā vecuma datēšanu. Šo datējumu rezultātu apkopojums ir pieejams Z. Meirona un V. Juškeviča (1984), V. Rinterknehta un līdzautoru (Rinterknecht *et al.*, 2006), M. Dauškana un V. Zelča (Dauškans, Zelčs, 2009), A. Raukas *et al.*, (2010) un V. Zelča *et al.*, (Zelčs *et al.*, *in press*) publikācijās. Plakanvirsas pauguru veidošanās precīzāka laika noskaidrošanā līdz šim nav sekmējies, to nosaka apstākļi, ka šos paugurus veidojošie morēnas un mālaine vai aleirītiskie glaciolimniskie nogulumu datējumi ir devuši ļoti pretrunīgus rezultātus, un, kā atzīst virkne pētnieku (Walker, 2005; Houmark-Nielsen, 2008; Raukas *et al.*, 2010 un šīm publikācijām pievienotie bibliogrāfijas saraksti), nav piemēroti datēšanai ar OSL metodēm. Segmentveida kēmu terašu nogulumu ir uzkrājušies ļoti strauji, tāpēc to smilts kvarca graudiņi nav saņēmuši pienācīgo gaismas dozu un sasnieguši piesātinājuma punktu ("0"). Tāpēc līdzšinējie mēģinājumi noteikt to vecumu ar OSL metodi nav bijuši īpaši sekmīgi (Dauškans, Zelčs, 2009; Raukas *et al.*, 2010).

Latvijas teritorijai vēlajā Vislas leduslaikmetā, kad ledājs augšējā pleistocēna Fenoskandijas ledusvairoga klātajā teritorijā sasniedza savu maksimumu, ledus masas Latvijai uzvirzījās divu līdz triju galveno ledus lielplūsmu veidā (cf. Āboltiņš *et*

al., 1972; Faustova, Chebotareva, 1977; Āboltiņš *et al.*, 1977a, b; Boulton *et al.*, 2001; Zelčs, Markots 2004; Karukäpp, 2004; Kalm, 2010).



4.14. attēls. Skandināvijas ledus vairoga perifēriālās segas lobi un mēļu struktūra Latvijas teritorijā pēdējā apledošanas laikā (Zelčs, Markots, 2004).

Apzīmējumi: 1 – Ledus lobi: ZL – Zemgales (Viduslatvijas); BL – Burtnieka (Ziemeļvidzemes); GL – Vidusgaujas; LL – Lubāna; ML – Mudavas (Veļikajas);

2 – Ledus mēles: ZE – Zemgales; SE – Sēlijas; LO – Lobes; OG – Augšogres; ST – Straupes; AM – Amatas; RM – Raunas; AL – Abula; VK – Valkas; KM – Kārļu; AG – Augšgaujas; TM – Tirzas; VD – Vaidavas; PU – Pērļupītes; ZI – Ziemeru; AL – Alūksnes; AN – Annas; KU – Kūjas; KR – Krustpils; SL – Slates; EM – Eglaines; LA – Laucesas; AD – Augšdaugavas; DM – Dubnas; MT – Maltas; RE – Rēzeknes; CI – Cīrma; IS – Istras; EE – Ežezera; DA – Dagdas; DR – Drujas; MJ – Mjoru; PO – Polockas mēle; 3 – galvenās ledsaplūdes zonas: I – Rīgas – Peipusa; 4 – augstienes.

Figure 4.14. Lobate structure of the peripheral cover of the Scandinavian ice sheet in Latvia during last glaciation (Zelčs, Markots, 2004).

Legend: 1 – Ice lobes: ZL – Zemgalian; BL – Burtnieks (North Vidzeme); GL – Middle Gauja; LL – Lubāns; ML – Mudava (Velikoretsky).

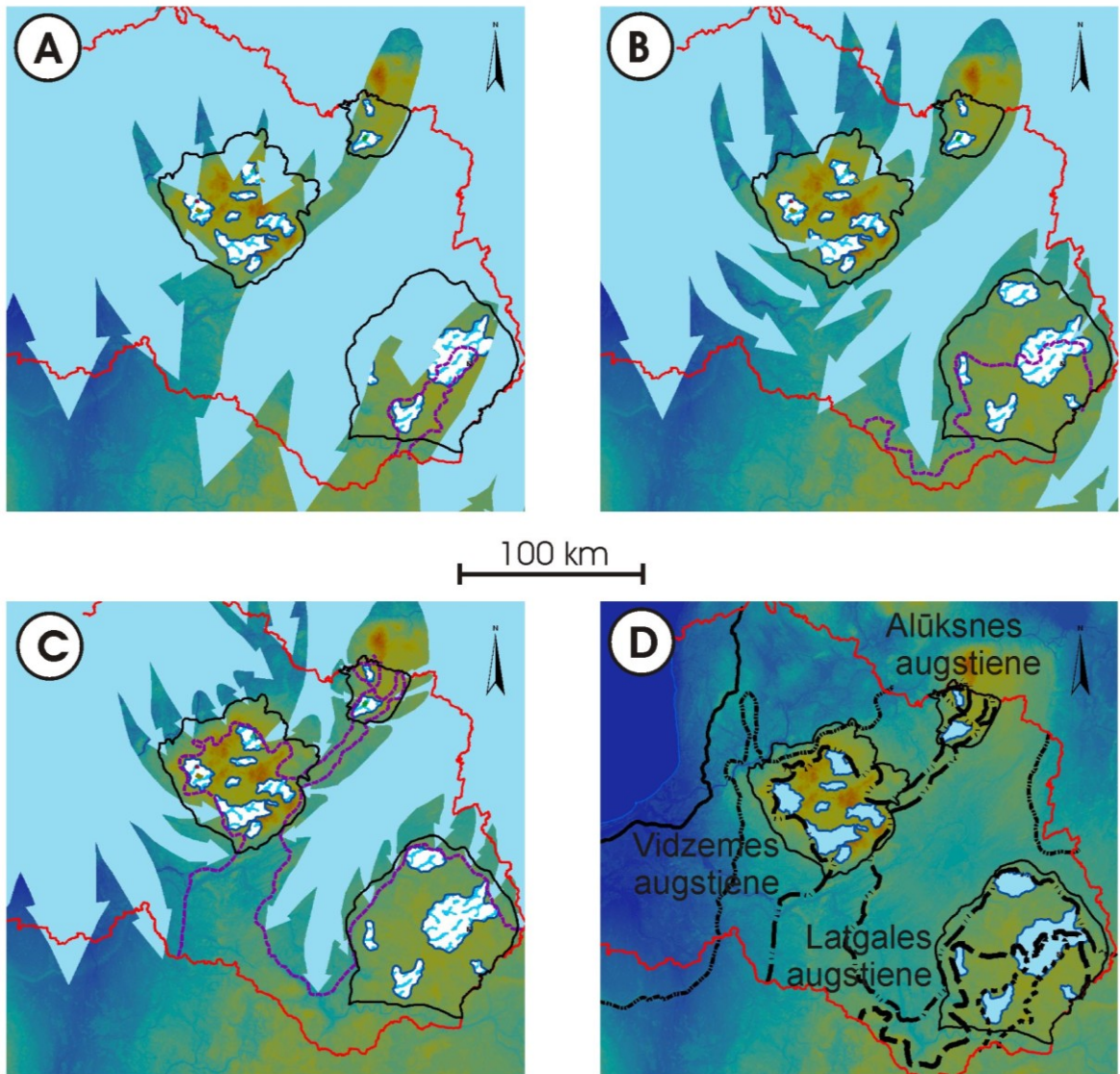
2 – Glacier tongues: ZE – Zemgale; SE – Sēlija; LO – Lobe; OG – Upper Ogre; ST – Straupe; AM – Amata; RM – Rauna; AL – Abuls; VK – Valka; KM – Kārļi; AG – Upper Gauja; TM – Tirza; VD – Vaidava; PU – Pērļupīte; ZI – Ziemeris; AL – Alūksne; AN – Anna; KU – Kūja; KR –

Krustpils, SL – Slate; EM – Eglaine; LA – Laucesa; AD – Upper Daugava; DM – Dubna; MT – Malta; RE – Rēzekne; CI – Cirma; IS – Istra; EE – Ežezers; DA – Dagda; DR – Druja; MJ – Mjori; PO – Polatsk; 3 – Main interlobate zones: I – Rīga–Peipsijārv, 4 – uplands.

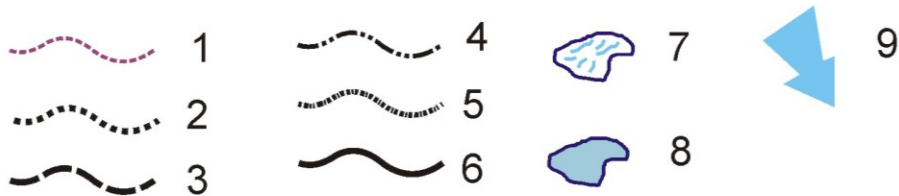
Pētījumu teritorijas daļā, kurā ietilpst tikai Vidzemes augstienes ZR un R daļa, Rīgas ledus lielplūsmas ledus masas uzvirzījās no ZZR un ZR (4.14. att.). Tomēr pētījumu teritorijas lielākā daļa atradās Peipusa lielplūsmas ietekmē (4.14. att.). Šajā teritorijā dominēja ledāja plūsma no ZZA un ZA. Ledus lobiem aizpildot plašās pirmsvislas apledošanas depresijas un reaģējot uz lielpacēlumiem 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 (4.14. 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 (4.14. att.), iespējams, pastāvējusi jau transgresīvajā fāzē, kaut gan nav izslēdzama arī O. Āboltiņa un līdzautoru (Āboltiņš *et al.*, 1972a) 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, kuri radās ledāja ablācijas gaitā, noplūda pa cietā un ūdensnecaurlaidīgā ledus virsmu. Dažādu autoru darbos (Āboltiņš *et al.*, 1972a; Meirons *et al.*, 1976; Zelčs *et al.*, 2010, *in press*) tiek uzsvērts, ka 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 (4.15. att.).

Plakanvirsas pauguru glaciostrukturālās pamatnes atrodas proksimālā virzienā gan no Vidzemes augstienes galvenās lielplūsmu 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 glaciostruktūru veidošanos zemledāja apstākļos (4.15. att.).



Apzīmējumi



4.15. attēls. Pēdējā apledojuņa 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 Fenoscandijas ledusvairoga deglaciācijas fāzes Austrumlatvijā.

Apzīmējumi: 1 – ledāja malas oscilāciju maksimālās izplatības robeža (A–C); 2 – Dagdas fāze; 3 – Kaldabruņas fāze; 4 – Gulbenes fāze; 5 – Linkuvas fāze. 6 – Valdemārpils fāze. 7 – plakanvirsa pauguru izplatības areāli (A–C); 8 – plakanvirsa pauguru izplatības areāli (D); 9 – ledus lobi un ledāja mēles.

Figure 4.15. Reconstruction of the deglaciation process of the Last glaciation with respect to ice margin oscillations (adopted after Zelčš *et al.*, 2010, *in press*). A – Dagda phase; B – Kaldabruņa phase, C – Gulbene phase; D – ice marginal oscillations during deglaciation of the last Fenoscandian 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.

Ledāja deglaciācijas gaitā saruka aktīvā ledus klātā teritorija un samazinājās tā biežums. Rezultātā, kā to viennozīmīgi ir uzsvēruši dažādi autori (e.g. Āboltiņš *et al.*, 1972b), pastiprinājās ledāja reakcija uz nelīdzenumiem tā gultnē un sarežģītās glaciodynamiskā struktūra tā malas zonā. Ledāja gultnes pazeminājumos lielāko ledāja glaciodynamisko struktūru – ledus lobu – vietā veidojās mazākas vienības – ledus mēles vai mikromēles. Tas norisinājās vienlaikus ar ledāja plūsmas virzienu dažādošanos, kad arvien lielāku nozīmi ledāja reljefa mezoformu veidošanā ieguva lokālie ledāja plūsmas virzieni (Zelčš *et al.*, 2003), bet ledāja mēļu un mikromēļu malas zonā sāka dominēt ledus spiedes plūsma.

Nodaļas sākumā 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 apmūsusi pakāpeniski šaurākā vai plašākā teritorijā. Šajā pētījumā iegūtie rezultāti (81. lpp.) liecina, ka 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 formēšanās laikā ledājkušanas 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 (bieži rietumvalstīs tiek lietots jēdziens Skandināvijas segledājs, piemēram, Boulton *et al.*, 2001, salveida akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu reljefa veidošanos ir veikti vairākos virzienos un galvenokārt bijuši virzīti augstieņu paleoģeogrāfiskā 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 mezoforū 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, Karukäpp, 1979; Tatarnhikov, 1985; Bitinas, 1990, 1994). Minētie pētījumi balstās gan uz reljefa makroforū, mezoforū un atsevišķu reljefa forū morfoloģiskās izpētes rezultātiem, gan arī uz to iekšējās uzbūves datiem.

Lai arī cik dīvaini tas nebūtu, salveida akumulatīvi glaciostrukturālās augstienes kā savdabīgas reljefa makroforū tika jaunatklātas Fenoskandijas ledus vairoga perifēriālās segas D un DA sektorā (Āboltniņš, 1972), kur vēlākajos gados arī tika veikti fundamentālie pētījumi atsevišķu šī tipa augstieņu morfoloģijas, iekšējās uzbūves un veidošanās apstākļu noskaidrošanā (skat. 1. nodaļu). Šo pētījumu rezultāti ir apkopoti O. Āboltniņa un līdzautoru publikācijās (Āboltniņš *et al.*, 1988, 1989; Āboltniņš, 1989). Lai noskaidrotu salveida akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu uzbūvi, reljefu un veidošanās apstākļus, liela uzmanība tika pievērsta arī ledāja nogulumu un to veidoto mezoreljefa forū izplatības likumsakarību izzināšanai. Tā rezultātā tika iegūta nozīmīga informācija par ledāja nogulumu segas struktūru un reljefa mezoforū uzbūvi un izdarīti pirmie slēdzieni par to veidošanās apstākļiem.

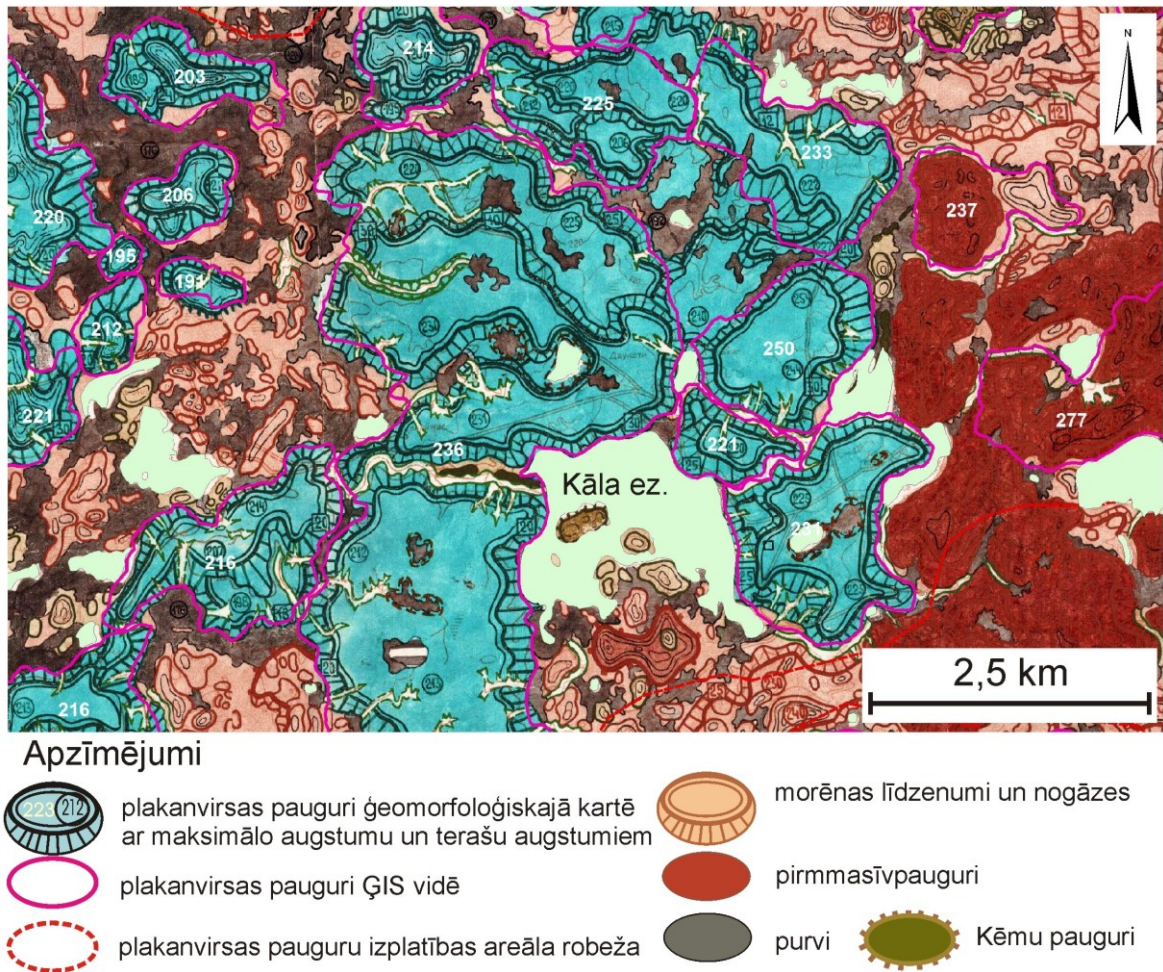
Tikai atsevišķi autori ir pievērsušies salveida akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu atsevišķu mezoreljefa forū tipu, to skaitā plakanvirsas pauguru, tematiskiem pētījumiem (Tatarnhikov, 1985; Bitinas, 1994) vai arī veikuši to morfoloģisko tipizāciju, balstoties uz lielmēroga kartografēšanas rezultātu apkopojumu (Straume *et al.* 1988; Straume, 1979). Pārsvārā dati par plakanvirsas pauguru iekšējo uzbūvi ir tikuši pasniegti kā papildu informācija, lai vienkāršoti izskaidrotu aleirītiskā vai mālainā materiāla uzkrāšanos augstieņu hipsometriski gandrīz augstākajās vietās. Tas tiek skaidrots ar kušanas ūdeņu ezeru veidošanos ledāja virsas caurkusumos (Zāns, 1936; Lazdāne, 1959; 1963; Vanaga, 1970; Tatarnhikov, 1985). Sarežģītāki plakanvirsas pauguru veidošanās modeļi ir tikuši

piedāvāti O. Āboltiņa (Āboltiņš, 1989), A. Bitina (Bitinas 1990), O. Āboltiņa un A. Markota (Āboltiņš, Markots, 1995a; Markots, Āboltiņš, 1998b), Markota (Markots, *in review*) darbos. Šo pauguru veidošanos minētie autori apskata kopsakarībā ar glaciģēno nogulumu veidotās (Bitinas, 1994) vai glaciotehtoniskās pamatnes (Āboltiņš, 1989; Āboltiņš, Markots, 1995, 1998b, Markots, *in review*) vai arī plakanvirsas pauguru atsevišķu morfoloģijas elementu veidošanos (Bitinas, 1994). Tomēr tas netiek tieši saistīts ar kādām konkrētām ledāja oscilācijas vai deglaciācijas fāzēm, bet gan tikai ar telpiski nosacītiem augstieņu veidošanās posmiem. Ņemot vērā augstāk minētās plakanvirsas pauguru pastāvošās ģenētiskās interpretācijas, to veidošanās apstākļu nepietiekamo sasaisti ar citām salveida akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu hipsometriski augstākajā līmenī sastopamajām ledāja reljefa mezoformām un laiktelpiskās attīstības secīguma nepilnīgumu, kā arī balstoties uz iegūtajiem pētījumu rezultātiem, turpmāk šajā darbā ir nepieciešams plašāk iztirzāt paleoģeogrāfiskās konsekvences. Tās vispirms jāskata kopsakarā ar plakanvirsas pauguru morfoloģijas un iekšējās uzbūves īpatnībām, un saistībā ar tos pavadošā reljefa formām, izmantojot arī pirmos, kaut arī vēl salīdzinoši mazskaitlīgos ledāja, galvenokārt glacioakvālas izcelsmes smilts nogulumu vecuma datējumus ar luminescences metodi (Meirons *et al.*, 1981; Meirons, 1986; Dauškans, Zelčs, 2009; Raukas *et al.*, 2010; Zelčs *et al.*, *in press*) un lielo laukakmeņu (garenass garāka par 3 m) izkušanas vecuma determinējumus ar ¹⁰Be metodi (Rinterknecht *et al.*, 2006). Neapšaubāmi, ka salveida akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu un plakanvirsas pauguru veikto pētījumu telpiskā ierobežotība un saistība ar Fenoskandijas ledus vairoga perifēriālās segas D un DA sektoru, no vienas puses, ierobežo arī šādas diskusijas saturu, tomēr, no otras puses, veiktā pētījuma rezultāti var kalpot par pamatu tālākiem plakanvirsas pauguru iekšējās uzbūves un veidošanās apstākļu pētījumiem citos pleistocēna segledāju un mūsdienu ledusvairogu klātajos apgabalos.

5.1. Morfoloģijas un iekšējās uzbūves paleoģeogrāfiskās konsekvences

Viena no problēmām, kas radās, veicot pētījumu, bija atsevišķu reljefa formu izdalīšana. Atsevišķos gadījumos grūti definēt, vai tā ir viena forma vai divas, vai varbūt pat vairākas formas (5.1. att.). Tā, piemēram, kā viena forma tika izdalīts plakanvirsas lielpaugurs uz A no Kāla ezera, kas krietni paplašināja tā platību, jo ģeomorfoloģiskajā shēmā (Uļģis *et al.*, 1981) divus paugurus it kā atdalošā ieplaka, kas atveras pret Kāla ezera ZR stūri, visticamāk, veidojusies no pretējos virzienos augušām gravām, no kurām viena –

uz rietumiem ejošā – pašreiz pārvērtusies par nelielu tērcīti. Starp tām palicis pacēlums gandrīz līdz pusei no paugura augstuma, veidots no glaciofluviālajiem nogulumiem. Iespējams, ka plakanvirsas pauguru veidošanās beigu etapā pāri šai formai noplūduši ledājkūšanas ūdeņi, kā tas novērots arī daudzviet citur (Bitinas, 1990, 1994).



5.1. attēls. Plakanvirsas pauguru sakopojums Vidzemes augstienē Ērgļu areālā pie Kāla ezera (Uļģis *et al.*, 1981).

Figure 5.1. Clustering of the plateau-like hills in the vicinity of the Lake Kālezers, Ērgli plateau-like hill area, the Vidzeme upland (Uļģis *et al.*, 1981).

D. Malahovska un M. Vigdorčika (Malahovskij, Vigdorčik, 1963) izteiktais apgalvojums, ka zvonciem raksturīgi ievērojami relatīvie augstumi un stāvas nogāzes, kuras mazāk saposmotas salīdzinājumā, piemēram, ar kēmu nogāzēm, kā to liecina veiktie plakanvirsas pauguru pētījumi, vismaz Latvijā – neatbilst patiesībai, jo gravas pat ļoti izteikti saposmo plakanvirsas pauguru nogāzes (3.4., 4.2. un 5.1. att.).

Tieši gravas ir nozīmīgs rādītājs, pēc kura ir iespējams sekmīgi nodalīt plakanvirsas lielpaugurus no morfoloģiski nedaudz līdzīgām formām – pirmmasīviem ar terasētām nogāzēm un kupolveida morēnas pauguriem, kuri atrodas tiešā plakanvirsas

pauguru tuvumā (Āboltiņš, *et al.*, 1972a; Āboltiņš *et al.*, 1975, Āboltiņš, 1975; Āboltiņš, *et al.*, 1976; Āboltiņš, *et al.*, 1988, 1989; Straume, 1979). Šie pavadošie pauguri raksturojas ar atšķirīgu virsas nogulumu raksturu un paleoģeogrāfisko novietojumu, kas plašāk ir analizēts šī darba ceturtajā nodaļā. Plakanvirsas paugurus pārklājošie glaciolimniskie nogulumi ļoti apgrūtina nokrišņu un sniega kušanas ūdeņu infiltrāciju gruntī, tāpēc veidojas to plūsmas uz pazeminājumiem, kuriem pārplūstot ūdeņi noplūst uz vēl zemākām vietām. Ūdenim koncentrējoties plūsmās, pieaug tā erozijas spēja, it īpaši, traucoties lejup pa pauguru stāvajām un salīdzinoši garajām nogāzēm, tā sākas erozijas formu veidošanās. Rezultātā, kā to norāda J. Soms (2006), plakanvirsas pauguru areāli kļūst par izteiksmīgiem gravu izplatības apgabaliem, daļēji ierobežojot cilvēka darbību, pakļaujot riskam lauksaimniecības zemes un to izmantošanu.

Lai gan ledāja formu klasifikācijas jautājumi, risinot glaciālās litomorfoģenēzes problēmas, ir bijuši aktuāli vienmēr, šajā aspektā plakanvirsas pauguriem ir pievērsta salīdzinoši maza uzmanība, kas varētu būt saistīta ar šo formu dažādo terminoloģisko apzīmējumu un neviennozīmīgo ģenēzes traktējumu. Latvijā pirmais plakanvirsas paugurus (zvoncus, tā laika reljefa formu nomenklatūrā) ir klasificējis J. Straume (1979), izdalot trīs morfoloģiskos tipus.

Visbiežāk vērojami pauguri ar platību 1–2 km². Tiem plānā ir ovāla vai izometriska forma. Šo pauguru relatīvais augstums ir 20–30 m, bet stāvās nogāzes (krituma leņķis – līdz 30–40°) saposmo gravas. Pauguru virsma ir plakana, līdzena, ar nelielu paaugstinājumu centrālajā daļā. Šīs formas raksturīgas visām Latvijas salveida augstienēm.

Samērā bieži sastopams arī otrais paveids – garenstiepti plakanvirsas pauguri ar lēzeni viļņotu virsmu. To garums ir līdz 6 km, bet platums var sasniegt 4 km. Formu relatīvais augstums ir 20–40 metriem. Šiem pauguriem pieslēdzas vidējaugstu morēnas vai Dauguļu, vai kēmu pauguru grupas, kuru augstums, attālinoties no plakanvirsas paugura, samazinās. Plakanvirsas pauguru nogāzes ir stāvas, gravu izrobotas, plāna skatījumā tiem ir lēverains apveids, ko rada galvenokārt lineārās erozijas saposmojums. Tie ir izplatīti Vidzemes augstienes Skujenes areālā un Latgales augstienes Burzavas areālā.

Trešā paveida plakanvirsas pauguri (zvoncu plato – pēc Straume, 1979) ir lielu izmēru formas (garums – līdz 10 km) ar relatīvo augstumu līdz 25–30 metriem. Tik stāvās nogāzes kā pirmajiem diviem paveidiem tiem nav raksturīgas. Parasti nogāzes ir lēzenas vai viegli paugurotas un nolaidenas. Plato virsma ir viļņota, ar atsevišķiem pauguriem,

vaļņiem, ieplakām un purviņiem vai nelieliem ezeriņiem. Glaciolimnisko nogulumu sega nav izturēta, vietām tā ir pat pārtraukta. Glaciotektoniskās pamatnes pārsedzi veido aleirīts vai pat smilts. Zvoncu plato sastopami tikai Vidzemes augstienē (Straume, 1979), galvenokārt Vestienas apkārtnē.

Bieži vien pastāv tendence kā atsevišķu paveidu izdalīt terasētās pauguru formas. Lielākajai daļai plakanvirsas pauguru var izdalīt vairāk vai mazāk labi izteiktas terases (4.10. un 4.11. att.), kas veidojās secīgas iekšledāja baseina paplašināšanās un tā līmeņa pazemināšanās gaitā. Tas, šķiet, ir neizbēgams procesa rezultāts, tāpēc, iespējams, nav īpašas nepieciešamības izdalīt to kā atsevišķu pamattipu. Raksturojot atsevišķas formas, ieteicams atzīmēt terašu daudzumu, to izteiksmīguma pakāpi, terašu augstuma rādītājus (4.3.D, 5.1. un 5.2. att.).

O. Āboltiņš (1989, 2010) nodala trīs ledāja reljefa mērogus un ģenēzes pakāpes: makroformas, mezofomu kompleksus un mezofomas, iekļaujot pēdējās vienotā klasifikācijas shēmā un tajā aptverot reljefu veidojošos procesus, mezoreljefa ģenētiskās grupas un mezoreljefa formas un morfoģenētiskos tipus, tajā norādot arī plakanvirsas pauguru vietu starp kēmiem, lieliem kēmiem un kēmu terasēm, kā formai, kas veidojusies gan iekšledāja glaciolimniskās akumulācijas, gan zemledāja un iekšledāja glaciomorfostrukturālās akumulācijas un marginālās glaciomorfostrukturālās akumulācijas apstākļos. Arī A. Raukas un A. Konts (Raukas, Konts, 1978) plakanvirsas paugurus jeb zvoncus (skat. 1. nod.) ģenētiski un morfoloģiski cieši saista ar kēmiem: “Zvoncs – ledusšķirtņu augstienes platoveida limnoglaciāls kēms ar morēnas cokolu, virkne pētnieku to nepieskaita kēmu grupai” (Raukas, Konts, 1978, 181. lpp.). Taču autori atzīmē, ka klasificēt kēmus ir grūti to sarežģītības dēļ, ko jau 1894. gadā esot atzīmējis T. Č. Čemberlins (*Chamberlin*): “...savas daudzveidības dēļ kēmi pārspēj visas citas ledāja izcelsmes reljefa formas” (Raukas, Konts, 1978, 6. lpp.). Līdzīgus uzskatu pauž E. Rukhina (1978) un L. Saarse (1978), tomēr uzskatot, ka plakanvirsas pauguri (zvonci) nepieder pie kēmu grupas.

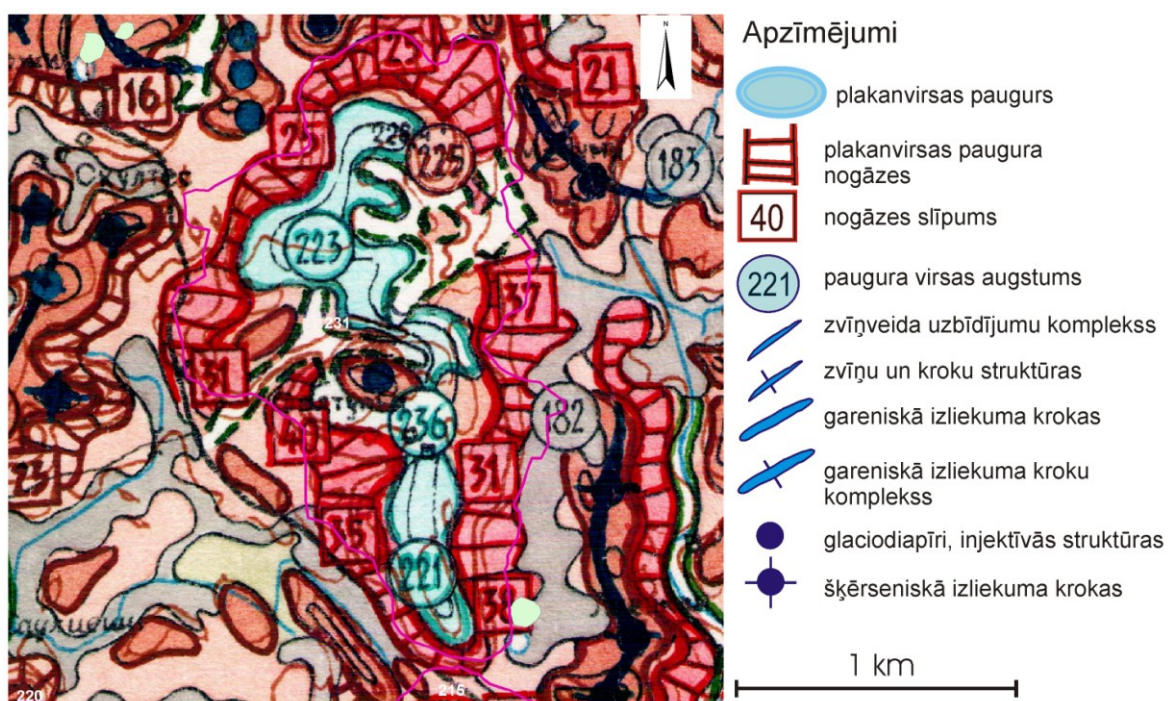
No plakanvirsas pauguru veidošanās viedokļa tos varbūt būtu pareizāk saukt par limnokēmiem ar glaciotektonisku pamatni. Ņemot vērā pētījumā iegūtos rezultātus, ir iespējams piedāvāt modificētu plakanvirsas pauguru tipizāciju. Tā daļēji balstās uz iepriekš publicēto tipoloģisko jēdzienu bāzes (skat. Straume, 1979). No tādiem minami, piemēram, jēdzieni “elementārs zvoncs”, “zvoncu plato, “terasētie zvonci”. Daļa jēdzienu ir jaundarinājumi.

5.1. tabula. Modificēta plakanviršanas pauguru klasifikācija

Table 5.1. Modified classification of plateau-like hills

A. Iedalījums atkarībā no formu izveides pakāpes		
plakanviršanas pauguri	pilnīgi izveidotie	tuvāki pēc ģenēzes iekšledāja un zemledāja ledājukušanas ūdeņu baseinos
	bez vienlaidus glaciolimnisko nogulumu segas	
	nepilnīgi izveidotie	tuvāki pēc virsmas rakstura
B. Iedalījums atkarībā no formas izmēriem plānā:		
plakanviršanas pauguri	elementārie (sīkie plakanviršanas sīkpauguri)	
	tipomorfie (plakanviršanas vidējpauguri)	
	plato (plakanviršanas lielpauguri)	

Lai veiktu detaļu analīzi, grupējot formas pa klasifikācijas grupām, jāstopas ar zināmiem ierobežojumiem. Ievērojamas problēmas rodas ģeoloģisko datu mēroga un ticamības dēļ.



5.2. attēls. Iceniešu kalna plakanviršanas paugura morfoloģiskā shēma ģeoloģiskās kartēšanas M 1:50 000 ģeomorfoloģiskajā kartē (Aleksāns *et al.*, 1988). Iceniešu kalns atrodas Alūksnes augstienes Iceniešu plakanviršanas pauguru izplatības areālā.

Figure 5.2. A detail of the geomorphological map of the plateau-like hill derived from Geomorphological map of scale 1:50,000 (Aleksāns *et al.*, 1988). Iceniešu kalns hill is located in Icenieši plateau-like hill area, the Alūksne upland.

Kā zināms un noskaidrots, piemēram, Iceniešu kalnā (Icēnkalnā) Alūksnes augstienē (Markots, 1995), tā visaugstāk paceltajā virsotnē nav glaciolimnisko nogulumu, bet morēna vai dislocēti glaciofluviālie nogulumu (5.2. att.). Šādas nianse mēroga 1:50 000 ģeoloģiskās kartēšanas materiālos gan parādās ļoti reti. Parasti viena lielpaugura kā reljefa formas ietvaros uzrādās viena ģenētiskā veida nogulumu (5.1. att.).

Nozīmīgu informāciju par plakanvirsas pauguru veidošanās apstākļiem sniedz to iekšējās uzbūves pētījumi, bet to veidojošo nogulumu datējumi paver jaunas iespējas ledāja litomorfoģenēzes procesu laiktelpisko likumsakarību noskaidrošanā.

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 starpslānī starp rupjgraudainākas smilts, grants un oļainas grants slāņiem atbilst priekšpēdējā (Zāles, vietējais apzīmējums – Kurzemes) apledošanas beigu posmam (paraugs Brezģis 01, 125±24 tūkst. OSL g., Hel-TL04174.). Savukārt Veselavas paugurvalnī, kas atrodas aptuveni 1,5 km uz ziemeļiem no Vidzemes augstienes pakājes, uzbīdījuma zvīņas pamatnē esošās smilts OSL vecums ir 59±10 tūkst. OSL g. (paraugs Veselava 02, Hel-TL04178). Tas labi saskan ar TL metodi datētās smilts vecumu Kurzemes atradnē (Meirons, Juškevičs, 1984) un korelējams ar Vidusvislas stadiālu (Salonen *et al.*, 2008). Tā laikā ledājs iespējams sasniedza Latvijas ziemeļu daļu (Zelčs, Markots, 2004). 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*). T. Saks *et al.* (*ibid.*) un V. Zelčs *et al.* (2010, *in press*) norāda, ka Vidusvislas interstadiālā Latvijas teritorijas pazeminātajā daļā ilgstoši ir pastāvējis plašs baseins, kas nav bijis savienots ar Pasaules okeānu.

Jaunākie pētījumi liecina, ka pēdējā Fenoskandijas ledusvairoga ledus masas sāka uzvirzīties Latvijas teritorijai ne agrāk kā pirms 23,0–24,0 tūkst. OSL gadiem (Saks *et al.*, *in press*). Senākie ledājkūšanas ūdeņu nogulumu, kuri atsedzas zem Vēlās Vislas stadiāla morēnas nogulumiem, kas izskaloti Kaldabruņas deglaciācijas fāzes laikā un veido laukakmeņu bruģi, ir datēti Vidzemes augstienes dienvidu nogāzē, rietumos no Madonas (Raukas *et al.*, 2010). Divu OSL datējumu rezultāti (paraugi Nr. LAT05/42 un LAT05/43)

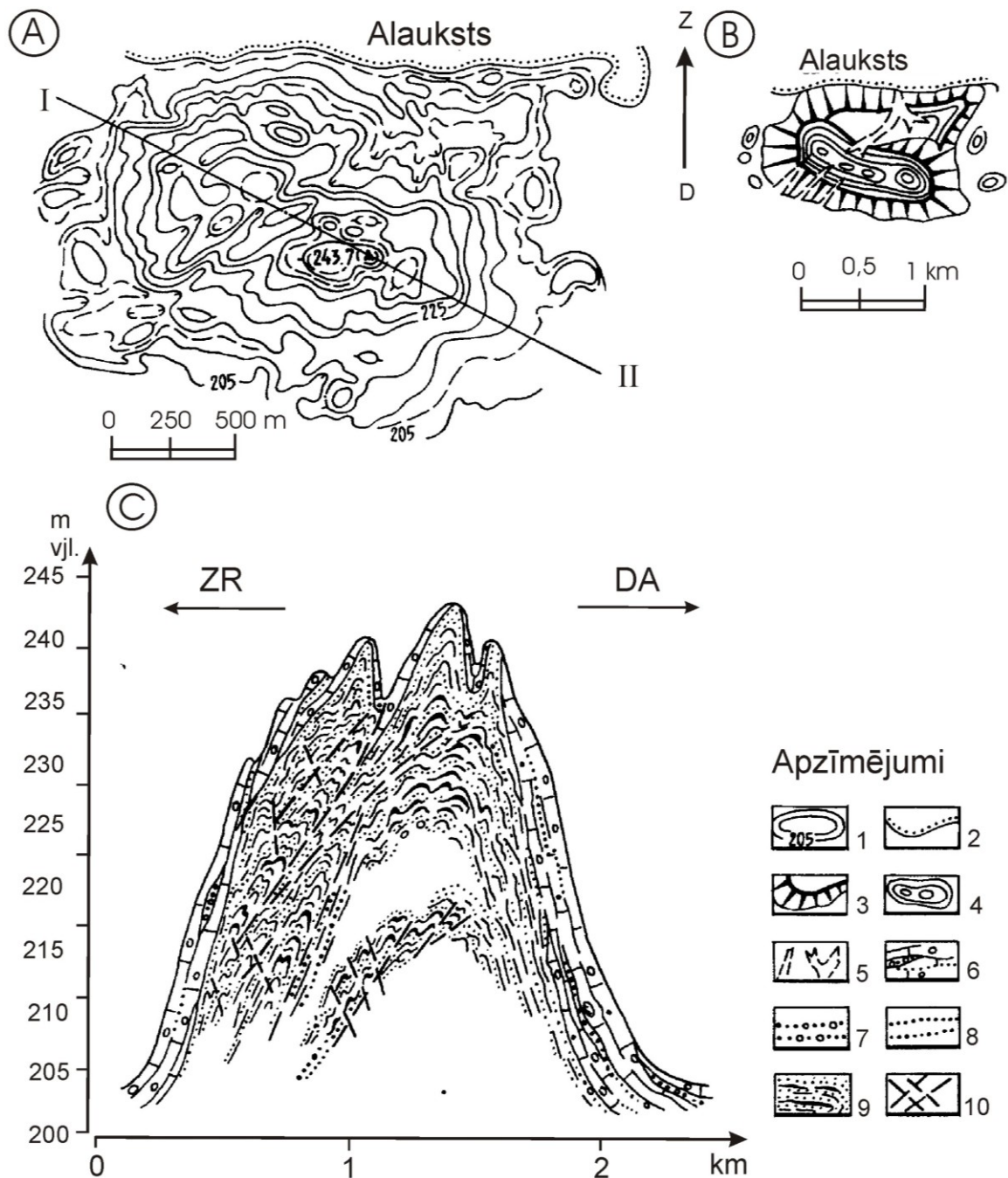
liecina, ka zemmorēnas smilts nogulumi ir uzkrājušies laika posmā no $19,6 \pm 1,0$ tūkst. OSL g. līdz $26,8 \pm 1,1$ OSL gadiem (*ibid.*). To var samērā droši attiecināt uz laiku, kad Fenoskandijas ledusvairogs bija jau pārklājis ievērojamu daļu Latvijas teritorijas (Zelčs *et al.*, *in press*), un tas labi korelējas ar notikumiem kaimiņvalstīs (Marks, 1998; Kalm, 2006; Gaigalas, 2000).

Līdz ar to iegūtie datējumi liecina, ka starpmorēnas nogulumi, kas piedalās plakanvirsas pauguru glaciotektonisko deformācija struktūru veidošanā, var būt dažāda vecuma, sākot ar priekšpēdējā apledošanas beigu posma glacioakvālajiem nogulumiem līdz pat Vēlā Vislas apledošanas transgresīvā etapa ledājkūšanas ūdeņu nogulumiem. Tas precīzē agrāk izteikto Z. Meirona un J. Straumes (1979) viedokli par šo nogulumu vecumu, kad vēl nebija pieejami dati par to uzkrāšanās laiku, un tos nodalīja kā stratigrāfiski nesadalītu pēdējā un priekšpēdējā apledošanas starpmorēnu nogulumu slāņkopu.

Uz ledāja deglaciācijas laiku pētījumu teritorijā norāda virkne lielo laukakmeņu izkūšanas no ledus (eksponēšanā sākuma) datējumi Latvijas salveida akumulatīvi glaciostrukturālo augstieņu teritorijā, kas iegūti ar ^{10}Be metodi (Rinterknecht *et al.*, 2006). Labvāržu dižakmens datējums Burzavas paugurainē Tumužu plakanvirsas pauguram blakus esošā plakanvirsas paugura nogāzē uzrāda, ka ledāja nozūšana Latgales augstienes ziemeļu daļā noslēgusies apmēram pirms $15,5 \pm 1,1$ tūkst. ^{10}Be gadu, kas korelējas ar Pomerānijas (Latvijā – Kaldabruņas) deglaciācijas fāzi (Rinterknecht, *et al.*, 2006). Tomēr V. Kalms (Kalm, 2006) un V. Zelčs *et al.* (*in press*) norāda, ka eksponēšanas datējumi dod mazāku ledāja marginālo veidojumu joslu un deglaciācijas fāžu vecumu, nekā tas ir noteikts ar citām datēšanas metodēm. Tam pamatā varētu būt ^{10}Be vecuma aprēķināšanas neprecizitātes, ko rada laukakmeņu apaugums ar sūnām un ķērpjiem, kā arī iespējamā sniega segas veidošanās virs tiem ziemās (Raukas, 2004).

Ir jāpiekrīt A. Bitina (Bitinas, 1990, 1994) izteiktajam viedoklim, ka plakanvirsas pauguri ir poliģenētiskas reljefa formas, precīzāk būtu teikt – ledāja reljefa formas, kas radušās vairāku laiktelpiski secīgu procesu un notikumu gaitā. To apstiprina arī plakanvirsas pauguru uzbūves izpētes rezultāti (skat. 4.2. apakšnodaļu), kuri liecina par atšķirīgiem glaciālās vides apstākļiem to pamatnes veidošanās un nogulumu segkārtas uzkrāšanās laikā. Piedevām, konsekventi ievērojot secību un notikumu stratigrāfijas principus (Allen, Allen, 2009), ja pirms deformācijas notikušo nogulumu uzkrāšanos neuzskata par secīgu un telpiski nepārtrauktu procesu, jau pašas plakanvirsas pauguru glaciotektoniskās pamatnes izveidošanās gaitā ir identificējami vismaz trīs posmi. Tie ir: (1) proglaciālā glacioakvālo vai interstadiālo nogulumu uzkrāšanās, kas veido pamatnes

glaciotektoniskās struktūras iekšējo daļu; (2) bazālās morēnas uzkrāšanās ar glaciodynamiskās asimilācijas kontaktzonas veidošanos un (3) glaciotektoniskās deformācijas struktūras veidošanās.



5.3. attēls. Smetes kalna pirmmasīvpaugura hipsometriskā shēma (A) un morfoloģiskā shēma (B) un ģeoloģiski ģeomorfoloģiskais griezum (C) pa profila līniju I–II. Paugurs atrodas Vidzemes augstienē, Vecpiebalgas paugurainē, Alauksta ezera D krastā (Āboltiņš *et al.*, 1995, Markots, Āboltiņš, 1998b).

Apzīmējumi: 1 – šķēluma augstums 5 m; 2 – Alauksta ezera krasts; 3 – stāva nogāze; 4 – vaļņveidīgas virsmas; 5 – gravas; 6 – sarkanbrūna joslota smilšaina bazālā morēna ar smalkgraudainas smilts un grants starpkārtām; 7 – smilšaina grants ar oļiem; 8 – granšaina smilts; 9 – dislocēta smalkgraudaina smilts ar aleirīta starpkārtām; 10 – lūzumi un plaisas.

Figure 5.3. Hypsometric (A) and morphological (B) sketch of the Smetes primary massif and its internal structure (C) on the southern shore of Lake Alauksts (Āboltiņš *et al.*, 1995, Markots, Āboltiņš, 1998b).

Legend: 1 – contour interval 5 m; 2 – shoreline of Lake Alauksts; 3 – steep slopes of the relief forms; 4 – ridge-like surface of relief forms; 5 – ravines; 6 – reddish brown laminated sandy clayey basal till with thin sand and gravel interlayers; 7 – sandy gravel matrix with pebbles; 8 – gravelly sand; 9 – dislocated fine grained sand with thin silt interlayers; 10 – thrust lines and joints.

Pirmā posma laikā nogulsneto nogulumu veidošanās apstākļu noskaidrošana neietilpa pētījuma uzdevumos. Piedevām šo nogulumu atsegumi plakanvirsas pauguros ir ļoti reti sastopami, bet paši nogulumi ir stipri deformēti glaciotehtoniskās deformācijas laikā (skat. 4.10., 4.11. un 4.12. att.). Esošie dati ļauj izdarīt slēdzienu, ka šie zemmorēnas nogulumi dažādos plakanvirsas pauguru areālos var būt ģenētiski atšķirīgi un, kā tas izriet no diskusijas par to vecuma datēšanas rezultātiem, ir uzkrājušies dažādā laikā. Smetes pirmmasīvpaugura kodola daļas uzbūves (5.3. att.) salīdzinājums ar Zelta kalna plakanvirsas paugura uzbūvi (4.10. att.) apliecina, ka abos šajos hipsometriski augstākajos līmeņos izvietotajos pauguros zemmorēnas nogulumu ģenēze ir līdzīga. To apstiprina arī Vidzemes augstienes, Alūksnes (Āboltiņš, 1989, 76. att. 156.–157. lpp.) augstienes un Latgales (Meirons, 1976, 2. att. 50. lpp.) augstienes ģeomorfoloģiski ģeoloģiskie profili un Smetes kalna pirmmasīvpaugura iekšējās uzbūves pētījumi (5.3. att.).

Pēc J. Lavrušina (Lavrushin, 1976, 35.–43. lpp.) veiktās ledāja irdeno vai vāji saistīto nogulumu un iežu glaciodynamiskās kontaktzonas klasifikācijas, plakanvirsas pauguros bazālās morēnas (pamatmorēnas) pamatnē konstatētās kontaktzonas var klasificēt kā ledāja tuvā pārvietojuma (4.10. att.), plakniskā pārvietojuma (5.3. att.), ievilces un vilces (4.10. att.) tipa glaciodynamiskās kontaktzonas.

Tuvā pārvietojuma glaciodynamiskā kontakta zonas gadījumā (4.10. att.) daļu no ledāja gultnes zemmorēnas nogulumiem ledājs ir ne tikai deformējis, bet arī pārvietojis savas kustības virzienā. Atlūzu materiālā asimilētā daļa atsevišķās vietās ir zaudējusi savu saikni ar cilmvietu. Kā norāda Dž. Harta un Dž. Boltons (Hart, Boulton, 1991), šādas parādības var norisināties gadījumos, kad morēna un zem tās esošie nogulumi ir viskozi plastiskā stāvoklī.

Plakniskā pārvietojuma glaciodynamiskās zonas gadījumā, kā to uzsver J. Lavrušins (Lavrushin, 1976, 35. lpp.), nav izteikta krasa robeža jeb kontakts starp morēnas nogulumiem un pagulslāni (5.3. att.). Pētījumu gaitā pirmajā mirklī rodas pat iespaids par pakāpenisku pāreju no morēnas nogulumiem uz smilti vai mālu. Tomēr par šādu pārvietojumu liecina izvalcēti iežu vai nogulumu ieslēgumi, vai iekšējās bīdes zona morēnas slānī, ledāja gultnes iežu un morēnas nogulumu lēcveidīgs, nereti haotisks

kārtojums vai mija, starpslāņu deformācija un slīdvirsmas vai izvagojuma virsmas. Materiāla asimilācija praktiski ir ļoti nenozīmīga.

Ievilces glaciodynamiskā zona veidojas ledāja iekšējās viskozi plastiskās slāņoti diferencētās (laminārās) plūsmas jeb iekšējā krīpa apstākļos (Lavrushin, 1976; Hart, Boulton, 1991). Šajā gadījumā notiek gultnes mīksto nogulumu ievilkšana atlūzas saturošajā ledū vai morēnas nogulumos (4.10. att.). Tā rezultātā starp morēnas plātnēm konstatējams plānas smilts vai cita materiāla josliņas. Parasti, procesam atkārtoties vai arī notiekot atlūzu materiālu saturošā ledus kušanai, var izveidoties joslota morēnas tekstūra (Hart, Boulton, 1991; Evans *et al.*, 2006). Sākotnēji atlūzas saturošais ledus vai morēna ir sakabināta ar gultnes nogulumiem. Pieaugot bīdes spriegumiem attīstās plastiski diferencētā laminārā plūsma arī atlūzas saturošajā ledū vai morēnas bazālajā daļā (Lavrushin, 1976). Bīdes zonai attīstoties kontaktzonā ar pagulošajiem nogulumiem, tie tiek ievilkti atlūzas saturošajā ledū vai morēnā.

Paralēli ievilces un tuvā pārvietojuma glaciodynamiskās kontaktzonas struktūrām to izplatības vietās (4.10., 4.11. un 5.3. att.) ir novērojamas vai arī iespējamas vilces glaciodynamiskās kontaktzonas. Tās veidojas uz atlūzu saturošā ledus un agrāk nogulsnētās morēnas vai morēnas un zemledāja nogulumu kontaktzonā (Lavrushin, 1976; Hart, Boulton, 1991; Evans *et al.*, 2006). Tai ir līdzība ar ievilces zonas tekstūrām, it īpaši attiecībā uz vilkšanas krokām. Pēc J. Lavrušina (Lavrushin, 1976, 37. lpp.) datiem, šāda tipa glaciodynamisko kontaktzonu pirmais ir aprakstījis Ropke 1932. gadā. Viņš to skaidroja kā ledāja straujas bazālās slīdēšanas pa gultni ātruma svārstveida izmaiņas ar spēcīgu spiedienu uz gultni. Šīs impulsīvās bazālās slīdēšanas ātruma izmaiņas varētu skaidrot arī ar īslaicīgu, varbūt sezonālu, ledāja sakabināšanos ar gultni, kā rezultātā notiek gultnes deformācija, materiāla aizraušana un vilkšana ledājā līdz brīdim, kad ledājs atkabinās no gultnes. Uz vilces zonas kontakta sastopamas sigmoidālas vai ruletes veida krokas. Šādu nelielo kroku šarnīri, kā norāda O. Āboltiņš (1989), ir perpendikulāri ledāja plūsmai.

Dažos urbumos (Aleksāns *et al.*, 1988, 1991; Ginters *et al.*, 1986) morēnas bazālajā daļā novērotā paaugstinātā akmeņainība, iespējams, norāda uz ledāja bazālās slīdēšanas pa sasalušu mīksto iežu gultni glaciodynamiskās kontaktzonas sastopamību atsevišķās vietās. Šāda tipa glaciodynamisko kontaktzonu pirmais ir aprakstījis Dž. Vestgeits (Westgate, 1968). Dž. Vestgeits tās sauca par lineārajām zīmēm morēnas pamatnē. Lineāro morēnas pamatnes zīmju rašanos Dž. Vestgeits (*ibid.*) skaidroja ar ledāja pamatnē iesalušo dažāda izmēra un formas laukakmeņu dinamisko iedarbību uz ledāja

gultni to vilkšanas, rotācijas, nevienmērīgas vai vienmērīgas iespiešanās gultnē procesos. Rezultātā starp izvagojumiem no izspiestā materiāla un atlūzas saturošajā ledū veidojas gofrveida mikroformas, kas atsevišķās vietās bija novērojamas arī Smetes kalna pirmmasīva atseguma Z sienā. Tās atradās uzbīdījuma zvīņas pamatnē un to krituma leņķa azimuts bija paralēls uzbīdījuma pārvietojuma plaknei. Pēc J. Lavrušina (1976) domām šādas glaciodynamiskās kontaktzonas veidošanās liecina, ka gultnes materiāls ir sasalušā stāvoklī, uz ko norāda apstākļi, ka tas nav asimilēts pārsedzošajā morēnā vai uzbīdījuma zvīņas bazālajā daļā. Morēnas uzkrāšanās no atlūzas saturošās ledāja bazālās daļas notiek tikai pēc laukakmeņu izkušanas no tās, kā rezultātā tā aizpilda lineāri izvagos pazeminājumi.

Minētās glaciodynamiskās kontaktzonas liecina, ka morēnas uzkrāšanās ir notikusi politermāli bāzēta ledus apstākļos, par ko liecina arī morēnas slāņa ievērojamais biežums, kas sasniedz no vairākiem līdz pat 10 metriem. Šādu morēnas nogulumu biežumu spēj producēt tikai politermāli bāzēts ledus (Evans *et al.*, 2006). Morēna ir uzkrājusies kā zemledāja izkusuma un sablīvējuma morēna, ko pārveidojusi zemledāja deformācija. Iegūtie pētījumu rezultāti apstiprina O. Āboltiņa (Āboltiņš, 1975; 1989) izdarītos secinājumus par pastiprinātu pamatmorēnas uzkrāšanos salveida akumulatīvi glaciostrukturālajās augstienēs, kas aizsākās jau pēdējā apledojuma transgresīvās attīstības fāzē.

Vispirms zemmorēnas un morēnas nogulumu glaciotektoniskās deformācijas radās ledus lobu un mēļu konverģences zonās, kur mūsdienās ir izvietojusies pirmmasīvpauguri. Pieļaujams, ka plakanvirsas pauguru glaciotektoniskās pamatnes varēja rasties vienlaikus ar pirmmasīvpaugurus veidojošo glaciokroku (5.4. att.) rašanos vai arī deglaciācijas sākumposmā kā zemledāja gultnes deformācijas (Zelčs, Markots, 2004; Zelčs *et al.*, *in press*). Deglaciācijas sākumposmu iezīmēja ledus biezuma samazināšanās un sprieguma lauka izmaiņas ledāja–gultnes kontaktzonā (Lhevkov, 1980; Āboltiņš, 1989). J. Lavrušins (Lavrushin, 1976) un O. Āboltiņš (1989) arī norāda, ka ledus biezuma samazināšanās sekmē morēnas segas uzbūves sarežģīšanos un zvīņveida uzbīdījumu veidošanos ledāja bazālajā daļā, it īpaši tā malas zonā (Lavrushin, 1976, 120.–121. lpp.). Tomēr Zelta kalna plakanvirsas pauguru veidojošā asimetriskā kroka ar uzbīdījumiem (4.10. att.) tās lēzenākajā un pret ledāja plūsmas virzienu vērstajā nogāzē drīzāk liecina, ka vispirms zemledāja apstākļos veidojās nogulumu sakrokojumi ledāja gultnē un tikai pēc tam sekoja zvīņveida uzbīdījumu rašanās. Šādas struktūras ledāja gultnē veidojas ledāja dinamiskās pārklāšanās (*overriding* pēc Aber *et al.*, 1989) rezultātā vai dažādas

plasticitātes ledus, tajā skaitā aktīva un pasīva ledus kontaktzonā (Āboltiņš, 1989; Zelčs, 1993; Zelčs, Dreimanis, 1997). Pēdējā gadījumā gan pārsvarā rodas zvīņveida uzbīdījumu glaciostruktūras (Zelčs, 1997b), kuras Zelta kalna gadījumā attiecībā pret glaciokroku ir uzskatāmas kā relatīvi nedaudz jaunāki veidojumi, kas, protams, neizslēdz arī uzbīdījuma kroku vai uzbīdījumu struktūru veidošanos zemledāja apstākļos ledāja marginālās kompresijas zonā pēc līdzīga mehānisma, kā to apraksta Dž. Eibers un līdzautori (Aber *et al.*, 1989; Aber, Ber, 2007) vai J. Lavrušins (1976).

Analogu veidojumu klātbūtne ārpus tipiskajām salveida akumulatīvi glaciostrukturālajām augstienēm, piemēram, Augstrozes ledāja starpmēļu paugurvalnī (Zelčs, 1992, 1998) un Austrumkursas augstienē (Strautnieks, 1998), tikai norāda, ka līdzīgi sprieguma apstākļi ledāja-gultnes kontaktzonā varēja pastāvēt arī ārpus salveida akumulatīvi glaciostrukturālajām augstienēm.

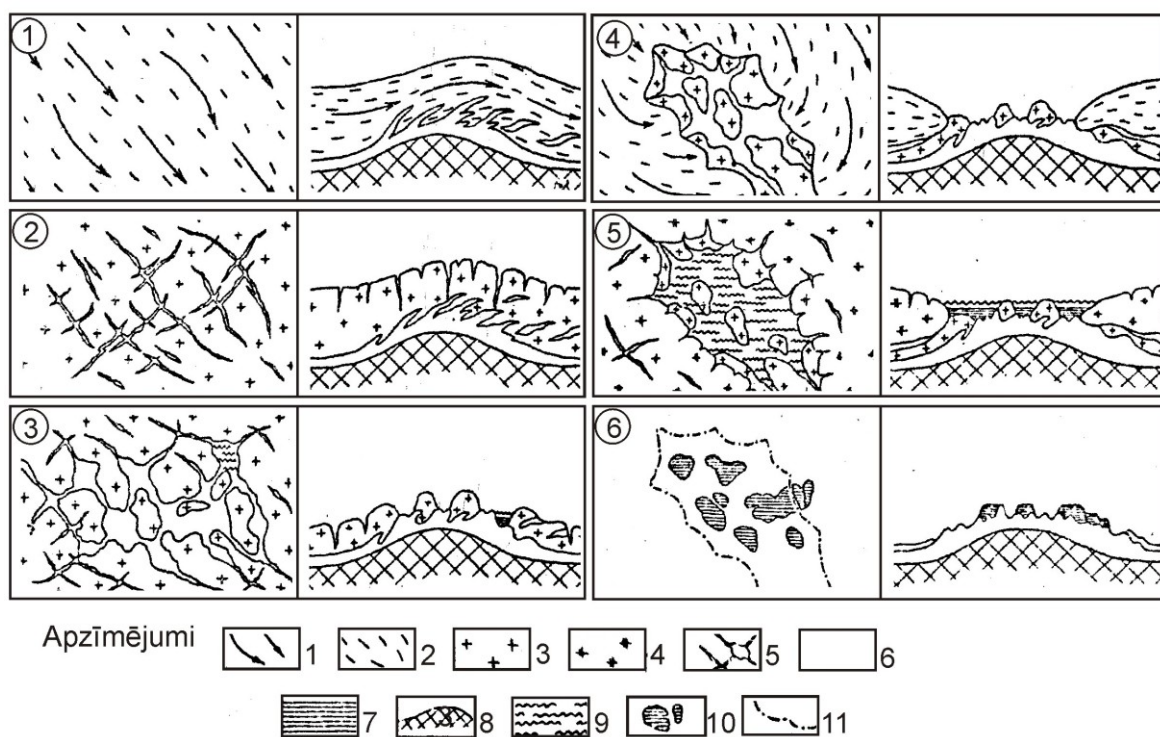
Plakanvirsas pauguru virsmas terašu iecirkņu izcelsme var būt dažāda. Pirmām kārtām, šādi terašu vai terasveidīgi iecirkņi var rasties jau glaciotehtoniskās formu pamatnes veidošanās procesā, īpaši saistībā ar sekundāro regresīvā tipa zvīņveida uzbīdījumu formēšanos. Daudzviet plakanvirsas pauguros zem glaciolimnisko nogulumu segas ir vērojamas tieši šādas izcelsmes pseidoterases (4.3., 4.10. un 4.11. att.), kuras raksturīgas arī uz pirmmasīvu nogāzēm, piemēram, Ievkalna pirmmasīvpauguram starp Stepeļu un Skujenes plakanvirsas pauguru izplatības areāliem Vidzemes augstienē. Ievkalnam ir terasēti nogāžu iecirkņi, kuri vietām klāti ar plānu glaciolimnisko nogulumu segu. Piedevām, uz Ievkalna ar minētajiem nogulumiem robežojas DR–ZA virzienā orientēta osveida forma, kas atrodas uz slīpas paugura nogāzes tās augšējā daļā. Šīs morfoloģijas un uzbūves īpatnības acīmredzot norāda uz ledāja litomorfoģenēzes procesu secību un laiktelpiskām izmaiņām.

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. O. Tatarņikovs (Tatarnhikov, 1985) izdala divas uzskatu grupas. Pirmā uzskata pautēji skaidro plakanvirsas pauguru pamatnes (cokola) un segslāņa veidošanos aprimuša ledus apstākļos.

Otra pētnieku grupa uzsver, ka aprimuša ledus apstākļos veidojies tikai segslānis, kamēr cokola rašanās glaciodynamiska ledus apstākļos. Pats O. Tatarņikovs (*ibid.*) mēģina iet vidusceļu un izvirza hipotēzi par zvoncu veidošanos kontaktzonā starp aprimušo ledu, kam raksturīga zvīņveida uzbīdījumu struktūra, un aprimušo ledu ar plātņainu struktūru vai uz robežas starp aprimušo ledu ar zvīņveida uzbīdījumu struktūru un pasīvi recesējošas ledus mēles malu. Pēc viņa uzskatiem zvoncu veidošanās zonas aptver beznoteces vai vājas caurteces režīma virsledāja un lokālo pieledāja ezeru lineāras virknes, kas sekmējušas limnoglaciālās pārsedes veidošanos. Tādējādi, O. Tatarņikovs (1985) zvoncu veidošanos saista ar paša ledus struktūru, aprimušā ledus ūdensnecaurlaidību u.tml.

Daudz detālāku plakanpauguru veidošanās modeli pamatojoties uz Lietuvas mēģināto augstieņu ledāja reljefa pētījumiem, ir izstrādājis A. Bitinas (5.4. att.).



5.4. attēls. Plakanvirsas pauguru (zvoncu) veidošanās shēma (Bitinas, 1990).

Apzīmējumi: 1 – ledus kustības virziens; 2 – aktīvais ledus; 3 – aprimušais ledus (senākais); 4 – aprimušais ledus (jaunākais); 5 – plaisas un caurkusumi aprimušajā ledū; 6 – morēna un atlūzas saturošais ledus; 7 – glaciolimniskie nogulumi; 8 – zemledāja pacēlums (cokols); 9 – iekšledāja baseini, 10 – zvonci; 11 – pēdējā ledāja uzvirzīšanās (osilācijas) robeža.

Figure 5.4. Principal scheme of the formation of the plateau-like hills (zvoncy) (Bitinas, 1990).

Legend: 1 – ice flow direction; 2 – active ice; 3 – dead ice (oldest); 4 – dead ice (youngest); 5 – crevasses and slush ponds in dead ice; 6 – till and debris containing ice; 7 – glaciolacustrine sediments; 8 – subglacial plynth; 9 – supraglacial lakes; 10 – zvoncy; 11 – limit of last glacial oscillation.

A. Bitinas (1990) norāda, ka visas zvoncu izcelsmes hipotēzes satur virkni strīdīgu elementu, jo morēnas cokola (kā noskaidrots šajā pētījumā – glaciotektoniskās pamatnes – *autora piezīme*) veidošanās aprimuša ledus caurkusumos un plaisās ir maz ticama, it īpaši, ņemot vērā zvoncu izmērus, kuri sasniedz vairākus desmitus kvadrātkilometru, tāpat ledāja biežumu malas zonā tā apņemšanas stadijā. Tiek norādītas arī citas minēto hipotēžu nepilnības, it īpaši – plakanvirsas pauguru hipsometriskā novietojuma un aktīvā ledus mēļu topogrāfiskā novietojuma ignorance plakanvirsas pauguru izcelsmes interpretējumos. A. Bitinas (*ibid.*, 22. lpp.) īpaši uzsver, ka plakanvirsas pauguru ģenēzes skaidrojumā svarīgi ņemt vērā, ka tie nevis vienkārši atrodas pēdējā apledošanas 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. A. Bitina (1985) izstrādāto teoriju ir vēlams iztīrīt plašāk, jo tā ir līdz šim vislabāk izstrādātā uzskatu sistēma par plakanvirsas pauguru veidošanos.

Pamatojoties uz iepriekšminēto, A. Bitinas (1990) zvoncu veidošanā izdala sešas secīgas stadijas (5.4. att.): (1) ledus masu bremzēšanās uz zemledāja gultnes lielajiem izciļņiem, kas izsauca ledāja plastiskā tecējuma nomaiņu uz kustību pa iekšējiem nošķēlumiem un zvīņveida uzbīdījumu struktūras veidošanos ledājā; (2) lēcienveidīga ledus apņemšana dažu kilometru līdz simtu kilometru platā ledāja malas zonā, ar paaugstinātas ledus plaisainības zonu rašanos virs pacēlumiem vietās ar ledus zvīņveida uzbīdījumu struktūru un plaisu paplašināšana ledājūdeņu noteces rezultātā; (3) ledus zvīņveida uzbīdījumu struktūru atsegšanās plaisās sekmēja pastiprinātu ablāciju un caurkusumu rašanos, bet ledājūdeņu baseini vēl neveidojās, jo ledājūdeņi pa plaisām notecēja uz aprimušā ledus hipsometriski zemākajiem iecirkņiem (glaciodepresijām), morēnas materiāla izspiešana plaisās un ablācijas morēnas noslīdēšana bija epizodiska un morēnas cokola veidošanā tai bija otršķirīga loma, aiz ledāja gultnes pacēlumiem norisa pasīva ledus recesionāla tipa malas reljefa veidošanās; (4) klimatam kļūstot aukstākam, deglaciācija izbeidzās un sākās jauna īslaicīga stadiāla vai faziāla rakstura ledāja uzvirzīšanās, tomēr ledājs, kas bija plānāks nekā agrāk, nerasniedza iepriekšējās izplatības robežu, taču padarīja virs zemledāja gultnes pacēlumiem esošos aprimušā ledus laukus par ledusšķirtņu teritorijām, ko vienu no otras pilnīgi vai daļēji izolēja aktīvā ledus lobi; (5) turpmāk, klimata pasiltināšanās rezultātā, jaunās ledus uzvirzīšanās laikā darbojošies ledus lobi pārvērtās aprimušā ledus laukos, tāpēc aprimušā ledus lauki nonāca hipsometriski

zemākā līmenī un virs tiem veidojās ledājūdeņu ezeri, kuru noplūšanu distālajā virzienā nosprostoja iepriekšējās fāzes gala morēna; baseini varēja būt gan izolēti, gan savienoti un tajos uzkrājās glaciolimniskie nogulumi, bet drupu materiāls tika pienests no jaunākās uzvirzīšanās aprimušā ledus laukiem, tāpēc glaciolimniskais materiāls ir salīdzinoši viendabīgs, smilšainie segslāņi parādās tikai bijušo baseinu krasta zonas daļā, bet šīs stadijas beigās notika ledājūdeņu baseinu noplūde; (6) pēc baseinu noplūdes notika paliku aprimušā ledus blāķu tālāka ablācija, taču tā kā tie saturēja maz drupu materiāla, to kušana jūtamas formu izmaiņas neizraisīja.

Kā redzams, 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. Āboltniņš 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, kuri 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 veido priekšnosacījumus, lai veidotos ledus ezeri ledāja recesijas gaitā bez atkārtotas tā malas uzvirzīšanās.

Vientipisku subglaciālo reljefa formu grupēšanās areālos norāda par vientipiskiem sprieguma lauka apstākļiem ledāja-gultnes kontaktzonā to veidošanā laikā (Zelčs, 1987, 1993; Āboltniņš, Zelčs, 1988). Šāds sprieguma lauka sadalījums pie ledāja pamatnes un visā aktīvā viskozi plastiskā ledus slāņkopā atspoguļojas arī augšējā aukstā ledus slāņkopā (Hubbard, Glasser, 2005). Plakanvirsas pauguru grupēšanās un iekšējā uzbūve apstiprina pieņēmumu par vientipiskiem sprieguma lauka apstākļiem ledāja-gultnes kontaktzonā, un pierāda, ka šo pauguru izplatību un telpisko sakopojumu – izplatības areālu – veidošanos ir

determinējuši apstākļi, kādos ledāja gultnē varēja veidoties plakanvirsas pauguru glaciotektoniskās pamatnes. Plakanvirsas pauguru telpiskais sakārtojums un glaciostruktūru morfoloģiskā asimetrija un uzbūve (4.3., 4.10., 5.2. un 5.3. att.) norāda uz vismaz divām ar plakanvirsas pauguru ģenēzi saistītām parādībām. Pirmām kārtām, par glaciotektoniskās pamatnes krokojuma struktūru ar perpendikulāri ledus plūsmas virzienam vēršiem šarnīriem veidošanos vienpusēji orientēta ledāja spiediena apstākļos un, otrkārt, par ledāja gultnes nogulumu un atlūzu materiālu saturošā ledus zvīņveida uzbīdījumu struktūru veidošanos ledāja malas zonā, tam pakāpeniski aprimstot (skat. 4.10. un 5.5. att.).

Uz bazālās morēnas un zemmorēnas nogulumu kontakta izplatītās asimilācijas tipa glaciodynamiskās kontaktzonas liecina, ka vēl pirms glaciostruktūru veidošanās ledāja gultnē attīstījās bīdes zonas. Bīdes zonu veidošanos parasti pavada ievilkuma tekstūru veidošanās (Hart, Boulton, 1991), pastiprināta berzes siltuma izdalīšanās (Lavrushin, 1976) un ledus spiedienkušana (Benn, Evans, 1998). Iespējams, ka ledus spiedienkušana un kušanas ūdeņu evakuācija mazākā kriostatiskā spiediena virzienā bija iemesls materiāla konsolidācijai zemledāja gultnē un glaciodynamisko kontaktzonu atmiršanai. Pēc glaciodynamisko zonu atmiršanas konsolidētie zemledāja nogulumi uz spriegumu izmaiņām ledāja ķermenī reaģēja kā relatīvi vienots slānis un tika pakļauti tālākai ledāja deformējošai iedarbībai. Tā kā plakanvirsas pauguru glaciotektoniskās pamatnes atrodas proksimālā virzienā no ledsaplūdes zonām, tad, visticamāk, to veidošanās notika dažādas plasticitātes ledus kontaktzonā (Āboltiņš, 1989; Āboltiņš, Markots, 1995, 1998b, Markots, *in review*). Šādos apstākļos ledājā dominē spiedes plūsma (Benn, Evans, 1998). Tas sakrīt arī ar J. Lavrušina (Lavrushin, 1976) slēdzienu par marginālās kompresijas zonas veidošanos kontinentālo segledāju malas zonā. J. Lavrušins (*ibid.*) gan īpaši uzsver, ka šādos apstākļos notiek “ledāja pārvietošanās pārsvarā pa zvīņveida uzbīdījumu plaknēm un pamatmorēnas zvīņveida fāciju veidošanās”, ko citi autori apzīmē kā zvīņveida uzbīdījumu struktūru veidošanos ledāja malas zonā tam pakāpeniski aprimstot (Ginters, 1984; Āboltiņš, 1989, Bitinas, 1990).

Asimetriskās glaciokrokas un uzbīdījuma glaciotektoniskās struktūras plakanvirsas pauguros liek domāt, ka vienpusēji orientētā ledāja spiediena apstākļos zem ledāja var izpausties ievērojami lielāka glaciostruktūru daudzveidība, ko pierāda arī citu zinātnieku (piemēram, Aber *et al.*, 1989; Āboltiņš, 1989; Aber, Ber, 2007) pētījumi. Šādu slēdzienu pamato arī tas, ka transversās kompresijas plūsmas radītās krokas un to veidošanās ir aprakstīta Borebrēna ledājā Svalbārā (Boulton, 1970) un Antarktīdas ledus

vairogā pie Mousona stacijas (Kitzaki, 1969). To amplitūda var pārsniegt 20 m, kas salīdzināms ar zvoncu glaciotektoniskās pamatnes augstumu. Savukārt J. Lavrušins (1976), atsaucoties uz A. Lukjanovu, raksta, ka Fredlihshēvas Isblinka (*Frederikshåb Isblink*) ledus laukā, kas atrodas Grenlandes dienvidrietumos, nelielas ledāja mēlītes malas daļā tās uzvirzīšanās laikā veidojās uzbīdījumu sistēma, kas reljefā atspoguļojas kā savdabīgu subparalēlu, ledāja kustības virzienā izliektu vaļņu vai grēdu sistēma. Tām ir lēzenas proksimālās un stāvas distālās nogāzes. Jāpiezīmē gan – daudzos gadījumos ir novērots, ka ledāja uzvirzīšanās laikā izveidotās krokas tiek noliektas ledāja kustības virzienā un to ass plaknes zonā var veidoties pārrāvumi, tāpēc zemledāja krokojumi transformējas zvīņveida uzbīdījumu struktūrās (Aber *et al.*, 1989; Āboltiņš, 1989). Fredlihshēvas Isblinka ledāja mikromēles uzvirzīšanas laikā, kā to apraksta J. Lavrušins (*ibid.*) tās ķermenī radās zvīņveida uzbīdījumu sērija, kas ledāja virsā izpaudās kā subparalēlu, nedaudz izliektu kuestveida grēdu sistēma. Katras grēdas pamatā bija atlūzu materiālu saturošais ledus, kas veidoja uzbīdījuma zvīņas pamatni un tika ievilkts pa uzbīdījuma virsu iekšā ledājā. J. Lavrušins (1976) arī īpaši uzsver, ka kustot ledājam šādi atlūzu materiālu saturošie slāņi pārklāsies un veidos pabiezinātu morēnas segu. Šāds mehānisms pietiekami labi izskaidro A. Bitina (Bitinas, 1990) minētos gadījumus, kad plakanvirsas pauguru pamatni tiešām veido bazālās morēnas nogulumi. Taču ļoti bieži zvīņu pamatnes daļu veido zemledāja gultnes materiāls. To pārliecinoši pierāda O. Āboltiņa (piemēram, Āboltiņš, 1989), Dž. Eibera *et al.* (1989), Dž. Eibera un A. Bera (Aber, Ber, 2007) un desmitiem citu autoru pētījumi gan senā, gan arī mūsdienu ledusvairogu klātajos apgabalos. E. Ļevkovs (Lhevkov, 1980) uzsver, ka šādi zvīņveida uzbīdījumi kompleksi var sastāvēt tikai no zemledāja gultnes materiāla. Arī šī pētījuma rezultāti liecina, ka šādos plakanvirsas pauguros sastopamo zvīņveida uzbīdījumu uzbūvē ir ļoti nozīmīgs zemmorēnas nogulumu īpatsvars, kas paugura kodolu veidojošo kroku uzbūvē kļūst dominējošs (4.9. un 5.4. att.).

Plakanvirsas pauguru morfoloģiskās analīzes dati liecina, ka to glaciotektoniskās struktūras ir veidojušās gultnē, kuras virsma pazeminās proksimālā virzienā. Pēc O. Āboltiņa domām (1975), šādos apstākļos notika ledus masu bremzēšanās un pastiprināta pamatmorēnas akumulācija, kas galu galā izraisīja ledāja sakabināšanos ar gultni. Efektīvajam spiedienam gultnes-ledāja kontaktzonā sasniedzot maksimumu, sākas gultnes nogulumu deformācija (Boulton, 1996). Tomēr pirms tam, ledāja aktīvas uzvirzīšanās laikā, politermāla ledus apstākļos zemledāja virsas pazeminājumos, ko aizpildīja ledus lobi un mēles, dominēja bazāla slīdēšana. Tā varēja izraisīt ledus bazālo kušanu, kā rezultātā

tika producēts nozīmīgs daudzums ledājūdens (Benn, Evans, 1998). 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, veidojoties krokām vai uzbīdījumiem, zemledāja ūdeņi nonāca virs šīm glaciostruktūrām. Virs tām, it īpaši to distālajā daļā, ledus mazāka biezuma un vājāka dinamiskās iedarbības veidojās zema hidrauliskā potenciāla iecirkņi. Bīdes zonu attīstība un zvīņveida uzbīdījumi veidošanās sekmēja hidrauliskā spiediena gradientu pieaugumu starp augstā un zemā hidrauliskā potenciāla iecirkņiem. Rezultātā pieauga ledājūdeņu erozijas spēja, kas izsauca bīdes radīto plaisu strauju paplašināšanos un ledāja gultnes atūdeņošanas. Erozijas ietekmē ledāja gultnes nogulumu un ledāja bazālās daļas atlūzu materiāls tika erodēts un transportēts perpendikulāri ekvipotenciāla līnijām uz ezeriem, kas pakāpeniski veidojās ledāja virsā.

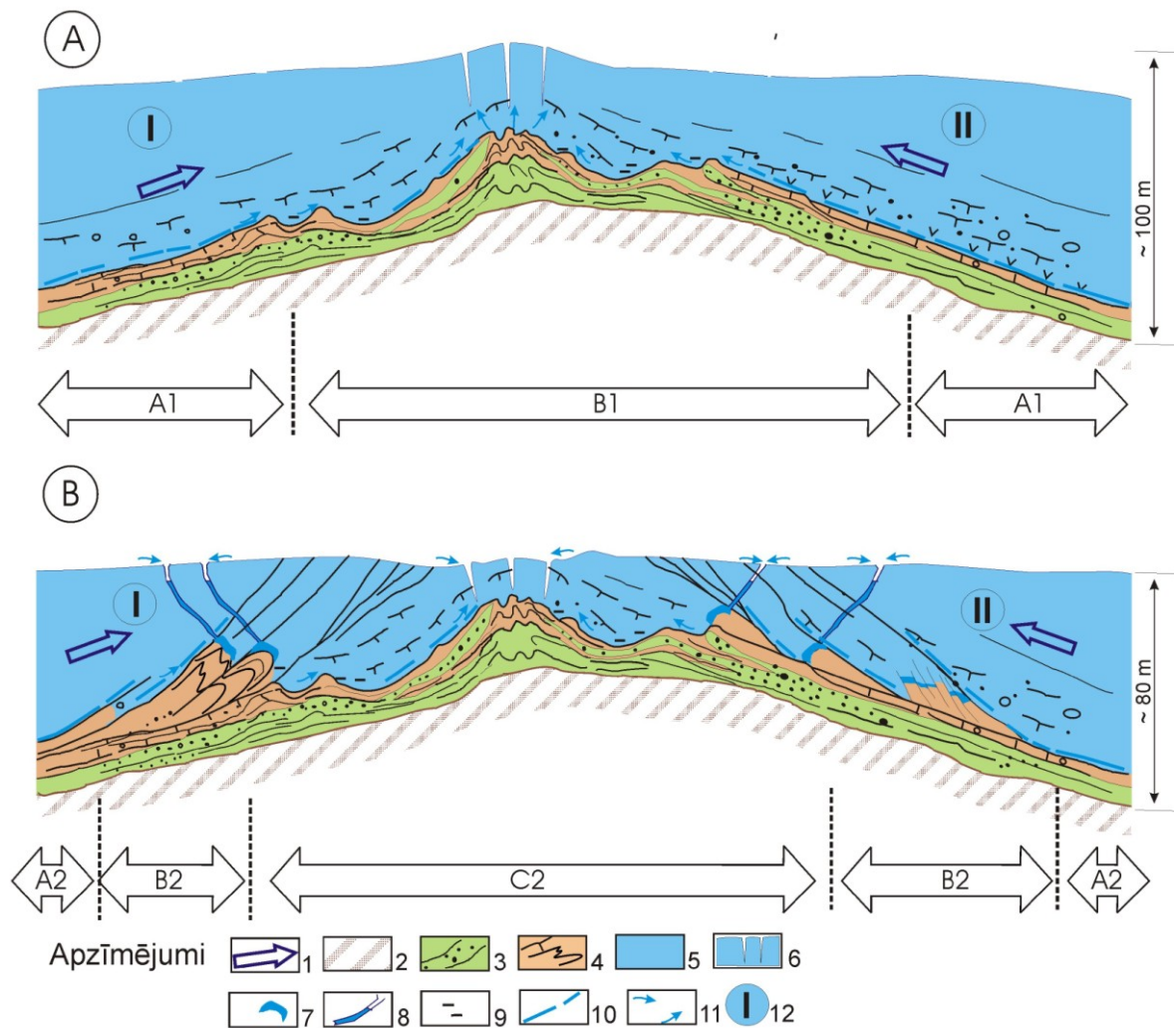
Zemledāja hidroloģiskās sistēmas atstātās pēdas, neapstrīdami, ir katras ledāja skartās ainavas vienas no ievērojamākajām iezīmēm (Menzijs, 2002b). Viņš īpaši uzsver, ka “atrodoties sadūrā starp ledāju un tā gultni, zemledāja (hidroloģiskā – *autora precizējums*) sistēma ir spējīga pārvietot lielu daudzumu nogulumu, iegrauzties ledāja gultnes nogulumos un pamatnes iežos, un tādā veidā dod kritisku ietekmi uz glaciodynamiku, kas nekavējoties noteiks apledošanas ģeomorfoloģisko “efektu” (*ibid.*, 112. lpp.). Dž. Menzijs uzsver, 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, kuros novērojama auksti un silti bāzētas gultnes termālā režīma mijas iecirkņi. Visur, 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 un pazeminājumiem (*ibid.*, 113. lpp.). Zemledāja ūdens spiediens, kamēr sublaciālā hidroloģiskā sistēma nav tieši savienota ar atmosfēru, līdzināsies ledāja radītās slodzes spiedienam.

Auksti un silti bāzētas gultnes termālā režīma iecirkņu mija, visticamāk, ir viens no galvenajiem cēloņiem J. Piotrovskā un līdzautoru (Piotrowski *et al.*, 2004) aprakstīto no

“mīksta” materiāla veidotas zemledāja gultnes deformācijas un stabilo iecirkņu (*spots*, kā to lieto Piotrowski *et al.*) mozaīkveida sadalījumam. Kāds tad ledāja glaciodynamiskais stāvoklis varētu būt vislabvēlīgākais šādas telpiskās mozaīkas veidošanā? K. Klarka un K. Stouksa (Clark, Stokes, 2001) un K. Stouksa un K. Klarka (Stokes, Clark, 2003) pētījumi liecina, ka tieši ledāja plūsmas apņemšanas laikā noris plaša ledāja-gultnes sasaistes plankumu (*sticky spots*) veidošanās. Tajos ledus kļūst neaktīvs un piesalst pie gultnes.

Sasaistes iecirkņu (plankumu) veidošanos ledāja gultnē var notikt ledāja plūsmai zaudējot kustību virs gultnes pacēlumiem vai arī sasniedzot apgabalu, kur gultnē atsedzas cieti, izturīgi pamatieži, kas var būt klāti ar ļoti plānu morēnas kārtu vai pavisam bez tās (Stokes *et al.*, 2007). Tāpat sasaistes punkti var veidoties virs izturīga, labi drenēta morēnas materiāla vai arī vietās, kur norisinās zemledāja ūdens sasalšana ar ledāja gultni (*ibid.*). Salveida akumulatīvi glaciostrukturālajām augstienēm ne tikai Latvijā, bet arī citur raksturīga “mīksta” materiāla veidota gultne, un, ņemot vērā gultnes kritumu pret ledāja plūsmas virzienu, sasaistes plankumu rašanās tajā ir notikusi, ledāja plūsmai zaudējot kustību virs gultnes pacēlumiem, it īpaši vietās virs labi drenēta gultnes materiāla.

Plakanvirsas pauguru glaciotehtoniskās pamatnes veidošanās, visticamāk, ir jāaplūko, izejot no gultnes deformācijas un stabilo iecirkņu veidošanās modeļa. Kā jau minēts iepriekš, ledāja gultnes pazemināšanās pretēji ledus plūsmas virzienam noteica ledus masu bremsēšanos un pastiprinātu pamatmorēnas akumulāciju (Āboltiņš, 1975). Tā kā ablācijas apstākļos virs pacēlumiem ledus plūsma zaudēja kustības ātrumu, tad ledāja un gultnes kontaktzonā samazinājās izdalītā berzes siltuma daudzums, ko ledāja bazālajā daļā patērēja arī atlūzu izkušana no ledāja un diamiktona uzkrāšanās. Tas noveda pie ledāja sakabināšanās ar gultni, efektīvā spiediena gultnes-ledāja kontaktzonā pieauguma un zemledāja gultnes materiāla glaciotekonisko struktūru veidošanās (skat. 5.6. att.). Ņemot vērā ledāja gultnes uzbūves neviendabību, tās labi drenētajos iecirkņos notika porūdens spiediena samazināšanās, tāpēc šajos iecirkņos zemledāja deformācija izbeidzās, jo mazinoties porūdens spiedienam pieauga to iekšējā berze un noturība, un tie pārvērtās par stabilajiem plankumiem. Šie stabilie plankumi ledāja gultnē veidoja “kodolus”, ap kuriem, it īpaši to pret ledāju vērstajā pusē, turpināja attīstīties glaciotekoniskās struktūras, to skaitā – zvīņveida uzbūvējumi. Plakanvirsas pauguru pamatņu mainīgi neregulārais izvietojums un uzbūves raksturs pieņemami pamato šādu glaciotekoniskās pamatnes izcelsmes modeli (5.6. att.).



5.5. 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 apledošanas glaciogēnie nogulumu; 5 – ledus; 6 – plaisains ledus; 7 – spiedienūdeņi; 8 – ūdensrijēji; 9 – atkārtotas sasalšanas zona; 10 – kušanas ūdens uzkrāšanās; 11 – virsledāja un zemledāja ūdeņu plūsmas (evakuācijas) virziens; 12 – ledāja mēle I un ledāja mēle II.

Ledāja–gultnes kontaktzonas termālie apstākļi: A att.: A1 – mitra gultne; B1 – sasalstoša gultne; B att.: A2 – atkususi gultne; B2 – sasalstoša 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.

Ledāja 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 – ledāja sakabināšanās ar gultni.

Figure 5.5. Principal scheme of glacier bed thermal conditions, character of ice flow and dominating subglacial processes: A – during formation of the primary massifs; B – during formation of plateau-like hills. Vertical exaggeration 1:20.

Legend: 1 – ice flow direction; 2 – pre-Weichselian sediments; 3 – glacioaquatic sediments; 4 – Weichselian till; 5 – glacier ice; 6 – crevassed ice; 7 – pressurized water; 8 – moulins; 9 – refreezing zone; 10 – subglacial meltwater accumulation; 11 – direction of supraglacial and subglacial water evacuation; 12 – glacier tongue I and II.

Thermal conditions bed-glacier interface: Fig. A: A1 – wet bed; B1 – frozen bed; Fig. B: A2 – wet bed; B2 – freezing bed; C2 – frozen bed.

Ice flow character: Fig. A: A1 – basal sliding in combination with internal creep; B1 – internal creep with sporadic basal sliding and bed deformation; Fig. B: A2 – basal sliding in combination with internal creep; B2 – internal creep with sporadic basal sliding and bed deformation

Dominating processes in glacier-bed interface: Fig. A: A1 – basal till deposition; B1 – deformation of soft bed sediments, disintegration of the continuous till cover; Fig. B: A2 – basal till deposition; B2 – deformation of soft bed sediments and disintegration of the continuous till cover; C2 – coupling glacier with bed.

Zemledāja gultnes deformāciju veidošanās notika dinamiski mainīgā vidē un apstākļos, kur zemledāja gultnes topogrāfija sekmēja ledājūdeņu uzkrāšanos (5.5. 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, kuriem raksturīga atšķirīga ūdenscaurlaidība. 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, lpp. 115), var veidoties zemledāja ūdeņu ierobežota plūsma un tie var izplūst virs ledāja. Atsevišķos gadījumos, piemēram, Ievkalnā, kas atrodas Vidzemes augstienē, šādas zemledāja plūsmas ietekmē ir izveidojies R-tipa kanāls ledāja, un uz glaciotektoniskās pamatnes virsas paugura nogāzē atrodas oss. Iespējams, ka šajā gadījumā zemledāja hidrauliskā sistēma bija jau savienota ar iekšledāja un virsledāja sistēmām, kas liecina, kā to uzsver D. I. Benns un D. J. A. Evanss (Benn, Evans, 1998), par ātru insolācijas un iekšledāja kušanas izraisītu efektu. Tas veicināja R-tipa kanālu kā ātras zemledāja hidrauliskās sistēmas komponenta attīstību. Īpašu nozīmīgs ir Dž. Menzija (Menzies, 2002b) secinājums, ka vietās, kur deformējošās atlūzas ir sastopamas zem ledāja, ir sagaidāms tikai ierobežots ledājkušanas ūdeņu daudzums ledāja-gultnes kontaktzonā, kamēr milzīga daļa ūdens nonāks deformējošos nogulumos, un tādējādi pārvietosies virzienā uz zema spiediena iecirkni advekcijas ceļā (5.5. att.). Dž. Menzijs arī uzsver, ka visus apskatītos zemledāja ūdeņu hidrauliskās plūsmas modeļus apstiprina atsevišķi lauka pētījumi. Viņš atzīst, ka vismaz daži no tiem ir daļa no ledāja-gultnes kontaktzonas hidrauliskās sistēmas attīstības secības.

Neapšaubāmi, par labu zemledāja ūdeņu hidrauliskās plūsmas nozīmei plakanvirsas pauguru glaciolimniskā segslāņa veidošanā liecina arī fakts, ka kontinentālo ledsuvairogu gadījumos nozīmīgākais sanešu materiāla avots ir atlūzas saturošais ledus un ledāja gultnes nogulumu, 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 nogulumu, kas, kā norāda 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%.

Neskatoties uz sniegtajiem apsvērumiem, 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 izzušanas 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 pirmmasīvpauguru 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 pārlicināt 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 izpētīt, 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 teoriju par plakanvirsas pauguru bezakmens mālu pārsedes veidošanos zemledāja kušanas ūdeņu atslodzes vietās. Tās veidojās ledus lobu un ledus mēļu zvīņveida uzbīdījumu zonās, kur, saistībā ar plaisu veidošanos trauslajā ledū hidrostatiskā un hidrodinamiskā spiediena gradientu atšķirību dēļ, noplūda ledājkūšanas 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 aprīmšana 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. 2009/0138/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/004, LU reģistrācijas Nr. ESS2009/77 finansiālu atbalstu. Nogulumu datēšanai izmantoti LZP pētniecības projekta Nr. 09.1420 “Ledājkūšanas ūdeņu radītā ledāja gultnes modifikācija politermāla ledāja malas joslā Fenoskandijas ledusvairoga dienvidaustrumu sektora Latvijas daļā” atbalsts. Autors pateicas promocijas darba vadītājam prof., 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 “*ArcMap 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 Fonda 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.
- Aber, J.S., Ber, A., 2007. Glaciotectonism. In Van Der Meer, J.I.M. (eds.), *Developments in Quaternary Science*, 6. Elsevier, 256 pp.
- Āboltniņš, O., 1972. K voprosu o formirovaniji ostrovovidnih vozvishennosti. *Grām. Lhednhikovij morfogenhez*. Zinātne, Rīga, s. 51–61. (in Russian).
- Āboltniņš, O., 1975. Glaciodynamiceskiye osobennosti formirovanhija vozvishennosti Latviji. *Grām. Voprosi chetvertichnoy geologiji*, s. 8. Zvaigzne, Rīga, s. 5–23. (in Russian).
- Āboltniņš, O., 1978a. Strojehije i teksturnije osobennosti moren perehodnoi zoni mezhdru nhizmennostjami i vozvishennostjami v Centralhnoi Latviji. *Grām. Osnovnije moreni materikovih olhedenhenij (Materiali mezhdunarodnogo simpoziuma)*. GIN: AN SSSR, M., s. 90–104. (in Russian).
- Āboltniņš, O., 1978b. Nhekotorije raznovidnosti tekstur i osobennosti glaciodynamicheskikh kontaktovih zon moreni kak pokazateli uslovij genhezisa mezoform relhjefa. *Grām. Problhemi morfogeneza relhjefa i paleogeografiji Latviji*. Latviyskiy Gosudarstveniy Universitet, Riga, s. 19–32. (in Russian).
- Āboltniņš, O., 1986. Analhiz trehosnikh lhinheinix strukturnikh elementov moren i interpretācija ego rezulhtatov. *Grām. Morfogeneza relhjefa i paleogeografiji Latviji*. Latviyskiy Gosudarstveniy Universitet, Riga, s. 19–32. (in Russian).
- Āboltniņš, O., 1989. *Ghaciostruktura i lhednikovij morfogenhez*. Zinātne, Rīga, 286 s (in Russian).
- Āboltniņš, O., 1994. Alūksnes augstiene. *Grām. Kavacs, G. (red.), Enciklopēdija Latvija un latvieši. Latvijas daba. 1. sēj.. Latvijas enciklopēdija*, Rīga, lpp. 47–48.
- Āboltniņš, O., 1995. Latgales augstiene. *Grām. Kavacs, G. (red.), Enciklopēdija Latvija un latvieši. Latvijas daba. 3. sēj.. Latvijas enciklopēdija*, Rīga, lpp. 87–89.
- Āboltniņš, O., 1995. Malienas pauguraine. *Grām. Kavacs, G. (red.), Enciklopēdija Latvija un latvieši. Latvijas daba. 3. sēj. Latvijas Enciklopēdija*. Rīga, lpp. 179–180.
- Āboltniņš, O., 1995. Mežoles pauguraine. *Grām. Kavacs, G. (red.), Enciklopēdija Latvija un latvieši. Latvijas daba. 3. sēj. Latvijas Enciklopēdija*. Rīga, lpp. 242–244.
- Āboltniņš, O., 1997. Piebalgas pauguraine. *Grām. Kavacs, G. (red.), Enciklopēdija Latvija un latvieši. Latvijas daba. 4. sēj. Preses nams*, Rīga, lpp. 115–117.
- Āboltniņš, O., 1998. Veclaicenes pauguraine. *Grām. Kavacs, G. (red.), Enciklopēdija Latvija un latvieši. Latvijas daba. 6. sēj. Preses nams*, Rīga, lpp. 43–46.
- Āboltniņš, O., 1998. Vestienas pauguraine. *Grām. Kavacs, G. (red.), Enciklopēdija Latvija un latvieši. Latvijas daba. 6. sēj. Preses nams*, Rīga, lpp. 65–66.
- Āboltniņš, O., 1998. Veclaicenes pauguraine. *Grām. Kavacs, G. (red.), Enciklopēdija Latvija un latvieši. Latvijas daba. 6. sēj. Preses nams*, Rīga, lpp. 43–46.
- Āboltniņš, O., 1998. Vidzemes augstiene. *Grām. Kavacs, G. (red.), Enciklopēdija Latvija un latvieši. Latvijas daba. 6. sēj. Preses nams*, Rīga, lpp. 73–76.
- Āboltniņš, O., 2010. Glaciostruktūru mezorelģefs (iedalījuma un terminoloģijas problēmas). *Grām. Latvijas Universitātes 68. konference. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. Referātu tēzes*. Latvijas Universitāte, Rīga, lpp. 133–135.
- Āboltniņš, O., Dreimanis, A., 1995. Glacigenic deposits in Latvia. In Ehlers, J., Kozarski, S., Gibbard, P. (eds.), *Glacial Deposits in North–East Europe*. Rotterdam/Brookfield, Balkema, pp. 115–124.

- Āboltiņš, O., Markots, A., 1995. Skujene plateau like hills area. In Schirmer, W. (ed.), *INQUA 1995. Quaternary field trips in Central Europe, I. C-3 Baltic Traverse*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munchen, pp. 161–162.
- Āboltiņš, O., Zelčs, V., 1988. Litomorfogēnhez vnutrenney zony drevnhelhednhikovoy oblasti (na primere isslhedovaniy v Latviji). *Grām. Purin, V., Zvejnieks, R. (eds.), Razvitiye geograficheskoy mysli v Sovetskoy Latviji*. Latviyskiy Gosudarstveniy Universitet, Riga, s. 103–126. (in Russian).
- Āboltiņš, O., Asejev, A., Vonsavičus, V., Isačenkov, I., Mozhajev, B., Raukas, A., 1988. *Ostrovniye vozvishennosti kak osobim obrazom organhizovannije geologicheskiye objekti*. AN ESSR, Tallinn, s. 56. (in Russian).
- Āboltiņš, O., Asejev, A., Vonsavičus, V., Isačenkov, V., Možajev, V., Raukas, A., 1989. *Formirovaniye i osvojenije lednikovih akkumulativnih ostrovnih vozvisennostei*. Izvestija AN ESSR, Tallinn, s. 32–45. (in Russian).
- Āboltiņš, O., Eberhards, G., Zelčs, V., 1992. Glaciotectonic processes, sediments, landforms and their influence on the present geocological situation. In *Guidebook of the Baltic regional summer field meeting of geomorphologists and Quaternary geologists. North and central Vidzeme, Latvia*. LU, Riga, pp. 55–72.
- Āboltiņš, O., Isachenkov V.A., Faustova, M.A., Chebotareva, N.S., 1977a. The Chudskoye ice stream. In Chebotareva, N. S. (ed.-in-chief), *The structure and dynamics of the last ice sheet of Europe*, Nauka, Moscow, s. 44–54. (in Russian with English summary).
- Āboltiņš, O., Isachenkov, V., Karukjapp, R., Raukas, A., Faustova, M., 1977b. Strojenhije glavnih lhedorazdelhnih zon. In Chebotareva, N.S. (ed.-in-chief), *The structure and dynamics of the last icesheet of Europe*, Nauka, Moscow, s. 19–112. (in Russian with English summary).
- Āboltiņš, O., Markots, A., Strautnieks, I., 1995. Smetes hills primary massif. In Schirmer, W. (ed.), *INQUA 1995. Quaternary field trips in Central Europe, I. C-3 Baltic Traverse*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munchen, p. 161.
- Āboltiņš, 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).
- Āboltiņš, O., Straume, J., Juškevičs, V., 1975. Osobennosti relhjeфа i osnovnije etapi morfogenheza Centralhno – Vidzemskoi vozvishennosti. *Grām. Voprosi chetvertichnoy geologiji*, s. 8. Zvaigzne, Riga, s. 31–46. (in Russian).
- Āboltiņš, O., Straume, J., Juškevičs, V., 1976. Relhjeф i osnovnije etapi morfogenheza Aluksnenskoй vozvishennosti. *Grām. Voprosi chetvertichnoy geologiji*, s. 9. Zinatne, Riga, s. 74–89. (in Russian).
- Āboltiņš, O., Vaitekunas, P., Danilāns, I., Karukāpp, R., Klive, G., Raukas, A., Roshko, L., Chebotareva, N.S., Yanke, V., 1977c. The Baltic ice stream. In Chebotareva, N.S. (ed.-in-chief), *The structure and dynamics of the last icesheet of Europe*. Nauka, Moscow, s. 17–44. (in Russian with English summary).
- Āboltiņš, O., Veinbergs, J., Danilāns, I., Meirons, Z., Straume, J., Eberhards, G., Juškevičs, V., Jaunputniņš, A., 1972a. Osnovnije cherti lednhikovogo morfogenheza i osobennosti deglhaciaciji poslhednego lhednikovogo pokrova na territoriji Latviji. *Grām. Putevoditelh polhevogo simpoziuma IV vsesojuznogo mezhved. soveshch. po izucheniju krayevih obrazovaniy materikovikh oledeneniy*. Zinatne, Riga, s. 3–16. (in Russian).
- Āboltiņš, O., Veinbergs, I., Stelle, V., Eberhards, G., 1972b. Main complexes of marginal formations and glacial retreat in the territory of Latvian SSR. In Goretskiy, G.I.,

- Pogul'ayev, D.I., Shick, S.M. (eds.), *Krayevye obrazovaniya materikovikh oledeneniy*, Nauka, Moscow, s. 30–37. (in Russian).
- Allen, P.A., Allen, J.R., 2009. *Basin analyses; principles and application, second edition*. Blackwell Publishing, 549 pp.
- Alley, R.B., 1991. Deforming – bed origin for Laurentide till sheets. *Journal of Glaciology*, 37, 67–76.
- Alley, R.B., 1993. In search of ice stream sticky spots. *Journal of Glaciology*, 39, 447–454.
- Ansbergs, N., Rinks, E., Seļicka, J., 1955. Vazhnheishije chetvertichnije glhini Latvijskoi SSR. LPSR ZA izd., Riga, 47 s (in Russian).
- Arnold, N., Sharp, M., 2002. Flow variability in the Scandinavian ice sheet: modelling the coupling between ice sheet flow and hydrology. *Quaternary Science Reviews*, 21, 485–502.
- Asejev, A.A., 1974. *Drevnije materikovije olhedenhenhija Evropi*. Nauka, Moskva, 319 s (in Russian).
- Basalikas, A., 1969. Raznoobrazije reljefa lhednikovoi akumulativnoi oblasti. *Grām. Materikovoje olhedenhenhije i lhednhikovij morfogenhez*. Mintis, Viļņa, s. 65–154. (in Russian).
- Basalikas, A., 1970. Ob izobrazheniji lhednikovogo reljefa na geomorfologicheskikh kartakh detalhnykh i krupnykh masshtabov. In *Nauchnyje trudy vysshikh uchebnykh zavedenij Litovskoy SSR, Geografija i geologija*, VII. Vilnius, s. 17–20. (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 geografiji. K teoriji obrazovaniya form lhednikovogo reljefa. *Grām. Naucnija trudi vissih uchebnih zavedenij Litovskoy SSR. Geografija*. 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.
- Bitinas, A., Karmazienė, D., Jusienė, A., 2004. Glaciolacustrine kame terraces as an indicator of conditions of deglaciation in Lithuania. *Sedimentary Geology*, 165, 285–294.
- Boulton, G.S., 1986. A paradigm shift in glaciology? *Nature*, 322, p. 18.
- Boulton, G.S., 1970. On the and transport of englacial debris in Svalbard glaciers. *Journal of Glaciology*, 9 (56), 213–229.
- 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.
- Chebotareva, N., Grichuk, V., Vidgorchik, M., Faustova, M., Biske, G., Vaitekunas, P., Gudelis, V., Devyatova, E., 1965. Main degradation stages and marginal zones. In Chebotareva, N. (ed.), *Last European glaciation*, s. 26–44. (in Russian with English summary).
- Chebotareva, N.S., 1972. Ice streams of the Valdaian ice sheet. In Goretskiy, G.I., Pogul'ayev, D.I., Shick, S.M. (eds.), *Krayevye obrazovaniya materikovikh oledeneniy*, Nauka, Moscow, s. 69–77. (in Russian).

- Chebotareva, N.S., Makaricheva, I.A., 1974. *Last glaciation and its geochronology in Europe*. Nauka, Moscow, 216 s (in Russian).
- Clark, C.D., Stokes, C.R., 2001. Extent and basal characteristics of the M'Clintock channel ice stream. *Quaternary International*, 86, 81–101.
- Daniļāns, I., 1965. Nekotoriji osobennosti deglaciācijas i lednikovogo morfogeneza na teritoriji Latviji. *Grām. Basalikas, A. (red.), Krajevije obrazovanhija materikovogo olhedenhenija*. Mintis, Viļņa, s. 65–72. (in Russian).
- Daniļāns, I., 1972. Vlijanije podlhednhikovoy poverkhnosti na processi deglhlaciācijas i lhednhikovogo mofrogeneza. *Grām. Krajevije obrazovanhija materikovikh oledenhenhiy*. Nauka, Moskva, s. 19–22. (in Russian).
- Daniļāns, I., 1973. *Chetvertichnye otlozheniya Latviji*. Zinatne, Rīga, 312 s (in Russian).
- Drewry, D., 1986. *Glacial geologic processes*. Edward Arnold, 276 pp.
- Dauškans, M., Zelčs, V., 2009. Kēmu terases un to veidošanās paleoģeogrāfiskie apstākļi Vidzemes augstienē. *Krāj. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. Latvijas Universitātes 67. zinātniskā konference. Referātu tēzes*. Latvijas Universitāte, Rīga, lpp. 174–176.
- Dreimanis, A., Zelčs, V., 1995. Pleistocene stratigraphy of Latvia. In Ehlers, J., Kozarski, S., Gibbard, P. (eds.), *Glacial deposits in North–East Europe*. Balkema, Rotterdam/Brookfield, pp. 105–113.
- Dreimanis, A., 1999. A need of three-dimensional analysis of structural elements in glacial deposits for determination of direction of glacier movement. In Mickelson, D.M., Attig, J.W. (eds.), *Glacial Processes Past and Present. Special Paper 337*. Geological Society of America, Boulder, pp. 59–67.
- Easterbrook, D.J., 1999. *Surface Processes and Landforms, 2nd edition*. Prentice Hall, New Jersey, 546 pp.
- Eberhards, G., 1972. *Pieņemto zīmju un apzīmējumu sistēma ģeomorfoloģijā*. LVU, Rīga, 72 lpp.
- Eberhards, G., 1977. *Glaciālā ģeomorfoloģija*. P. Stučkas LVU, Rīga, lpp. 56–60.
- Evans, D.J., Phillips, E.R., Hiemstra, J.F., Auton, C.A., 2006. Subglacial till: Formation, sedimentary characteristics and classification. *Earth-Science Reviews*, 78 (1–2), 115–176.
- Faustova, M.A., Chebotareva, N.S., 1977. The development of conceptions on the last European ice sheet. In Chebotareva, N.S. (ed.-in chief), *Structure and dynamics of the last ice sheet of Europe*. Nauka, Moscow, s. 7–9. (in Russian with English summary).
- Gaigalas, A., 2000. Correlation of 14C and OSL dating of Late Pleistocene deposits in Lithuania. In *Geochronometria*, 19, 7–12.
- Ginters, G., 1984. Osobennosti i raschlhenhenhije moren Vidzemskey vozvishennosti. *Grām. Paleogeografija i stratigrafija chetvertichnogo perioda Pribaltiki i sopredehlnih raiyonov*. Vilnius, s. 68–73. (in Russian).
- Gravenor, C.P., 1955. The origin and significance of prairie mounds. *American Journal of Science*, 253, 475–481.
- Grigelis, A. (galv. red.), 1981. *Metodicheskiye rekomendaciji po sostavlheniju leghend krupnomasshtabnykh geologicheskikh kart Pribaltiki*. Tallinn, 237 s (in Russian).
- Grīne, I., Zelčs V., 1997. *Latviešu-angļu-vācu-krievu ilustratīvā ģeomorfoloģijas vārdnīca*. P&K, Rīga, 210 lpp.
- Guobyte, 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., 2007a. The Samogitian (Žemaičiai) 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. 17–18.
- 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, p. 24.
- Guobytė, R., 2009a. The Samogitian (Žemaičiai) Upland. In Satkūnas, J. (ed.), *Biodiversity and geodiversity, landscapes, nature resources and present-day management in Lithuania: Excursion guide*. Lietuvos geologijos Tarnyba, pp. 8–9.
- Guobytė, R., 2009b. Kame massif at Plokštinė. Military exposition. In Satkūnas, J. (ed.) *Biodiversity and geodiversity, landscapes, nature resources and present-day management in Lithuania: Excursion guide*. Lietuvos geologijos Tarnyba, p. 11.
- Hang, E., Karukäpp, R., 1979. Otepää korgustiku pinnavormistik. *Grām. Eesti NSV saarkorgustige ja järvenogude kujunemine*. Valgus, Tallin, pp. 63–86. (Summary in Russian).
- Hang, E., Karukäpp, R., 2009. Otepää upland – an insular-like upland with hummocky topography. In *Extent and timing of the Weichselian glaciation southeast of the Baltic Sea*. University of Tartu, Tallinn, pp. 65–69.
- Hart, J.K., Boulton, G.S., 1991. The interrelationship between glaciotectonic deformation and glaciodeposition within the glacial environment. *Quaternary Science Reviews*, 10, 335–350.
- Hoppe, G., 1952. Hummocky moraine regions with special reference to the interior of Norrbotten, *Geografiska Annaler*, 34, 1–2, 1–72.
- Houmark-Nielsen, M., 2008. Testing OSL failures against a regional Weichselian glaciation chronology from southern Scandinavia. *Boreas*, 37, 660–677.
- Hubbard, B., Glasser, B., 2005. *Field techniques in glaciology and glacial geomorphology*. Wiley, 400 p.
- Iken, A., 1981. The effect of the subglacial water pressure on the sliding velocity of a glacier in an idealized numerical model, *J. Glacial*, 27, 407–421.
- Instrukcija po organizaciji i proizvodstvu gruppovoj geologičeskoj sjomki masshtaba 1:50 000 (1:25 000)*, 1977. Moskva, 72 s (in Russian).
- Isachenkov, V., 1974. Někotorije osobennosti formirovanhija vodnoľhednikovogo reljefa Pskovskoy oblasti. *Grām. Predfrontalhnije krajevije ľhednikovije obrazovanhija*. Mintis, Viļna, s. 108–113. (in Russian).
- Isachenkov, V., Tatarnhikov, O., 1972. “Ostrovnije” vozvishennosti severo–zapada Russkoi ravnhini, jih polozhenije v sisteme krajevih obrazovanhij Valdaiskogo ľhednhika. *Grām. Lhednhikovij morfogenhez*. Zinatne, Riga, s. 63–78. (in Russian).
- Jaunputniņš, A., 1961. Reljefs. *Grām. Latvijas PSR ģeolģija*. Latv. PSR ZA izd–ba, Rīga, lpp. 194–214.
- Jaunputniņš, A., 1975. Reljefs. *Grām. Pūriņš, V. (red.), Latvijas PSR ģeogrāfija*. Otrais papild. izd. Zinātne, Rīga, lpp. 32–45.
- Juškevičs, V., 1976. Šema Podbaltijskoi poverhnosti Latvijskoi SSR. M 1:1 000 000. *Grām. Geologičeskoje strojenije i polheznije iskopajemije Latviji*. Zinātne, Rīga, XXIII pielikums (in Russian).

- Juškevičs, V., 2000a. 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.* VGD, Rīga, lpp. 10–31.
- Juškevičs, V., 2000b. Kvartāra nogulumu karte. *Krāj. Āboltiņš, O., Kuršs, V. (red.), Latvijas ģeoloģiskā karte, Mērogs 1:200 000, 43. lapa – Rīga, 53. lapa – Ainaži; paskaidrojuma teksts un kartes.* VGD, Rīga, 68 lpp. t., 2 k.
- Juškevičs, V., Skrebels J., 2002a. Kvartāra 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.* VGD, Rīga, lpp. 9–26.
- Juškevičs, V., Skrebels J., 2002b. 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.* VGD, Rīga, 1 l.
- Juškevičs, V., Skrebels, J., 2003a. 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.* VGD, Rīga, lpp. 10–28.
- Juškevičs, V., Skrebels, J., 2003b. Kvartāra nogulumu karte. *Krāj. Āboltiņš, O., Brangulis, A.J. (red.), Latvijas ģeoloģiskā karte, Mērogs 1:200 000, 34. lapa – Jēkabpils, 24. lapa – Daugavpils; paskaidrojuma teksts un kartes.* VGD, Rīga, 1 l.
- Kalm, V., 2006. Pleistocene chronostratigraphy in Estonia, southeastern sector of the Scandinavian glaciations. *Quaternary Science Reviews*, 25, 960–975.
- Kalm, V., 2010. Ice-flow pattern and extent of the last Scandinavian Ice Sheet southeast of the Baltic Sea. *Quaternary Science Reviews*, 29, 1–9, [DOI:10.1016/j.quascirev.2010.01.019](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2010.01.019)
- 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.
- Kajak, K., 1965. Osobennosti geologičeskogo strojenhija krajevih lhednhikovih obrazovanhiy v Estonhiji. *Grām. Krajevije obrazovanhija materikovogo olhedenhenhija.* Mintis, Viļņa, s. 59–64. (in Russian).
- Karukäpp, R.J., 1978. Morfoloģičeskije osobennosti kamovih polhei na lhednikovih vozvishennostjah Estoniji. *Grām. Raukas, A. (otv. red.), Strojēnīje i formirovanīje kamov.* Akadēmija Nauk Estonskoi SSR, Tallin, s. 91–97. (in Russian).
- Karuäpp, R., 2004. Late-Glacial ices streams of the south-eastern sector of the Scandinavian ice sheet and the asymmetry of its landforms. *Baltica*, 17 (1), 41–48. Vilnius.
- Kitzaki, K., 1969. Ice-fabric study of the Mawson region, East-Antarctica. *Journal of Glaciology*, 8 (53), 253–276.
- Kudaba, Č., 1969. Ice-marginal formations of the Baltic Ridge and diagnostic of ice margin dynamics. In *Materikovye oledeneniya i lednikoviy morfogenez*, Mintis, Vilnius, s. 155–226. (in Russian).
- Kudaba, Č., 1972. Nekotoriji osobennosti krajevih lhednikovih obrazovanhiy Baltijskoi holmisti-morenoi grjadi. *Grām. Krajevije obrazovanhija materikovogo oledenhenhija.* Mintis, Viļņa, s. 59–64. (in Russian).
- Kudaba, Č., 1979. Glaciomorfologija relhjeļa. *Grām. Strojēnīje i relhjeļ Zemaitiyskoy vozvishennosti.* Mokslas, Viļņa, s. 63–85. (in Russian).
- Kuršs, V., Stinkule, A., 1969. O raznovidnostjah lhentochnoi sloistosti v lhimnoglacialhnih glhinah Latviji. *Grām. Voprosi četvertichnoj geologii*, s. 4. Zinātne, Rīga, 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. *Glhaciotektonika*. Nauka i tehnika, Minsk, 278 s (in Russian).
- Malahovskiy, D., Vigdorichik, M., 1963. Nhekotorije formi lhednhikovogo akumulhativnogo relhjefa na severo-zapade Russkoy ravnhini. *Grām. Krajevije formi relhjefa materikovogo oledenhenhija na Russkoi ravnhine*. Izv. AN SSSR, Moskva, s. 47–63. (in Russian).
- Markots, A., 1986. On the problem of the eastern boundary of the dispersion fan of the Dalarnian porphyry. In Āboltiņš, O., Eberhards, G., Klane, V. (eds), *Morfogenez relhyefa i paleogeografiya Latviji*. Latviyskiy gosudarstvenniy universitet, Rīga, s. 122–129. (in Russian).
- Markots, A., 1991. Glhaciostruktura severnoy chasti Latgalhskey vozvishennosti. In *Lhednhikoviy litomorfogenez, paleografija chetvertichnogo perioda, sovremennije eksogenniye processi i ih geoekologicheskiye aspekti. Tezisi dokladov nauchnogo seminara*, Latviyskiy Universitet, Rīga, s. 41–42. (in Russian).
- Markots, A., 1994. Burzavas pauguraine. *Grām*. Kavacs, G. (red.), *Enciklopēdija Latvija un latvieši. Latvijas daba*. 1. sēj. Latvijas Enciklopēdija, Rīga, lpp. 177–178.
- Markots, A., 1994. Dagdas pauguraine. *Grām*. Kavacs, G. (red.), *Enciklopēdija Latvija un latvieši. Latvijas daba*. 1. sēj. Latvijas Enciklopēdija, Rīga, lpp. 207–208.
- Markots, A. 1995. Feimaņu pauguraine *Grām*. *Latvijas Dabas Enciklopēdija*, 2. sēj.. Latvijas Enciklopēdij, Rīga, lpp. 70–71.
- Markots, A., 1995. Icēnkals. *Grām*. *Latvijas Dabas Enciklopēdija*, 2. sēj.. Latvijas Enciklopēdija, Rīga, 160. lpp.
- Markots, A., 1997. Rāznavas pauguraine. *Grām*. Kavacs, G. (red.), *Enciklopēdija Latvija un latvieši. Latvijas daba*. 4. sēj. Preses nams, Rīga, lpp. 226–228.
- 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.
- Markots, A., in review. Distribution, spatial arrangement and internal composition of plateau-like hills in insular accumulative-glaciostructural uplands of Latvia. *Eiszeitalter und Gegenwart – Quaternary Science Journal (E&G)*. 12 pp.
- Markots, A., Āboltiņš, 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.
- Markots, A., Āboltiņš, 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, Rīga, pp. 57–62.
- Markots, A., Āboltiņš, O., 1999. Vidzemes augstienes zvoncu morfoloģiskie tipi. *Grām*. *Zeme. Daba. Cilvēks LU 57. konference*, Tēžu krājums, LU, Rīga, lpp. 95–99.
- 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.
- Markots, A., Nartišs M., Rečs, A., 2010. Topogrāfiskās kartes M 1:10 000 reljefa piemērotība Baltijas jūras stadiju pētniecībā. *Krāj. LU 68. zinātniskās konferences referātu tēzes*. LU Akadēmiskais apgāds, Rīga, lpp. 164–165.
- Marks, L., 1998. Middle and Late Vistulian glaciation in Poland. In *Geologija* 25, 57–61.
- 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.

- Marks, L., Guobyste, R., Kalm, V., Pavlovskaya, I.E., Rattas, M., Stephan, H.-J., Zelčs, V., Gogolek, W., Bielecki, T., Kocyla, J., 2003. Map of Weichselian directional ice-flow features of Central and Eastern Europe. Paper No. 24–11. 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.
- Meirons, Z., 1975. Relhjef Latgalhskoj vozvishennosti i sopredelnhnih rayonov Vostocno-Latvijskoj nhizmennosti. *Grām. Danilāns, I. (ed.), Voprosi cetvertichnoj geologiji*, v. 8. Zinatne, Rīga, s. 48–82. (*in Russian*).
- Meirons, Z., 1986. Stratigrafija pleistocenovih otlozhenhij Latviji. *In Kondratiene, O.P., Mikalauskas, A.P. (eds), Isslhedovanhija lednikovykh obrazovaniy Pribaltiki*. Vilnius, s. 69–81. (*in Russian*).
- Meirons, Z., 1992. Stratigraficheskaia shema pleistocenovih otlozhenhij Latviji. *Grām. Veinbergs, I., Danilāns, I., Sorokins, V., Ulsts, R. (eds), Paleogeografiya i stratigrafiya fanerozoya Latviji i Balstiyaskogo moray*. Zinatne, Rīga, s. 84–98. (*in Russian*).
- Meirons, Z., 2004. Kvartāra nogulumi. *Krāj. Āboltiņš, O., Brangulis, A.J. (red.), Latvijas ģeoloģiskā karte, Mērogs 1:200 000, 25. lapa – Indra, 35. lapa – Rēzekne; paskaidrojuma teksts un kartes*. VGD, Rīga, lpp. 9–25.
- Meirons, Z., 2004. Kvartāra nogulumu karte. *Krāj. Āboltiņš, O., Brangulis, A.J. (red.), Latvijas ģeoloģiskā karte, Mērogs 1:200 000, 25. lapa – Indra, 35. lapa – Rēzekne; paskaidrojuma teksts un kartes*. VGD, Rīga, 1 l.
- Meirons, Z., Juškevičs, 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, Rīga, s. 89–122. (*in Russian*).
- Meirons, Z., Punning, M.J., Hütt, G., 1981. Results obtained through the TL dating of Southeast Latvian Pleistocene deposits. *In Eesti NSV Teaduste Akademia Toimetised, Geologia*, 1, 28–33 (*in Russian with English and Estonian summaries*).
- Meirons, Z., Straume, J., 1979. Cenozoic group. *In Misans, J., Brangulis, A., Danilāns, I., Kuršs, V. (eds), Geologicheskoe stroyenie i poleznye iskopayemye Latviji*, Zinatne, Rīga, s. 176–268. (*in Russian*).
- Meirons, Z., Straume, J., Juškevičs, V., 1974. Kharakteristika podcervetičnoi poverhnosti Latviji i nekotorije voprosi formirovanija pogrebennih dolin. *Grām. Danilāns, I. (red.), Voprosi cetverticnoi geologiji*, s. 7. Zinatne, Rīga, s. 9–21. (*in Russian*).
- Meirons, Z., Straume, J., Juškevičs, V., 1976. Osnovnije raznovidnosti marginalnhnih obrazovanhij i otstupanhije poslhednhego lhednhika na territoriji Latviji. *Grām. Voprosi chetvertichnoi geologiji*, s. 9. Zvaigzne, Rīga, s. 50–74. (*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., 2002a. Pirmskvartāra 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*. VGD, Rīga, 1 l.

- Mūrnieks, A., 2002b. 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*. VGD, Rīga, lpp. 5–9.
- Mūrnieks, A., Meirons, Z., Misāns, J., 2004. *Latvijas ģeoloģiskā karte mērogā 1:200 000. 35. lapa – Rēzekne un 25. lapa – Indra. 1. lapa “Pirmskvartāra nogulumi” un 3. lapa “Kvartāra nogulumi”*. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga.
- Mozhajev, B., 1973. *Noveishaja tektonhika Severo-Zapada Russkoi ravnini*. Nedra, Ļ., s. 45–83. (in Russian).
- 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.
- Osnovnyje polozhenija organizaciji i proizvodstva geologo-sjomochnykh rabot masshtaba 1:50 000 (1:25 000)*. 1968. Moskva, Nedra, 55 s.
- Par Eiropas ainavu konvenciju*. LR likums, 2007. Latvijas Vēstnesis, 18.04.2007. Nr. 63 (3639).
- Piotrowski, J.A., Larsen, N.J., Junge, F.W., 2004. Reflections on soft subglacial beds as a mosaic of deforming and stable spots. *Quaternary Science Reviews*, 23, 993–1000.
- Philipp, H., 1921. *Beitrag zur Kenntnis des Endmoränenverlaufs im östlichen Baltikum*. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, lpp. 9–34.
- 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. *Sedimentary Geology*, 111, 263–283.
- Punning, J.-M., Raukas, A., Serebryanny, L.R., 1967. Geochronology of the last glaciation in Russian Plain in the light of new absolute age dating of the relict lacustrine and mire deposits in the Eastern Baltic. *In Zavriyev, V.G. (ed.), Materialy II Simpoziuma po istorii ozyor Severo-Zapada SSSR (23–28 maya 1967)*, Minsk, s. 139–147. (in Russian).
- Punning, J.-M., Raukas, A., Serebryanny, L.R., Stelle, V., 1968. Paleogeographical peculiarities and absolute age of the Luga stage of the Valdaian glaciation on the Russian Plain. *Doklady Akademiji nauk SSSR, Geologiya*, 178 (4), s. 916–918. (in Russian).
- 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 lpp.
- Raukas, A.V., Kont, A.R., 1978. Voprosi formirovanija i klassifikaciji kamov. *Grām. Raukas, A. (otv. red.), Strojenije i formirovanije kamov*. Akademija Nauk Estonskoi SSR, Tallin, s. 5–10. (in Russian).
- Raukas, A.V., Kont, A.R., 1978. Raznovidnosti kamov (tolkovij slovarik). *Grām. Raukas, A. (otv. red.), Strojenije i formirovanije kamov*. Akademija Nauk Estonskoi SSR, Tallin, s. 180–183. (in Russian).
- Raukas, A., Karukäpp, R., 1979. Eesti llustikutekkeliste akumulatiivsete saarkorgustike ehitus ja kujunemine. *Grām. Eesti NSV saarkorgustige ja järvenogude kujunemine*. Valgus, Tallin, s. 6–26. (Summary in Russian).

- Raukas, A., Āboltiņš, O., Gaigalas, A., 1995a. The Baltic States: Overview. *In* Shirmer, W. (ed.), *Quaternary field trips in Central Europe*, 1. München, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, pp. 146–148.
- Raukas, A., Āboltiņš, O., Gaigalas, A., 1995b. Deglaciation of the territory. *In* Schirmer, W. (ed.): *Quaternary field trips in Central Europe*, 1. Verlag Friedrich Pfeil München, pp. 148–151.
- Raukas, A., Āboltiņš, O., Gaigalas, A., 1995c. Current state and new trends in the Quaternary geology of the Baltic States. *In Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 44, pp. 1–14.
- 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.
- Raukas, A., Stankowski, W.T.J., Zelčs, V., Šinkunas, P., 2010. Chronology of the last deglaciation in the South-Eastern Baltic Region on the basis of Recent OSL dates. *Geochronometria*, 36, 1–8, DOI 10.2478/v10003-010-0011-7.
- 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, 1449–1452.
- Rukhina, E.V., 1978. Kami i jih raznovidnosti. *Grām.* Raukas, A. (otv. red.), *Strojenije i formirovanije kamov*. Akademija Nauk Estonskoi SSR, Tallin, s. 11–15. (*in Russian*).
- Saarse, L.A., 1978. Nalozhennije kami Otepjaskoiy vozvishennosti. *Grām.* Raukas, A. (otv. red.), *Strojenije i formirovanije kamov*. Akademija Nauk Estonskoi SSR, Tallin, s. 105–111. (*in Russian*).
- Saks, T., Kalvāns, A., Zelčs, V., *in press*. OSL dating evidence of Middle Weichselian age of shallow basin sediments in Western Latvia, Eastern Baltic. *Quaternary Science Reviews*.
- Salonen, V.-P., Kaakinen, A., Kultti, S., Miettinen, A., Eskola, K.O., Lunkka, J.P., 2008. Middle Weichselian glacial event in the central part of the Scandinavian Ice Sheet recorded in the Hitura pit, Ostrobothnia, Finland. *Boreas*, 37, 38–54.
- Serebryanny, L.R., Raukas, A., 1966. Transbaltic correlations of the Late Pleistocene marginal ice formations. *In* Grichuk, V.P., Kind, N.V., Ravskiy, E.I. (ed.), *Verkhniy pleistotsen, Stratigrafiya i absoljutnaya geokhronologiya*. Moscow, Nauka. s. 12–28. (*in Russian*).
- Serebryanny, L., Raukas, A., 1967. Correlation of Gotiglacial ice-marginal belts in the Baltic Sea depression and the neighbouring countries. *Baltica*, 3, 235–249. (*in Russian with English and French summary*).
- 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.
- Shultz, S.S., Mozhajev, B.N., Mozhajeva, V.G., Rukojatkin, A.A., Dolino-Dobrovolsky, A.V., Palicin, G.D., Ponomarev, E.V., 1963. *Sudomskaja vosvishennosts – geologo-geomorfologičeskij ocherk*. Izd. Akademiji Nauk SSSR, M. – L., s. 49–52. (*in Russian*).
- Slater, G., 1929. Quaternary period. *In Handbook of the Geology of Great Britain*. London, pp. 457–498, 503–510.
- Sleinis, I., 1935. Vidzemes Centrālās augstienes morēnas. *Grām. Ģeogrāfiskie raksti, III un IV sēj.*. Latvijas Ģeogrāfijas biedrība, Rīga, lpp. 85–103.

- Sleinis, I., 1936. Latvijas reljefs. *Grām.* Malta, N., Galenieks, P. (red.), *Latvijas zeme, daba un tauta, I. sēj.* Valters un Rapa, Rīga, lpp. 129–158.
- Soms, J., 2006. Regularities of gully erosion network development and spatial distribution in south-eastern Latvia. *Baltica*, 19 (2), pp. 72–79.
- Sprīngis, K., Konshin, G.I., Savvaitov, A.S., 1963. Data concerning pebble orientation and changes of the ice movement direction of the Valdaian glaciation. *In* Danilāns, I. (ed.), *Questions of Quaternary Geology*, II, Zinatne, Rīga, s. 35–43. (*in Russian with English summary*).
- Stalker, A.M., 1960. *Ice – pressed drift forms and associated deposits*. Geological Survey, Canada, Bull. 57, p. 38.
- Stinkule, A., 1977. Glhini. *Grām.* Stinkule, A. (otv. red.), *Minheralhnoje sirjo Latviji dlha promishlhennosti stroitelhnih materialov*. Zinatne, Rīga, s. 57–75. (*in Russian*).
- Stokes, C.R., Clark, C.D., 2003. The Dubawnt Lake palaeo-ice stream: evidence for dynamic ice sheet behaviour on the Canadian Shield and insights regarding the controls on ice-stream location and vigour. *Boreas*, 32, 263–279.
- Stokes, C.R., Clark, C.D., Lian, O., Tulaczyk, S., 2007. Ice stream sticky spots: a review of their identification and influence beneath contemporary and palaeo-ice streams. *Earth Science Reviews*, 81, 217–249.
- Straume, J., 1979. Sovremennij relhfej Latviji. *Grām.* *Geologicheskoje strojenije i polheznije iskopajemije Latviji*. Zinatne, Rīga, s. 326–329; 359–364. (*in Russian*).
- Straume, J., Juškevičs, V., Meirons, Z., 1976. Karta podchetvertichnoi poverhnosti Latvijsskoi SSR. M 1:1 000 000. *Grām.* *Geologicheskoje strojenije i polheznije iskopajemije Latviji*. Zinatne, Rīga, XX pielikums, (*in Russian*).
- Straume, J., Juškevičs, V., Meirons, Z., 1988. *Geomorfoloģiskā karte. Latvijas PSR atlants*. PSRS Ministru Padomes Ģeodēzijas un kartogrāfijas galvenā pārvalde, Maskava, 11. lpp.
- Strautnieks, I., 1988. *Austrumkursas augstienes glacigēnais reljefs un tā ģenēze*. Promocijas darba kopsavilkums. Latvijas Universitāte, Rīga, 55 lpp.
- Tatarnhikov, O.M., 1981. Nhekotorije osobennosti degradaciji Lovatskoi lopasti Valdaiskogo lednika na Bezanickskoi vosvisennosti. *Grām.* *Isslhedovanhija razvitija skandinavskogo lednhikovogo pokrova na territoriji SSSR*. Kolhskiy filhial AN SSSR, Apatiti, s. 69–81. (*in Russian*).
- Tatarnhikov, O.M., 1981. Relhfej i paleogeografija Pskovskoi oblasti. PGPU, Pskov, 128 s. (*in Russian*).
- Trenhaile, Alan S., 1990. *Geomorphology of Canada. An introduction*. Oxford University press, Toronto, 240 p.
- Vanaga, A., 1970. O morfologiji i nhekotorih osobennostjah razvitija relhjefa Aluksnenskoy vozvishennosti. *Grām.* *Voprosi chetvertichnoj geologiji*, s. 4. Zinatne, Rīga, s. 77–94. (*in Russian*).
- Veinbergs, I., Krūkle, M., 1965. O genhezise holmistih i grjadovih form lhednikovogo relhjefa severnoy chasti Latgalhskoy vozvishennosti. *Grām.* Basalikas, A. (red.), *Krayevye obrazovaniya materikovikh oledeneniya*. Mintis, Viļņa, s. 73–88. (*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, s. 95. (*in Russian*).

- Walker, M., 2005. *Quaternary dating methods*. John Wiley & Sons, Ltd, 304 pp.
- Westgate, J.A., 1968. Linear sole markings in Pleistocene till. *Geology Magazine*, 105 (6), 501–505.
- Zāns, V., 1935. Glaciālās skrambas un frikcijas parādības Latvijas pamatiežos. *Grām. Geogrāfiski raksti (Folia Geographica)*, V, lpp. 63–84. (with English summary).
- Zāns, V., 1936. Leduslaikmets un pēcleoduslaikmets Latvijā. *Grām. Malta, N., Galenieks, P. (red.), Latvijas, zeme, daba un tauta*, I. Valters un Rapa, Rīga, lpp. 49–127.
- Zarrina, E.P., Krasnov, I.I., 1965. Problem of correlation of ice-marginal formations in the north-western European part of SSSR and adjoining foreign areas. In Basalikas, A. (ed.), *Krayevye obrazovaniya materikovogo oledeneniya*. Vilnius, Mintis, s. 5–21. (in Russian).
- Zelčs, V., 1987. *Raznovidnosti glacioidislokacij i ih reljefoobrazujushchaja rolh v predelah glaciodepressionnih nhizmennostei Latviji*. T107-JIa88. LVU, Rīga, 35 s (in Russian).
- Zelčs, V., 1992. The interlobate hilly area of Augstroze. In *Glaciotectonic Processes, Sediments, Landforms And Their Influence on The Present Geoecological Situation. Guide Book of Baltic Regional Summer Field Meeting of Geologists and Geomorphologists. North and Central Vidzeme, Latvia*. University of Latvia, Rīga, pp. 5–13.
- Zelčs, V., 1993. *Glaciotectonic landforms of divergent type glaciodepressional lowlands*. Dissertation work synthesis. University of Latvia, Rīga, pp. 41–71.
- Zelčs, V., 1995. Augstroze Interlobate High. In Schirmer, W. (ed.), *INQUA 1995. Quaternary field trips in Central Europe. C-3 Baltic Traverse*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munchen, Germany, pp. 164–165.
- Zelčs, V., 1997a. Reljefs. *Grām. Latvijas Dabas Enciklopēdija, 4. sēj.* Rīga, Preses nams, lpp. 234–238.
- Zelčs, V., 1997b. Glaciotectonic structures and landforms of glaciated lowlands and uplands in Latvia. In Aber, J., Beer, A. (compilers), *Central European Glaciotectonic Project Leaders and GAGE Officers Meeting, August 31 – September 5, 1997*. Kamieniec Ząbkowicki, Poland, p. 2.
- Zelčs, V., Dreimanis, A., 1997. Morphology, internal structure and genesis of the Burtņieks drumlin field. *Sedimentary Geology*, 111 (1–4), 73–90.
- Zelčs, V., Markots, A., 1999a. *Ģeoloģiskās informācijas izmantošana teritorijas attīstības plānošanā*. ZB “Zalktis”, Rīga, 123 lpp.
- Zelčs, V., Markots, A., 1999b. *Derīgie izrakteņi. 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., Šteins, V., 1989. Latvijas daba un fiziogēogrāfiskie rajoni. *Zinātne un Tehnika*, Rīga, Nr. 7.
- 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, 2003, p. 118.
- 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

Ģeoloģiskās un hidroģeoloģiskās izpētes un kartēšanas rezultātu nepublicētie pārskati un atskaites

Aleksāns, O., Ginters, G., Vilcāns, J., Kozļinskis, S., Mazajeva, T., Selivanovs, I., Stiebriņa, L., Šķiņķis, P., 1988. *Otchet o rezulhtatah kompleksnoi gidrogeologicheskoj i inženerno-geologicheskoj sjemki so sjemkoi četvertichnih otlozhenij masshtaba 1:50 000 dlha celhei melhiorativnogo stroitelhstva 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 melioraciji 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).*

Bērziņš, K., 1955. *Otchet o detalhnoy razvedke Tumuzhskogo mestorozhdenhija glhin. Latgiprogorstroj. Rīga, 130 lpp., (VĢF Inv. Nr. 404), (in Russian).*

Ginters, G., Aleksāns, O., Vilcāns, J., Degle, I., Deglis, A., Pogodina, S., Ruduka, I., Šķiņķis, P., Markovs, V., 1985. *Otchet o kompleksnoi gidrogeologicheskoj i inženernogeologicheskoj sjemke so sjemkoi četvertichnih otlozhenij masshtaba 1:50 000 dlha celhei melhiorativnogo stroitelhstva v predelah listov O-35-101-A,B,V,G (Jaunpiebalga) 1982. –1985. g.g. Rīga, 325 lpp., (VĢF Inv. Nr. 10225), (in Russian).*

Ginters, G., Aleksāns, O., Vilcāns, J., Degle, I., Deglis, A., Kozļinskis, S., Pogodina, S., Ruduka, I., Šķiņķis, P., 1986. *Otchet o kompleksnoi gidrogeologicheskoj i inženernogeologicheskoj sjemke so sjemkoi četvertichnih otlozhenij masshtaba 1:50 000 dla celhei meliorativnogo stroitelstva v predelah listov O-35-102-A,B,V,G, (Gulbene) 1983.-1986. g.g. Rīga, 1. grām., 272 lpp., (VĢF Inv. Nr. 10335), (in Russian).*

Lazdāne, A., 1963. *Vidzemes Centrālās augstienes ģeomorfoloģisks raksturojums. Disertācija ģeogrāfijas zinātņu kandidāta grāda iegūšanai. Rīga, 288 lpp.*

Mironovs, G., 1973. *Geomorfoloģiskā karta. In Mironovs, G., Tracevskis, G., Bendrupe, L., Podgurskis, V., Spudas, G., Tracevska, L., Straume, J., Otchet o glubinnom doizucheniji territoriji lhista O-35-XXVI (Cesis) Lhivanskaja GSP, 1969 – 1973 g., Rīga, piel. Nr. 9. (VĢF 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.*

Straume, J., 1973. *Geomorfoloģiskā karte. Krāj. Mironovs, G., Tracevskis, G., Bendrupe, L., Podgurskis, V., Spudas, G., Tracevska, L., Straume, J., Juškevičs, V., Brio H., Otchet o glubinnom doizucheniji territoriji lista O-35-XXVI (Cesis). Lhivanskaja GSP 1969–1973. (VĢF Inv. Nr. 9200, 9. pielikums), (in Russian).*

Uļģis, M., Ginters, G., Aleksāns, O., 1981. *Otchet o komplheksnoi gidrogeologicheskoj i inženherno-geologicheskoj sjemke so sjemkoi četvertichnikh otlozhenij masshtaba 1:50 000 dlha celheji mehiorativnogo stroitelhstva na Vidzemski vozvishennosti. Rīga, 1. grām., 158 lpp., (VĢF Inv. Nr. 9811), (in Russian).*

Uļģis, M., Ginters, G., Aleksāns, O., Stiebriņš, O., Deglis, A., Meirons, Z., Markovs, V., 1983. *Otchet o kompleksnoi gidrogeologicheskoj i inženernogeologicheskoj sjemke so sjemkoi četvertichnih otlozenij mashtaba 1:50 000 dlha celei meliorativnogo stroitelstva v predelah listov O-35-139-A,B,V,G. Tom I. Rīga, 1. grām., 280 lpp., (VĢF Inv. Nr. 10035), (in Russian).*

Zelčs, V., Markots, A., 1997. *Taurenes pagasta derīgo izraķteņu resursi un krājumi*. RSC, Rīga, 49 lpp.

Kartogrāfiskais materiāls

LR Armijas štāba Ģeodēzijas un topogrāfijas daļas 1928. – 1932. g. izdotās topogrāfiskās kartes M 1:75 000 ar horizontāļu šķēluma augstumu 2 asis (4,267 m).

LR Armijas štāba Ģeodēzijas un topogrāfijas nodaļas 1928. – 1932. g. izdotās topogrāfiskās kartes M 1:25 000 ar horizontāļu šķēluma augstumu 4 m.

PSRS MP Ģeodēzijas un kartogrāfijas galvenās pārvaldes topogrāfiskās kartes M 1:50 000 (1942. g. koord. sistēma, horizontāļu šķēluma augstums 10 m; 1983. g. izdevums)

PSRS MP Ģeodēzijas un kartogrāfijas galvenās pārvaldes topogrāfiskās kartes M 1:25 000 (1963. g. koord. sistēma, horizontāļu šķēluma augstums 5 m; 1969. – 1979. g. izdevums pēc 1951. g. rekognoscijas datiem).

PSRS MP Ģeodēzijas un kartogrāfijas galvenās pārvaldes topogrāfiskās kartes M 1:10 000 (1963. g. koord. sistēma, horizontāļu šķēluma augstums 2 m; 1976. g. izdevums pēc 1971. g. rekognoscijas datiem).

PSRS MP Ģeodēzijas un kartogrāfijas galvenās pārvaldes topogrāfiskās kartes M 1:10 000 (1942. g. koord. sistēma, horizontāļu šķēluma augstums 2 m; 1976. g. izdevums pēc 1971. g. rekognoscijas datiem).

LU ĢZZF Karšu pārlūks

TOPO 10K PSRS. *Bijušās PSRS armijas ģenerālštāba 42. un 63. gada koordinātu sistēmas topogrāfisko karšu mozaīka mērogā 1:50 000*. LU ĢZZF WMS. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv>

TOPO 25K PSRS. *Bijušās PSRS armijas ģenerālštāba 42. un 63. gada koordinātu sistēmas topogrāfisko karšu mozaīkas mērogā 1:50 000*. LU ĢZZF WMS. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv>

TOPO 50K PSRS. *Bijušās PSRS armijas ģenerālštāba 42. gada koordinātu sistēmas topogrāfisko karšu mozaīka mērogā 1:50 000*. LU ĢZZF WMS. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv>

ORTOFOTO 3. *LĢIA Latvijas 3. etapa ortofoto karšu mozaīka*. LU ĢZZF WMS. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv>

SRTM, *Shuttle Radar Topographic Mission dati*. LU ĢZZF WMS. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv>

Cits

Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras (LĢIA) Karšu pārlūks. Pieejams <http://karte.lgia.gov.lv/kartes.html>

