

DISERTATIONES GEOLOGICAE UNIVERSITATIS LATVIENSIS

NR. 14



Juris Soms

**GRAVU MORFOLOGIJA, TO VEIDOŠANĀS
UN EROZIJAS TĪKLA IZVIETOJUMA
LIKUMSAKARĪBAS DIENVIDAUSTRUMU
LATVIJĀ**

Disertācijas kopsavilkums

Doktora zinātniskā grāda iegūšanai ģeoloģijas nozarē
Apakšnozare: kvartārģeoloģija un ģeomorfoloģija

Rīga, 2010

Disertācija izstrādāta:

Latvijas Universitātes Ģeoloģijas nodaļā no 1996. gada līdz 2010. gadam

Disertācijas vadītājs:

Valdis Segliņš, *Dr. geol.*, profesors (Latvijas Universitāte)

Recenzenti:

Vitālijs Zelčs, *Dr. geol.*, LU profesors

Ojārs Āboltiņš, *Dr. habil. geol.*, LU emeritētais profesors

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

Promocijas padomes sastāvs:

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

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

Aija Dēliņa, *Dr. geol.*, docente

Laimdota Kalniņa, *Dr. geogr.*, asoc. profesore

Valdis Segliņš, *Dr. geol.*, profesors

Ivars Zupiņš, *Dr. geol.*

Padomes sekretārs:

Ģirts Stinkulis, *Dr. geol.*

Disertācija pieņemta aizstāvēšanai ar LU Ģeoloģijas promocijas padomes
2010. gada 28. jūnija sēdes lēmumu Nr. 03/2010

Disertācijas atklāta aizstāvēšana notiks LU Ģeoloģijas promocijas padomes sēdē 2010. gada
12. novembrī, Rīgā, Alberta ielā 10, Jāņa un Elfrīdas Rutku auditorijā (313. telpa).

Disertācijas kopsavilkuma izdošanu ir finansējusi Latvijas Universitāte.

Ar disertāciju 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

© Juris Soms, 2010

© Latvijas Universitāte, 2010

ISBN 978-9984-45-253-1

Satura rādītājs

IEVADS	4
Pētījuma aktualitāte	5
Pētījuma mērķis un uzdevumi	6
Pētījuma zinātniskā novitāte	7
Darba aprobācija un rezultātu realizācija	8
1. PĒTĪJUMU TERITORIJAS ĢEOGRĀFISKI ĢEOLOĢISKAIS RAKSTUROJUMS	9
2. MATERIĀLI UN METODES	12
3. REZULTĀTI UN INTERPRETĀCIJA	14
3.1. Gravu klasifikācija un morfoloģija	14
3.2. Gravu ģeotelpiskā izvietojuma īpatnības	22
3.3. Klimatiskie apstākļi kā gravu veidošanos noteicošie faktori	29
3.4. Gravu evolūcijas procesa īpatnības un ekstremālu hidroloģiski meteoroloģisko faktoru nozīme gravu attīstībā	30
4. DISKUSIJA	32
SECINĀJUMI	39
Pateicības	41
Publikāciju saraksts	42
Curriculum Vitae (CV)	45
Literatūras saraksts	102
Interneta avoti un resursi	106
Nepublicētie avoti	106

Ievads

Gravu erozijas veidotās reljefa formas pasaulē ir sastopamas gan humīda un arīda klimata apgabalos, gan ilggadīgā sasaluma zonā (Kovalev *et al.*, 2006). Kosmisko pētījumu programmu realizācija un tālzpētes tehnoloģiju attīstība ļāvusi atklāt gravas arī uz Marsa un citu planētu un to pavadoņu virsmas (Christensen, 2003). Minētais liecina, ka gravu erozija ir ļoti nozīmīgs denudācijas, fluviālās cilmes reljefa attīstības un ainavvides pārveidošanās eksogēnais ģeoloģiskais process.

Tajā pašā laikā gravu attīstība ir saistīta ar paātrinātu augsnes eroziju un lauksaimniecībā izmantojamo zemes platību degradāciju, tādējādi daudzās valstīs gravu erozija tiek ierindota starp citiem vides apdraudējumiem (Valentin *et al.*, 2005). Vienlaicīgi gravu erozija negatīvi ietekmē vidi arī ārpusbaseina teritorijās, kur tās sekas izpaužas kā augsnes izskalošanas produktu, galvenokārt suspendētā materiāla un biogēnu pārneses izraisīti pastiprinātie sedimentācijas un eitrofikācijas procesi uztverošajās ūdenstilpēs un ūdenstecēs (Poesen *et al.*, 2003; Wu *et al.*, 2008). Turklāt, lineārās erozijas produktu pārnesi no gravu sateces baseiniem ir arī ietekme uz ūdens kvalitāti, kas saistīts ar piesārņojošo vielu, t.i., biogēnu un ķīmiskā piesārņojuma pieplūdi uztverošajos virszemes ūdens objektos (Valentin *et al.*, 2005; Quilbé *et al.*, 2006). Ņemot vērā, ka ūdens kvalitātes saglabāšana ir viena no nopietnākajām problēmām visā pasaulē, kā arī Eiropas Savienības Ūdens struktūrdirektīvas prasības (OJEC, 2000) par ūdens kvalitātes saglabāšanu un uzlabošanu Eiropas Savienības dalībvalstīs, ir būtiski izprast ūdens izraisītās lineārās erozijas aktivizācijas palaidēj mehānismus (angl. *triggering mechanisms*) un ierobežot erozijas risku, tādējādi samazinot ķīmiskā piesārņojuma pārnesi no maziem, zemākās pakāpes ūdensguves baseiniem.

Augstāk minēto iemeslu dēļ gravas kā reljefa formas un to veidošanās un attīstības procesi arvien vairāk piesaista zinātnieku un praktiķu uzmanību. Gravu erozijas jautājumu pētījumiem pasaulē pēdējā desmitgadē tiek veltīta arvien lielāka vērība, par ko liecina pieaugošais publikāciju un nozīmīgu starptautisku konferenču skaits (Valentin *et al.*, 2005). Tas saistīts gan ar nepieciešamību zinātniski izvērtēt gravu erozijas procesa cēloņsakarības un potenciālos turpmākās norises scenārijus klimata globālo izmaiņu kontekstā, gan vitālu nepieciešamību saglabāt ūdens un augsnes resursus kā galveno priekšnoteikumu iespējai nodrošināt ar pārtiku strauji pieaugošo cilvēku skaitu (Nikodemus *et al.*, 2008).

Tomēr vairumā gadījumu gravu erozijas pētījumi ir fokusēti uz cilvēka darbības izraisītu lineārās erozijas norisi un tās sekām lauksaimnieciski izmantojamās zemes platībās, līdzšinēji mazāk vērības piegriezts ar veģetāciju klātajos

apgabalos esošā un mantotā gravu erozijas reljefa izpētei (Vanwalleghem *et al.*, 2003; Smolska, 2007) un gravu tīkla veidošanās paleoģeogrāfiskajām rekonstrukcijām (Dotterweich, 2005).

Gravas kā reljefa formas plaši ir izplatītas arī Latvijā, tomēr jāatzīst, ka īslaicīgu ūdensplūsmu izraisītās lineārās erozijas norises likumsakarības, kā arī tās rezultātā veidotās reljefa formas, to ģenēze un izvietojuma likumsakarības, morfometrija un morfoloģija gan Latvijā kopumā, gan tās DA daļā ir izpētītas vāji un trūkst plašu, kompleksu ģeoloģisku un ģeomorfoloģisku pētījumu par šo reljefa formu grupu (Soms, 2006).

Šajā disertācijā atspoguļoti autora veiktie pētījumi tajos virzienos, kuri līdz šim Latvijā nav apskatīti pietiekami detalizēti vai nav tikuši apskatīti vispār, galveno uzmanību fokusējot uz gravu morfoloģiju, to veidošanās apstākļiem un ietekmējošiem faktoriem, kā arī gravu tīkla ģeogrāfiskā izvietojuma likumsakarībām. Pētījumam izvēlēta teritorija, pateicoties tās reljefa iezīmēm, ģeoloģiskajai uzbūvei, klimatam un citiem dabas faktoriem, kā arī mozaīkveida ainavīdei, ko noteikusi ilgstoša cilvēka ietekme uz vidi un lauksaimnieciskā darbība dienvidaustrumu Latvijā, neapšaubāmi ir piemērota šādu pētījumu veikšanai.

Pētījuma aktualitāte

Gravu erozijas procesa un ar to saistīto reljefa formu izpēte pasaulē un Latvijā ir būtiska un aktuāla vairāku iemeslu dēļ, respektīvi,

- (1) ir jānoskaidro ģeoloģiskās un ģeomorfoloģiskās likumsakarības, kuras nosaka gravu erozijas procesa norisi un erozijas reljefa formu veidošanos, telpisko izvietojumu un morfoloģiju;
- (2) jāiegūst zinātniski pamatoti dati par esošajiem erozijas tempiem un erozijas produktu pārnese apjomiem no augstākiem hipsometriskajiem līmeņiem uz zemākajiem, kā arī par šo procesu potenciālās intensifikācijas iespējamību klimata mainības kontekstā;
- (3) jāveic gravu erozijas veidotā reljefa kā būtiska paleoģeogrāfiskās informācijas avota izpēte;
- (4) jānoskaidro erozijas procesu tiešās un netiešās ietekmes uz vidi;
- (5) jānosaka gravu erozijas reljefa loma ainavīdes dažādības un bioloģiskās daudzveidības izveidē.

Iepriekšēji apskatītajiem jautājumiem Latvijā līdz šim nav tikusi pievērsta atbilstoša uzmanība un kopumā gan gravu erozijas determinējošu faktoru izpētei, gan gravu erozijas reljefa pētījumiem veltītas tikai dažas zinātniskās publikācijas. Līdz ar to patlaban Latvijā esošais zinātniski pamatotas informācijas trūkums

neļauj izvērtēt gravu erozijas atjaunošanās un pastiprināšanās risku globālās klimata mainības un tās izraisītas meteoroloģisko faktoru variabilitātes ietekmē, lai gan klimata pārmaiņu izraisīto bīstamo ģeomorfoloģisko procesu un to iespējamo seku novērtēšanai ir veltīti daudzi reģionāli un plašāka konteksta pētījumi.

Gravu erozijas procesa un tā seku pētījumi, ņemot vērā klimata mainības modeļu prognozētās nokrišņu sezonālā sadalījuma un intensitātes izmaiņas Baltija reģionā, ir īpaši aktuāli arī augsnes un ūdens resursu saglabāšanas, ilgtspējīgas attīstības un teritoriju telpiskās plānošanas kontekstā.

Disertācijas pētījumu aktualitāte ir arī saistīta ar vairākiem zinātnes teorētiskajiem un lietišķajiem aspektiem fluviālajā ģeomorfoloģijā un eksogēno procesu ģeoloģijā, t.i., gravu erozijas veidotājprocesu un ietekmējošo faktoru identificēšanā, lineārās erozijas formu klasifikācijā, holocēna paleoģeogrāfiskās situācijas modelēšanā un interpretācijā, ģeoloģiskā riska karšu sastādīšanā un uzlabošanā, kā arī metodisko ieteikumu izstrādē telpiskās plānošanas darbu veikšanai.

Pētījuma mērķis un uzdevumi

Disertācija tematiski atbilst fluviālās ģeomorfoloģijas pētījumu virzienam un ir veltīta lineāro eroziju izraisīto un ietekmējošo faktoru noskaidrošanai un ar šo procesu saistīto reljefa formu ģenēzes un morfoloģijas pētījumiem mūsu valsts dienvidaustrumu daļas augstieņu teritorijās un Daugavas senielejā.

Disertācijas mērķis ir noskaidrot gravu veidošanās, attīstības un erozijas tīkla telpiskā izvietojuma likumsakarības dienvidaustrumu Latvijā, balstoties uz periodisko ūdensplūsmu lineārās erozijas veidotā reljefa ģeomorfoloģisko un ģeoloģisko pētījumu rezultātiem.

Darba galvenie uzdevumi, kuri tika izvirzīti mērķa sasniegšanai, ir sekojoši:

- (1) veikt gravu erozijas veidotā reljefa pētījumus lauka apstākļos Latvijas dienvidaustrumu daļā, nosakot gravu morfoloģiju un morfometriskos parametrus, kā arī izpētīt gravās notiekošos eksogēnos ģeoloģiskos procesus;
- (2) noskaidrot dabiskos un antropogēnos faktorus, kuri nosaka gravu erozijas reljefa attīstību;
- (3) veikt pētījumu datu matemātisko analīzi un ģeotelpisko analīzi;
- (4) novērtēt gravu erozijas apjomus laiktelpiskā griezumā un ar to saistītās denudācijas ātrumu;

- (5) izpētīt gravu izvietojuma un veidošanās apstākļu saistību ar pētāmās teritorijas ģeoloģisko uzbūvi, reljefu, klimatiskajiem apstākļiem, veģetāciju un cilvēka saimniecisko darbību;
- (6) noteikt aprakstīto gravu ģenēzi un novērtēt iespējamo to veidošanās laiku;
- (7) analizēt gravu erozijas veidoto reljefu kā ainavvides un ekosistēmu komponentu, un būtisku paleoģeogrāfiskās informācijas avotu;
- (8) prognozēt erozijas procesu atjaunošanās un attīstības iespējamību, kā arī šo procesu sekas klimata mainības kontekstā.

Pētījuma zinātniskā novitāte

Disertācijā ir atspoguļoti gravu erozijas reljefa ģeoloģisko un ģeomorfoloģisko lauka pētījumu rezultāti, kā arī sniegts lineārās erozijas procesu ietekmējošo faktoru un gravu ģeogrāfiskā izvietojuma īpatnību raksturojums. Šāda rakstura gravu ģenēzes, to veidošanās laika, morfoloģijas un izvietojuma likumsakarību kompleksi pētījumi līdz šim nedz dotajā teritorijā, nedz Latvijā nav veikti. Tādējādi tiek papildināti ģeoloģisko un ģeomorfoloģisko pētījumu rezultāti Baltijas valstīs un Ziemeļeiropā par gravu erozijas veidoto reljefu, vienlaicīgi disertācijā ietvertie pētījumi ir nozīmīgi arī pēdējā apledošanas (Baltijas, Vislas) skartās Eiropas teritorijas daļas holocēna posma reljefa veidotājprocesu un ietekmējošo faktoru noskaidrošanai.

Izstrādājot disertāciju, pirmo reizi veikta lineārās erozijas tīkla ģeotelpiskā analīze un noskaidrotas gravu izvietojuma un gravu tīkla telpiskās organizācijas likumsakarības DA Latvijā, izveidota gravu morfoģenētiskā klasifikācija, noskaidrota gravu morfometrisko parametru savstarpējā matemātiskā sakarība, veikta gravu veidošanās un attīstību noteicošo faktoru detaļa analīze, raksturotas efemērās gravas, aprēķināti nokrišņu erozivitāti raksturojošie indeksi, iegūti dati par proluviālo nogulumu uzkrāšanās un gravu aizpildīšanās ātrumiem to atmiršanas stadijā, kā arī iegūti dati starpnozaru (ģeoeoloģiskā) griezumā par bioloģiskās daudzveidības un aizsargājamo biotopu saistību ar gravu erozijas reljefu. Šajā darbā pirmo reizi uz ^{14}C akselerācijas masu spektrometrijas (angl. *accelerator mass spectrometry* jeb *AMS*) metodes datējumu pamata ir iegūta informācija par gravu vecumu DA Latvijā, kas ir ļoti būtiski, veicot paleoklimatiskās, paleohidroloģiskās un paleoģeogrāfiskās rekonstrukcijas gan šajā reģionā, gan Latvijā kopumā. Promocijas darbā pirmo reizi dots arī latviskais tulkojums un skaidrojums jēdzieniem, kuri ir tieši saistīti ar gravām kā reljefa formām un gravu eroziju kā ģeoloģisko procesu. Tādējādi veiktais pētījums var kalpot par pamatu turpmākajiem gravu erozijas veidotā reljefa un ar to saistīto procesu pētījumiem Latvijā un plašākā reģionā.

Darba aprobācija un rezultātu realizācija

Pētījuma rezultāti ir publicēti 11 zinātniskās publikācijās, no kurām 4 ir publicētas starptautiskos gravu erozijai veltītos zinātnisko rakstu krājumos un citējamos žurnālos un ir pieejamas šo periodisko izdevumu datubāzēs, 3 zinātniskie raksti ir iesniegti un pieņemti publicēšanai LU rakstu krājumā *Acta Universitatis Latviensis: Zemes un vides zinātņu sērija*, viens zinātniskais raksts ir iesniegts un pieņemts recenzēšanai žurnālā *Landform Analysis* (skat. publikāciju sarakstu 42. lpp).

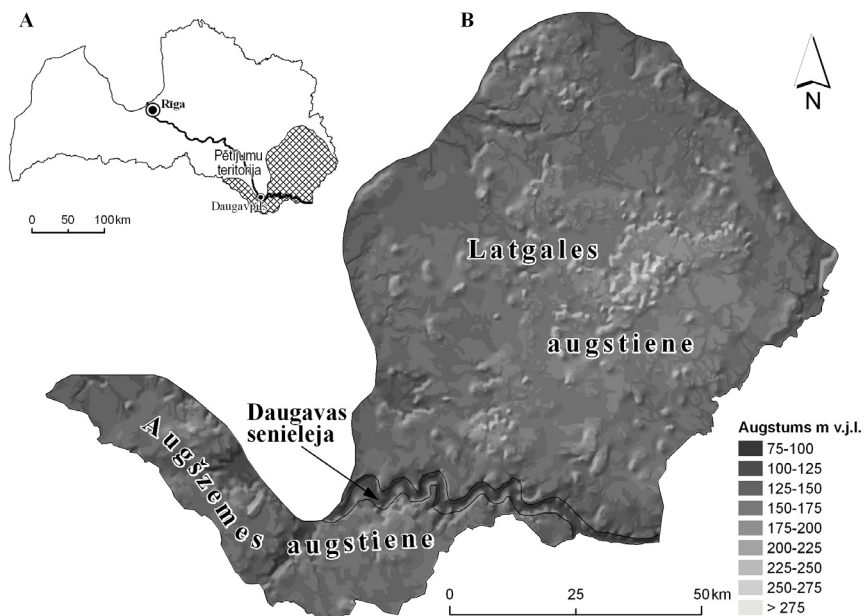
Disertācijā atspoguļotie pētījumu rezultāti ir apbēti un diskutēti, uzstājoties ar referātiem 17 starptautiskās zinātniskās konferencēs un simpozijos, kā arī iepazīstinot zinātnisko sabiedrību ar pētījumu rezultātiem ģeomorfoloģijā un kvartārģeoloģijā, laikā no 1996. līdz 2010. gadam piedaloties 25 konferencēs Latvijā, kur individuāli vai kopā ar līdzautoriem nolasīti 47 referāti par promocijas darba tematiku.

Promocijas darba pētījumu rezultāti, iegūtās kompetences un zināšanas tika izmantotas Daugavpils Universitātē realizētās bakalaura studiju programmas „Vides zinātne” studiju kursu „Vispārīgā ģeoloģija”, „Ģeomorfoloģija”, „Latvijas dabas ģeogrāfija” docēšanā, kā arī sagatavojot atsevišķas lekcijas studiju kursā „Vides ģeomorfoloģija” Latvijas Universitātes ĢZZF maģistra studiju programmu studentiem.

Pētījumos plaši tika iesaistīti arī studējošie, kuri izstrādājot savus bakalaura darbus, apguva fluviālās ģeomorfoloģijas lauka pētījumu un ģeotelpiskās analīzes metodes un paņēmienus, kā arī ieguva tālākai akadēmiskai un profesionālai izaugsmei tik ļoti nepieciešamās patstāvīguma, korektas zinātniskas metodoloģijas lietošanas un kritiskās iegūto datu izvērtēšanas iemaņas.

nogulumu, kuros var veidoties un attīstīties gravu erozijas tīkls, galvenokārt ir pleistocēna beigu posma glaciģēnie, glaciofluviālie un glaciolimniskie nogulumu. Līdz ar to, gravām iegrauzoties dziļumā, nevar tikt sasniegti Amatas un Gaujas svītas teriģēnie nogulumieži, tādējādi erozijas tīkla attīstībai nav tik labvēlīgi apstākļi, kādi vērojami, piemēram, Gaujas senielejā, kur gravas ātri iegrauzas smilšakmeņos, kas atrodas zem salīdzinoši plāna pārsedzoša kvartāra iežu slāņa (Venska, 1982).

Gada vidējais nokrišņu daudzums svārstās robežās no 650 līdz 730 mm ar maksimumu Latgales augstienes DR nogāzē, dienu skaits gadā ar nokrišņiem 100 līdz 120 d a⁻¹. Intensitātes vai izkritušā nokrišņu daudzuma ziņā ekstremālu nokrišņu ar augstu erozijas potenciālu (> 20 mm d⁻¹) atkārtotā biežums ir 10 līdz 12 gadi, taču 5% vai 2% nodrošinājuma lietusgāzu laikā var izkrist attiecīgi 55 līdz 72 mm d⁻¹ (Spravochnik po klimatu SSSR, 1968; LVĢMC, 2009). Ņemot vērā, ka nokrišņu daudzuma sadalījuma ziņā maksimumi attiecas uz jūliju un augustu, kad raksturīgas īslaicīgas, bet intensīvas lietusgāzes, jāsecina, ka pētījumu teritorijas ietvaros pastāv nepieciešamie klimatiskie priekšnoteikumi lineārās erozijas procesu norisei, tajā skaitā gravu attīstībai.



1. attēls. Pētījumu teritorijas novietojums (A) un digitālais zemes virsmas modelis (B). Virsmas modeļa izveidei izmantots SIA „Envirotech” ģeodatubāzes „GIS Latvija” izolīniju (griezuma augstums 25 m) tematiskais slānis.

Tādējādi ģeomorfoloģisko faktoru (nogāžu forma, slīpums un garums), ģeoloģiskās uzbūves (viegli erodējami ledāja vai ledājukušanas ūdeņu augšpleistocēna nogulumi) un klimatisko faktoru (nokrišņu daudzums un intensitāte, sniega kušanas intensitāte u.c.) summa ir radījusi atbilstošu fizioģeogrāfisko vidi gravu erozijas procesu norisei pētījumu teritorijā. Tā kā dienvidaustrumu Latvijā vienkopus ir ģeogrāfiski lokalizēti ģenēzes un morfoloģijas ziņā atšķirīgi reljefa lielformu un vidējformu kompleksi, kuros dabisku un antropogēno faktoru mijiedarbības ietekmē daudzviet izveidojušās gravas, tā ir viena no piemērotākajām teritorijām minēto pētījumu veikšanai Latvijā un, iespējams, arī Baltijas valstīs. Jāatzīmē arī, ka saskaņā ar esošajiem pētījumiem par deglaciācijas gaitu Latvijā (Zelčs and Markots, 2004), tieši mūsu valsts DA daļas augstienes bija tās teritorijas, kuras pleistocēna beigu posmā visagrāk kļuva brīvas no Vislas apledojuma perifēriālās segas apmēram 14–12 ka BP (Lundqvist and Saarnisto, 1995), tādējādi tās visilgāk ir atradušās subaerālos apstākļos un to reljefs atspoguļo leduslaikmeta beigu posmā un holocēnā notikušo erozijas procesu senākās iezīmes.

2. Materiāli un metodes

Disertācijā izklāstītie rezultāti balstās uz oriģināliem datiem, kas tika iegūti, organizējot vairāk nekā 140 ekspedīcijas un veicot pētījumus laika posmā no 1996. gada līdz 2009. gadam. Veicot nospraustus uzdevumus, datu ieguvei un to analīzei tika izmantotas dažādas metodes un pētījumu tehnikas. Kopumā kompleksais pētījumu metožu pielietojums ļāva kvalitatīvi un kvantitatīvi raksturot gravu morfoloģiju un noskaidrot to veidošanās un ģeogrāfiskā izvietojuma likumsakarības izvēlētajā pētījumu teritorijā, un tādējādi papildināt gan Latvijas, gan citu valstu zinātnieku veikumu par gravu erozijas veidoto reljefu Baltijas valstīs, Eiropā un pasaulē.

Ģeoloģiskās informācijas apkopošana un analīze tika veikta, izmantojot ekspedīciju atskaites, ģeoloģiskās un inženierģeoloģiskās kartes, kuras atrodas Valsts ģeoloģijas fonda daļā, Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrā. Klimatisko faktoru nozīmes noskaidrošanai tika veikta pētījumu teritoriju raksturojošo klimatisko datu analīze, izmantojot publicētās atmosfēras nokrišņu daudzgadīgo vidējo ikmēneša un gada datu rindas (Spravochnik po klimatu, 1968; LVĢMC, 2009) 28 novērojumu punktiem, kuri izvietoti pētījumu teritorijā vai tiešā tās tuvumā. Klimatisko datu apkopošanai izvēlēto punktu ģeogrāfiskā sadalījuma pētījumu teritorijā normalitāte tika novērtēta ar ģeotelpiskās analīzes metodēm (Mitchell, 1999; de Smith *et al.*, 2007). Atlasītie dati tika apkopoti MS Excel datu bāzē „GRAVAS_METEODATI” un tika izmantoti nokrišņu erozivitātes raksturlielumu – Furnjē indeksa *FI* (Fournier, 1960), modificētā Furnjē indeksa *MFI* (Arnoldus, 1977) un nokrišņu koncentrācijas indeksa *PCI* (Oliver, 1980) noteikšanai.

Liela mēroga kartogrāfiskais materiāls, t.i., bijušās PSRS Armijas Ģenerālštāba topogrāfiskās kartes M 1 : 10 000 un M 1 : 25 000 tika izmantotas, lai 1) saskaņā ar horizontāļu zīmējuma interpretācijas metodi (Strahler, 1957 un Morisawa, 1957 modificēts pēc Bauer, 1980) identificētu gravu erozijas reljefa formas pētījumu teritorijā; 2) noskaidrotu atsevišķus gravu morfometriskos parametrus; 3) novērtētu gravu tīkla attīstības gaitu un dinamiku laiktelpiskā griezumā.

Lauka ekspedīcijās *in situ* tika veikta detalizētiem pētījumiem izvēlēto gravu apsekošana un izpēte. Gravu morfometrisko parametru, t.i., gravu platuma GW_t (m), gultnes platuma GW_b , dziļuma GD , un nogāžu slīpuma α° mērījumi, kā arī gravu šķērsprofilu un garenprofilu uzmērīšana tika veikta saskaņā ar standartmetodēm ģeomorfoloģijā (Young *et al.*, 1974; Goudie *et al.*, 1998).

Gravu izneses konusus esošo proluviālo nogulumu granulometriskā sastāva analīze tika veikta standartizētās procedūras gaitā (Goudie *et al.*, 1998)

un iegūtie dati tika statistiski analizēti saskaņā ar fluviālo nogulumu granulometriskajā analizē plaši izmantojamām metodēm (Folk and Ward, 1957; Kondolf *et al.*, 2003).

Paraugi palinoloģiskajām analizēm tika ievākti saskaņā ar standartizētām prasībām (Moore *et al.*, 1991), sporu-putekšņu sastāvs tika noteikts LU ĢZZF Kvartārvides laboratorijā. Zem proluviālajiem nogulumiem apraktas koksnes ^{14}C datēšana tika veikta Radiooglekļa laboratorijā Erlangenas Universitātē, Vācijā ar akselerācijas masu spektrometrijas (angl. *accelerator mass spectrometry* jeb *AMS*) metodi. Saņemtie dati par paraugu absolūto vecumu, tika koriģēti pēc $\delta^{13}\text{C}$ pie 25‰, un kalibrēti ar *Calib 5.0* datorprogrammu (Stuiver and Reimer, 1993), lai veiktu pārrēķinu uz kalendārajiem gadiem un noteiktu apraktās koksnes vecumu. Relatīvi nesen aprimušu gravu un nogāžu procesu aktivizēšanās periodu datēšanai tika izmantotas dendroģeomorfoloģijas metodes (Alestalo, 1971; Vandekerckhove *et al.*, 2001).

Pētījumos plaši tika izmantotas ģeomātikas metodes, kas ietvēra globālās pozicionēšanas sistēmas (GPS) iekārtu, lāzernivelēšanas iekārtu un ģeogrāfiskās informācijas sistēmu (ĢIS) programmatūras izmantošanu. Ģeotelpiskās analīzes veikšanai tika izmantots *ESRI ArcGIS 9.3* datorprogrammas komplekss.

3. Rezultāti un interpretācija

Disertācijā ietvertie rezultāti atspoguļo gravu erozijas reljefa ģeoloģisko un ģeomorfoloģisko lauka pētījumu datus un kamerāli veiktās ĢIS ģeotelpiskās un statistiskās analīzes datus, uz kuru pamata ir noskaidrotas gravu veidošanās, attīstības un erozijas tīkla telpiskā izvietojuma likumsakarības dienvidaustrumu Latvijā. Kopumā pētījumu rezultāti ļauj izveidot lineārās erozijas formu klasifikāciju un izdalīt dienvidaustrumu Latvijā sešus gravu morfoģenētiskos tipus.

Gravu tīkla apveidu detalizētu pētījumu rezultāti raksturo lineārās erozijas formu ģeogrāfiskā izkārtojuma īpatnības trijās izvēlētās etalonteritorijās: plato-veida pauguru izplatības apgabalā Latgales augstienes ziemeļu daļā, upju ieleju un ielejveida pazeminājumu nogāzēs dienvidaustrumu Latvijā un subglaciālajās iegultnēs Latgales augstienē un Augšzemes augstienē.

Pētījumos iegūtie rezultāti par proluviālo nogulumu biezumu un to uzkrāšanās ātrumu, kā arī sporu–putekšņu analīzes, organiskā materiāla datējumi ar radioaktīvā oglekļa metodi un gravu veidošanās paleohidroloģisko apstākļu modelēšana liecina par gravu tīkla lielāko elementu veidošanos dabisko faktoru ietekmē, pirms lidumu zemkopības un intensīvas antropogēnās ietekmes perioda.

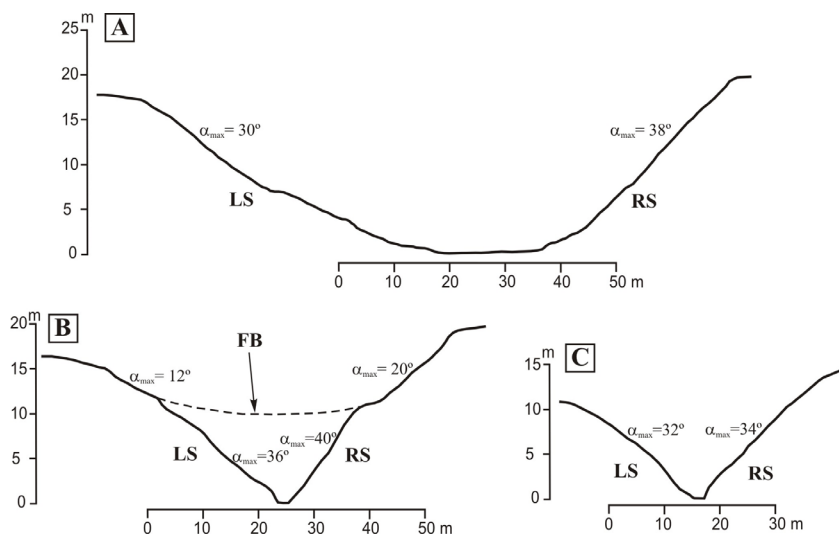
3.1. Gravu klasifikācija un morfoloģija

Latvijā līdz šim nav veikta gravu kā reljefa formu sistematizācija un nav izstrādāta to tipoloģija, līdz ar to visas gravas ir ierindotas fluviālās reljefa grupas īslaicīgo ūdens straumju veidotā reljefa apakšgrupā (Zelčš, 1997). Tomēr, ņemot vērā, ka gravu erozijas tīklu veido dažāda lieluma un ārējā apveida, atšķirīga vecuma un ģenēzes lineārās erozijas veidojumi, disertācijā tika veikta gravu morfoģenētiskā sistematizācija pēc vairākiem kritērijiem, t.i., pēc morfoloģiskām (morfometriskām un morfogrāfiskām) pazīmēm, vecuma un izcelšanās. Atbilstoši gravu novietojumam attiecībā pret mezoreljefa formām, gravu morfoloģijai, to ģenēzes īpatnībām un attīstības stadijas iezīmēm, dienvidaustrumu Latvijā pētījumu gaitā apsekotās gravas tika iedalītas sekojošos morfoģenētiskajos tipos: tipiskās gravas, nogāžu gravas, gravveida ielejas, karengravas, avotcirkus gravas un efemērās gravas.

Tipiskās gravas. Tipiskām gravām kopīgā morfoloģiskā iezīme ir to gultnes novietojums attiecībā pret nogāzi, uz kuras gravas ir veidojušās. Respektīvi, tipisko gravu augšteces, regresīvās erozijas procesa gaitā pagarinoties pa nogāzi uz augšu, ir tālu iesniegušās nogāzei piegulošajā teritorijā. Tādējādi mūsdienās tipiskām gravām lielākā daļa no to gultņu garuma ($>50\%$ no L_{gr}) atrodas ārpus nogāzes un tām ir morfoloģiski labi izteikti pastāvīgi ūdensguves baseini, kas

drenē hipsometriski augstāk novietotas teritorijas. Tas ļauj šīs gravas ierindot hidroloģiski saistīto formu grupā (angl. *continuous gullies*). Šī morfoģenētiskā tipa gravām raksturīgā hidroloģiskā saistība nodrošinājusi nokrišņu un sniega kušanas ūdeņu koncentrēšanos gravu gultnēs un ilgstošu erozijas procesu norisi, kā rezultātā gravas ir ieguvušas ievērojamu dziļumu, kas parasti pārsniedz 10 m, un vairākus simtus metru vai pat dažu kilometru garumu. Disertācijā izklāstīto pētījumu gaitā noskaidrots, ka šī morfoģenētiskā tipa gravas ir visbiežāk sastopamais gravu veids dienvidaustrumu Latvijā.

Lai gan visām tipiskām gravām ir raksturīgs ievērojams dziļums, platums un garums, kā arī gultnes lielākās daļas novietojums ārpus nogāzēm, uz kurām gravas ir veidojušās, tomēr, vadoties no gravu šķērsgaruma formas un gravu attīstības stadijas morfoloģiskām iezīmēm, šajā tipā var sīkāk izdalīt U-veida vai trapecveida tipiskās gravas jeb sengravas un vecgravas (2. att. A), U+v veida tipiskās gravas jeb saliktas ģenēzes tipiskās gravas (2. att. B) un V-veida tipiskās gravas (2. att. C).



2. attēls. Tipisku gravu šķērsgarumi: U-veida tipiskās gravas jeb sengravas šķērsgarums (A), U+v veida tipiskās gravas jeb saliktas ģenēzes tipiskās gravas šķērsgarums (B) un V-veida tipiskās gravas šķērsgarums (C).

LS = kreisā nogāze; RS = labā nogāze; FB = iepriekšējais gultnes līmenis;
 α_{\max} = uzņēmētā šķērsgaruma maksimālais nogāzes slīpums

U-veida tipiskās gravas pētījumos tika konstatētas gan Latgales augstienē, gan Augšzemes augstienē, tomēr morfoloģiski izteiksmīgākās un izmēru ziņā

iespaidīgākās šī tipa formas ir lokalizētas Daugavas senielejā. Paleohidroloģisko apstākļu modelēšanas un aprēķinu rezultāti liecina, ka holocēnā klimatisko faktoru ietekmē tāda apjoma noteces veidošanās, kas varētu izraisīt vairāk nekā 20 m dziļu un vairāk nekā 50 m platu gravu veidošanos ir ļoti maz ticama. Tādējādi, iespējams, ka garo un dziļo lineārās erozijas formu veidošanās saistīta ar ledāja kušanas ūdeņu straumju erodējošo darbību leduslaikmeta beigu posmā, kad no augstieņu apvidiem pēkšņu uzplūdienu veidā uz Daugavas senieleju noplūda lokālu sprostezeru ūdeņi. Attiecīgi autors ierosina šādu augšpleistocēna formu apzīmēšanai lietot terminu "sengrava". Atšķirībā no sengravām, tipisku gravu apzīmēšanai to attīstības atmiršanas stadijā, kad to gultne ir daļēji aizpildīta ar proluviālajiem nogulumiem, šķērsprofils ieguvis trapecveida formu un nogāzes sedz veģetācija, būtu jālieto termins „vecgrava”.

U+v veida tipiskās gravas jeb saliktas ģenēzes tipiskās gravas, balstoties uz tām raksturīgo šķērsprofila formu (2. att. B), varētu saukt arī par „gravām U-veida gravu gultnēs”. Saliktas ģenēzes gravas ir lieli lineārās erozijas poliģenētiski veidojumi ar komplicētu morfoloģiju, kur plašā, izstieptā U-veida pazeminājumā, vecgravā vai sengravā ir izveidojies jaunāks V-veida iegrauzums. Terasēti, salikti gravu šķērsprofili apliecina klimatisko faktoru un antropogēnās ietekmes izraisītu vairāku erozijas ciklu norisi un jaunāku gravu veidošanos jau atmirušās gravās vai izstieptās ieplakās. Pirmajā gadījumā, t.i., klimatisko faktoru ietekmē, šāda tipa gravu veidošanās ir saistīta ar erozijas aktivizāciju ekstrēmās hidrometeoroloģiskajos apstākļos. Savukārt cilvēka ietekme uz ūdens izraisītās erozijas aktivizēšanos Latgales un Augšzemes augstienēs saistāma ar lauksaimniecisko darbību un galvenokārt ar nepārdomātiem meliorācijas pasākumiem, kad grāvji vai slēgtās meliorācijas sistēmas kolektori tika novadīti jau atmirušās gravās. Šī tipa gravu nogāžu slīpums α palielinās virzienā no nogāzes krotas uz gravas gultni, pie kam gan šķērsprofila uzmērīšanas laikā, gan vizuāli šādās gravās tika konstatēti lūzuma punkti uz nogāzēm. Autora veiktajos lauka pētījumos konstatēts, ka augšpus šādiem lūzuma punktiem slīpums ir robežās no 12° līdz 18°, savukārt lejpus tas strauji pieaug un bieži vien pārsniedz 35°. Tas, ka nogāžu slīpums pārsniedz glaciģenajiem nogulumiem raksturīgo dabisko nobiru leņķi, ir skaidrojams ar mitro nogulumu augstāku kohēziju, kā arī ar veģetācijas klātbūtni gravu nogāzēs.

Trešais no tipisku gravu veidiem, t.i., V-veida tipiskās gravas, līdzīgi kā sengravas, vecgravas un saliktas ģenēzes gravas, ir lielas, hidroloģiski saistītas erozijas formas, taču tām ir raksturīgi mazāki morfometriskie parametri, nekā pirmajiem diviem veidiem. V-veida gravu garums svārstās 150 līdz 400 m robežās, taču, atšķirībā no sengravām un saliktas ģenēzes gravām, tās nesasniedz 1–2 km garumu. Tās ir salīdzinoši seklākas (5 līdz 15 m), ar izteiktu V-veida šķērsprofilu (2. att. C), un šī tipa gravās bieži novērojami gravigēnie nogāžu

procesi – noslīdeņu un noplūdeņu veidošanās. Sānu erozijas un nogāžu procesu norise izskaidro arī šī veida gravu nogāžu lielo slīpumu ($\alpha > 30\text{--}35^\circ$), kas pārsniedz dabisko nobiru leņķi. Atšķirībā no Rietumeiropā aprakstītajām klasiskajām gravām (Poesen *et al.*, 2003), dienvidaustrumu Latvijā V-veida gravas, ar retiem izņēmumiem, ir ar laukakmeņu klātām gultnēm. Šāda perluviāla materiāla uzkrāšanās V-veida gravu gultnēs izskaidrojama ar erozijas norisi akmeņainos augšpleistocēna nogulumos un pelītu un psammītu frakciju izskalošanu, kā rezultātā gravu gultnēs uzkrājušies rupjie drupu ieži – laukakmeņi, oļakmeņi un oļi.

Nogāžu gravas. Nogāžu gravu raksturīgā morfoloģiskā pazīme ir to izvietojums attiecībā pret nogāzēm, uz kurām tās ir veidojušās, un šo gravu morfometrija. Atšķirībā no tipiskām gravām, nogāžu gravas hidroloģiski nesaista hipsometriski augstāk novietoto teritoriju un lokālo erozijas bāzes līmeni, tātad tās ir hidroloģiski nesaistītās gravas (angl. *discontinuous gullies*). Gravu gultne ir lokalizēta tikai uz nogāzes, uz kurās tā veidojusies, vai arī tās augštece šķēļ nogāzes kroti, taču atšķirībā no tipiskajām gravām, tikai mazākā daļa gravas ($< 25\%$ no L_{gr}) izvietojusies ārpus nogāzes un grava tālu neievirzās nogāzei pieguļošajā teritorijā. Pētījumi parāda, ka nogāžu gravu garums svārstās dažu desmitu (30–80 m), retāk pirmo simtu (100–150 m) metru robežās un tās parasti ir seklas ($GD < 5$ m).

Pētījumu teritorijā iegūtie rezultāti parāda, ka nogāžu gravu veidošanās process var norisināties gan antropogēni inducētu, gan arī dabisku mikroreljefa un augu segas izmaiņu determinētu noteces vietu pārdislokāciju ietekmē. Pirmajā gadījumā tieši antropogēnā reljefa mikroformas, piemēram, arumi, ceļa virsmas padziļinājumi, nodrošina primāro ūdensplūsmu koncentrēšanos maksimāli izveidotos ievalkos un izskalojumvagu attīstības sākumu. Cilvēka turpmākās saimnieciskās darbības gaitā, galvenokārt zemes apstrādes ceļā, mainot šādu lineāru elementu izvietojumu un orientāciju, tiek novērsta to tālāka attīstība. Taču esošajā erozijas mikroformu tīklā nonākot lielam nokrišņu ūdens (ekstrēmas lietusgāzes gadījumā) vai sniega kušanas ūdeņu daudzumam (ļoti straujas kušanas gadījumā, ja saglabājusies bieza sniega sega), tas var izraisīt strauju gravas attīstību uz nogāzes.

Neskatoties uz to, ka tipomorfos gadījumos nogāžu gravas neilgi pēc to izveidošanās aprimst, tomēr autora veiktie pētījumi parāda, ka atsevišķos gadījumos, cilvēka darbības ietekmē, līdz ar nogāžu agrotehnisko apstrādi vai koncentrējot noteci meliorācijas sistēmu novadgrāvjos vai kolektoros un ievadot tos nogāžu gravu augštecē, intensificējas regresīvā erozija un nogāžu gravu virsotne ievirzās dziļāk nogāzei pieguļošajā teritorijā. Tādējādi grava, iegūstot pastāvīgu ūdensguves baseinu, kļūst par hidroloģiski saistītu un sāk strauji attīstīties, pārvēršoties par tipisku gravu.

Gravveida ielejas. Atsevišķās tipiskajās gravās, norisinoties dziļumerozijas procesam un gravu gultnēm iegrauzoties augšpleistocēna smilšaini granšainajos glaciofluviālajos (gfQ_3) nogulumos, zem kuriem iegulst ūdens mazcaurlaidīga mālaina morēna (gQ_3), ir atsegti gruntsūdeņu horizonti un rezultātā gravu nogāzēs vai to gultnēs izveidojušies gravitārie avoti vai šo avotu grupas. Pazemes ūdeņi, nonākdami gravas gultnē, izveido patstāvīgu neliela caurplūduma ūdensteci – strautu un nodrošina gravas kā hidrogrāfiskā tikla augšējo posmu elementa funkcionēšanu ne tikai sniega kušanas vai nokrišņu izkrišanas laikā, bet visā periodā, kamēr gaisa $t^{\circ} > 0^{\circ}\text{C}$. Lai gan morfoloģiski šādai erozijas formai saglabājas tipiskas gravas pazīmes, t.i., dziļuma, platuma, garuma un baseina platības ziņā tās līdzinās tipiskām V-veida vai U+V-veida gravām, tomēr tās ir ieguvušas jaunu, no tipiskām gravām atšķirīgu pazīmi, proti, to gultnēs izveidojas pastāvīga ūdensplūsma. Šī pazīme ir raksturīga lineārās erozijas formu ģenētiskās rindas augstākai pakāpei – ielejām, tāpēc šāda veida lineārās erozijas formas autors piedāvā saukt par gravveida ielejām. Lai gan fluviālās erozijas formas no izskalojumvagas līdz gravai un upes ielejai ir ģenētiski saistītas un veido nepārtrauktu rindu, tomēr tieši pastāvīgas, nevis periodiskas ūdensteces klātbūtne erozijas formā ļauj nodalīt gravveida ielejas no tipiskām gravām.

Gravveida ielejām, tāpat kā U+V-veida tipiskā gravām, attīstība norisinājusies vairākās fāzēs, kas atspoguļojas komplicētos terasētos šķērsprofilos, tādējādi tās ir uzskatāmas par poliģenētiskiem veidojumiem.

Gravveida ielejām raksturīgā dendrītiskā apveida veidošanos pētījumu teritorijā nosaka teritorijas ģeoloģiskā uzbūve, tas ir iežu saguluma secība vertikālā griezumā. Augšpleistocēna sīkgraudainu un vidējgraudainu glaciofluviālo nogulumu un glaciģēno akmeņainu smilšainu mālu slāņu vai glaciolimnisku mālaino nogulumu slāņkopu mija, kas ir konstatēta Daugavas senielejā (Eberhards, 1972a) un daudzās reljefa pozitīvajās vidējformas salveida glaciostrukturālajās augstienēs dienvidaustrumu Latvijā (Āboltiņš, 1989), sekmē erozivitātes pieaugumu un gravu sānu atzaru attīstību, summējoties virsmas notecei (dziļumerozijas process) un pazemes notecei (sufozijas process). Autora veiktie novērojumi norāda, ka tieši sufozijas procesiem (angl. *seepage erosion*) varētu būt dominējoša loma gravveida ieleju dendrītiskā apveida attīstībā. Proti, gruntsūdeņu plūsmām koncentrējoties atbilstoši iežu ūdenscaurlaidības izmaiņām un izplūstot gravveida ielejas nogāzē, vispirms veidojas sufozijas ieplaka un attīstās nogāžu procesi – noplūdeņi un noslīdeņi. Tā rezultātā veidojas neliels, 2 līdz 4 m plats avotcirks, kurā sufozijas tālāk norise pēc pozitīvās atgriezeniskās saites mehānisma pastiprina gruntsūdeņu pieplūdi un koncentrēšanos, un nodrošina iegrauzuma pagarināšanos regresīvās erozijas ceļā. Sānu atzaru attīstība aprīst, kad virszemes un pazemes summāra notece

nenodrošina erozijas norisei nepieciešamo ūdens apjomu, jo notiek tā sadalīšana starp gravveida ieleju veidojošā erozijas tikla elementiem.

Karengravas. Terminu „karengrava” latviski pirmais lietoja G. Eberhards (1991), raksturodams dabas parkā “Daugavas loki” esošās gravu erozijas veidotas formas ar īpatnēju morfoloģiju un novietojumu ielejas nogāzēs. Morfoloģiski tās ir līdzīgas atmirušām gravām, taču tām nav relikto izneses konusu, turklāt tām nav arī lejteces daļas, kura ir nošķelta upes sānu erozijas gaitā. Karengravas sākušas veidoties kā tipiskā morfoģenētiskā veida gravas laikā, kad Daugavas palīene jeb paleoģeogrāfiskais erozijas bāzes vietējais līmenis bija augstāks un atbilda mūsdienu 2. virspalu terases virsmas līmenim. Saskaņā ar G. Eberharda veiktajiem pētījumiem par Daugavas ielejas attīstības secību (Eberhards, 1972a), upes uztverošā Gaiļu paleobaseina ūdeņiem strauji noplūstot, īsā laika periodā norisinājās Daugavas gultnes iegraušānās dziļumā, kā rezultātā pazeminājās gravu lokālās erozijas bāzes. Daugavas dziļumerozijas procesā bijusi palīene, uz kuras virsmas tajā laikā atradās gravu reliktie izneses konusi, pārveidojās par virspalu terasi. Gravas līdz tam jau bija izgājušas pilnu attīstības ciklu, t.i., sasniegušas vecgravas stadiju un tajās pēc erozijas bāzes pazemināšanās neatjaunojās erozijas procesi. Daugavas turpmākās sānu erozijas un meandrēšanas gaitā, vecgravu lejteces daļas kopā ar virspalu terases fragmentiem tika noskalotas, un izveidojās karengravas. Upes dziļumerozijas gaitā veidojoties zemāk novietotai virspalu terasei, karengravas iegūst mūsdienu izskatu.

Ņemot vērā, ka iespējamais karengravu veidošanās laiks, t.i., 3 000 līdz 7 000 gadi tika atvasināts no datiem par Daugavas ielejas virspalu terašu attīstības vecumu (Eberhards un Saltupe, 2000: Rī-320 un Rī-323), bija nepieciešams iegūt šo formu vecuma apstiprinājumu arī no citiem avotiem, un tas tika iegūts no karengravu gultnēs akumulētā materiāla sporu–putekšņu analizēm. Proluviālo nogulumu monolītu sporu–putekšņu analīzes, kas veiktas Latvijas Universitātes Kvartārvides laboratorijā, parāda, ka putekšņu spektri iegūtajās diagrammās kopumā atspoguļo subatlantiskajam laikam raksturīgu veģetāciju. Tādējādi palinoloģiskās analīzes rezultāti ir pretrunā ar pieņēmumu par karengravu veidošanās vecumu, kas ekstrapolēts no datiem par virspalu terašu ģenēzes datiem. Tas ir skaidrojams ar to, ka (1) notikusi sporu–putekšņu materiāla sekundāra pārgulsnešana prolūvija uzkrāšanās gaitā un (2) karengravu gultnēs akumulētie nogulumi raksturo tikai pašu jaunāko akumulācijas ciklu, nevis karengravu izveidošanās vecumu.

Avotcirku gravas. Šo gravu morfoģenētisko tipu pārstāv īsas, saliktas ģenēzes, t.i., nogāžu procesu un erozijas veidotas formas, kuras izveidojušās negatīvo reljefa formu, piemēram, dziļo upju ieleju un subglaciālo iegultņu stāvās nogāzēs. Pētījumu teritorijas ietvaros šāda morfoģenētiskā tipa gravas visvairāk tika konstatētas Daugavas senlejas posmā starp Krāslavu un Naujēni,

kā arī atsevišķās subglaciālajās iegultnēs, piemēram, Šilovkas ezera un Subates subglaciālajās gultnēs, taču kopumā avotcirku gravas ir relatīvi reti sastopamas.

Avotcirku gravām tipomorfos gadījumos augšteces daļā ir pudeles kakla formas paplašinājums, kurš savienojas ar piltuvveida vai amfiteātra veida puslokā izliektu iegrauzumu, savukārt lejteces daļā tām ir V-veida šķērsprofils. Daudzi avoti vai avotu grupas izplūst noslīdeņa cirka sienās un apakšējā daļā un parasti veido avotcirku gravas gultnē nelielus, patstāvīgus strautiņus. Neskatoties uz pastāvīgu ūdensplūsmu klātbūtni gultnēs un erodētā materiāla transportu no augtāka hipsometriska līmeņa uz Daugavas palieni, avotcirku gravām nav izteiktu izneses konusu, jo tie regulāri tiek noskaloti pavasara palu laikā.

Vadoties no gravas ievalka novietojuma attiecībā pret reljefa elementiem, šī tipa gravām jāatzīmē divas nozīmīgākās morfoloģiskās īpatnības, kuras nav raksturīgas citiem gravu morfoģenētiskajiem tipiem: avotcirku gravas augštece nešķēļ vai tikai nedaudz šķēļ pamatkrasta kroti un drenē ļoti nelielu nogāzei piegulošās teritorijas daļu. Ņemot vērā šo lineāro erozijas formu morfometriju, tās var tikt salīdzinātas ar efemērajām gravām. Tomēr no nosauktajām tās atšķiras ar kāplainu garenprofilu, kas galvenokārt atkārtu nogāzes profilu un augstām garenkrituma vērtībām, kuras var pārsniegt $0,4 \text{ m m}^{-1}$.

Lai noskaidrotu, cik lielā mērā šī morfoģenētiskā tipa gravu evolūciju nosaka citām erozijas formām raksturīgā virszemes notece koncentrēšanās, pētījumos iegūtie dati tika salīdzināti ar literatūrā publicēto informāciju par eroziju determinējošo geomorfoloģisko faktoru sliekšņvērtībām (angl. *geomorphological thresholds*). Šim mērķim tika izmantota zinātnieku empīriski noteikta saistība $S_{cr} = aA^{-b}$ (Vandaele *et al.*, 1996) starp sateces baseina platību (A) un kritisko nogāzes garuma S_{cr} vērtību, kas ir pietiekama, lai sāktos gravas attīstība.

Logaritmiskajā mērogā analizējot aprēķinātās platības avotcirku gravu daļbaseiniem A_u (ha), kurus drenē gravu augšteces, un salīdzinot rezultātus ar citu zinātnieku empīriski iegūtiem rezultātiem (Montgomery and Dietrich, 1988; Dietrich *et al.*, 1992; Prosser and Abernethy, 1996), tika secināts, ka avotcirku gravas S_{cr} vs A raksturojošās vērtības ir mazākas par kritiskajām sliekšņvērtībām. Respektīvi, pie šādām gravu augštecei piegulošās teritorijas krituma vērtībām S_{cr} , virszemes notece, kas tiek koncentrēta gravu augšteces daļbaseinos A_u , nevar izraisīt gravu attīstību. Savukārt salīdzinot avotcirku gravas S_{cr} vs A_u raksturojošās vērtības ar publicētajiem datiem par kritiskajām sliekšņvērtībām (Samani *et al.*, 2009), pie kurām sākas sufozijas un noslīdeņu izraisīta gravu attīstība, tika novērota augsta sakritība, kas apstiprināja pieņēmumu par nogāžu procesu un sufozijas nozīmi šo gravu attīstībā.

Ņemot vērā, ka visos autora pētītajos avotcirkos aug koki, bija iespējams gūt ieskatu avotcirku gravu attīstības vēsturē, izmantojot dendroģeomorfoloģijas metodes, proti, veikt koku stumbru gadskārtu skaita un to pieauguma rakstura

analīzi, lai noteiktu ģeomorfoloģisko procesu ietekmi uz koku augšanu un tādējādi interpretētu šo procesu norises dinamiku. Pētījumos iegūtie rezultāti norāda, ka avotcirku stabilizācijas sākums Daugavas senielejā saistāms ar 20. gadsimta 30. gadiem, kad pēc intensīvu krastu izskalošanu izraisītiem paliem 1931. gadā (GRDC, 2008) Daugavā ir sācijas relatīvi mierīgāka hidroloģiskā režīma laika posms. Atzīmējams, ka šo formu aizaugšana pēdējās desmitgadēs un veģetācijas segas veidošanās liecina par raksturīgām vides izmaiņām – Daugavā vairs nenorisinās intensīvi pali, kuru ļoti augsta ūdens līmeņa apstākļos ledus gabaliem un spēcīgai straumei regulāri izārdot krauju nogāžu apakšējo daļu, iepriekš atjaunojās intensīvi nogāžu procesi un tika iznīcināta augu sega.

Efemērās gravas. Efemērās gravas veidojas saimnieciski izmantojamās zemes platībās virsmas notecei koncentrējoties izstieptās, lejup pa nogāzi vērstās drenāžas ieplakās un mikroreljefa pazeminājumos, un, neskatoties uz to, ka šādi iegrauzumi parasti tiek aizpildīti zemes apstrādes gaitā, tie attīstās gandrīz tajā pašā vietā katru reizi, kad intensīvas sniega kušanas vai lietusgāzes ietekmē atjaunojas koncentrēta virsmas notece.

Tā kā Latvijā līdz šim nebija veikta efemēro gravu izpēte, disertācijā izklāstīto pētījumu mērķis bija *in situ* iegūt datus par šī veida lineāro erozijas formu morfoloģiju un noskaidrot to veidošanos ietekmējošos faktoros. Saskaņā ar autora novērojumiem šīs reljefa formas arī dienvidaustrumu Latvijā veidojas bieži, taču ņemot vērā to pastāvēšanas īslaicīgo raksturu, fiksēt pašas reljefa formas un novērot to attīstību izdodas salīdzinoši reti. Pētījumos konstatēto efemēro gravu max. dziļums ir no 0,25 līdz 0,8 m, max. platums – no 0,8 līdz 2,3 m, tām, līdzīgi kā Rietumeiropā aprakstītajām (Casalí *et al.*, 2006), ir izteikts kastes veida šķērsprofils ar subvertikālām nogāzēm un plakanu gultni. Fiksējot efemēro gravu veidošanās aptuveno laiku un veicot iegūto datu analīzi sezonālā griezumā, var secināt, ka atšķirībā no Rietumeiropas, kur efemēro gravu veidošanos nosaka galvenokārt intensīvi nokrišņi un tiem sekojošas virsmas noteces veidošanās (Vandaele *et al.*, 1996), dienvidaustrumu Latvijā šo formu attīstība norisinās gan vasarā pēc stiprām lietusgāzēm, gan arī ilgstošu atkušņu laikā ziemā un sniega kušanas laikā pavasarī.

Efemēro gravu veidošanās, tāpat kā citi strūklveida erozijas veidi, ir dabisks process, taču šo formu intensīva attīstība saistīta ar tādiem cilvēka darbības veidiem kā nogāžu tehnogēna pārveidošana, veģetācijas segas iznīcināšana un zemes lauksaimnieciskā apstrāde. Ņemot vērā, ka efemēro gravu gultnes mākslīgā ceļā tiek aizpildītas ar materiālu un tas periodiski tiek izskalots un pārņests uz hipsometriski zemāku līmeni katru reizi, kad erozija atjaunojas tajā pašā vietā, efemērās gravas ir uzskatāmas par būtisku antropogēni inducēta denudācijas procesa sastāvdaļu dienvidaustrumu Latvijā.

Klimata mainības kontekstā efemēro gravu veidošanās pētījumu teritorijā norisinās arī ziemas periodā, tas ir laikposmā, kad Latvijā šim gadalaikam raksturīgās negatīvās gaisa temperatūras ietekmē augsnes un cilmiežu virsējai kārtai būtu jābūt sasalušai un virszemes notecei nevajadzētu veidoties, jo nokrišņi izkrīt un tiek akumulēti sniega veidā. Pieaugot bezsala perioda ilgumam, var veidoties labvēlīgi apstākļi erozijas procesu norisei ziemā un agrā pavasarī, turklāt strūklveida eroziju veicina arī tas, ka apstrādātajos tīrumos vēl nav izveidojusies veģetācijas sega, kura paaugstina augsnes noturību pret eroziju.

3.2. Gravu ģeotelpiskā izvietojuma īpatnības

Gravas un nelielās pastāvīgās ūdenstece ir hidrogrāfiskā tīkla sazarotākā un skaitliski plašākā daļa (Horton, 1945), kura ne tikai parāda sateces baseina mūsdienu struktūru, bet arī ļauj izvērtēt erozijas tīkla iespējamo paleoģeogrāfisko attīstību pagātnē un prognozēt tā attīstību nākotnē (Jarvis, 1977; Knighton, 1998). Vienlaicīgi hidrogrāfiskā tīkla ģeotelpiskais izvietojums atspoguļo baseina ģeoloģiskās uzbūves un reljefa morfoloģijas ietekmi uz ūdens erozijas procesu norisi un fluviālo reljefa formu attīstību. Likumsakarīgi, ka erozijas tīkla augšējo posmu, t.i., gravu ūdensguves teritoriju virsmas litoloģija, formveidojošo nogulumu kompleksa vertikālā saguluma un ģeogrāfiskās izplatības īpatnības, kā arī reljefa vidējformu determinētie ģeomorfoloģiskie faktori nosaka gravu erozijas veidotā tīkla apveidu (angl. *erosion network pattern*) un izvietojuma raksturu. Tāpēc disertācijā tika veikta gravu izvietojuma ģeotelpiskā analīze ar mērķi noskaidrot erozijas tīkla apveida un tā ģeogrāfiskā izvietojuma kvantitatīvo raksturlielumu, t.i., gravu erozijas tīkla blīvuma (angl. *gully network density*) un biežības (angl. *gully network frequency*) lokālās atšķirības saistībā ar konkrētu teritoriju ģeoloģisko uzbūvi un reljefa morfoloģiju.

Vadoties no gravu tīkla ģeotelpiskā izvietojuma īpatnībām, kuras tika noteiktas pētījumos veiktās topogrāfisko karšu analīzes gaitā, pētījumu teritorijā dienvidaustrumu Latvijā tika izdalītas sekojošas atšķirīgas gravu erozijas tīkla etalonteritorijas: platoveida pauguru izplatības apgabals Latgales augstienes ziemeļu daļā, upju ieleju un ielejveida pazeminājumu nogāzes dienvidaustrumu Latvijā, subglaciālās iegultnes Latgales augstienē un Augšzemes augstienē. Nosauktajās etalonteritorijās gravas kā reljefa formas ir plaši sastopamas un vietām veido ļoti blīvu erozijas tīklu, savukārt lielpauguru un paugurmasīvu izplatības apgabalos Latgales un Augšzemes augstieņu centrālajos rajonos, kā arī uz šo augstieņu ledus kontakta nogāzēm gravas izplatītas sporādiski.

Gravas platoveida pauguru izplatības apgabalā Latgales augstienes ziemeļu daļā. Disertācijā kā pētījumu etalonteritorija tika izvēlēts apgabals Burzavas paugurainē, uz ziemeļiem no Rēzeknes, kur raksturīgi platoveida pauguri ar virsmas platību 0,8–2,2 km². Plāna skatījumā to forma galvenokārt ir

neregulāra vai garumā izstiepta, retāk ieapaļa vai izometriska. No etalonteritorijā esošajiem 46 platoveida pauguriem kartogrāfiskās analīzes gaitā uz 44 šī veida vidējformu nogāzēm tika identificētas gravas. Kopumā Burzavas pauguraines platoveida pauguru izplatības apvidū tika konstatētas 277 gravas, kuras, atbilstoši to morfoloģijai un novietojumam attiecībā pret platoveida pauguru nogāzēm, var ierindot tipisko gravu, nogāžu gravu vai gravveida ieleju morfoģenētiskajos tipos.

Burzavas pauguraines platoveida pauguru etalonteritorijā esošo gravu izvietojuma pētījumi norāda, ka platoveida pauguru nogāžu saposmju pamatā nosaka īsas, līdz 200 m garas nesazarotas 1. pakāpes, retāk vāji zarotas 2. pakāpes nogāžu gravas. Garākas tipiskās gravas sastopamas daudz retāk. Platoveida pauguru nogāzēs, spriežot pēc morfoloģiskajām pazīmēm, nav veidojušās avot-cirku gravas.

Disertācijā veiktā gravu tikla biežības un izvietojuma analīze parāda, ka lineārās erozijas formu skaitu limitē platoveida pauguru izlīdzinātās virsmas platība un tās determinētie lokālie noteces veidošanās apstākļi. Proti, ievērojams gravu skaits (> 10 gravām), un gravu erozijas procesa stipri saposmotas nogāzes konstatētas platoveida pauguriem, kuru virsmas laukums pārsniedz 0,8 līdz 1 km².

Aprēķinu rezultāti parāda, ka platoveida pauguru etalonteritorijā pie literatūrā norādītā 2% nodrošinājuma ekstremālu lietusgāžu nokrišņu daudzuma, teorētiski aprēķinātās gravu attīstībai pietiekamo sateces baseinu platības ir no 3,3 līdz 2,8 ha, savukārt pie daudzgadīgās vidējās lietus intensitātes no 0,1 līdz 0,2 mm h⁻¹ gravas var sākt veidoties, ja to baseini pārsniedz 100 ha. Salīdzinot teorētisko aprēķinu datus ar ģeotelpiskās analīzes gaitā ar ĢIS rīkiem iegūtajām gravu sateces baseinu vērtībām, var secināt, ka Burzavas pauguraines platoveida pauguru etalonteritorijā esošo gravu baseinos klimatiskajai normai atbilstošu nokrišņu izkrišanas gadījumā neveidojas notece, kura varētu izraisīt lineāro eroziju. Savukārt ekstrēmu meteoroloģisko procesu ietekmē, it sevišķi zema nodrošinājuma un augstas intensitātes lietusgāžu izkrišanas laikā, pateicoties etalonteritorijā esošo platoveida pauguru virsmu veidojošo glaciolimnisko nogulumu zemajām infiltrācijas vērtībām no 1 līdz 5 mm h⁻¹, pat relatīvi nelieli 0,8 līdz 1 ha sateces baseini nodrošina ūdensplūsmu veidošanos, kuru kinētiskā enerģija ir pietiekama, lai attīstītos gravas.

No ģeomorfoloģiskajiem gravu veidošanos ietekmējošajiem faktoriem jāmin etalonteritorijas platoveida pauguru relatīvā augstuma determinētās vietējās erozijas bāzes, kas vidēji ir robežās no 15 līdz 35 m. Svarīgs ir arī nogāžu lielais slīpums (krituma leņķis 20°–35°) un nogāžu profils ar izteiktu lūzuma punktu virsotnes daļas lēzenās virsmas un platoveida pauguru nogāzes kontakta zonā. Straujš krituma pieaugums, ūdensplūsmām šķērsojot kroti, nodrošina to ātruma, kinētiskās enerģijas un, attiecīgi, erozivitātes pieaugumu, savukārt ģeoloģiskās

uzbūves īpatnības, t.i., ūdensmazcaurlaidīgu iežu klātbūtne – apgrūtina infiltrāciju un veicina ūdensplūsmu virzīšanos un koncentrēšanos nogāžu mikroreljefa padziļinājumos, un tādējādi – lineārās erozijas procesa norisi.

Pētījumu rezultāti parāda, ka platoveida pauguru ieapaļā vai izometriskā forma plāna skatījumā, kā arī radiālo nogāžu dominance etalonteritorijā, noteikusi erozijas tīkla apveida jeb ģeotelpiskā izkārtojuma īpatnību, kura nav raksturīga citām pētījumu etalonteritorijām. Proti, vizualizējot gravu tīkla izkārtojumu ar ĢIS rīkiem un turpmākas analīzes gaitā salīdzinot to ar hidrogrāfiskā tīkla tipveida zīmējumiem (Morisawa, 1985), tika konstatēts, ka erozijas tīkla apveids atbilst radiālajam (angl. *radial*) tipam.

Gravas upju ieleju un ielejveida pazeminājumu nogāzēs dienvidaustrumu Latvijā. Literatūrā atzīmēts (Poesen *et al.*, 2003; Kovalyev *et al.*, 2006), ka tieši ūdensteču veidotais ieleju tīkls, kurš lielā mērā nosaka vai pastiprina reljefa lielformu un vidējformu saposmojumu, rada gravu attīstībai labvēlīgus priekšnoteikumus, respektīvi, palielina vietējo erozijas bāzu dziļumus un veido joslotas, slīpas nogāzes ielejās. Tāpēc likumsakarīgi, ka pie salīdzinoši augsta upju tīkla blīvuma pētītajā teritorijā gravu erozijas process un tā veidotās erozijas formas ģeogrāfiski ir saistītas tieši ar augstākas pakāpes fluviālas cilmes reljefa veidojumiem – upju ielejām un ielejveida pazeminājumiem.

Nemot vērā šo reljefa veidojumu atšķirīgo morfoloģiju, galvenokārt to dziļumu, promocijas darba izstrādi uzsākot, tika pieņemts, ka pētījumu teritorijā erozijas procesu attīstība un attiecīgi gravu veidošanās visspilgtāk izpaudīsies Daugavas senielejā, upes tecējuma posmā no Krāslavas līdz Naujenei. Savukārt ielejveida pazeminājumos ar mazāku dziļumu un daudzajās holocēna upju ielejās, gravu erozijas saposmojums tika prognozēts kā vājāk izteikts. Pētījumā veiktā kartogrāfiskā analīze, ar mērķi noteikt reprezentatīvus gravu erozijas tīkla izplatības areālus, apstiprināja šo pieņēmumu un ļāva izraudzīt kā galveno etalonteritoriju gravu pētījumiem upju ielejās Daugavas senieleju.

Daugavas senielejas Krāslavas–Naujenes posma gravu erozijas tīkla telpiskās analīzes rezultāti parāda, ka tajā atrodas vairāk nekā 350 gravas, kas veido komplicētu, sazarotu erozijas tīklu. Salīdzinot tā apveidu ar hidrogrāfiskā tīkla tipveida zīmējumiem, tika konstatēts, ka gravu telpiskais izkārtojums atbilst dendritiskajam tipam.

Pētījumi liecina, ka Daugavas senielejas etalonteritorija ir vienīgā, kur saņemamas visu autora aprakstīto morfoģenētisko tipu gravas. Atšķirībā no platoveida paguru etalonteritorijas, Daugavas senielejā skaitliskā ziņā dominējošās ir tipiskas gravas, nogāžu gravas veido nedaudz vairāk par 1/4 no gravu skaita senielejā. Senielejas nogāžu komplicēta ģeoloģiskā uzbūve vertikālā griezumā, respektīvi, augšpleistocēna ūdensmazcaurlaidīgu smilšaina māla morēnas (gQ_3) vai bezakmens māla (gfQ_3), glaciofluviālo (gfQ_3) smilšaino nogulumu veidotu

ūdens nesējslāņu un mija, kā arī tas, ka lielā dziļuma dēļ senieleja ir reģionālā pazemes ūdeņu atslodzes zona, nosaka etalonteritorijas hidroģeoloģiskos apstākļus un ievērojama skaita avotu izplūšanu senielejas nogāzēs un Daugavas gultnē. Šo faktoru ietekmē Daugavas senielejā ir izveidojušās daudzas avotcirku gravas un gravveida ieļejas. Savukārt senielejas paleoģeogrāfiskās attīstības gaita noteikusi īpatnēju karengravu izveidošanos.

Veicot gravu skaita un to zarošanās pakāpes vērtību statistisko analīzi, tika noskaidrots, ka šos lielumus saista cieša negatīvā korelācija ($r = -0,909$; $p < 0,01$ pie $n = 351$). Tāpēc pētījumos gravām tika piemērota R. Hortona aprakstītā (1945) upju erozijas tīkla elementu skaita un zarošanās pakāpes likumsakarība jeb tā saucamais „ūdensteču skaita likums”, kuru vispārīgā veidā apraksta vienādojums (Horton, 1945):

$$N_u = a \cdot \exp^{-b \cdot u} \quad (1.)$$

kur N_u – ūdensteču skaits ar zarošanās pakāpi u ;

u – zarošanās pakāpe;

a – empīrisks koeficients, kas ir robežās no 600 līdz 700 (Knighton, 1998);

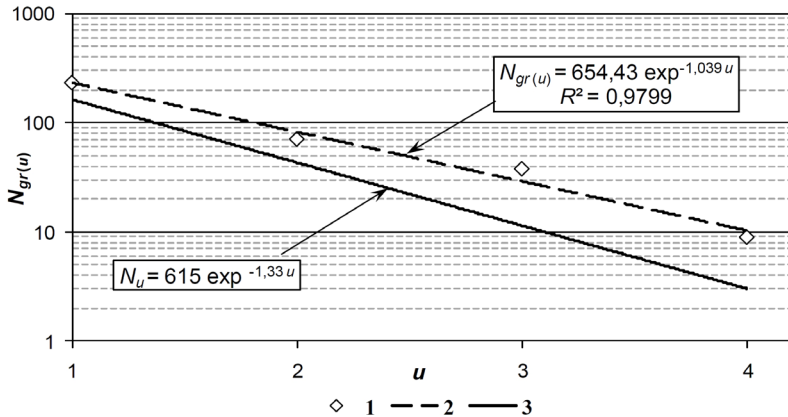
b – eksponenta, kas raksturo hidrogrāfiskā tīkla elementu zarošanos un kuru savukārt nosaka pēc formulas (Horton, 1945):

$$b = \ln R_b = \ln \frac{N_{u-1}}{N_u} \quad (2.)$$

kur R_b – hidrogrāfiskā tīkla elementu zarošanās koeficients ar vērtību robežās no 3 līdz 5 (Smart, 1972);

N_{u-1} – ūdensteču skaits ar zemāku par vienu vienību zarošanās pakāpi.

Izmantojot formulas (1.) un (2.), kā arī pētījumos iegūtos ĢIS analīzes datus par gravu skaitu $N_{gr(u)}$ ar dažādu zarošanās pakāpi u un empīriski aprēķināto R_b vērtību 3,12, tika izskaitļoti koeficienta a skaitliskie lielumi un puslogaritmiskā mērogā tika konstruēta empīriska likne, kas raksturo gravu erozijas tīkla elementu skaita un to zarošanās pakāpes attiecības likumsakarību (3. att.). Empīriski iegūtā likne kopumā labi apraksta Daugavas senielejas dažādas zarošanās pakāpes gravu skaita reālā sadalījuma punktu kopu ($R^2=0,9799$), tomēr, salīdzinājumā ar literatūrā publicētu (Knighton, 1998) pastāvīgo ūdensteču skaita–zarošanās pakāpes attiecību aprakstošo „klasisko” teorētisko likni, empīriskā likne uzrāda relatīvi mazāku $N_{gr(u)}$ samazināšanās tendenci zarošanās pakāpei u pieaugot (3. att.).



3. attēls. Korelācija starp gravu skaitu ($n = 351$) un to zarošanās pakāpi Daugavas ielejas posmā no Krāslavas līdz Naujenei.

u = gravu zarošanās pakāpe; $N_{gr(u)}$ = gravu skaits ar zarošanās pakāpi u ; 1 = Daugavas senielejas gravu $N_{gr(u)}$ vs u attiecību raksturojošās vērtības; 2 = $N_{gr(u)}$ un u attiecības likumsakarību aprakstoša empīriskā līkne Daugavas senielejai; 3 = ūdensteču skaita un to zarošanās pakāpes attiecību aprakstoša teorētiskā līkne (Knighton, 1998).

Respektīvi, Daugavas senielejā gravu tīklam ir raksturīgs salīdzinoši lielāks elementu skaits ar augstāku zarošanās pakāpi, nekā to teorētiski apraksta upēm piemērojamais R. Hortona (1945) „ūdensteču skaita likums”. Tas ir skaidrojams ar faktu, ka atšķirībā no fluvialās erozijas determinētās pastāvīgo ūdensteču zarošanās, gravu erozijas tīkla attīstības gaitā Daugavas senielejā gravu zarošanos nosaka gan virsmas notece, gan pazemes ūdeņu izplūdes un sufozijas procesu izraisīta sānu atzaru veidošanās.

Veicot gravu garuma un to sateces baseinu platību vērtību matemātisko un statistisko apstrādi, noskaidrojās, ka šos lielumus saista cieša korelācija ($r = 0,866$; $p < 0,01$). Tāpēc, līdzīgi kā ar erozijas tīkla elementu skaita un to zarošanās pakāpes likumsakarības analīzi, pētījumos tika noskaidrots, vai gravām ir piemērojama arī cita likumsakarība par pastāvīgo ūdensteču garuma–sateces baseina platības skaitlisko vērtību savstarpējo korelāciju, kuru vispārīgā veidā apraksta vienādojums (Hack, 1957):

$$L = a \cdot A^b \quad (3.)$$

kur L – ūdenstece garums;

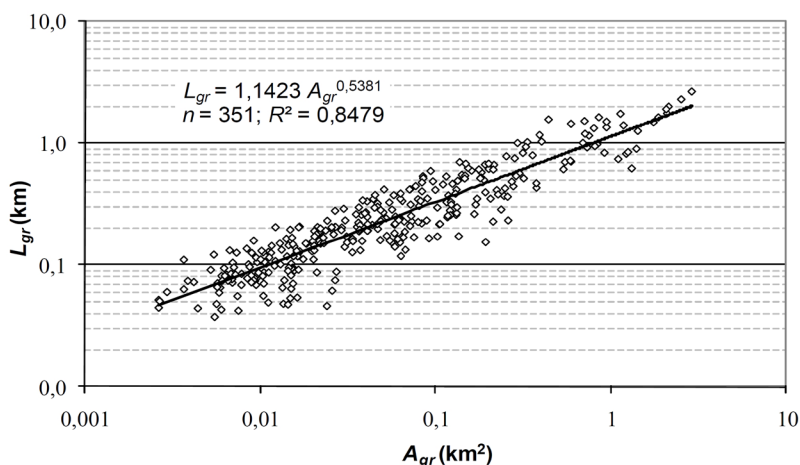
A – ūdenstece sateces baseina platība;

- a – empīrisks koeficients, kas ir robežās no 1 līdz 2,5 (Leopold and Miller, 1992);
- b – eksponenta, kas pastāvīgajām ūdenstecēm ir robežās no 0,5 līdz 0,6 (Ijjasz-Vasquez *et al.*, 1993).

Izmantojot pētījumos iegūtās gravu sateces baseinu laukumu A_{gr} un gravu garumu L_{gr} vērtības, tika konstruēts korelācijas grafiks (4. att.). Punktu kopas statistiskā analīze ar funkciju *Trendline* parāda, ka empīrisko likni, kura vislabāk atbilst ($R^2 = 0,8479$) skaitlisko vērtību sadalījumam, apraksta vienādojums:

$$L_{gr} = 1,1423 \cdot A_{gr}^{0,5381} \quad (4.)$$

Empīriski iegūtajā vienādībā (4.) eksponenta b atbilst literatūrā aprakstītajām vērtībām (Ijjasz-Vasquez *et al.*, 1993), arī empīriskais koeficients a ir tuvs bijušās PSRS teritorijas upēm aprēķinātajai vidējai vērtībai 1,36 (Mihailov *et al.*, 2005) un ASV teritorijas upēm aprēķinātajai vidējai vērtībai 1,4 (Leopold and Miller, 1992).



4. attēls. Daugavas senielejas gravu sateces baseina un to garuma korelācijas diagramma. Aprēķiniem izmantoti ar ĢIS veiktās ģeostatistiskās analīzes dati.

A_{gr} = gravas sateces baseins; L_{gr} = gravas garums (m).

Gravas subglaciālajās iegultnēs Latgales augstienē un Augšzemes augstienē. Dienvidaustrumu Latvijas augstieņu rajonos esošo subglaciālo iegultņu lielais dziļums 35–20 m, to nogāžu lielais slīpums, kas nereti pārsniedz 20°, kā arī garu, joslotu, lauza profila nogāžu esamība, ir tie ģeomorfoloģiskie faktori, kuri veicina gravu attīstību. Līdzīgi kā platoveida pauguru un upju ieleju etalonteritorijās, straujš krituma pieaugums, ūdensplūsmām no augstieņu

paugurotajiem vai viļņotajiem līdzenumiem sasniedzot subglaciālās iegultnes un šķērsojot to nogāzes kroti, nodrošina ūdens strauņā ātruma un tam proporcionālu erozivitātes pieaugumu. Savukārt ūdensmazcaurlaidīgu, glaciģēnas cilmes smilšaina māla vai mālainas smilts morēnas nogulumu klātbūtnē apgrūtina infiltrāciju un veicina ūdensplūsmu virziņšanos pa nogāzi uz leju un lineārās erozijas procesa norisi.

No pētījumu teritorijā esošajām subglaciālajām iegultnēm kā etalonteritorijas ar lielāko gravu skaitu tika izvēlētas deviņas šī veida reljefa vidējformas. Pētījumā uz šo subglaciālo iegultņu nogāzēm tika identificētas 249 gravas.

Latgales un Augšzemes augstieņu subglaciālo iegultņu etalonteritorijas ietvaros, līdzīgi kā platoveida pauguru izplatības areālā Burzavas paugurainē, skaitliskā ziņā dominējošās ir nogāžu gravas, tipiskās gravas veido nedaudz vairāk par 1/4 no gravu skaita. Tomēr atšķirībā no platoveida pauguriem, subglaciālo iegultņu nogāzēs salīdzinoši lielāks ir gravveida ieleju morfoģenētiskā tipa lineāro erozijas formu īpatsvars, turklāt Subates–Baltmuižas un Šilovkas iegultņu nogāzēs tika konstatētas arī avotcirku gravas.

Tas, ka subglaciālo iegultņu etalonteritorijā, tāpat kā Daugavas senielejā, gandrīz 1/5 daļu no erozijas tīkla elementiem veido gravveida ielejas un avotcirku gravas, norāda, ka lineārās erozijas formu attīstībā liela loma ir pazemes ūdeņu ģeoloģiskajai darbībai, ko savukārt nosaka teritorijas ģeoloģiskā uzbūve un hidroģeoloģiskie apstākļi.

Rezultāti liecina, ka subglaciālo iegultņu nogāžu saposmojumu pamatā nosaka isas, 80–120 m garas, nesazarotas 1. pakāpes nogāžu gravas. Tikai atsevišķos gadījumos, erozijas tīkla struktūru un saposmojumu nosaka tipiskās gravas un gravveida ielejas. Analizējot gravu tīkla izkārtojumu iegultņu nogāzēs un salīdzinot to ar hidrogrāfiskā tīkla tipveida zīmējumiem (Morisawa, 1985), tika konstatēts, ka erozijas tīkla apveidam ir izteikti subparalēls raksturs (angl. *parallel*), respektīvi, gravu ievalku līnijas ir orientētas savstarpēji paralēli, bet perpendikulāri iegultnes garenasij.

Subglaciālo iegultņu etalonteritorijā veiktā gravu rekognoscija un lauka pētījumi parāda, ka atsevišķu gravu attīstību ir sekmējusi cilvēka saimnieciskā darbība, konkrēti – nepārdomātu meliorācijas pasākumu veikšana, grāvjus vai slēgtās drenu sistēmas kolektoros ievadot ar iegultnēm hidroģeoloģiski saistītu sengravu augštecēs vai arī tos izvadot tieši uz subglaciālo iegultņu nogāzēm. Tādējādi, virsmas un pazemes noteces mākslīga koncentrēšana, izraisījusi erozijas procesu reaktivizāciju un iegrauzumu attīstību gravu gultnēs, kā arī jaunu gravu veidošanos. Ņemot vērā, ka lauksaimniecisko zemju meliorācija tika uzsākta 19. gs., bet sevišķi intensīvi veikta pagājušā gadsimta 60.–70. gados (Šķiņķis, 1992), šādas iepriekš minētās gravas ir uzskatāmas par etalonteritorijas visjaunākajiem

erozijas tikla elementiem, kuru telpiski ciešo izvietojumu nav noteikuši dabiskie ģeomorfoloģiskie un ģeoloģiskie faktori, bet gan antropogēnā ietekme.

3.3. Klimatiskie apstākļi kā gravu veidošanos noteicošie faktori

Lai noteiktu klimatisko faktoru nozīmi saistībā ar gravu veidošanos un attīstību, tika veikta pētījumu teritoriju raksturojošo meteoroloģisko datu analīze un tika aprēķināti nokrišņu erozivitātes raksturlielumi: Furnjē indekss FI jūlija mēnesim, nokrišņu sezonālās koncentrācijas PCI indekss un modificētais Furnjē indekss MFI . Ar ĢIS datorprogrammu palīdzību no šiem datiem tika atvasināti tematiskie rastra slāņi un sagatavotas kartes, kuras ataino nokrišņu daudzuma, FI^{jul} , PCI un MFI vērtību telpisko sadalījumu pētījumu teritorijā.

Analizējot FI^{jul} sadalījumu pētījumu teritorijā, tika secināts, ka augstāka nokrišņu erozivitāte, un, attiecīgi, augstāka fluviālās erozijas procesu norises iespējamība ir saistīta ar Latgales augstienes centrālo daļu un Augšzemes augstieni. Taču gadījumos, kad nokrišņu sezonālajā sadalījumā nav vērojamas ļoti būtiskas atšķirības, FI vērtības ne vienmēr korekti atspoguļo nokrišņu erozivitāti, respektīvi, pieaugot nokrišņu daudzumam citos mēnešos, Furnjē indeksa vērtība samazinās, lai gan erozijas potenciāls neapšaubāmi pieaug. Lai to novērstu, autors papildus izmantoja modificēto Furnjē indeksu MFI (Arnoldus, 1977) un nokrišņu sezonālās koncentrācijas indeksu PCI (Oliver, 1980). Klimatisko faktoru FI^{jul} , PCI un MFI ģeotelpiskās un daudzfaktoru analīzes rezultāti norāda, ka pētījumu teritorijā nokrišņu erozivitāte palielinās līdz ar gada nokrišņu daudzuma un to sadalījuma nevienmērīguma pieaugumu, taču kopumā pie vidējām nokrišņu daudzuma vērtībām klimatiskā faktora erozivitāte vērtējama kā zema. Tādējādi, autora veiktā klimatisko datu ģeotelpiskā un statistiskā analīze nokrišņu erozivitātes novērtējumam uzrāda zemu lineārās erozijas procesu norises iespējamību pētījumu teritorijā. Tomēr tas nesaskan ar lauka un kamerālajos pētījumos konstatētajiem datiem (Soms, 2006) par gravu kā reljefa formu plašo sastopamību pētījumu teritorijā.

Norādītajam ir iespējami vairāki skaidrojumi. Pirmkārt, gravu erozijas norises iespējamības novērtējums, balstoties uz reģistrētajiem klimatiskajiem datiem neietver paleoklimatisko situāciju, kāda, piemēram, varēja eksistēt Atlantiskajā laikā ar augstākām nokrišņu daudzuma vērtībām (Dreibrodt, 2005). Otrkārt, pētītajā teritorijā daļa no nokrišņiem izkrīt cietā veidā un ziemas periodā neveido noteci, bet kušanas laikā akumulētais ūdens daudzums atbrīvojas relatīvi īsā laika sprīdī, veidojot ļoti intensīvu noteci ar augstu erozijas potenciālu (Soms and Gruberts, 2008). Treškārt, gravu attīstībā ievērojami lielāka nozīme ir ekstrēmām lietusgāzēm, kuras vidējo daudzgadīgo klimatisko datu aprēķinu gaitā faktiski tiek noreducētas.

3.4. Gravu evolūcijas procesa īpatnības un ekstremālu hidroloģiski meteoroloģisko faktoru nozīme gravu attīstībā

Lineārās erozijas procesu sākotnējā izraisīšanā vai dziļumerozijas un sānu erozijas atjaunošanā un šo procesu tālākā attīstībā par vienu no būtiskākajiem faktoriem tiek uzskatīts nokrišņu daudzuma un intensitātes kritiskais sliekšnis, kura pārsniegšana izraisa intensīvu virszemes noteci (Wischmeier and Smith, 1958). Vienlaicīgi ir plaši izplatīts viedoklis (Schwab *et al.*, 1993; Valentin *et al.*, 2005) par kokaugu segu kā vienu no nozīmīgākajiem faktoriem, kas nodrošina lietus kinētiskās enerģijas izkliedi un aizkavē gravu eroziju. Tomēr pētījumu gaitā apmežotās gravās dienvidaustrumu Latvijā daudzos gadījumos ir konstatēti jauni erozijas aktivizācijas iecirkņi. Tas ir zināmā pretrunā ar augstāk minēto viedokli par veģetācijas aizsargājošo lomu, kā arī norāda uz erozijas procesu atjaunošanās iespējamību arī apmežotās un relatīvi stabilās reljefa formās.

Apskatot ar mežu klātās nogāzes un gravas kā formas, uz kurām veģetācijas klātbūtne novērš koncentrētas virsmas noteces veidošanos un lineārās erozijas norisi klimatiskajai normai atbilstošu faktoru iedarbības rezultātā, ir jāpieņem, ka gravu gultņu un krastu izskalošana ir ģeomorfoloģiska atbildes reakcija uz ekstremālu hidrometeoroloģisko parādību, piemēram, zema nodrošinājuma (1–5%) intensīvu lietusgāžu norisi vai ļoti ātru liela sniega apjoma izkuššanu gravas sateces baseinā.

Lai gūtu pilnīgāku ieskatu šajā jautājumā, tika veikti lauka pētījumi Daugavas senielejas Krāslavas–Naujenes posmā pēc 2005. g. maija lietavu izraisītās erozijas reaktivizācijas. Kompleksu morfometrisko, ģeoloģisko un hidrometeoroloģisko pētījumu veikšanai tika izvēlēta viena no tipiskām, ar mežu klātām gravām – Peščanij rucej grava.

Šajā gravā ekstrēmi hidrometeoroloģiskie faktori izraisīja virkni ģeomorfoloģiska rakstura izmaiņu, tajā skaitā dziļumerozijas atjaunošanos un garenprofila deformācijas, nogāžu noslidēšanu un nobrukšanu, jaunu proluviālo izneses konusus veidošanos gravas lejtecē un ievērojama drupu materiāla apjoma pārnesi uz Daugavu.

Pētījumā iegūto meteoroloģisko datu matemātiskā un grafiskā apstrāde parādīja, ka tika pārsniegtas Hortona noteces veidošanās nokrišņu daudzuma un intensitātes kritiskās sliekšņvērtības, respektīvi – izkritušo nokrišņu intensitāte (līdz $4,2 \text{ mm h}^{-1}$) atsevišķos gadījumos, piemēram, 2005. g. 10. maijā pārsniedza infiltrācijas ātrumu 1,2 līdz 2 reizes. Vienlaicīgi, pirms tam izkritušo nokrišņu ietekmē, notika augsnes virskārtas un cilmiežu pilnīga piesātināšanās ar ūdeni, kā rezultātā veidojās arī piesātinājuma determinēta notece. Šo abu faktoru summārās ietekmes rezultātā lielākā daļa sateces baseinā izkritušo nokrišņu nonāca gravas gultnē, lēcienveidīgi pastiprinot erozijas tempus.

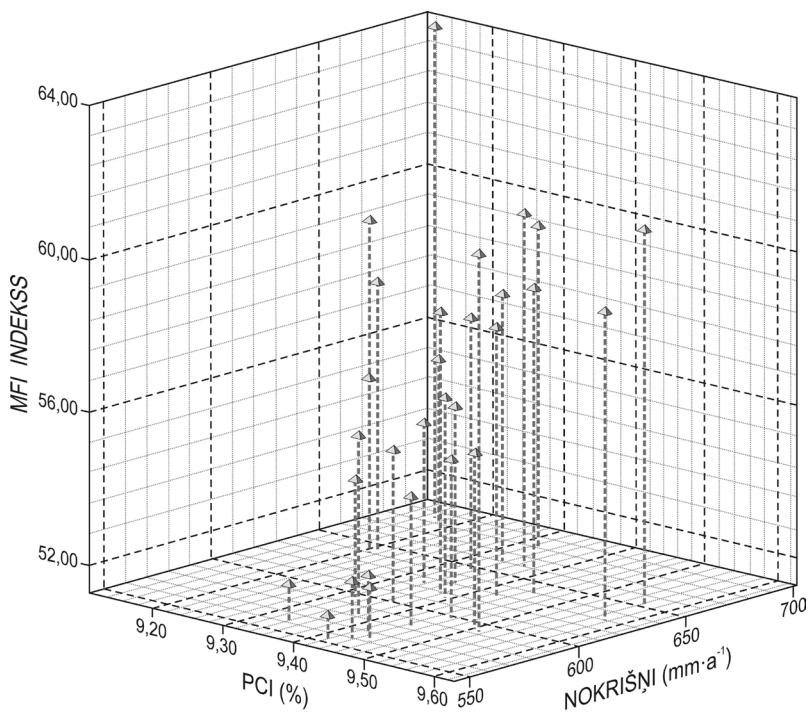
Gravu iznesu konos akumulētā proluviālā materiāla granulometriskā analīze un rezultātu interpretācija, izmantojot Hjulstroma (1935) nomogrammu, parādīja, ka konos konstatēto liela izmēru ($d > 50$ mm) atlūzu transportam (pārvelšanas režīmā) nepieciešamais straumes ātrums ir tuvs 8 m s^{-1} . Šādas intensitātes ūdensplūsmas gravā nevarēja veidoties tiešās noteces rezultātā, bet gan kā īslaicīgas pārrāvumu straumes, t.i., ūdens masām uzkrājoties nogāžu procesu radītā nosprostošanas rezervuārā un īsā laika sprīdī pārraujot drupiežu dambi. Nogāžu procesu aktivizēšanos visdrīzāk izraisīja gravas nogāzes veidojošo mālaino iežu piesātināšanās ar ūdeni, pazemes ūdeņu hidrodinamiskā spiediena pieaugums (grava kā pazemes ūdeņu atslodzes zona), nogāzes apakšējās daļas izskalošana krastu erozijas norises gaitā un statiskās slodzes pieaugums uz iežu masas pieauguma rēķina, tiem piesātinoties ar ūdeni. Meža veģetācijas klātbūtne gravas nogāzēs šajā gadījumā ir nevis aizkavēja nogāžu un erozijas procesu norisi, bet gan to veicināja. Koku stumbru svars un tā radītais papildus lejupvērstais spēka vektors veicināja nogāzes bloka pārvietošanos pēc tam, kad nogāzi veidojošie ieži bija piesātināti ar ūdeni un bija samazinājusies iekšējā berze. Tādējādi var secināt, ka veģetācijas klātbūtne relatīvi stabilās fluviālās erozijas formās, kādas ir aprimušas gravas un vecgravas, klimatiskajiem normai atbilstošos hidrometeoroloģiskajos apstākļos novērš erozijas reaktivizāciju. Savukārt ekstrēmu lietusgāžu laikā ar kokiem apaugušās nogāzēs paaugstinās nogāžu procesu risks, kas savukārt paaugstina nosprostošanu un to pārrāvumu straumju veidošanās iespējamību un netieši veicina erozijas reaktivizēšanos.

Lauka pētījumos tika konstatēts, ka pēc intensīvajām un ilgstošajām lietavām gravas vidustecē dziļumerozijas rezultātā gultne padziļinājusies par $0,8\text{--}1,1$ m, bet lejtecē tā ir aizpildīta ar proluviālajiem nogulumiem $0,7\text{--}0,8$ m biezā slānī. Kopējais aprēķinātā erodētā materiāla apjoms, ņemot vērā iegrauzuma raksturlielumus, šajā gravā vien tika novērtēts kā $175\text{--}200 \text{ m}^3$ jeb apm. $280\text{--}320$ t.

Salīdzinot šos rezultātus ar Peščanij ručej gravā kopš 1999. gada veiktā gultnes erozijas monitoringa datiem, pētījums parādīja, ka laikposmā līdz 2005. gadam erozijas–akumulācijas procesu ietekmē gultnes padziļināšanās vai aizpildīšanās ir bijusi ± 3 līdz 4 cm robežās, respektīvi, gravas gultnes stāvoklis faktiski ir bijis stabils un grava kā erozijas forma nav attīstījusies. Vispārinot minēto var secināt, ka gravu attīstībai ir izteikti lēcienvēidīgs raksturs, kad hidrometeoroloģisko ekstrēmu ietekmē veidojoties intensīvai virszemes notecei, ļoti strauja gravu gultnes iegraušānās un intensīva regresīvā erozija norisinās salīdzinoši īsā laika sprīdī, kuram sekos daudzu gadu vai pat gadu desmitu relatīva miera periods, kura ietvaros dziļumerozija praktiski nenotiek.

4. Diskusija

Gravu erozijas procesa dinamikas un klimata izmaiņu savstarpējās saistības pētījumiem veltītajās mūsdienu publikācijās (piemēram, Poesen *et al.*, 2003; Valentin *et al.*, 2005; Panin *et al.*, 2009) tieši klimatiskie faktori tiek izcelti dabisko faktoru grupā kā nozīmīgākie, kuri izraisa eroziju un gravu veidošanos cilvēka pārveidotā un lauksaimnieciski apgūtā ainavvidē vai pat ar meža veģetāciju nosegtās teritorijās. Kopš pagājušā gs. otrās puses, kad tika likti zinātniskie pamati ūdens erozijas riska kvantificēšanai un tiek ieviestas nokrišņu erozivitātes (angl. *rainfal erosivity*, skat. Wischmeier and Smith, 1958) un nokrišņu daudzuma kritisko sliekšņvērtību koncepcijas (angl. *rainfall thresholds*, skat. Reed, 1979), klimatisko faktoru rindā tieši nokrišņi tiek uzskatīti par galveno lineārās erozijas virzītājspēku (angl. *driving force*, skat. Vanwalleghem *et al.*, 2005).



5. attēls. Nokrišņu erozivitāti raksturojošā modificētā Furnjē indeksa *MFI* vērtību atkarība no nokrišņu koncentrācijas indeksa *PCI* un nokrišņu vidējā gada daudzuma dienvidaustrumu Latvijā.

No daudzgadīgām vidējām ikmēneša nokrišņu daudzuma vērtībām atvasinot nokrišņu erozivitāti raksturojošās modificētā Furnjē indeksa *MFI* (Arnoldus, 1977) un nokrišņu koncentrācijas indeksa *PCI* (Oliver, 1980) vērtības un nokrišņu gada daudzuma ģeogrāfisko sadalījumu dienvidaustrumu Latvijā, tika veikta šo parametru daudzfaktoru grafiskā analīze (5. att.). Iegūtie rezultāti parādīja, ka nokrišņu erozivitāte palielinās līdz ar gada nokrišņu daudzuma un to sadalījuma nevienmērīguma pieaugumu, taču kopumā pētījumu teritorijā pie vidējām nokrišņu daudzuma vērtībām šī klimatiskā faktora erozivitāte vērtējama kā zema, turklāt *MFI* punktu kopas vērtību vairākums ir robežās no 55 līdz 60 vienībām (5. att.), t.i., 1,5 līdz 2 reizes zemākas, nekā literatūrā norādītās strūklveida eroziju izraisošās nokrišņu erozivitātes kritiskās sliekšņvērtības (CORINE-CEC, 1992).

Respektīvi, ņemot vērā daudzgadīgās vidējās nokrišņu daudzuma vērtības, dienvidaustrumu Latvijā nokrišņu ietekmē lineārās erozijas formām nevajadzētu veidoties vispār. Tas nesaskan ar publicētajiem datiem (Soms, 2006) un novērojumiem par gravu plašo sastopamību pētījumu teritorijā un norāda uz to, ka lineārās erozijas procesa norisi un gravu veidošanos galvenokārt nosaka lokālas ekstrēmas lietusgāzes, kuras netiek iekļautas daudzgadīgo klimatisko datu aprēķinos. Lai gan augstas intensitātes ekstrēmu nokrišņu izkrišana un to izraisītas t.s. Hortona virsmas noteces veidošanās zinātnieku aprindās ir vispārārtīts priekšnoteikums gravu attīstības sākumam (Poesen *et al.*, 2003), mazāk vērības ir piegriezts klimatisko faktoru nozīmei izveidojušos gravu turpmākajā evolūcijā. Proti, zinātniskā literatūrā sniegtās ziņas par gravu attīstības dinamiku (piemēram, Sidorchuk, 1999; Nachtergaele *et al.*, 2002) raksturo šo procesu kā pakāpenisku gravu morfometrisko parametru, t.i., garuma, platuma un dziļuma pieaugumu, gultnē koncentrējoties lietus vai sniega kušanas ūdeņiem. Tomēr pētījumu rezultāti liecina, ka gravu attīstībai ir izteikti lēcienvēidīgs raksturs, kad hidrometeoroloģisko ekstrēmu ietekmē veidojoties intensīvai virszemes notecei, ļoti strauja gravu gultnes iegrašanās un intensīva regresīvā erozija norisinās salīdzinoši īsā laika sprīdī, kuram seko daudzu gadu vai pat gadu desmitu relatīva miera periods, un kura ietvaros dziļumerozija praktiski nenotiek. Tādējādi konkrētajā gadījumā veiktie pētījumi apstiprina vienu no aizstāvēšanai izvīrītajām tēzēm par to, ka gravu veidošanās un to tālākas attīstības procesā izšķirošā nozīme ir ekstremāliem hidroloģiski meteoroloģiskajiem faktoriem, kuri īslaicīgi izraisa augstas intensitātes erozijas procesus un jaunu formu veidošanos vai erozijas reaktivizāciju jau esošajās formās, savukārt klimatiskajai normai atbilstošu meteoroloģisko faktoru ietekmē gravās erozija faktiski nenotiek. Šis likumsakarības konstatēšana ļauj izvīrīt pieņēmumu par erozijas procesu aktivizēšanos dienvidaustrumu Latvijā nākamajos 50–100 gados, ņemot vērā klimata nākotnes scenāriju modelēšanas prognozētās temperatūras un nokrišņu sezonālā sadalījuma izmaiņas, kā arī

ekstrēmu lietusgāžu biežāku atkārtošanos gan Baltijas reģionā (BACC Author Team, 2008), gan arī lokālā mērogā (Bethers and Sennikovs, 2009). Tas nozīmē, ka atbildīgajām valsts un pašvaldību institūcijām plānošanas dokumentos ir nepieciešams paredzēt pasākumu ieviešanu, kas vērsti uz ūdens erozijas riska samazināšanu un augsnes resursu saglabāšanu.

Zinātniskajās publikācijās, kuras veltītas gravu eroziju ietekmējošo faktoru analīzei un šī procesa vēsturiskās dinamikas zinātniskajai izpētei (Vanderkerckhove *et al.*, 2000; Dotterweich, 2005), kā arī gravu erozijai veltītajos pārskata rakstos (Poesen *et al.*, 2003; Valentin *et al.*, 2005), vairākums zinātnieku akcentē cilvēka darbības tiešo vai netiešo ietekmi kā galveno vai vienu no nozīmīgākajiem gravu eroziju izraisošajiem faktoriem holocēnā. Arī pētītajā teritorijā atsevišķos gadījumos ir konstatēta antropogēnās ietekmes izraisīta gravu erozija, kas saistīta ar nogāžu apstrādi vai tehnogēnu pārveidi, virszemes un pazemes noteces koncentrēšanu meliorācijas sistēmās un noteces novadīšanu uz nogāzēm. Tomēr, nenoliedzot antropogēnos faktoros kā lineāro eroziju veicinošos vai pastiprinošos, autora pētījumi parāda, ka dienvidaustrumu Latvijā gravu tikla sākotnējo attīstību vēsturiskā griezumā noteikuši klimatiskie un ģeoloģiski ģeomorfoloģiskie faktori.

No pētījumu rezultātiem izriet, ka Daugavas senielejā vecgravu atmiršana pēc ^{14}C AMS datējumiem saistāma ar subatlantiskā laika vidus posmu pirms apmēram 2000 gadiem, kas saskan arī ar datiem par konstatētā biežuma proluviālo nogulumu veidošanos pie vidējā akumulācijas ātruma $0,0011 \text{ m a}^{-1}$ (Soms un Kalniņa, 2010 *in press*). Savukārt paleohidroloģiskās situācijas modelēšanas rezultāti liecina, ka dziļo un plato ($> 10 \text{ m}$) gravu izveidei nepieciešamās noteces ar vērtībām virs 48 m s^{-3} veidošanās holocēnā klimatisko faktoru ietekmē ir ļoti maz ticama. Tādā gadījumā, iespējams, garo un dziļo sengravu veidošanās saistīta ar ledāja kušanas ūdeņu straumju erodējošo darbību leduslaikmeta beigu posmā. Uz morfoloģisku līdzīgu formu iespējamo pleistocēna vecumu norāda arī vairāki citi zinātnieki, kuri pētījuši sengravas Rietumeiropā (Langohr and Sanders, 1985), Polijas ZA daļā (Smolska, 2007) un Krievijas centrālajā daļā (Panin *et al.*, 2009).

Arī arheoloģiskie dati (Berga, 2007) neapstiprina gravu erozijas tikla antropogēno ģenēzi, jo baltu ciltis, kuras plaši sāka pielietot līdumu zemkopību un varēja izraisīt erozijas aktivizēšanos, pētījumu teritorijā apmetās vidējā dzelzs laikmetā, ca. 5. līdz 9. gadsimtā AD, asimilējot vai izspiežot no dienvidaustrumu Latvijas somugru mednieku un vācēju ciltis. Tomēr balti, ierīkojot nocietinātas apmetnes vai pilis, bieži vien izvēlējās „dabiski fortificētas” vietas, tajā skaitā gravu saposmotas nogāzes. No tā savukārt izriet, ka gravas ir eksistējušas jau pirms intensīvas antropogēnās ietekmes un tām ir dabiska cilme.

Kartogrāfiskā materiāla analīze parāda, ka pēdējo vairāk nekā 100 gadu periodā gravu gultņu garums regresīvās erozijas gaitā nav ievērojami pieaudzis (Soms un Segliņš, 2010 *in press*), lai gan minēto laikposmu raksturo intensīva zemju lauksaimnieciskā apstrāde un apguve (Strods, 1992).

Vienlaicīgi jāatzīmē, ka pasaulē līdz šim nav izstrādāta unificēta metodoloģija senā pagātnē atmirušu gravu veidošanās vecuma noteikšanai pēc tajās akumulētajiem nogulumiem un esošās pieejas šī jautājuma risināšanā parāda, ka datu iegūšanas process ir komplikēts (Dotterweich, 2005; Panin *et al.*, 2009). Izmantojot tādas holocēna nogulumu datēšanai piemērotas metodes kā ^{14}C , termoluminiscenci, optiski stimulēto luminiscenci un sporu–putekšņu analīzi proluviālo nogulumu vecuma noteikšanai, tiek iegūti rezultāti, kuri ne vienmēr atspoguļo reālo erozijas formas veidošanās laiku (Lang and Hönscheidt, 1999). Iemesli tam ir vairāki, kā galvenos varētu minēt sekojošos: (1) proluviālie nogulumi veidojas gravā vai tās izneses konusā akumulējoties materiālam, (i) kurš ir izskalots vai pārskalots gultnes dziļumerozijas un sānu erozijas gaitā, (ii) kurš nonācis gultnē gravigēno procesu un plakniskās noskalošanās rezultātā no gravas nogāzēm vai arī (iii) attransportēts no sateces baseina virsmas, līdz ar to vienā slānī var tikt izgulsnēti gan ļoti jauni, gan daudz vecāki dažāda granulometriskā sastāva drupu ieži, tas pats attiecas uz sporām; putekšņiem, augu makroatliekām un cita veida organiku, kuru var izmantot datēšanai; (2) vecgravās atjaunojoties dziļumerozijas procesiem ekstrēmu hidrometeoroloģisko faktoru ietekmē, jau esošajos proluviālajos nogulumos ļoti īsā laikā var veidoties iegrauzumi, kuri sekundāri var tikt aizpildīti ar ievērojami jaunāku materiālu, tādējādi „atjauninot” proluviālos nogulumus; (3) minētie ekstrēmi hidrometeoroloģiskie faktori var izraisīt noslīdeņu nosprostojumus veidošanos gravu gultnēs un to pārrāvumu inducētas īslaicīgas, bet intensīvas uzplūdu straumes (angl. *first flush*), kuras pa gultni pārvieto sanesas, tajā skaitā lielu daudzumu gravā iekritušu koku zaru un pat stumbru fragmentu. Šim materiālam nonākot iegrauzumā un tiekot apraktam zem proluviālajiem nogulumiem, ^{14}C datēšana uzrādīs nevis faktisko gravas veidošanās vecumu, bet gan pēdēja intensīvas erozijas notikumu laiku.

Rezultātus ar augstāku ticamības pakāpi būtu iespējams iegūt, datējot organiskās atliekas, kuras ieslēgtas gravu izneses konusu pamatnē vai apraktas zem izneses konusa iežiem. Datēšanai vispiemērotākie ir tie gadījumi, kad zem iznesu konusa iežiem atrodas aprakta augsne vai ar kūdru aizpildīta pārpurvota ieplaka. Nākotnē ir nepieciešams veikt papildus pētījumus dabā, lai identificētu šādus virs biogēniem vai eluviālajiem nogulumiem lokalizētus vecgrāvu izneses konusus arī dienvidaustrumu Latvijā. Ja šādi veidojumi tiks konstatēti, tad būs iespējama gan ^{14}C datējumu sērija, gan sporu–putekšņu analīze, kas ļaus veikt ar dažādām metodēm iegūto datējumu korelāciju. Tādā veidā iegūtos datus turklāt vēlams būs salīdzināt ar datiem par gravu erozijas

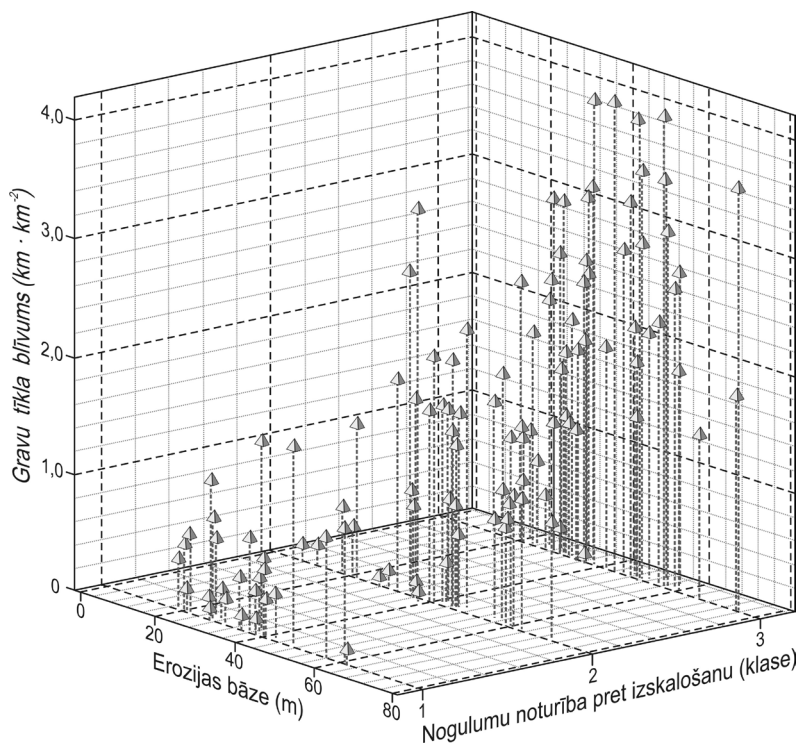
formu veidošanās vecumu reģionos un valstīs, kuras, līdzīgi kā Latvija, atradušās pēdējā (Vislas) kontinentālā apledošanas perifēriālās segas klātajā teritorijā un kurās ir sastopamas morfoloģiski līdzīgas formas, piem. Polijas un Vācijas Z daļā, Krievijas R daļā.

Literatūrā par erozijas norisi limitējošo ģeoloģisko faktoru tiek uzskatīta nogulumu erozivitāte jeb izskalojamība, kuras raksturošanai tikuši izmantoti dažādi raksturlielumi (piemēram, angl. *soil erodibility*: Wischmeier and Smith, 1958 vai angl. *critical shear stress*: Torri *et al.*, 1987). Šie empīriski noteiktie raksturlielumi loģisku spriedumu ceļā ved pie atziņas, ka teritorijās, kuras veido vieglāk izskalojami ieži vai nogulumi ar zemāku erozijas noturību, gravu skaitam un tīkla blīvumam ir jābūt lielākam, nekā teritorijās ar virsmu formveidojošo nogulumu augstāku erozijas noturību. Tomēr pētījumu rezultāti šādu nostādni neapstiprināja. Proti, lauka pētījumos iegūtās ģeomorfoloģiskās informācijas, esošās ģeoloģiskās kartēšanas datu un gravu izvietojuma un erozijas tīkla blīvuma ģeotelpiskās analīzes datu korelācija parādīja (6. att.), ka pētāmajā teritorijā vieglāk izskalojamo smilšaino nogulumu veidotajos apgabalos gravu tīklam raksturīgas zemākas tīkla blīvuma (0 līdz 0,5 km km⁻²) vērtības, nekā blīvāko un grūtāk izskalojamo morēnas smilšainu mālu un glaciolimnisko mālaino nogulumu veidotajās teritorijās, pie kam šo likumsakarību maz ietekmē erozijas bāzes dziļums.

Tas skaidrojams ar to, ārzemju zinātnieku konstatētā tiešā saistība starp iežu erozivitāti un gravu veidošanas galvenokārt ir aprakstīta semiarīda klimata apgabalos, kur raksturīgas īslaicīgas, bet ļoti intensīvas ekstrēma rakstura lietusgāzes. Bet dienvidaustrumu Latvijā klimatiskajai normai atbilstošu nokrišņu izkrišana uz viegli izskalojamiem smilšainiem un grantainiem nogulumiem, pateicoties to augstajām filtrācijas spējām, neveido Hortona virsmas noteci un attiecīgi neizraisa lineāro eroziju. Savukārt ūdensmazcaurlaidīgu, mālainu glaciģēnas vai glaciolimniskas cilmes nogulumu klātbūtne apgrūtina infiltrāciju un veicina ūdensplūsmu virzīšanos un koncentrēšanos nogāžu mikroreljefa padziļinājumos, un tādējādi ietekmē gravu veidošanos.

Balstoties uz pētījumu rezultātiem un vispārinot, var pieņemt, ka pētāmajā teritorijā erozijas tīkla apveida, gravu erozijas tīkla blīvuma un biežības lokālās atšķirības ir tieši saistītas ar teritorijas ģeoloģisko uzbūvi un reljefa morfoloģiju. Būtībā pleistocēna beigu posma glaciālās litomorfoģenēzes procesa laikā (Āboltiņš, 1989) un tam sekojošas upju ieleju attīstības gaitā holocēnā (Eberhards, 1972a) tika likti pamati gan gravu erozijas procesa norisei, gan erozijas tīkla ģeogrāfiskajam izvietojumam. Respektīvi, glaciģēno, glaciofluviālo, glaciolimnisko un fluviālo procesu mijiedarbība kopējos vilcienos dienvidaustrumu Latvijā noteica gan pozitīvo reljefa formu – paugurmasīvu un platoveida pauguru izvietojumu, gan negatīvo formu – ieleju, ielejveida

pazeminājumu, iegultņu un ieplaku tīklu. Savukārt šo formu nogāzes bija tas „substrāts”, uz kura sākās lineārās erozijas process un izveidojās gravas vai pat gravu sistēmas.



6. attēls. Gravu tīkla blīvumu vērtību atkarība no erozijas bāzes un teritoriju veidojošo nogulumu noturības pret eroziju (nogulumu klases pēc to noturības pret izskalošanu pēc Hjulström, 1935; Kosov *et al.*, 1989, autora modificēts).

Diskusijas noslēgumā jāatzīmē, ka gravu erozijai veltītajās publikācijās, visbiežāk tiek šī procesa uzsvērtas negatīvās sekas (Poesen *et al.*, 2003; Valentin *et al.*, 2005). Tomēr pētījumu rezultāti starpnozaru, ģeokoloģiskā griezumā parāda, ka daudzos gadījumos dienvidaustrumu Latvijā reto un aizsargājamo sugu atradņu, un ES aizsargājamo biotopu ģeogrāfisko izvietojumu tieši nosaka gravu erozijas reljefs. Tas var tikt skaidrots tādejādi, ka līdz ar lineārās erozijas veidoto formu attīstību, norisinās arī izmaiņas abiotisko faktoru telpiskajā sadalījumā un ar tām saistīta ainavides diferenciacija, kas savukārt rada priekšnoteikumus ekosistēmu un dzīvotņu daudzveidībai, turklāt gravās ir

augstāks gaisa un augsnes mitrums un zemāka gaisa temperatūra. Šādi apstākļi rada labvēlīgu vidi noteiktu, tajā skaitā īpaši aizsargājamu sugu eksistencei. Iespējams arī, ka dabas vērtību saistību ar gravām nosaka platlapju meži, kas saglabājušies gravu nogāzēs to saimnieciskās izmantošanas ierobežotu iespēju dēļ. Apkopojot iepriekš minēto, var uzskatīt, ka gravu erozijai laiktelpiskā griezumā ir arī pozitīva nozīme, jo šo procesu norise paaugstina reljefa saposmījumu un tādējādi ar ģeomorfoloģisko faktoru starpniecību veicina vides daudzveidības palielināšanos, gravu erozija pastiprina teritorijas hidroloģisko saikni ar uztverošajiem ūdens objektiem, un, veidojot jaunas ekoloģiskās nišas, paaugstina teritorijas bioloģisko daudzveidību.

Secinājumi

Ši pētījuma rezultāti ļauj izdarīt vairākus svarīgus secinājumus par gravu veidošanās ietekmējošajiem faktoriem un šo formu attīstības un erozijas tīkla telpiskā izvietojuma likumsakarībām dienvidaustrumu Latvijā. Kā tas izriet no pētījumu rezultātiem, teritorijas ģeoloģiskā uzbūve, līdztekus ģeomorfoloģiskajiem un klimatiskajiem faktoriem, ir viens no galvenajiem gravu tīkla veidošanās determinējošiem faktoriem dienvidaustrumu Latvijā. Blīvākais gravu tīkls ir izveidojies mālainu glaciģēnas vai glaciolimniskas ģenēzes nogulumu izplatības areālos, kur reljefa determinētās erozijas bāzes pārsniedz 30 m, nogāžu slīpums ir lielāks pa 16° un nogāžu profila augšējā daļā ir izteikts lūzuma punkts.

Gravu erozijas tīkla apveids atspoguļo baseina ģeoloģiskās uzbūves un reljefa ietekmi uz ūdens erozijas procesu norisi un fluviālo reljefa formu attīstību, tādējādi pēc gravu tīkla ģeotelpiskās organizācijas īpatnībām var spriest par konkrētas teritorijas formveidojošo nogulumu kompleksu un reljefa formu morfoloģiju.

Pētāmās teritorijas gravu morfoloģija ļauj spriest par gravu veidošanās vecumu, to veidošanos ietekmējošajiem faktoriem un vides apstākļiem, kādos notikusi gravu veidošanās. Morfometrisko parametru ziņā lielākās sengravas, vecgravas un gravveida ielejas ir veidojušās intensīvākas noteces apstākļos holocēna laikposmos ar humidāku klimatu, vai pat pleistocēna beigu posmā lokālu ledāja kušanas ūdeņu straumju erodējošas darbības rezultātā. Salikta profila jeb U+V veida tipisko gravu veidošanās norisinājusies vairākās fāzēs, kuru attīstību noteikusi gan dabisku faktoru ietekme, gan cilvēka saimnieciskā darbība. Savukārt daudzas nelielas nogāžu gravas ir tieši saistāmas ar lineārās erozijas aktivizēšanos cilvēka saimnieciskās darbības ietekmē.

Plašam un sazarotam gravu tīklam dienvidaustrumu Latvijā, it sevišķi lielākajiem tā elementiem ir dabiska cilme, ko noteikuši to veidošanai labvēlīgi ģeoloģiski ģeomorfoloģiskie un klimatiskie faktori. Antropogēnajai ietekmei ir bijusi sekundāra loma, kas noteikusi erozijas atjaunošanos dabiskas ģenēzes gravu tīklā vai jaunu, morfometriskā ziņā nelielu gravu veidošanos uz vidējformu nogāzēm vai lauksaimnieciski apstrādājamajās teritorijās.

Periodisko ūdensteču veidotā gravu erozijas tīkla ģeotelpiskais izvietojums un erozijas tīkla elementu garuma–sateces baseina platības attiecība pakļaujas tādām pašām likumsakarībām, kā pastāvīgo ūdensteču veidotais hidrogrāfiskais tīkls. Tomēr zarošanās pakāpes un to veidojošo elementu skaita attiecībai gravu tīklam ir raksturīgs salīdzinoši lielāks elementu skaits ar augstāku zarošanās pakāpi, nekā to teorētiski apraksta upēm piemērojamais „ūdensteču skaita

likums". Minētais ir saistīts ar pazemes ūdeņu ģeoloģiskās darbības nozīmīgumu gravu zarošanās procesā.

Lineārās erozijas iniciācija un gravu attīstība pētāmajā teritorijā ir saistīta ekstrēmiem hidrometeoroloģiskajiem procesiem, t.i., ar Hortona noteces veidošanos maza nodrošinājuma intensīvu lietusgāžu ietekmē vai ilgstošu nokrišņu izraisīta piesātinājuma veidotu noteci, vai arī intensīvu sniegu kušanu, līdz ar to gravu kā reljefa formu veidošanās un attīstības procesam ir lēcienveidīgs, nevis pakāpenisks raksturs.

Atsevišķas gravās vai gravu grupās ir koncentrēta mūsdienu eksogēno ģeoloģisko procesu un to norises seku daudzveidība un tām ir zinātniskā, ainaviska un ekoloģiska vērtība, tāpēc tās atbilst valsts nozīmes aizsargājama ģeoloģiski ģeomorfoloģiska rakstura dabas pieminekļu statusam. Vienlaicīgi, ar gravām saistīto dabas vērtību, galvenokārt platlapju nogāžu-gravu mežu esamība noteikusi daudzu šo formu iekļaušanu īpaši aizsargājamās dabas teritorijās. Taču kopumā gravas ir nozīmīgs paleoģeogrāfiskās informācijas avots un holocēnā notikušo vides izmaiņu indikatori, kuri, balstoties uz ģeoloģijas un ģeomorfoloģijas metodoloģiskajām pamatnostādņēm, ļauj rekonstruēt vides apstākļus, kādos varēja norisināties šo formu veidošanās.

Pateicības



LATVIJAS
UNIVERSITĀTE
ANNO 1919



Šis pētījums izstrādāts ar ESF projekta „Atbalsts doktora studijām Latvijas Universitātē”, Nr. 2009/0138/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/004, un ar Nacionālās pētījumu programmas „Klimata maiņas ietekme uz Latvijas ūdeņu vidi” atbalstu. Autors pateicas promocijas darba vadītājam prof. *Dr. geol.* Valdim Segļiņam par ieguldīto lielo darbu, atbalstu un padomiem disertācijas tapšanas gaitā, un par ļoti noderīgiem ieteikumiem zinātnisko rakstu sagatavošanā. Tāpat autors ir pateicīgs D. Kursītim, O. Griņko, K. Laizānam un E. Iliško par palīdzību lauka pētījumu veikšanā.

Publikāciju saraksts

Zinātniskās publikācijas

- Soms, J., Kalniņa, L., 2010. Daugavas senielejas sengravu morfoloģijas un proluviālo nogulumu pētījumi erozijas formu vecuma noteikšanas iespēju kontekstā. *Acta Universitatis Latviensis: Zemes un vides zinātņu sērija*. in press
- Soms, J., 2010. Efemērās gravas un to veidošanos ietekmējošie faktori dienvidaustrumu Latvijā. *Acta Universitatis Latviensis: Zemes un vides zinātņu sērija*. in press
- Soms, J., Segliņš, V., 2010. Nogāžu procesu un gravu erozijas veidotie reljefa kompleksi dabas pieminekļa „Sproģu gravas” ietvertajā Daugavas senielejas daļā. *Acta Universitatis Latviensis: Zemes un vides zinātņu sērija*. in press
- Soms, J., 2010. Development and Morphology of Gullies in the River Daugava Valley, South-Eastern Latvia. *Landform Analysis*. in review
- Soms, J., 2010. Reactivation of erosion processes in permanent gullies as a geomorphic response to extreme rainfall events. *Folia Geographica ser. Geographica-Physica* 41, 35–47.
- Soms, J., Grišanovs, A., 2010. Erozijas procesu iespējamības novērtēšana un modelēšana saistībā ar prognozēto klimata izmaiņu virzību dienvidaustrumu Latvijā. *Grām. Plikša, I. (red.), Klimata mainība un ūdeņi*. Rakstu krājums. LU Akadēmiskais apgāds, Rīga, 99–111.
- Škute, A., Gruberts, D., Soms, J., Paidere, J., 2008. Ecological and hydrological functions of the biggest natural floodplain in Latvia. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 8 (2-4), 291–306.
- Soms, J., Gruberts, D., 2008. Sediment and Nutrient Supply in the Gully Catchments of the Daugava Valley. *Lithuanian University of Agriculture Research papers VAGOS* 80(33), 92–101.
- Soms, J., 2008. Klimata mainība un augsnes erozijas procesu aktivizācija ziemas periodā. *Grām. Plikša, I. (red.), Klimata mainība un ūdeņi*. Rakstu krājums. LU Akadēmiskais apgāds, Rīga, 121–133.
- Soms, J., 2006. Regularities of gully erosion network development and spatial distribution in south-eastern Latvia. *Baltica* 19(2), 72–79.
- Soms, J., 1999. Teritorijas ģeoloģiskā uzbūve kā gravu erozijas reljefa attīstību noteicošs faktors. *Latvijas ģeoloģijas vēstis* 7/99, 23–27.

Nozīmīgākās publicētās starptautisko konferenču tēzes

- Soms, J., 2010. Quantifying suspended sediment, solutes and nutrients supply from small gully catchments under different runoff formation scenarios: a case study in SE Latvia. *Geosciences Union General Assembly 2010 Geophysical Research Abstracts*, vol.12, EGU2010-6992. Copernicus GmbH (Copernicus Publications).
- Soms, J., 2010. Development and Morphology of Gullies in the River Daugava Valley, South-Eastern Latvia. In: Zglobicki W. (ed), *Human Impact on Gully Erosion*. Proceedings of the 5th International Symposium on Gully Erosion „Human Impact on Gully Erosion”. Lublin, Poland, 19–25 April, 2010. Maria Curie-Skłodowska University, Institute of Earth Sciences, Lublin, pp.110–113.
- Gruberts, D., Soms, J., 2009. Runoff Extremes of the Daugava River at Daugavpils (Latvia). In Kovar, P., Maca, P., Redinova, J. (eds), *Water Policy 2009, Water as a Vulnerable and*

- Exhaustible Resource*. Proceedings of the Joint Conference of APLU (Association of Public and Land-Grant Universities) and ICA (Association for European Life Sciences Universities). Prague, CULS Prague, Czech Republic, 23–26 June 2009. p.180.
- Soms, J., 2008. Re-Activation of Erosion Processes in Permanent Gullies as Geomorphic Response to Extreme Rainfall Event. In: *12th Biennial Conference of Experimental and Representative Basins (ERB) 2008 "Hydrological Extremes in Small Basins"*. Krakow, 18–20 September 2008, Poland. Book of abstracts, pp.341–344.
- Soms, J., 2008. Impact of the climate change-induced runoff formation in winter on the soil erosion and sediment yield from gully catchments. In: *COST 634 International Conference "On- and Off-site Environmental Impacts of Runoff and Erosion"*. Book of abstracts. Aveiro, Portugal, p.63.
- Škute, A., Gruberts, D., Soms, J., Paidere, J., 2008. Ecological and Hydrological Functions of the Biggest Natural Floodplain in Latvia (abstract). In: *International conference Ecohydrological Processes and Sustainable Floodplain Management*. Book of abstracts. Lodz, Poland, p. 48.
- Soms, J., 2007. Potential impact of climate change on sediment and nutrient flux associated with soil erosion in the gully catchments in south-eastern Latvia. In: *The 5th International Congress of the European Society for soil Conservation "Changing Soils in a Changing World: the Soils of Tomorrow"*. Book of abstracts. Palermo, Italy, p.170.
- Soms, J., 2007. Morphology and controlling factors of landslide cirque gullies: a case study from the Sprogu gravas nature monument (SE Latvia). In: Casali, J. and Gimenez, R. (eds.), *Progress in Gully Erosion Reserarch*. Proceedings of the 4th International Symposium on Gully Erosion. Pamplona, Spain, 17–19 September, 2007. Navarra Univ., Pamplona, Spain, pp. 120–121.
- Soms, J., 2007. Evaluation of the impact of climate change on bed and bank erosion in stream channels and the resulting sediment delivery to the river Daugava. In: *The 3rd International Conference "Climate Change and waters"*. Book of abstracts. Riga, p.14–15.
- Soms, J., Bамbe, B., Suško, U., 2007. Erosion landforms and spatial distribution of rare vascular plant and moss species and habitats: case study in protected nature areas in SE Latvia. In: *4th International Conference "Research and Conservation of Biological Diversity in Baltic Region"*. Book of abstracts. Daugavpils, p.111.
- Soms, J., 2006. Vegetation cover as factor controlling slope stability within gully channels: a case study from the Daugava Valley (SE Latvia). *European Geosciences Union General Assembly 2006 Geophysical Research Abstracts*, Vol. 8, 05269, Vienna, Austria.
- Soms, J., 2005. Biodiversity as a result of diversification of the environment: the significance of erosion processes in ecosystems changes – case study in Nature Park "Daugavas Loki". In: *3rd International Conference "Research and Conservation of Biological Diversity in Baltic Region"*. Book of abstracts. Daugavpils, 2005. p. 114.
- Soms, J., 2002. The significance of topographic and geological indicators on gully erosion pattern development and spatial organisation in the morainic uplands, Latvia. In: *International Symposium "Soil Erosion Patterns: Evolution, Spatio-Temporal Dynamics and Connectivity"*. Book of abstracts. Müncheberg, p. 52.
- Soms, J., 2001. Data analysis of correlation between soil parent material and gully intensity. In: *International Symposium "The significance of soil surface characteristics in soil erosion"*. Book of abstracts. Strasbourg, Univ.Louis Pasteur, p. 85.

- Soms, J., 2001. Gully erosion landforms as geomorphological nature monuments in SE Latvia. In: *The European Association for the Conservation of the Geological Heritage Meeting. Abstracts*. Riga, University of Latvia, pp. 38–39.
- Soms, J., 2000. The Development and Location Regularities of Gullies in Southeast Latvia. In: International Symposium “Gully Erosion Under Global Change”. Book of abstracts. Katholieke Universite Leuven, p. 120.

Curriculum Vitae (CV)

1. Vispārīgās ziņas

Vārds, uzvārds: Juris Soms
 Adrese: Vienības ielā 40., dz. 34., Daugavpils, LV 5401
 E-pasts: Juris.Soms@du.lv

2. Izglītība

- 1996. Ģeogrāfijas maģistra grāds, piešķirts ar LU MPK padomes 1996. gada 13. maija sēdes lēmumu, maģistra darba tēma: "Gravu morfoloģija, to attīstības un izvietojuma likumsakarības Daugavas ielejas posmā no Krāslavas līdz Daugavpilij"
- 1994. Ģeogrāfijas skolotājs – Latvijas Universitāte, Ģeogrāfijas fakultāte (eksternāts)
- 1991. Bioloģijas un ķīmijas skolotājs – Daugavpils Pedagoģiskais institūts, Bioloģijas un ķīmijas fakultāte

3. Valodas

(runātprasme, lasītprasme, rakstītprasme; 5 ballu sistēmā, kur vērtējums 5 ir augstākais – TOEFL)
 Latviešu valoda: dzimtā
 Angļu valoda: runātprasme 4, lasītprasme 5, rakstītprasme 4
 Krievu valoda: runātprasme 4, lasītprasme 5, rakstītprasme 4

4. Darba pieredze

- 2000. – līdz šim brīdim DU DMF Ķīmijas un Ģeogrāfijas katedras vadītājs.
- 1996. – līdz šim brīdim DU Dabaszinātņu un matemātikas fakultātes prodekāns.
- 1996. – līdz šim brīdim lektors DU Ķīmijas un Ģeogrāfijas katedrā.
- 1995.–1996. asistents DPU Ķīmijas un ģeogrāfijas katedrā.
- 1993.–1995. asistents DPU Bioloģijas un mācīšanas metodikas katedrā.
- 1991.–1993. laborants DPI Zooloģijas un vispārīgās bioloģijas katedrā.

5. Zinātniskā darbība un publikācijas

Zinātniskās pētniecības virzieni: ģeomorfoloģija un kvartārģeoloģija, Latvijas reljefs, lineāro erozijas formu morfoloģija, veidošanās un izvietojuma likumsakarības

Zinātniskās publikācijas: 11

Mācību līdzekļi: 3

Konferenču tēzes: 64

Citas publikācijas: 4

Piedalīšanās starptautiskās zinātniskās konferencēs: 17

Piedalīšanās ar referātu zinātniskās konferencēs Latvijā: 25

6. Pedagoģiskā darbība

Akadēmiskais darbs Daugavpils Universitātē realizētajās bakalaura studiju programmā „Vides zinātne” un profesionālajā maģistra studiju programmā „Vides plānošana”; docētie studiju kursi:

Vispārīgā ģeoloģija (3 KP); Ģeomorfoloģija (3 KP); Kartogrāfija (3 KP); Ievads Zemes tālīzpētē (2 KP); Ģeogrāfisko atklājumu vēsture (2 KP); Latvijas dabas ģeogrāfija (4 KP); Ģeogrāfiskās informācijas sistēmas (4 KP); Ģeotelpiskās analīzes metodes vides zinātnē (2 KP); Integrētais lauku kurss vides zinātnē (2 KP)

Vadītie studiju, bakalaura un maģistra darbi:

sekmīgi novadīti 79 studiju darbi, 37 bakalaura darbi, 12 maģistra darbi.

7. Darbība ar zinātņi saistītās sabiedriskās organizācijās

No 2006. g. Eiropas Ģeozinātņu apvienības (*European Geosciences Union*) biedrs

No 2006. g. ASV Nacionālās ģeogrāfijas biedrības biedrs

No 2000. g. Eiropas Augšņu aizsardzības biedrības (*European Society for Soil Conservation*) biedrs

No 1999. g. Latvijas Kvartāra pētījumu asociācijas (LATQUA) biedrs

No 1996. g. Latvijas Ģeogrāfijas biedrības biedrs

8. Pētniecības, infrastruktūras attīstības un līgumdarbu projekti

- 2008. Dabas aizsardzības pārvaldes projekts „Dabas parka „Daugavas loki” dabas aizsardzības plāna izstrāde” – ģeoloģisko un ģeomorfoloģisko pētījumu izpildītājs
- 2008. Dabas aizsardzības pārvaldes projekts „Dabas parka „Drīdža ezers” dabas aizsardzības plāna izstrāde” – ģeoloģisko un ģeomorfoloģisko pētījumu izpildītājs
- 2005.–2008. ESF projekts „Bioloģijas un vides zinātnes studiju procesa kvalitātes uzlabošana Daugavpils Universitātē (Nr. 2005/0135/VPD1/ESF/PIAA/04/APK/3.2.3.2/0032/ 0065)” – Zemes zinātņu un ģeomātikas moduļu izstrādātājs
- 2007. SIF (Sabiedrības integrācijas fonds) un EEA Grants Norway projekts „Dabas resursu pārvaldības un izmantošanas efektivitātes paaugstināšana dabas parka „Daugavas loki” teritorijā” (Nr. 2007.PSF/2-5/06) – ģeoloģisko un ģeomorfoloģisko pieminekļu apsekošanas un kartēšanas darbu izpildītājs
- 2007. UNDP (*United Nations Development Programme*) projekts 000400670 “Building Sustainable Capacity and Ownership to Implement UNCCD objectives in Latvia” – mācību metodiskā materiāla vispārīzglītojošām skolām “Zemes ilgtspējīga apsaimniekošana” (Sauszemes virsas aizsardzība: augsnes degradācija un erozija) izstrādātājs
- 2005. LVAF projekts „Dabas lieguma „Pilskalnes Siguldiņa” dabas aizsardzības plāna izstrāde” – ģeoloģisko un ģeomorfoloģisko pētījumu izpildītājs

- 2004.–2007. ES LIFE-Nature projekts “Protection of habitats and species in Nature Park Rāzna (LIFE04NAT/LV/000199)” – projekta vadītāja vietnieks, ģeoloģisko un ģeomorfoloģisko pētījumu izpildītājs, ĢIS speciālists.
2003. LZP projekts „Ledāja dinamika pēdējā apledošanas laikā Latvijā” (Nr. 01.0300) – ģeoloģisko un ģeomorfoloģisko lauka pētījumu izpildītājs
2003. Dabas lieguma “Zebrus un Svētes ezers” dabas aizsardzības plāna izstrāde”, (VAS “Latvijas meži” pasūtījums, līgums Nr. 06/03-2003-29/u; 21.03.2003.) – ģeoloģisko un ģeomorfoloģisko pētījumu izpildītājs, ĢIS speciālists
2002. PHARE projekts “Partnership Action Plan for Long-Term Tourism Development on the Base of Local Cultural and Natural Resources (Nr. LE 9913.02 / 0015-01)” – projekta koordinators
- 2001.–2002. Projekts “Rāznas dabas parka funkcionālais zonējums un vispārīgie dabas aizsardzības noteikumi” (VAF grants Nr. 1-08/367/2000, līgums Nr.11/ 07.12.2001) – vad. speciālists
- 2001.–2002. Projekts “Lubāna mitraines dabas vērtības” (VARAM pasūtījums, līgums Nr. 2; 01.10.2001.) – ģeoloģisko un ģeomorfoloģisko apsekošanas darbu izpildītājs
- 1998.–1999. Projekta “Rāznas dabas parka izveidošana” (Latvijas Vides fonda grants, 1998; līgums Nr. 144/ 17.08.98.) – ģeoloģisko un ģeomorfoloģisko apsekošanas darbu izpildītājs; vad. speciālists.

9. Starptautiskā sadarbība

Stažēšanās ārzemju augstskolās un pētniecības iestādēs

1999. zinātniskās stažēšanās kurss “Conservation of wetland ecosystems and their biological diversity: GIS applications”, Kuširo municip., Japāna
1996. pašvaldību organizētās izglītības apmaiņas programmas dalībnieks, stažēšanās Hāderslēvas (Dānija) Valsts seminārā;
1995. TEMPUS II programmas dalībnieks, stažēšanās Odensē, Dānija

DISERTATIONES GEOLOGICAE UNIVERSITAS LATVIENSIS

Nr. 14



Juris Soms

**MORPHOLOGY OF GULLIES,
REGULARITIES OF GULLY EROSION
NETWORK DEVELOPMENT AND SPATIAL
DISTRIBUTION IN SOUTH-EASTERN
LATVIA**

Summary of the Doctoral Thesis

In partial fulfilment of the requirements of the doctor degree
in Geology
Subdiscipline of Quaternary Geology and Geomorphology

Riga, 2010

The doctoral thesis was carried out at the Department of Geology,
the University of Latvia

Supervisor:

Valdis Segliņš, Professor, *Dr. geol.* (University of Latvia)

Reviewers:

Vitālijs Zelčs, Professor, *Dr. geol.* (University of Latvia)

Ojārs Āboltiņš, Professor Emeritus, *Dr. habil. geol.* (University of Latvia)

Guntis Eberhards, Professor Emeritus, *Dr. habil. geogr.* (University of Latvia)

Doctoral Committee:

Vitālijs Zelčs, Professor, *Dr. geol.* – chairman

Ervīns Lukševičs, Professor, *Dr. geol.* – deputy chairman

Valdis Segliņš, Professor, *Dr. geol.*

Laimdota Kalniņa, Assoc. Professor, *Dr. geogr.*

Aija Dēliņa, *Dr. geol.*

Ivars Zupiņš, *Dr. geol.*

Secretary:

Ģirts Stinkulis, Assoc. Professor, *Dr. geol.*

This thesis is accepted for the commencement of the degree of Doctor of Geology
(in Quaternary Geology and Geomorphology) on 28 June, 2010, Nr. 03/2010 by the
Doctoral Committee of Geology, University of Latvia.

The thesis will be defended at the public session of the Doctoral Committee of Geology,
University of Latvia, on 12 November, 2010 Alberta Street 10, Jāņa and Elfridas Rutku
auditorium (Room No 313).

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

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

Address for submitting of comments:

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

© Juris Soms, 2010

© University of Latvia, 2010

Contents

INTRODUCTION	52
Topicality of the study	53
The aim and main objectives of the study	54
Scientific novelty of the study	55
Approbation and implementation of the research results	56
1. GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE STUDY AREA	58
2. MATERIALS AND METHODS	61
3. RESULTS AND INTERPRETATION	63
3.1. Classification and morphology of gullies	63
3.2. Regularities of geospatial distribution of gullies	73
3.3. Climatic conditions as factors affecting gully erosion	81
3.4. Peculiarities of the gully evolution process and the role of extreme hydro-meteorological factors in development of gullies	82
4. DISCUSSION	85
CONCLUSIONS	93
Acknowledgements	95
List of Publications	96
Curriculum Vitae (CV)	99
References	102
Internet resources	106
Unpublished materials	106

INTRODUCTION

Gully erosion landforms are widespread throughout the world in regions with both humid and arid climate, as well as in territories with permafrost conditions (Kovalev *et al.*, 2006). Implementation of the space research programs and development of the remote sensing techniques made it possible to discover gullies on the surface of Mars, as well as on other planets and their moons within the Solar system (Christensen, 2003). Aforementioned facts indicate that gully erosion is a significant exogenic geological process of denudation, formation of fluvial landforms, and transformation of landscape in different environments.

At the same time, development of gullies is associated with accelerated soil erosion and degradation of agricultural lands; hence gullying is ranked among other environmental problems in many countries (Valentin *et al.*, 2005). Moreover, gully erosion has negative off-site environmental impacts due to suspended sediment and nutrient delivery from gully catchments to receiving watercourses and lakes where it aggravates and accelerates processes of siltation and eutrophication (Poesen *et al.*, 2003; Wu *et al.*, 2008). Simultaneously, transferring of runoff and soil erosion products from uplands to permanent water bodies reduces water quality because of inflow of pollutants such as nutrients and agrochemicals (Valentin *et al.*, 2005; Quilbé *et al.*, 2006).

Considering that water quality is one of the major concerns throughout the world and the Water Framework Directive (OJEC, 2000) appoints strict requirements for maintaining and improving water quality in the European Union member states, it is essential to understand the triggering mechanisms of linear erosion and mitigate the pollution of water related to gully erosion.

Studies of gullies and processes of their formation and development attract a growing interest of scientists all over the world as reflected by an increasing number of published research results and scientific conferences during the last decade (Valentin *et al.*, 2005). It is connected with the necessity to identify the causative mechanisms of gully erosion process and estimate possible scenarios of erosion occurrence under the influence of global climate change, as well as with an urgent necessity to preserve water and soil resources as the major premise for providing the growing population of the planet with food (Nikodemus *et al.*, 2008).

However, most of the gully erosion studies are focused on the process and consequences of human-induced linear erosion in cultivated areas but less attention is paid to the research of old gullies that are presently found under forests (Vanwallegheem *et al.*, 2003; Smolska, 2007), and to the paleogeographic reconstruction of environmental conditions leading to formation of gully network (Dotterweich, 2005).

Although gullies as fluvial landforms are widespread in Latvia too, the extent to which regularities of gully erosion process, controlling factors, morphology of gullies, and patterns of their spatial distribution are currently studied is insufficient. At the same time, a lack of complex geological and geomorphological study of these landforms in Latvia in general and in south-eastern part of the country in particular appears obvious (Soms, 2006).

The results of research into the fields which have not yet been enough elaborated in Latvia or even are not performed at all are presented in this dissertation, focusing on triggering mechanisms of water erosion, morphology of gullies and spatial patterns of erosion network.

The territory under study, considering its topography, geological structure, climate, as well as its mosaic landscape reflecting a long-term human impact on environment and agricultural activities in south-eastern Latvia, is certainly relevant for the aforementioned research.

Topicality of the study

Soil erosion and its severe form gully formation is a natural exogenic geological process which can be greatly accelerated by human activities and/or environmental changes, and which has been reported recently as the major cause of land degradation. Consequently, studies of gully erosion and associated landforms all over the world and in Latvia are essential and topical for the following reasons.

- (1) It is necessary to identify geological and geomorphological regularities which determine gully erosion and formation of gullies, as well their morphology and spatial distribution.
- (2) Obtaining credible and scientifically substantiated data about recent rates of linear erosion and amounts of erosion products transferred from higher hypsometric levels to lower ones, as well as about the probability of erosion reactivation induced by climate changes is indispensable.
- (3) Gully erosion landforms have to be studied as an essential source of paleogeographic information about past erosion events and their controlling factors.
- (4) Understanding direct and indirect impacts of erosion processes on environment is crucial in terms of both scientific and applied aims.
- (5) There is a need to elucidate the role of gully erosion in diversification of landscape, formation of different habitats and increasing of biodiversity.

Not enough attention has been paid until now in Latvia to the aforementioned issues, hence only some studies of the factors controlling gully erosion and related landforms have been conducted.

The resulting lack of available scientific data does not allow evaluating the risk of erosion reactivation and intensification in response to climate change-induced alterations of meteorological factors in Latvia though adequate and timely assessing the expected consequences of geomorphic processes and hazards caused by climatic changes is the goal of many international research works.

Considering the forecasted seasonal variations in amount and intensity of precipitation in the climate change scenarios for the Baltic Sea region, the studies of gully erosion and its consequences are also urgent for preservation of soil and water resources, sustainable development, and spatial planning of territories.

Topicality of the given work is also justified by various theoretical and applied aspects of fluvial geomorphology and geology of exogenic processes. Among them are identification of factors inducing gully formation and affecting their further development; classification of linear erosion landforms; modelling and interpretation of the paleogeographic environmental conditions in the Holocene; designing and updating of geological hazard maps; development of methodological recommendations for spatial planning of territories.

The above mentioned issues highlight the importance of gully erosion research and substantiate the topicality and up-to-date character of the study presented in this thesis.

The aim and main objectives of the study

The topic of dissertation thematically corresponds to the field of fluvial geomorphology and covers studies of factors controlling linear erosion, genesis and morphology of related landforms in the uplands of the south-eastern part of Latvia and in the Daugava spillway valley in particular.

The aim of the thesis is to elucidate the regularities of the formation and development of gullies and spatial distribution of erosion network in south-eastern Latvia, on the basis of geomorphological and geological studies of landforms incised by linear erosion.

The main tasks to deal with in order to reach the aim of the work are as follows to:

- (1) carry out field survey and studies of gully erosion landforms in the south-eastern part of Latvia in order to measure morphological and

- topographical characteristics of gullies and identify exogenic geological processes within the gullies;
- (2) elucidate natural and anthropogenic factors controlling the development of gullies;
 - (3) perform mathematical and geospatial analyses of the obtained data;
 - (4) evaluate rates of gully erosion and the related denudation at spatiotemporal scale;
 - (5) find out relationships between geological structure of the territory, its topography, climate, vegetation, and human activities, on the one hand, and formation of gullies and their spatial distribution, on the other;
 - (6) identify genesis of the studied gullies and estimate the possible time of their formation;
 - (7) examine gully erosion landforms as a component of landscape and ecosystems and as an essential source of paleogeographic information;
 - (8) estimate the possibility of reactivation and development of erosion processes in the context of global climate changes and evaluate potential consequences and effects of linear erosion induced by these changes.

Scientific novelty of the study

The findings of the geological and geomorphological field studies of gully erosion landforms are presented in this thesis, and factors affecting linear erosion process and regularities in spatial distribution of gullies are characterised. Such a complex studying of gully genesis, time of their formation, and morphology as well as geographic patterns of erosion network has not been performed before in the territory under study, nor has it been attempted in Latvia. Consequently, the obtained data contribute to a better understanding of gully erosion in Baltic countries and Northern Europe and enhance our knowledge about this issue. Simultaneously, the studies summarised in this thesis are important for clarification of triggering and controlling factors of exogenic geological processes during the Holocene within the areas of Europe affected by the last Weichselian (Vistulian) glaciation.

The following of what is reported in this thesis has been done or obtained for the first time:

- (1) Geospatial analysis of linear erosion network has been performed and regularities in gully distribution and their geographic patterns in south-eastern Latvia have been determined.
- (2) A morphogenetic classification of gullies has been developed.

- (3) Empirical equations expressing the mathematical interconnection of morphometric parameters of gullies have been obtained.
- (4) A detailed analysis of factors that trigger incision and cause development of gullies has been carried out.
- (5) Erosion process of ephemeral gullies and the resulting landforms have been described.
- (6) Indices of precipitation erosivity have been calculated.
- (7) Data on mean annual rates of colluvium deposition and gully channel infilling at the final stage of gully evolution have been obtained.
- (8) Interdisciplinary (ecogeomorphological) data related to relationship between biodiversity and protected habitats, on the one hand, and gully erosion landforms, on the other, have been obtained.

Besides, it is for the first time that on the basis of accelerator mass spectrometry ^{14}C dating information about the age of gullies in south-eastern Latvia is obtained and presented in this research. It is significant for accomplishing paleoclimatic, paleohydrological, and paleogeographic reconstructions both in this region and in Latvia on the whole.

The author also for the first time provides translation into Latvian and interpretation of terms directly related to gully erosion as a geological process and gullies as landforms. This adds to the undertaken research which is thus intended as a basis for further research into gullies and associated processes in Latvia.

Approbation and implementation of the research results

The research findings have been reflected in 11 scientific publications in Latvian and English, four of which are published in the peer-reviewed editions focused on issues of gully erosion, and in international generally recognized and reviewed journals; four articles have been reviewed and accepted for publication and are currently in print. The list of publications is presented on page 96.

The main results of the research have been approbated and discussed at 17 international scientific conferences and symposia (see the list on pages 96). Research findings related to topic of dissertation were also presented to scientific community in geomorphology and Quaternary geology in 47 reports and presentations at 25 conferences held in Latvia.

Research results, obtained outcomes, and acquired knowledge have been used teaching theoretical lectures and practical work in subjects “General Geology”, “Geomorphology”, and “Geography of Latvia” at the Daugavpils University.

Selected lectures have been delivered in “Environmental Geomorphology” for Master degree students at the University of Latvia.

Students were actively involved in the research process, which gave them an opportunity to get acquainted with and to master field research methods in fluvial geomorphology, develop and improve their skills of geospatial analysis, and become proficient in adequate use of scientific methodology and in critical assessment of obtained results.

1. GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE STUDY AREA

The studies of gully erosion landforms and gully erosion network were performed in the case-study area of the Latgale Upland, Aug zeme Upland and River Daugava spillway valley (Fig.1). The territory of the glacial uplands covers an area of 8423.3 km² and could be subdivided into three large-scale landforms, which differ in their genesis. The Latgale Upland, an insular-shaped and bedrock-cored glacial upland (Āboltiņš, 1989), covers 79% of the entire study territory, the Augšzeme Upland, a marginal glacial upland (Āboltiņš, 1989; Āboltiņš, 1994b), makes 19% and the River Daugava Valley, a proglacial spillway valley modified by fluvial processes, encompasses (Eberhards, 1972a; Āboltiņš, 1994a), 2% of the entire study territory.

The present day topography and geology of this territory has been largely affected by Pleistocene glaciations, particularly by the last Weichselian (Vistulian) event (Āboltiņš, 1989; Zelčs and Markots, 2004). Various landforms of glacial and meltwater accumulation origin are characteristic of this area, that are represented by ice-marginal formations, assemblages of glaciotectonic subglacial landforms, and other medium-scale forms, e.g. composite ridges, ice-contact corner massifs, hummocky massifs of complicated configuration, ice-pushed radial ridges, medium-size and high morainic hills and plateau-like hills, kames (Āboltiņš, 1989; Āboltiņš, 1994b), as well as many subglacial tunnel valleys (Eberhards, 1972b).

The above mentioned landforms constitute hummocky or undulated landscape typical for the glacial uplands; besides, they determine the average difference in local topography in about 10–25 m, and its maximum is up to 50–60 m in glacial uplands and in some places where hummocky massifs are located, or along tunnel valleys and the Daugava spillway. Medium-scale landforms also determine a considerable slope length, which often exceeds 150–200 m, and slope gradient varying from 5° to 15–20°, in some places reaching the values of 30° and more (Soms, 2006).

Geological structure of the territory surface is rather complex both in horizontal and vertical sections. The bedrock surface within the study area is represented mainly by sandstone of the Upper Devonian origin and is uneven due to some local bedrock heights (Āboltiņš, 1989). The hypsometric position of the sub-Quaternary surface ranges from 90 to 110 m asl. in the Augšzeme Upland and from 110 to 120 m asl. in the Latgale Upland. Thereby, considering the present-day local altitudes, bedrocks is covered by relatively thick, i.e. 40–80 m in average, Quaternary strata (Juškevičs *et al.*, 2003; Mūrnieks *et al.*,

2004). The latter consist of glacial and glacioaquatic deposits formed by several Pleistocene glaciations, and of recent sediments, which distribution is local.

Thus the spatial geological structure of the study area surface is characterized by alternation of boulder sandy and clayey diamicton, basal till deposits or glaciolacustrine clay and silt deposits of the last glaciation; they are sporadically covered by the younger Holocene deposits (Juškevičs *et al.*, 2003; Mūrnieks *et al.*, 2004). It follows that the low position of Devonian bedrock and thickness of the covering Quaternary strata determine that deposits lying at the surface and exposed to gully erosion are presented mainly by erodible Late Pleistocene glacial, glaciofluvial, and glaciolacustrine sediments.

Consequently, during the downcutting process and deepening of the gully channels, the terrigenous Devonian sedimentary rock cannot be reached, and conditions for erosion network development are not so favourable in the study area, in contrary to those observed in the ancient valley of the River Gauja where gullies rapidly cut into poorly cemented sandstone covered by relatively thin layers of the Quaternary sediments (Venska, 1982).

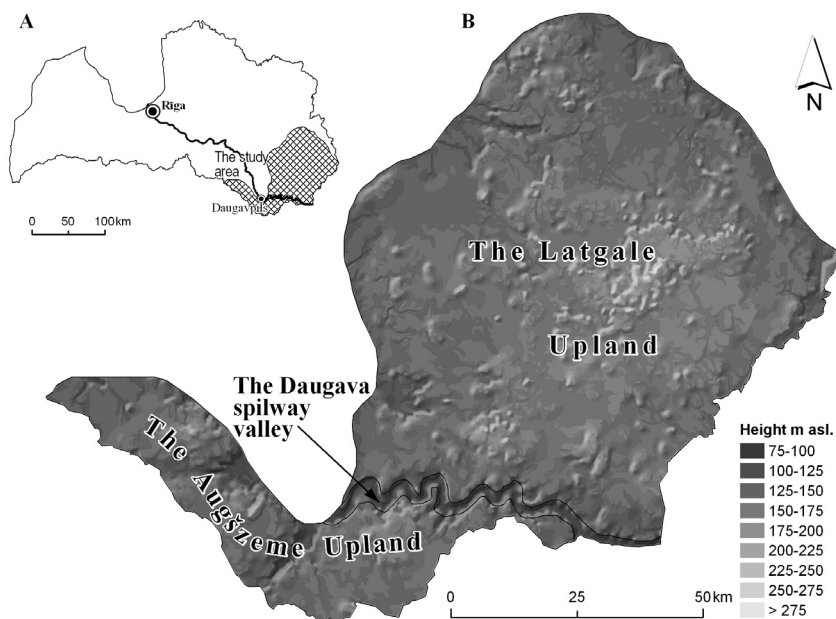


Figure 1. Location (A) and digital terrain model (B) of the study area. DTM is generated from thematic layer of contour lines (interval 25 m) in the geodatabase “GIS Latvija”, developed by Envirotech Ltd.

The mean annual precipitation in the study area varies mostly within the range of 650–730 mm a⁻¹, with the maximum geographically located on the south-western slopes of the Latgale Upland; on average, from 100 to 120 days per year have precipitation. In terms of intensity or amount of precipitation, the recurrence interval of extreme rainfall events characterised by high erosivity (more than 20 mm d⁻¹) is 10 to 12 years; however, during the heavy downpours of low probability of occurrence, e.g. 5% or 2%, values of precipitation can reach from 55 to 72 mm d⁻¹ (Spravochnik po klimatu SSSR, 1968; LVĢMC, 2009). Given that the yearly maximum of precipitation occurrence relates to the warmest months July or August when short but intensive downpours are common, there are climatic preconditions in the study area for development of linear erosion processes including initiation of gullies.

Thus the aggregate of geomorphological factors (shape, gradient, and length of slopes), geological structure (erodible glacial, glaciofluvial, and glaciolacustrine Quaternary top layer deposits), and climatic factors (amount and intensity of precipitation, intensity of snow melting, winter conditions) create favourable physiogeographic environment for gully erosion process within the study area.

Since such complexes of large and medium-scale landforms very different in respect of their genesis and morphology are geographically located in south-eastern Latvia, where in many places gullies formed due to interaction of natural and human-induced factors, this is one of the most appropriate areas for the study of gully erosion both in Latvia and probably in the Eastern Baltic countries.

It is also worth pointing out that according to the data regarding the deglaciation history of Latvia (Zelčs and Markots, 2004), the uplands in the south-eastern part of the state were exactly those areas that were the first to become free of the peripheral cover of the continental ice sheet at the end of the Late Weischelian glaciation about 14–12 ka BP (Lundqvist and Saarnisto, 1995). Consequently, these territories are amongst those in Latvia which are exposed to subaerial conditions for the longest period and thus reflect the oldest features of gully erosion events that occurred in the Late Pleistocene and the beginning of the Holocene.

2. MATERIALS AND METHODS

The results presented in the dissertation are based on original data obtained in course of more than 140 expeditions and the research programme carried out in 1996–2009. Various methods and techniques were applied for aggregating and analysing the data in order to achieve the objectives stated in Introduction of this thesis. In general, integration of research methods allows for quantitative and qualitative description of gully morphology and establishment of regularities of their development and geographic distribution within the study area thus enhancing the contribution of researchers from Latvia and other countries regarding gully erosion and associated landforms.

Integration and analysis of existing background geological information about the study area relied on the reports of field studies and expeditions, as well as geological maps available in the Geological Fund of the Latvian Environment, Geology and Meteorology Centre. In order to elucidate the influence of the climatic factors on linear erosion, long-term data series (Spravochnik po klimatu, 1968; LVĢMC, 2009) of mean monthly and annual precipitation recorded in 28 meteorological observation points located within the study area have been aggregated and analyzed. Compliance of geographical distribution of these points with the requirements of geostatistics was evaluated by methods of geospatial analysis (Mitchell, 1999; de Smith *et al.*, 2007). Subsequently, those meteorological data were entered in the computer database specially designed by the author using the MS Excel software, and utilised to calculate indicators of precipitation erosivity, i.e. Fournier index *FI* (Fournier, 1960), modified Fournier index *MFI* (Arnoldus, 1977), and precipitation concentration index *PCI* (Oliver, 1980).

Topographic maps at scales 1:10,000 and 1:25,000 were used (1) to locate gullies within the study area by applying the contour-crenulation method of interpreting fluvial landforms from maps (Strahler, 1957 and Morisawa, 1957 modified by Bauer, 1980); (2) to obtain data on some topographic characteristics of gullies, and (3) to evaluate the dynamic and course of gully network development in the spatial and temporal context.

Thereafter field studies of the gullies selected for detailed research were carried out with the help of standard geomorphological techniques (Young *et al.*, 1974; Goudie *et al.*, 1998) in order to measure *in situ* such morphometric parameters as their width *GD*, depth *GW*, length *GL*, channel and sidewall slope gradient α , as well as to survey longitudinal and cross profiles of the gullies.

Granulometric analysis of colluvial sediments accumulated in gully channels and fans was carried out according to standard procedures (Goudie *et al.*, 1998)

and the obtained data were statistically processed according to the methods used in fluvial geomorphology (Folk and Ward, 1957; Kondolf *et al.*, 2003).

Undisturbed sediment cores were sampled and their pollen analysis was performed in the Quaternary Environment laboratory of the University of Latvia by standard methods in accordance with the procedures of Moore *et al.* (1991). The decay-counting dating of wood fragments buried under colluvium was carried out in the Radiocarbon Laboratory of the University Erlangen-Nürnberg by the method of accelerator mass spectrometry. The obtained dates were corrected to a $\delta^{13}\text{C}$ of 25‰, and calibrated using the Calib 5.0 calibration programme (Stuiver and Reimer, 1993), thus establishing the age of wood.

Dendrogeomorphological methods (Alestalo, 1971; Vandekerckhove *et al.*, 2001) were used in this study to determine the time interval since stabilization of the recent gully erosion or mass movement events.

Different geomatics methods, including high-precision GPS and digital laser level survey, as well as use of GIS tools, were extensively applied to research purposes. The *ESRI ArcGIS 9.3* software package was used to carry out geospatial analysis.

3. RESULTS AND INTERPRETATION

Results of the given research display the data of geological and geomorphological field survey of gullies, and data obtained from geospatial and statistic analysis performed during cameral studies of these landforms. On the basis of these results, regularities in the formation and development of gullies, as well as in spatial distribution of the erosion network in south-eastern Latvia are established. On the whole, results of studies allow for developing the classification of the linear erosion landforms and for distinguishing six morphogenetic types of the permanent gullies.

A detailed study of spatial patterns of gully network elucidate the peculiarities of geographic distribution of the linear erosion landforms within three selected etalon territories, i.e. in the area of the plateau-like hills in the northern part of the Latgale Upland, within river valleys and the proglacial spillway located in the south-eastern part of Latvia, and in tunnel valleys of the Latgale Upland and the Aug zeme Upland.

Empirically estimated mean annual rates of colluvium deposition, results of pollen analysis, ^{14}C dates, and paleohydrological modelling indicate that formation of the largest elements of gully erosion network within the study area was caused by natural factors, and took place before the period of slash-and-burn agriculture and intensive human impact on environment.

3.1. Classification and morphology of gullies

No classification of gullies has so far been developed in Latvia, nor has the typology of gullies been worked out, hence all gullies are included into one subcategory of fluvial landforms class (Zelčš, 1997) as channels resulting from linear erosion by temporary streams.

However, considering that erosion network consists of the incisions which differ by dimension, morphology, time of formation, and genesis, the gullies were systematized in the given thesis in accordance with a number of criteria, i.e. depending on their topographic characteristics, shape of cross-profile, age, and formative processes. Consequently, peculiarities of their formation, location in relation to medium-scale landforms, stage of development, and morphology were selected as the basis for subdividing permanent gullies in south-eastern Latvia into the following morphogenetic types: (1) typical gullies, (2) slope gullies, (3) valley-like gullies, (4) hanging gullies, (5) landslide cirque gullies, and (6) ephemeral gullies.

Typical gullies. A morphological feature common for all typical gullies is location of their channel in reference to the slope upon which they have

been formed. Namely, lower reaches of such gullies deeply dissect the slopes; while their upper reaches cross the slope divides and extends far into adjacent headwater areas.

In terms of gully length, more than 50% of their total stretch is located outside the slope, and gully channels drain the hypsometrically higher surface. Considering that, typical gullies resemble the continuous gullies of Leopold and Miller (1956) and facilitate the transfer of water and eroded material from uplands by increasing connectivity in the landscape.

Such hydrological connectivity, which is a characteristic feature of this morphogenetic type of gullies, provided concentration of precipitation and snow-melt water in channels and a continuous erosion process. Consequently, typical gullies have achieved a considerable depth, which usually exceeds 10 m, and length ranging from several hundred meters to a couple of kilometres. Typical gullies are recognized in the present work as the most widespread ones in south-eastern Latvia.

Despite the fact that all typical gullies are characterised by considerable dimensions and hydrological connectivity, this type, considering the shape of gully cross-profile and the stage of development, can be subdivided more specifically into three subtypes: U-shaped or flat-bottomed old gullies (Fig. 2 A), U+V-shaped gullies or gullies of complex origin (Fig. 2 B), and V-shaped gullies (Fig. 2 C).

The first, U-shaped or flat-bottomed subtype of typical gullies, is represented by the largest fluvial erosion landforms among those draining headwater catchments. These geomorphological features which have a local name *vecgravas* look similar to small dry grassed valleys and equals to East European *balkas*.

These flat-bottomed old gullies are characterised by impressive morphology, i.e. they are up to 15 m deep, up to 80 m wide, up to 2.0 km and sometimes even more with a typical U-shaped or trapezoidal cross-sectional profile (Fig. 2 A).

The results of paleohydrological modelling carried out in the given research indicate that formation of such a concentrated discharge which can erode more than 20 m deep and 50 m wide channels is unlikely under a persisting vegetation cover and Holocene climate conditions of the south-eastern part of Latvia. In this case, it allows for assuming that formation of flat-bottomed gullies was initiated under periglacial conditions by intensive streams resulting from melting stagnant glacial ice blocks during the retreat of ice sheet from SE Latvia in the Late Pleistocene, at the end of the Late Weischelian glaciation. In order to differentiate between such Pleistocene landforms and morphologically similar but smaller ones, old Holocene infilled gullies at the stage of stabilization, the term “sengrava” is used to describe the former and the term “vecgrava” for the latter.

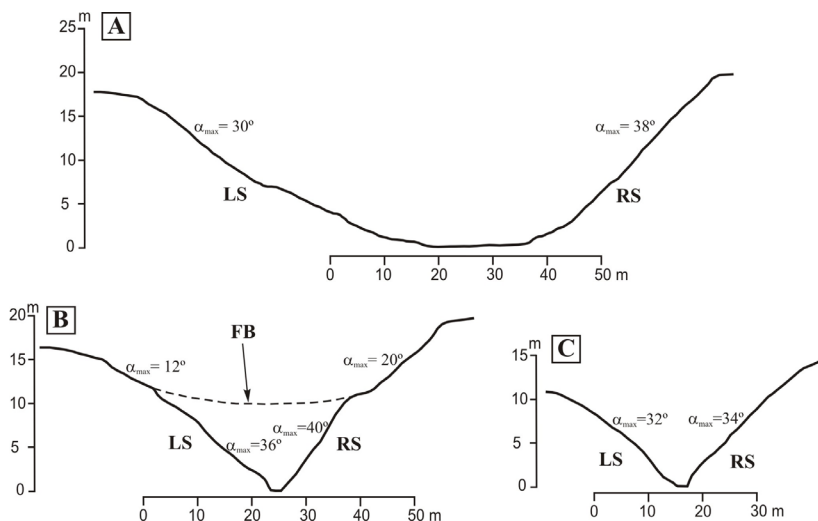


Figure 2. Cross-profiles of typical gullies in the River Daugava Valley: cross-profile of U-shaped or trapezoidal flat-bottomed old gully (A), cross-profile of U+V shaped or polygenetic gully (B), and cross-profile of V-shaped gully (C).

LS = left sidewall of gully; RS = right sidewall of gully; FB = former profile of gully bottom; α_{\max} = maximal slope gradient of measured cross-profile.

The second, U+V-shaped subtype of typical gullies is represented by large gullies of complex origin, composed from older gentle U-shaped landforms and incised into them younger V-shaped gullies. Considering their topography and characteristic shape of composite cross-profiles (Fig. 2 B), gullies of this subtype can also be named ‘dell-bottom gullies’ or ‘gully-in-old-gully’ and correspond to the valley-bottom gullies of Bradford and Piest (1980).

Together with gullies of the first subtype, the U+V-shaped ones are main drainage elements which drain the rolling morainic landscape adjacent to the valleys and upland slopes; they also play an important role as effective links for transferring runoff resulting from precipitation and snow melting to the lowlands. A characteristic feature of these gullies is dendritic branching in their middle and upper stretches due to the development of smaller branch gullies in the headwater catchment. Applying the system of stream ordering (Strahler, 1952) to gully erosion landforms, such gullies can be described as second-order or third-order gullies.

The slope gradient increases downslope across the channels of this subtype of gullies and an explicit break of gully sidewall can be clearly identified in the

field and also is expressed in computed cross-profiles as knickpoints. Mean gully sidewall angles α measured upslope from such knickpoints vary from 12° to 18° – 20° whilst when measured downslope from knickpoints, the values of gradient increase and can reach more than 35° . The observed values of the slope are higher than the repose angle of a glacial till. It can be explained by a higher cohesion of sediments due to natural wetness, and by presence of a vegetation cover on the sidewalls of U+V-shaped gullies.

The complex, terraced-like cross sections of these gullies (Fig. 2 B) give evidence of more than one incision events forming younger gullies in the bottom of older infilled ones or dells as a response to the formation of concentrated runoff resulting from climate and human impacts.

Formation of gullies of this subtype can be associated with reactivation of erosion processes within the flat-bottomed gullies as a geomorphic response to extreme hydrometeorological events, e.g. excessive inflow of water resulting from heavy rainfalls; or with reactivation of erosion triggered by anthropogenic factors such as redirection of artificial drainage system, i.e. melioration ditches and subsurface pipe outlets, into upper reaches of old infilled gullies. Thus dell-bottom gullies have been developing by leaps over a long time period and at present they reveal consequences of different formative processes.

Like flat-bottomed (U-shaped) and dell-bottom (U+V-shaped) gullies, the third subtype, V-shaped gullies, is represented by large continuous erosion landforms. Their topographic characteristics, however, are usually smaller in comparison to flat-bottomed and dell-bottom gullies. The V-shaped gullies have lengths from 150 to 400 m and over, but in contrast to gullies of two other subtypes, they do not stretch for more than 1 km. Like dell-bottom gullies, the V-shaped typical gullies extensively branch upslope and form a dendritic pattern of erosion network. These gullies are typically more than 5 m deep and have a simple V-shaped cross section (Fig. 2 C). Signs and results of mass movement processes such as shallow and rotational landslides, earth-flows, and slumps can be often observed in such gullies. There are no colluvium deposits within channels of such gullies; instead of infilling evidence of recent erosion can be recognised.

The values of the slope gradient measured *in situ* reach 36° and more, which is higher than a repose angle. It can be explained by continuation of erosion and mass movement processes within these gullies. Their formation, as well as reactivation of erosion in the dell-bottom gullies was triggered by localized high-intensity rainstorms in agricultural landscapes or by inappropriately installed melioration systems when drainage ditches or outlets were located along the edge of the valleys or in the upper part of upland slopes.

Morphology of V-shaped gullies is similar to the 'classic' or 'bank gullies' of Poesen *et al.* (1996). This subtype of gullies, however, differs from those reported in the studies of the European loess belt. The differences are mainly determined by morphological peculiarities of gully channels. Gully incisions of this morphogenetic subtype do not correspond to the equilibrium longitudinal profile. During the downcutting process, fine to medium grained sand and silt particles were washed out from the channel floor leaving litter composed of pebbles and boulders. As a result of the continuous aggregation of pebbles and boulders washed out from the stony basal till, boulder-floored V-shaped gullies have been formed. In its turn, the occurrence of such erosion resistant debris in the gully thalwegs facilitates formation of convex or step-like longitudinal profiles with knickpoints. Such convex knickpoints indicate that further downcutting is impossible in the boulder-floored stretches of gullies.

Slope gullies. Location of the major part of their stretch on the slope upon which they have been formed is a noticeable morphological feature common for all slope gullies. In quantitative expression of the channel length, it follows that less than 25% of their total stretch is located outside of the slope, and the gully channel does not typically run deep into the headwater areas. As a result, the gully channel contributing area is comparatively small and draining of adjacent areas is rather limited, thus slope gullies are discontinuous landforms in respect of hydrological connectivity.

In contrary to typical gullies, slope gullies have low values of topographic characteristics, i.e. they are usually less than 5 m deep and their length varies from some tens of meters to 100–150 m.

The study results of the given work indicate that formation of slope gullies could be triggered by anthropogenic as well as natural factors in response to re-dislocation of runoff paths generated by changes in the microtopography of the slope surface or vegetation cover. In the first of the mentioned cases, small downslope-orientated rills and elongated microdepressions, which are developed by such human activities as timber logging, soil cultivation, imprinting of tracks from the use of agricultural machinery, etc., that provide the concentration and coalescence of overland flow, which, in its turn, entails formation of small V-shaped gully. During the subsequent changes in land use or agricultural activities, however, the existing flow patterns were re-arranged and lead to cutting off all runoff and a rapid stabilization of such gullies.

Despite the fact that infilling and stabilization of slope gullies took place shortly after they are formed, in some cases the erosion processes could be reactivated in such incisions due to inappropriate soil cultivation practices or unconsidered melioration measures. Consequently, slope gullies then rapidly extend upslope into the contributing area due to headward erosion and

intercept the runoff from hypsometrically higher drainage surfaces, thus gaining permanent catchment and transforming into typical gullies.

Valley-like gullies. In some typical gullies during downcutting and deepening of gully channel, a thalweg cuts through the impermeable strata of clayey or loamy glacial till common for the study area and reaches the water table of unconfined aquifer associated with permeable water-bearing Quaternary sandy sediments, thus eventually triggering the seepage, release of groundwater, and formation of springs and permanent streams in gully channels. Despite the fact that such gullies are still similar to typical gullies in terms of their morphology, namely their length, depth, size of catchment, and shape of cross-profile, they have gained one important characteristic feature common for valleys, i.e. presence of permanent water streams in channels.

Although all fluvial erosion forms from rills and gullies to river valleys are genetically connected and represent both a geomorphological succession and hydrological continuum at the same time, and distinguishing separate forms is, to a certain extent, subjective; nevertheless, an obvious presence of permanent water streams in channels, in addition to large dimensions, clearly distinguishes this type among other morphogenetic types of gullies.

Considering that hitherto most definitions of gullies underlined that they are formed by temporal streams and transmit water only during the short period of runoff accumulation after precipitation events or snow melting, such fluvial erosion landforms with permanent watercourses do not fit into the group of typical gullies. Hence the term “valley-like gullies” is used to describe those forms that are similar to valleys in that perennial streams flow in their channels for all or most of the year, but differ from the latter due to considerably smaller morphometric parameters. Namely, the length of valley-like gullies corresponds to that of typical gullies, i.e. they could be over 0.5 km long, with some stretching for up to 2 km, whereas the length of brooklets and small rivers in Latvia usually exceeds tens of kilometres.

Together with typical gullies, these valley-like gullies are the largest elements of erosion network and among those headwater channels that form the intricate drainage patterns within the study area. These erosion landforms deeply dissect the slopes of uplands, tunnel valleys, and ancient glacial spillways; their headcuts extend far into headwater catchments, while their outlets or fans are approaching the sub-horizontal surface of terraces or footslopes, or protrude directly into the receiving water bodies.

Gullies of this morphogenetic type, in the same way as U+V-shaped typical gullies, indicate several incision-accumulation phases of erosion network development through composed cross profiles, thus reflecting the fact that they are polygenetic geomorphological features at temporal scale.

Like typical gullies, valley-like gullies are extensively branching and usually are second-order or third-order ones. The data obtained during the field survey allow for elucidating the role of mass movement and seepage erosion processes in the formation of side branches. In this case, a vertical geological structure characterised by alternating strata of Quaternary sediments with low and high hydraulic conductivity enables the formation of a groundwater flow which, in its turn, stimulates lateral seepage erosion in the gully sidewalls and development of piping openings and small landslides. It subsequently leads to concentration of groundwater flow towards such excavated semi-circular depressions and formation of a new headcuts with springs in them. Spring headcuts retreat due to seepage erosion increases groundwater flow convergence, and according to a positive feedback mechanism, provokes the process of repeated failure and headward development of branches. Their growth stabilizes when due to interception and redistribution of groundwater flow among gully branches the supply of groundwater into drainage area of each branch decreases insomuch as it is not sufficient to cause further seepage erosion.

Hanging gullies. The term “hanging gully” in Latvia was for the first time used by Eberhards (1991) in order to describe a distinctive type of old gullies found in the Nature Park “Daugavas Loki”. This morphogenetic type of gullies rather rarely occurs in the River Daugava valley and is characterised by a specific morphology and peculiar allocation on the slopes of the valley. In respect of their topography and visual appearance, hanging gullies are similar to old infilled flat-bottomed gullies at the final stage of gully evolution when a complete stabilization of channel is attained and slopes are vegetated; in contrast to the latter, however, the hanging gullies do not have either cone-shaped fans of accumulation or lower parts of channels.

Hanging gullies are, actually, transformed flat-bottomed gullies, which initially were approaching the local base level and after the stabilization and reduction of sidewalls gradients acquired the same morphology as the old gullies. However, during the subsequent development of meanders and widening of the Daugava valley by lateral erosion, the river eroded and washed out terraces, alluvial fans, and lower reaches of flat-bottomed gullies. During repeated regional incision phases of the river, a younger terrace was formed at a lower level, and partially cut old gullies were left as the hanging gullies, whose flat bottom lies now 12 to 14 m above the present local base level. The present thalwegs of hanging gullies intersect the plane of slope in the middle or lower part of the valley sidewall and does not reach the local base level, leaving the outlet of gully in a hanging position. The erosion process has not renewed in these hanging gullies because of a turf cover on the bottom and the slopes that prevent downcutting. Hanging gullies have gentle U-shaped cross-

profiles; in comparison to over types of old gullies, however, these landforms are characterized by smaller dimensions, i.e. they are over 0.2–0.3 km long and 8–12 m deep.

Estimation of the river terrace development periods (Eberhards and Saltupe, 2000: Rī-320 un Rī-323) permits to suggest that hanging gullies date back 7,000 to 3,000 years ago. It means that these gullies were formed in the pre-agricultural time, at the beginning or towards the end of the Atlantic Time. In order to obtain data about the age of hanging gullies from the sources other than geomorphological evidence, samples of undisturbed cores for pollen analysis were collected. Nevertheless, analysis of the obtained pollen diagrams indicates presence in the samples of pollen grains and spores characteristic for the Subatlantic Time, which contradicts the previous assumption. This discrepancy can be explained, first, by the fact that quantitative and qualitative differences of pollen grains contained in the examined samples indicate sediment redeposition within the given gullies, thus making pollen diagrams for this particular case proved unreliable. The second explanation is that the obtained results reflect only the time that had passed since the last event of infilling occurred instead of the real time of gully formation.

Landslide cirque gullies. This morphogenetic type of gullies is represented by short discontinuous gullies developed on the steep slopes of negative landforms, e.g. along the subglacial tunnel valleys or undercut concave banks of meander bands. Within the study area, such gullies were found mainly in the stretch of the Daugava spillway valley from Krāslava down to Naujene, as well as in some tunnel valleys, e.g. in the Subate subglacial tunnel valley and tunnel valley of the Lake Šilovkas. However, landslide cirque gullies have a relatively rare occurrence in comparison to other types. Landforms similar to the former in terms of their morphology and formative processes, i.e. gullying induced by mass movements, have been examined by Parkner *et al.*, (2007), who use the term “slide complex“. Landslide cirque gullies typically have a bottleneck shape with a cirque-like or amphitheatre-shaped sub-circular depression at the gully head and shallow V-shaped cross-profile at the gully outlet. A large number of small springs with discharge less than 0.05 l s^{-1} and sapping signs that can be usually observed at the bottom of landslide scarps form small streams. It indicates that these landslide-gully complexes were initiated by seepage erosion. Despite the presence of small permanent streams within these gullies, there are usually no morphologically expressed alluvial fans at their outlets for the following reasons: (1) gullies protrude directly into the receiving water body, i.e. a river or lake; (2) these accumulative features are usually eroded during spring floods.

Landslide cirque gullies are short (15 to 90 m), depths of incisions varies from 0.8 to 2.5 m, and the gully catchments are relatively small, from 0.29

to 1.22 ha. Taking into account the volume of eroded sediment, they can be compared to ephemeral gullies. Their difference from ephemeral gullies, however, is in a step-like thalweg and steep longitudinal profile characterised by channel gradient $>0.4 \text{ m m}^{-1}$. Hydrological modelling permits to calculate discharge of spring outlets, which possibly forms these gullies. Calculation shows that in order to incise a 0.3–0.9 m wide channel a discharge has to be from 0.0058 to $0.0831 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Comparison of data shows that theoretically calculated values are almost 2 orders as large as those obtained by measurement of real spring discharges *in situ*.

This fact can be explained by assuming that gullies are formed not only entirely by a focussed groundwater seepage and spring outflow, but also by a surface runoff concentrated in landslide cirques. On the other hand, a steep channel gradient obviously plays an additional role in accelerated erosion. Steep longitudinal profiles create favourable conditions for formation of micro-waterfalls due to the collapse of colluvium in a gully channel, which, in its turn, invokes a variety of small scarp failures that intensify headward erosion.

In order to identify the extent to which the initiation and development of landslide cirque gullies is determined by an overland runoff as a main controlling factor recognized for typical gullies, the obtained results were compared to the data recently described in the literature related to the existing geomorphic threshold conditions influencing gully initiation. For this purpose, the empirical relationship $S_{cr} = aA^{-b}$ between the upslope drainage basin area (A) and critical slope gradient (S_{cr}) of gully initiation first defined by Patton and Schumm (1975) and later reported by Vandaele *et al.*, (1996) in respect of ephemeral gully initiation, was applied in this study.

The A and S_{cr} data for landslide cirque gullies were obtained in the GIS by the tools of geospatial analysis and then plotted on a logarithmic scale together with the results concerning the critical slope gradient and drainage area for gully initiation, taken from the literature (Montgomery and Dietrich, 1988; Dietrich *et al.*, 1992; Prosser and Abernethy, 1996). Analysis and comparison of topographic A versus S_{cr} values estimated for the landslide cirque gullies with the published values of the critical thresholds for incision of overland flow based gullies indicates that the former plot below the threshold lines computed by other scientists. In other words, the size of the contributing area located upslope from a headcut of a landslide cirque gully, and its slope gradient are insufficient for gully initiation by an overland flow. However, A and S_{cr} characteristics obtained by the author are consistent with the A – S_{cr} data reported by Samani *et al.* (2009) for the gullies with landsliding and piping dominated initiation mechanism; thus conforming the assumption about the mass movement and seepage as main driving forces in the process of landslide cirque gully formation.

Application of dendrochronological techniques reveals that these gullies are relatively new. Trees growing in these gullies are 72–76 years old. Considering the observations reported in the literature (Parkner *et al.*, 2007) that vegetation rapidly re-colonizes the scours and slopes of recent landslide cirque gullies, it is possible to assume that these gullies had formed shortly before trees took roots. Hence the formation of these gullies can be related to 1931, when the intensive undercutting of the Daugava valley bluffs took place during extreme spring floods with the probability of occurrence from 1 to 0.5%.

Ephemeral gullies. Like the previous one, this morphogenetic type is usually represented by short discontinuous gullies. Nevertheless, in contrast to landslide cirque gullies, formation of ephemeral gullies occurs on relatively gentler slopes of cropland environments due to concentration of water in natural or human-made linear downslope- orientated landscape elements or micro depressions. In spite of the fact that such erosion landforms are usually infilled during tillage or soil cultivation, ephemeral gullies can develop anew in almost the same location if an intensive overland runoff forms after intensive snow melting or heavy downpour.

Given that until now study of ephemeral gullies in Latvia has not been carried out, one of the objectives set up in the given work is to obtain *in situ* data regarding morphology of these landforms and factors controlling their formation. According to the author's field observations, ephemeral gullies form quite often on the croplands in south-eastern Latvia; however, taking into account a short duration of their existence, it is not an easy task to record them and obtain the required data concerning their development.

The field survey data indicate, that the maximal depth of ephemeral gullies found in the upland areas of south-eastern Latvia varies from 0.25 to 0.8 m, and the maximal width from 0.8 to 2.5 m. Similar to the ephemeral gullies reported in gully erosion studies in Western Europe (Casalí *et al.*, 2006), the ones in Latvia also have a pronounced box-shaped cross profile with sub-vertical slopes and a flat bottom.

Recording the occurrence time of these linear erosion landforms and analysing the obtained data in seasonal framework indicate that unlike Western Europe, where initiation of ephemeral gullies is usually triggered by an overland runoff resulting from extreme rainfall events (Vandaele *et al.*, 1996), in Latvia such incisions are formed after heavy downpours and during an intensive snow melting in spring or winter as well.

Formation of ephemeral gullies, like other types of linear erosion, is a natural geological process, but it can be significantly accelerated by human activities such as slope transformation, land-forming operation, deforestation, distortion of vegetation cover, tillage and other agricultural practices, etc. Considering that

channels of ephemeral gullies are regularly infilled during agricultural activities, and the material that is periodically accumulated in gullies is then eroded and transferred downslope every time a concentrated overland runoff recurs, ephemeral gullies must be considered as an important part of human-induced denudation process in south-eastern Latvia.

Considering the data on climate change modelling adopted for Latvia, the forecasted increase of mean monthly temperature in December and January and shortening of a cold season will have a positive impact on formation of ephemeral gullies, which in its turn will increase sediment and nutrient delivery from croplands to receiving streams and basins. This phenomenon is related to significant changes in duration of the cold season and activation of accelerated water erosion in the period when the surface layers of soil are usually still frozen and covered by snow, and the erosion should not occur at all. In its turn, formation of ephemeral gullies will more often provoke a higher sediment production and supply during a warmer winter with very good delivery conditions as a result of high soil moisture levels and formation of overland flow on bare fields that are typical for crop rotation system in Latvia.

3.2. Regularities of geospatial distribution of gullies

Gullies and small permanent streams of first-order compose the finest and the largest in the number of elements part of a hydrographical network (Horton, 1945); these elements not only reflect the present-day structure and pattern of a catchment, but also allow for the evaluation of paleogeographic development of erosion network in the past and for suggesting how it might evolve in the future (Jarvis, 1977; Knighton, 1998). Simultaneously, geospatial distribution of streams reflects the influence of geological structure and topography of catchment on the process of accelerated water erosion and development of fluvial landforms. Naturally, lithological and geomorphological properties of small drainage basins of upper elements of a hydrographical network determine the development of fingertip tributaries and zero-order headwater temporal streams such as gullies, thus establishing a geographic distribution of gullies and a pattern of gully network.

Considering the aforementioned regularities, geospatial analysis of gully distribution was carried out in the given work in order to elucidate local differences in erosion network patterns, as well as variations in quantitative characteristics of geographic location of gullies, i.e. gully network density and frequency in respect of geological structure and morphology of relief.

Analysis of topographic maps and spatial analysis of the arrangement and distribution of gully networks permits to distinguish three etalon territories within the study area, i.e. (1) the territory of plateau-like hills in the northern

part of the Latgale Upland, (2) the territory of river valleys and proglacial spillway valley located in the south-eastern part of Latvia, and (3) the territory of tunnel valleys of the Latgale Upland and the Augšzeme Upland. In the above mentioned etalon territories, linear erosion landforms are widespread features of landscape, and in some places they constitute a very dense network, whereas in lowland areas, as well as on the slopes of morainic hills and hummocky massifs in central parts of the uplands, gullies occur occasionally and generally are not common features.

Gullies within the etalon territory of plateau-like hills in the northern part of the Latgale Upland. Within this etalon territory located in the Burzava hummocky area to the north of the town of Rēzekne, plateau-like hills with a top surface area from 0.8 to 2.2 km² are common. Tops of the plateau-like hills are relatively flat, besides their uppermost layers in respect of geological structure are formed from glaciolacustrine clay characterised by low infiltration indices.

In total, 46 such landforms were found in the etalon territory; gully incisions were identified on the slopes of 44 plateau-like hills. Analysis of topographic maps at scale 1:10,000 permitted to recognize 277 gullies. Considering their morphology and position on the slopes, as well as taking into account morphogenetic classification of gullies developed by the author, they can be referred to the following types of gully erosion landforms: typical gullies, slope gullies, and valley-like gullies.

The studies of spatial distribution of gullies within the etalon territory of plateau-like hills in the Burzava hummocky area indicate that the degree of slope dissection is mainly determined by relatively short, up to 200 m long, non-branched or poorly branched permanent gullies of the 1st or 2nd order. Longer, extensively branched typical gullies have a rare occurrence.

The data obtained during field studies and map analysis of the etalon territory show that development of gullies is limited by the conditions of runoff formation, which, in its turn, is determined by the topography and size of the flat-topped surface of plateau-like hills. In other words, areas with a large number of gullies, i.e. more than > 10 gullies, are associated with the slopes of plateau-like hills whose flat-topped area is about 0.8–1 km² and more; if it is smaller, only short slope gullies occur.

Calculations using the rational formula of Chow *et al.* (1988) were done to estimate the size of catchment which is sufficient, at a given amount of precipitation and rainfall intensities, for the formation of erosion-causative runoff and thus for initiation of linear incisions which correspond to the dimensions of gullies, namely at least 0.5 m deep at the cross section of at least 0.09 m².

The obtained results indicate that for heavy rainfalls with probability of occurrence 2% and intensity more than 10–12 mm h⁻¹, the size of catchment which is theoretically sufficient for gully formation is 2.8–3.3 ha; whilst the same parameter increases to more than 100 ha for usual precipitation events with a moderate intensity of 0.1–0.2 mm h⁻¹. Comparison of the theoretically calculated values with the data about the real areas of flat-topped surfaces of plateau-like hills obtained in the GIS by the tools of geospatial analysis clearly indicates that an erosion-causing runoff cannot be formed under an ordinary precipitation. Under extreme meteorological conditions, particularly during heavy rainstorms, even relatively small catchments, e.g. with the area of 0.8–1 ha and located on tops of plateau-like hills, are sufficient for formation of concentrated erosive overland flow and triggering gully erosion.

The principal geomorphological factors that affected gully erosion in the etalon territory of plateau-like hills in the Burzava hummocky area are as follows: a local erosion base level (relative height of a plateau-like hill), convex shape of slope with a knickpoint in the upper part of it, gradient, and length of slopes. Formation of gully network was registered on the plateau-like hill slopes whose length exceeds 50 m and gradient is at least 8°–10°, and the erosion base level exceeds 20 m. It is also necessary to notice that a low infiltration rate of sediments at the flat hilltops, constituted by glaciolacustrine clay, and steep slopes composed of glacial till, hinders effective absorbing of falling precipitation or snow melting water, and thus causing concentration of runoff into small streams which flow downslope. As these streams cross the pronounced break between the flat-topped surface and adjoining steep slope of a plateau-like hill, their kinetic energy and erosivity raises sharply due to an increase of slope gradient and stream velocity. Thus the simultaneous effect of both geological and geomorphological factors facilitates the process of linear erosion and formation of gullies on the slopes of plateau-like hills.

A flat surface of plateau-like hill tops and fertile soils, which were formed on the subsoil deposits of glaciolacustrine clay, also create favourable pre-conditions for agriculture and attracted ancient farmers. Taking into consideration the above mentioned fact, it could be concluded that the formation of gullies in this etalon territory could be related to intensive forest clearing related to the slash-and-burn agriculture and the beginning of soil cultivation in the 9th and 10th centuries AD (Strods, 1992). To verify this assumption, it is necessary to obtain ¹⁴C and OSL dates.

An isometric or rounded shape of plateau-like hills in horizontal representation, as well as dominance of radial slopes determine the peculiar pattern of gully network typical for this area but not common for other etalon territories.

Thus, visualization of geographic distribution of gullies using tools of geospatial analysis and comparison of the obtained pattern with 'classic' patterns of erosion networks distinguished by Morisawa (1985) indicate that the spatial distribution of gully network within the etalon territory of plateau-like hills can be described as a radial pattern.

Gullies within the etalon territory of river valleys and proglacial spillway valley located in the south-eastern part of Latvia. Review of literature summarising the issues of gully erosion, e.g. Poesen *et al.*, 2003; Kovalyev *et al.*, 2006, reveals that presence of river valleys favours the development of a dense gully erosion network due to the formation of deep negative landforms characterised by significant differences in local topography and long steep slopes. Naturally, territories within the study area, densely and deeply dissected by gullies, are geographically associated with larger landscape features of fluvial genesis such as river valleys and proglacial spillway valleys.

Considering the differences in dimensions of the mentioned before fluvial forms located in south-eastern Latvia, it was assumed that the most pronounced and most intricate gully erosion network characterised by the highest values of gully density could be related to the biggest fluvial form of the entire study area, i.e. with the Daugava spillway valley in its stretch from the town of Krāslava down to the Naujene village. For this reason, analysis of topographic maps was first of all carried out in order to verify this assumption. Once it was approved, the above mentioned stretch of Daugava was selected from other valleys as an etalon territory.

Geospatial analysis indicated that more than 350 permanent gullies of different size and morphology dissect the sides of the main valley along its 50 km long stretch. Comparison of the obtained gully network pattern with 'classic' ones reveals its correspondence to the most commonly encountered network type, i.e. a dendritic pattern.

Results of geomorphological field studies show that this etalon territory is the only one among others where all morphogenetic types of gullies were found out. In contrast to the etalon territory of plateau-like hills, the dominant type of linear erosion landforms in the Daugava spillway valley are typical gullies; whereas slope gullies constitute slightly more than $\frac{1}{4}$ of the total number of gullies. A complex vertical geological structure of this territory and its hydrogeological peculiarities, as well as the fact that the valley acts as the main local zone of groundwater outflow from both confined and unconfined aquifers due to its considerable depth, determine the formation of a large number of springs here and, as a result, development of landslide cirque gullies and valley-like gullies. In addition, hanging gullies were formed in the course of the paleogeographic development of the Daugava valley.

Statistical analysis of gully network variables carried out in this thesis yielded a close negative correlation ($r = -0.909$; $p < 0.01$ at $n = 351$) between the order of gullies (u) in respect of their branching and the number of gullies of the given order ($N_{gr(u)}$) in the Daugava valley. Consequently, the 'law of stream numbers' stated by Horton (1945) for rivers was applied to the gullies in order to determine the interconnection between $N_{gr(u)}$ and u parameters. The 'law of stream numbers' can generally be expressed by the power function $N_{gr(u)} = a \cdot \exp^{-b \cdot u}$, where $N_{gr(u)}$, a , and b are, respectively, the number of gullies of order u , a dimensionless empirical coefficient within the range 600-700 (Knighton, 1998), and an exponent characterising the branching of gullies, which, in its turn, can be calculated according to the formula $b = \ln R_b$ (Horton, 1945) where R_b is bifurcation ratio.

The $N_{gr(u)}$ and u data for permanent gullies were obtained in the GIS by the tools of geospatial analysis and then plotted on a semi-logarithmic scale. The empirical curve obtained by the best-fit method (Fig 3.) comparatively well ($R^2 = 0.9799$) describes the cluster of $N_{gr(u)}$ versus u points. However, in comparison to the 'classic' curve for permanent watercourses reported in literature (see, for example, Knighton, 1998), it indicates a less decreasing tendency of $N_{gr(u)}$ values with an increase of u values (Fig 3.).

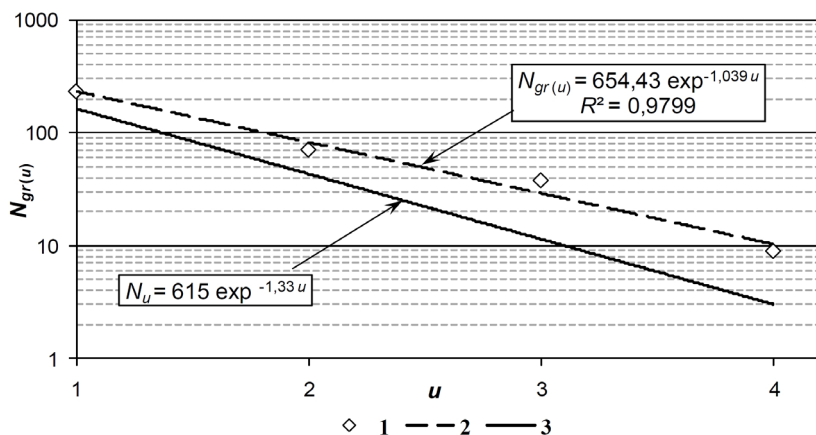


Figure 3. Correlation between the number of gullies and order of their branching within the Krāslava - Naujene stretch of the River Daugava valley:

u = order of gully branching; $N_{gr(u)}$ = number of gullies of the given order u ; 1 = values characterizing relation $N_{gr(u)}$ vs. u for gullies within the Daugava Valley; 2 = empirical curve and equation describing the regularity of relation between $N_{gr(u)}$ and u within the valley; 3 = curve and equation describing the regularity of theoretical relation between $N_{gr(u)}$ and u (Knighton, 1998)

In other words, the gully network in the Daugava spillway valley is characterised by a stronger tendency of branching than rivers. It can be explained by differences in development of the river and gully networks, i.e. for gullies, in contrast to rivers, an important role in the process of branching is played by the formation of side branches as a result of headward erosion caused by mass movement and seepage erosion. The mechanism of this phenomenon is described earlier in section 3.1 of this thesis.

Mathematical and statistical analyses of other gully network variables, namely their lengths and catchment areas, allowed for finding out a close positive correlation ($r = 0.866$; $p < 0.01$) between these characteristics. Therefore, similar to the analysis of correlation between the number of gullies and their order, another empirical relationship of mainstream length (L) to drainage basin area (A) reported by Hack (1957) for rivers was applied to the gullies in the given work. This relationship is expressed in the power function $L = a \cdot A^b$, where a is a dimensionless coefficient within the range 1–2.5 (Leopold and Miller, 1992), and b an exponent which for permanent streams varies from 0.5 to 0.6 (Ijjasz-Vasquez *et al.*, 1993).

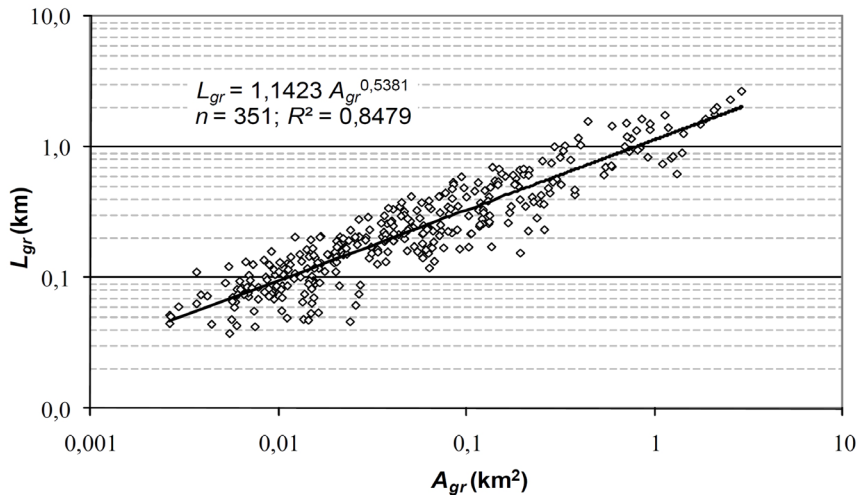


Figure 4. Graph of correlation between gully catchment area and length within the Daugava Valley, based on the data obtained by the GIS geostatistical analysis.

A_{gr} = gully catchment, L_{gr} = gully length.

The correlation graph depicting interconnection between the gully length L_{gr} and catchment area A_{gr} was plotted on a logarithmic scale by putting values of

A_{gr} and L_{gr} obtained in the GIS into data sets. Statistical processing of the cluster of $A_{gr} - L_{gr}$ points was carried out and the best fitted curve ($R^2 = 0.8479$) was derived according to power regression; the power equation $L_{gr} = 1.1423 \cdot A_{gr}^{0.5381}$ was also computed, which relatively well describes the distribution of these points in terms of mathematical reliability (Fig. 4.).

In this empirical power equation computed by the author, the value of exponent b corresponds to the one reported in literature (Ijjasz-Vasquez *et al.*, 1993); the coefficient a is, in its turn, similar to the ones calculated for rivers in the territory of the former USSR (Mihailov *et al.*, 2005) and in the territory of US (Leopold and Miller, 1992), 1.36 and 1.4 respectively.

Gullies within the etalon territory of tunnel valleys of the Latgale Upland and the Augšzeme Upland. Glaciofluvial erosional landforms and tunnel valleys are particularly widespread in the Augšzeme Upland and the Latgale upland (Eberhards, 1972b). A relative depth of these forms varying from 20 to 35 m, high values of slope gradient frequently exceeding 20°, as well as a long and steep slope of a convex shape with an explicit knickpoint in its upper part, are among those principal geomorphological factors which affect the formation of gullies in this etalon territory. It should also be emphasized that similar to the case of plateau-like hills, the internal structure of glacial deposits forming slopes and adjacent areas of tunnel valleys creates favourable conditions for gully formation on the slopes of these landforms. The uppermost part of Quaternary strata along the tunnel valleys is composed, as a rule, by facies of massive basal till or silty diamicton (Āboltiņš, 1989), that are characterized by low infiltration indices. Consequently, the formation of overland flow after rainstorms or snow melting is facilitated by poor infiltration conditions resulting from low hydraulic conductivity and fast saturation of soil, which leads to the transfer of water downslope and concentration of runoff into small streams. When these streams pass an explicit knickpoint in the upper part of a slope, its increasing gradient leads to a rise of stream velocity which, in its turn, enhances kinetic energy of the stream and, consequently, the associated erosivity.

The cartographic analysis and identification of gullies incised in the slopes of subglacial tunnel valleys allowed selecting etalon territories. The criterion for selection was occurrence and number of gullies spatially related to subglacial tunnel valleys. Ultimately, nine such glaciofluvial landforms among others located in the study area were selected because they are characterised by the highest frequency of gully erosion network. Analysis of topographic maps at scale 1:10,000 permitted to recognize 249 gullies on the slopes of tunnel valleys. The correlation of the data obtained during field studies, as well as analysis of data derived from topographic maps show that the degree of gully erosion is mainly determined by the slope gradient and temporary erosion base

level, that is, in fact, by the depth of tunnel valleys. Low values of the erosion base level (10–15 m) and gentle slopes (less than 10°) determined inactivation of linear erosion after the formation of rills. Deeply incised permanent gullies had been predominantly formed on the slopes of those tunnel valleys whose depth exceeds 25 m, and the angle of slope inclination is more than 20°.

Similar to the etalon territory of plateau-like hills, the dominant morphogenetic type of linear erosion landforms are slope gullies, while typical gullies constitute slightly more than 1/4 of the total number of gullies. However, contrary to the etalon territory of plateau-like hills, a comparatively bigger number of valley-like gullies were recognized in tunnel valleys. Furthermore, landslide cirque gullies, which have not been detected in the Burzava hummocky area, were found in some of tunnel valleys, for instance, in the Subate-Baltmuiža and Šilovka ones. Recognition of the fact, that landslide cirque gullies constitute an important part of erosion network ($> 1/5$ in total) developed in the etalon territory of subglacial tunnel valleys, indicates the influence of hydrogeological factors and highlights the role of exogenic geological processes driven by groundwater.

The rugged topography of the tunnel valley slopes is predominantly formed by short, 80 to 120 m long, non-branched permanent 1st order gullies, which, in terms of morphogenetic classification, can be referred to the slope gullies. The expansion range of branched typical gullies and valley-like gullies is much lower. Spatial distribution of gully network associated with tunnel valleys can be described as a sub-parallel pattern, when thalwegs of gullies are orientated parallel to each other, but athwart to the long axis of the subglacial tunnel valley.

Summing up, it could be concluded that the development and location of gullies on the slopes of subglacial channels in SE Latvia are determined by peculiarities of geomorphological features, particularly surface topography and morphometry of slopes, and by geological structure of Pleistocene glacial deposits.

The field studies and reconnaissance of linear erosion forms *in situ* carried out in this etalon territory show that formation of gullies in certain places is determined by anthropogenic factors, particularly by the concentration of surface and subsurface runoff into melioration ditches or pipes and redirecting outlets of these artificial drainage elements into the upper reaches of continuous gullies or directly to the edges of tunnel valleys. During the 1960s and 1970s in Latvia big melioration projects widely were carried out (Šķiņķis, 1992) scale of what can be well illustrated by the following figures, i.e. although constituting only 0.3% of the entire territory of former USSR, Latvia encompassed 11% of total artificially drained land in the Soviet Union. Taking into account that

the time of the installation of drainage system relates to second half of the 20th century, gullies in this etalon territory which are associated with outlets of drainage ditches or pipes are relatively new and thus represents the younger, human induced phase of gully erosion in south eastern Latvia.

3.3. Climatic conditions as factors affecting gully erosion

Climate conditions are recognized worldwide as paramount ones among other natural factors affecting the process of gully formation and development, and unlike such natural factors as topography or vegetation cover, they are not amenable to human modification.

In order to elucidate the influence of climate factors on linear erosion, the analysis of meteorological data characterizing the study area was carried out, and related indicators of precipitation erosivity such as Fournier index *FI* (Fournier, 1960), modified Fournier index *MFI* (Arnoldus, 1977), and precipitation concentration index *PCI* (Oliver, 1980) were calculated. Raster layers reflecting the geospatial distribution of precipitation erosivity characteristics over the entire study area were generated in the GIS from the dataset of georeferenced points with the attributed *FI*, *MFI*, and *PCI* values.

Overlaying the obtained *FI* patterns on the map of physiogeographic units of the study area clearly demonstrates that higher values of erosivity and the resultant higher probability of triggering linear erosion are associated with the central part of the Latgale Upland and with the Augšzeme Upland. However, in those areas where precipitation is relatively uniformly distributed throughout the year, as for instance, in Latvia, *FI* values do not always correctly indicate erosivity because an increase of rainfall in the months other than the wettest one, characterised by the highest monthly precipitation, leads to a decrease of *FI*, despite the increase of the erosion potential on the whole. In order to resolve such an uncertainty, in addition to the above mentioned parameters of erosivity another two were used in the given work, i.e. *MFI* and *PCI* reported by Arnoldus (1977) and Oliver (1980), respectively.

The aggregation of climatic factors by overlaying *FI*, *MFI*, and *PCI* raster layers in the GIS and the results of geostatistical multivariate analysis of these erosivity parameters point out that rainfall erosivity within the study area increases with a rise of annual precipitation and increase of temporal inequality of monthly precipitation distribution. However, in general erosivity calculated by using mean monthly or annual meteorological data can be estimated as low, which leads to the conclusion that there should be a low probability of linear erosion process within the study area. It does not tie in with the results of field studies and geospatial analysis indicating that gullies are widespread features of the upland landscapes in south-eastern Latvia (Soms, 2006).

The reasons for this discrepancy can be interpreted as follows. First of all, estimation of gully erosion probability depending on recorded meteorological data does not incorporate the paleoclimatic situation which existed in the Atlantic Time and is characterized in the related literature by higher precipitation and thus higher rainfall erosivity (Dreibrodt, 2005). Secondly, almost 40% of annual precipitation within the study area is constituted by snow, and the present climate conditions, characterised by negative air temperatures in winter, prevent the formation of overland flow and cause accumulation of snow in headwater catchments. Hence, seasonal distribution of precipitation and surface runoff are non-synchronous; moreover, rapid snow melting in spring generates a release of a large amount of water within a relatively short period of time and thus, consequently, formation of maximal runoff with high erosivity (Soms and Gruberts, 2008). Thirdly, formation of gullies is to a high degree determined by extreme downpours which, considering their low probability of occurrence both in time and space, are not included in calculations of mean precipitation values, which inevitably leads to an inadequate evaluation of erosivity.

3.4. Peculiarities of the gully evolution process and the role of extreme hydro-meteorological factors in development of gullies

It is well known that in the processes of initiation or reactivation of water erosion it is the rainfall events with precipitation which exceeds certain threshold values that are of paramount importance comparing to other climatic factors (Wischmeier and Smith, 1958). At the same time, there is a widespread opinion (see, for example, Schwab *et al.*, 1993; Valentin *et al.*, 2005) that a vegetation cover effectively controls erosion and increases the slope stability by dissipating the kinetic energy of rainfall. However, in many old gullies presently found under forest, occurrences of incision and landslides were identified during the field studies carried out by the author. Hence, there is a discrepancy between previously mentioned opinion and the study results, indicating a possibility of reactivation of erosion processes in such relatively stable fluvial forms as vegetated old gullies.

Examining the slopes and gullies covered by forest as landforms where canopy vegetation under ordinary rainfall events hinders formation of concentrated surface runoff and linear erosion, it is necessary to assume that downcutting of gully bed and undercutting of gully sidewalls present a geomorphic response of a headwater catchment to extreme hydrometeorological events such as heavy rainfalls with 1–5% probability of occurrence or a very intensive snowmelt.

In order to get a deeper insight into these issues, field studies were carried out within the River Daugava spillway valley, in the channels affected by reactivation of erosion processes after an extreme rainfall event in May 2005.

Complex geomorphological, geological, and hydrometeorological studies, morphometric measurements and recording of geomorphic consequences of the above mentioned extreme event were performed in Peščanij Ručej, a typical permanent woodland gully located in the valley. In this gully, extreme precipitation triggered various processes, *inter alia* an intensive channel incision, development of landslides and slips on the gully sidewalls, colluvial sedimentation at the gully outlets, and substantial delivery of eroded material to the receiving river.

Mathematical processing of the recorded meteorological data demonstrates that on some days, e.g. May 10, 2005, the storm rainfall intensity (up to 4.2 mm h^{-1}) exceeded infiltration capacity 1.2–2 times and overran the threshold which triggers Hortonian overland flow. Taking into account the fact that soil and the top part of subsoil deposits had become saturated by previous rainfalls, a saturation-induced overland flow was produced as well. The combination of the above mentioned factors led to a rapid transfer of precipitation from gully catchments to channels, concentration of headwater streams, and a saltatory increase of bed and sidewall erosion.

Granulometric analysis of colluvial sediments accumulated in newly formed gully fans using Hjulström's (1935) curve indicates that the presence of rather large particles ($d > 50 \text{ mm}$) in the layers deposited within the fans can be explained by the threshold stream velocity approaching 8 m s^{-1} . Such a high stream velocity could not develop in the gully as a direct result of runoff, but due to a natural damming of the gully by landslides, when the impounded pond water level rises and breaches the dam thus triggering a rapid release of the impounded water and woody debris into the gully channel and causing significant downcutting.

The development of shallow landslides in response to excessive precipitation and meteorological extremes was initially caused by incision of the gully channel and sidewall erosion processes which led to the steepening of slopes and removal of their foot, which increased instability of the sidewall and created favourable conditions for mass failures. In addition, rainfalls of moderate intensity over extended periods of time caused a geomorphic response in the form of landslide by increasing the effective weight of the saturated material, creating appreciable pore pressure, and weakening soft Quaternary deposits and unconsolidated materials.

Along with geological and geomorphological factors, the presence of vegetation cover, particularly trees, on gully sidewalls played an additional role in triggering mass movement processes. The weight of trees surcharged the slopes increasing normal and downhill force components and caused slope failures by increasing the lateral loads on the slopes which then became unstable due to saturation or removal of the slope foot.

Studies conducted *in situ* showed that the gully channel of the Peščanij Ručej at gully head and middle part of the gully had deepened by 0.8–1.1 m due to erosion. However, the channel in the lower part of the gully and at its outlet had become filled with a poorly sorted layer of colluvium sediment up to 0.7 m thick. The total amount of material eroded only in this gully channel alone was estimated at 175–200 m³, or in other words from 280 to 320 t.

Comparison of these data with those obtained via erosion monitoring in the Peščanij Ručej since 1999 demonstrates that until 2005 changes in the gully channel due to erosion and accumulation had been within the range of $\pm 3\text{--}4$ cm. In other words, the state of the channel was stable and the gully as a fluvial landform actually had not developed. Generalizing on these facts makes it possible to conclude that a temporal evolution of the given gully has an explicitly saltatory character, whereby short periods of erosion caused by hydrometeorological extremes are succeeded by years or even tens of years of relative stability with no erosion.

4. DISCUSSION

According to related literature, many recent studies that have focused on the issues of gully erosion and its relationships with ongoing environmental change (e.g., Poesen *et al.*, 2003; Valentin *et al.*, 2005; Panin *et al.*, 2009) highlight the climatic factors as paramount ones that trigger gully and formation of linear erosion forms in agricultural landscape or even in the territories presently covered by forest. Since the second half of the 20th century, when a scientific background for water erosion quantification and predicting was established, and concepts of rainfall erosivity (Wischmeier and Smith, 1958) and rainfall thresholds (Reed, 1979) were defined, precipitation has been recognised within the range of other climate factors as a major driving force of gully formation (Vanwallegem *et al.*, 2005).

The aggregation and evaluation of Fournier index *FI* (Fournier, 1960), modified Fournier index *MFI* (Arnoldus, 1977), and precipitation concentration index *PCI* (Oliver, 1980) which together characterise the erosivity of precipitation within the study area have been done for the first time, which allowed for geospatial and multivariate analyses of these indicators. The obtained results related to the correlation among annual precipitation, *MFI*, and *PCI* (Fig. 5) demonstrate that rainfall erosivity within the study area increases with rise of annual precipitation and a increase of precipitation concentration index. Generally, however, erosivity calculated on the basis of mean monthly or annual meteorological data can be estimated as low. Moreover, values of the major part of *MFI* points cluster are within the range of 55–60 units (Fig. 5), i.e. they are 1.5–2 times less than the thresholds reported in the literature (CORINE-CEC, 1992) as sufficient for the initiation of linear erosion.

It follows from the above said that erosion could not occur at all within the study area under the precipitation which corresponds to the mean monthly or annual values. Such finding is in obvious contradiction with the results of field studies and reported data (Soms, 2006), which demonstrate high density of gully erosion network in the upland areas in south-eastern Latvia, as well as recognize gullies as widespread fluvial landform in this part of the country. The reasons for the above mentioned discrepancy can be interpreted on the basis of at least two important factors, one of which is related to the accumulation of precipitation in snow cover during winter and subsequent rapid formation of erosive runoff in spring, leading to underestimation of erosivity calculated upon only rainfall data. The second reason appears related to the formation of gullies as a geomorphic response to extreme hydrometeorological events which, due to their random local geographic distribution or low probability of occurrence, very often have not been recorded by meteorological stations. Consequently, such

rare erosion causative events of high magnitude are not included in calculations of mean precipitation values, leading to inadequate evaluation of erosivity.

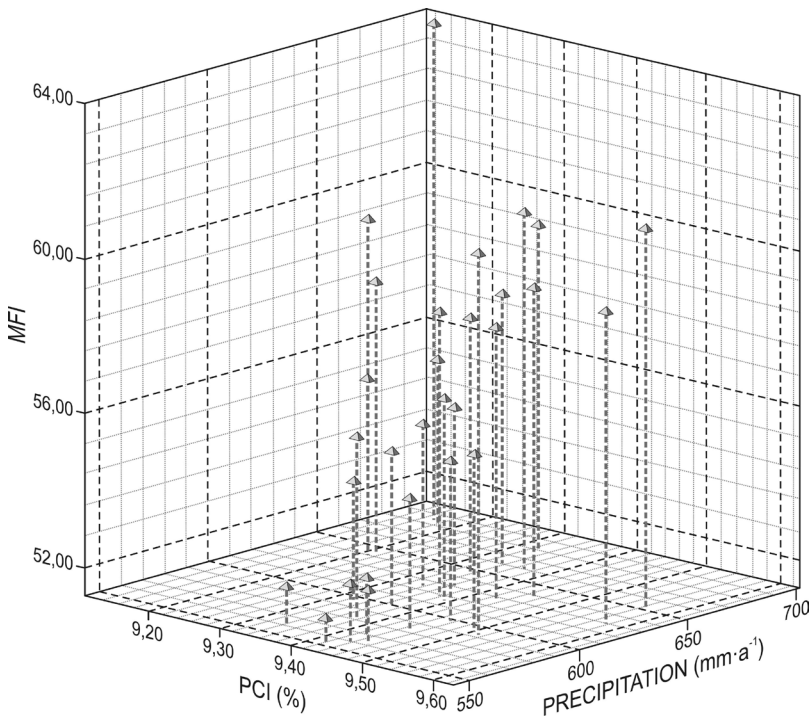


Figure 5. Relation of precipitation erosivity characterized by modified Fournier index MFI to precipitation concentration index PCI and mean annual precipitation in south-eastern Latvia.

Extreme rainfalls of high intensity and related formation of a Hortonian runoff have been recognized throughout the world as one of the most important factors that trigger gullying (Poesen *et al.*, 2003), however, there is less consensus regarding the role of climatic factors in further evolution of gullies. Recent studies dedicated to dynamics of gully development (e.g. Sidorchuk, 1999 and Nachtergaele *et al.*, 2002 amongst others) reflect a widespread opinion about gradual increasing of morphometric characteristics of gullies in course of their development at temporal scale caused by concentration of precipitation or snowmelt water in these landforms.

Nevertheless, our research has revealed that in the study area which belongs to the coniferous and mixed forest zone of the western part of the East European

Plain, where climate aggressiveness (Gregori *et al.*, 2006) in terms of erosivity is low due to rather even inter-annual distribution of monthly precipitation and rare occurrence of extreme downpours, the development of gullies has signs of saltatory evolution rather than graduality. Hence results of the given research substantiate one of the hypothesis nominated for the defence, i.e. that the process of gully development is to a high degree determined by hydrometeorological extremes which cause erosion of high intensity and formation of new gullies or reactivation of erosion in old gullies, whereas usual meteorological factors are not able to cause gullying. The recognition of this regularity permits to suggest intensification of erosion in south-eastern Latvia during next 50–100 years, considering the results of climate change modelling and related forecast of increase in precipitation, alteration in seasonal variations, and shortening of return periods of extreme rainfall events both in the Baltic Sea region (BACC Author Team, 2008) and Latvia (Bethers and Sennikovs, 2009). Consequently, there is a need to work out recommendations for spatial planning of territories in respect of the mitigation of erosion risk and preservation of soil and water resources.

A great deal of recent studies dedicated to factors controlling gully erosion in a variety of environmental and climatic conditions and to historical causes of gully erosion (Vandekerckhove *et al.*, 2000; Dotterweich, 2005), as well as summative reviews focused on gully erosion issues in general (Poesen *et al.*, 2003; Valentin *et al.*, 2005), rank the direct or indirect impact of anthropogenic factors, particularly farming systems and soil cultivation, among the most significant ones triggering gullying in the Holocene. In the given research gullies originated from human activities such as slope transformation, land-forming operations, deforestation and distortion of vegetation cover, installation of melioration systems, etc. are also reported. The author however, while accepting the opinion that natural gullying processes could be accelerated by anthropogenic factors, claims that from the historical point of view, initial formation of gully erosion network in south-eastern Latvia is predominantly determined by geological, geomorphological, and climatic factors.

The obtained ^{14}C dates and pollen analysis reveal that development of old gullies in the River Daugava spillway valley took place before the beginning of intensive agricultural activities and their infilling date back to the Subatlantic Time ca 2000 yr ago. It also corresponds to the empirically estimated mean annual rates of colluvium deposition, i.e. 0.0011 m a^{-1} (Soms and Kalniņa, 2010 *in print*). Modelling of paleohydrological conditions by the approximation of the peak flow discharges (Q) that had to cause gully incision of given width (W), in its turn, indicates that formation of discharge with the values exceeding 48 m s^{-3} , which is sufficient for eroding gullies of more than 10 m wide, is

virtually impossible under persisting vegetation cover and the Holocene climate conditions in the south-eastern part of Latvia. In this case, development of the largest gullies could be associated with the phase of intensive erosion caused by ice meltwater streams in the Late Pleistocene. The assumption that old gullies characterised by large dimensions could be periglacial features is consistent with the opinion reported by other scientists who documented morphologically similar landforms in Western Europe (Langohr and Sanders, 1985), in the north-eastern part of Poland (Smolska, 2007), and the central part of Russia (Panin *et al.*, 2009). Moreover, possibility of anthropogenic origin of gully erosion network in the study area was also refuted by the results of geoarchaeological investigation (Berga, 2007), i.e. the first culture of Balts who used slash-and-burn agriculture and thus could cause erosion, settled in this area in the Middle Iron Age, ca. between 5th and 9th century AD choosing for this purpose 'naturally fortified' sites as their settlements. In terms of topography, these sites are places where valley slopes had already been dissected by deep gullies, from which it follows that these gullies were formed before the human agricultural impact and have a natural genesis.

The comparison and analysis of historical and recent maps indicates that during the period of more than 100 years the length of gullies has not significantly increased in the course of headward erosion within the study area (Soms and Segliņš, 2010 *in print*), although this period in Latvia is characterised by intensive landcover changes resulting from agricultural activities (Strods, 1992).

It is worth mentioning, however, that until now no unified methodology which could identify the age of old gully formation has yet been worked out; the existing techniques based on examination of the colluvium accumulated in old gullies demonstrate that the process of obtaining feasible data is quite complicated (Dotterweich, 2005; Panin *et al.*, 2009). Literature review reveals that the results obtained by applying such research and dating methods as ¹⁴C, TL or OSL applicable for identifying age of the Holocene sediments, do not always indicate the real time of gully formation (Lang and Hönscheidt, 1999). The reasons for this discrepancy can be interpreted as follows. First of all, colluvial sediments are deposited in the gully channel as a result of accumulation of the erosion products transported from catchment, bed and sidewalls. Hence, materials of different age, for instance organic matter like pollens of cereals related to agricultural period, and ones from prehistoric time can be redeposited in the same layer of colluvium. Similarly silt or sandy sediments within gully channels can contain quartz grains exposed to light at different geological periods; or comprise archaeological artefacts, e.g. fragments of pottery of different time of origin. Secondly, after reactivation of downcutting in old gullies infilled with colluvium,

a rapid development of new incisions and their subsequent infilling can lead to the “renewal” of colluvium due to accumulation of younger sediments. Thirdly, organic matter accumulated within colluvium is often used to determine the age of gully; in some cases, however, younger organic material can be buried under a thick layer of older colluvium due to deposition of leaves, twigs, pieces of wood, and other elements of woody debris within the incisions eroded by intensive streams of first flush (also called ‘flush floods’) events resulting from hydrometeorological extremes. Hence the obtained ^{14}C dates will indicate the time of the last erosion event rather than the time of gully formation.

Results of a considerably higher degree of certainty can be obtained by dating organic matter, particularly soil or peat buried under alluvial fans of gullies. Consequently, there is a need for additional studies and field reconnaissance of such features within the study area, which will help identify the gully age by combining ^{14}C dating and pollen analysis techniques. Moreover, the dates thus obtained should be compared with those acquired in regions or countries similar to Latvia in that they are located within the zone of the last (Vistulian) glaciation, e.g. in the northern part of Poland and Germany or north-western part of Russia, where morphologically similar landforms are reported.

Data reported in the related literature demonstrate that development of a gully network is highly controlled by lithological properties of the uppermost part of earth surface, thus allowing recognition of certain geological factors as important ones in a range of other natural factors controlling linear erosion process. An integral indicator which captures these lithological properties with regard to susceptibility of soil and sediment to erosion is erodibility. To describe this geological factor, different terms are used in literature, for instance, soil erodibility (Wischmeier and Smith, 1958) or critical shear stress (Torri *et al.*, 1987). In the given work, erodibility of sediments is characterised by scouring velocity of a water stream which causes detachment of particles and erosion. According to this criterion, sediments were divided into three classes, where the first class (value 1) is the least resistant to erosion and the third class (value 3) is the most resistant to erosion.

Rationalizing these empirically evaluated indicators in a logical framework leads to the assumption that in territories, where surface sediments are characterised by higher erodibility values, i.e. those with lower resistance to erosion by water, the number of gullies and density of gully network should be higher in comparison to those where erodibility of sediments is lower. However, this assumption is in contradiction with the results of field studies and reported data (Soms, 2006). Multivariate analysis of geological and geomorphological controlling factors demonstrated that within the study area, gully network density expands with an increase of local base level (Fig. 6) and thus well

corresponds to the traditional notion reported in literature. However, positive correlation between the values of scouring velocity of water stream expressed as a class of erodibility and number of gullies per unit area appear contrary to the anticipated, i.e. in the territories constituted from erodible sandy or silt deposits, values of gully network density ($0\text{--}0.5 \text{ km km}^{-2}$) are lower than in those constituted from erosion-resistant clayey or basal till deposits, where the gully network density reaches its maximal values of $4.0\text{--}4.2 \text{ km km}^{-2}$.

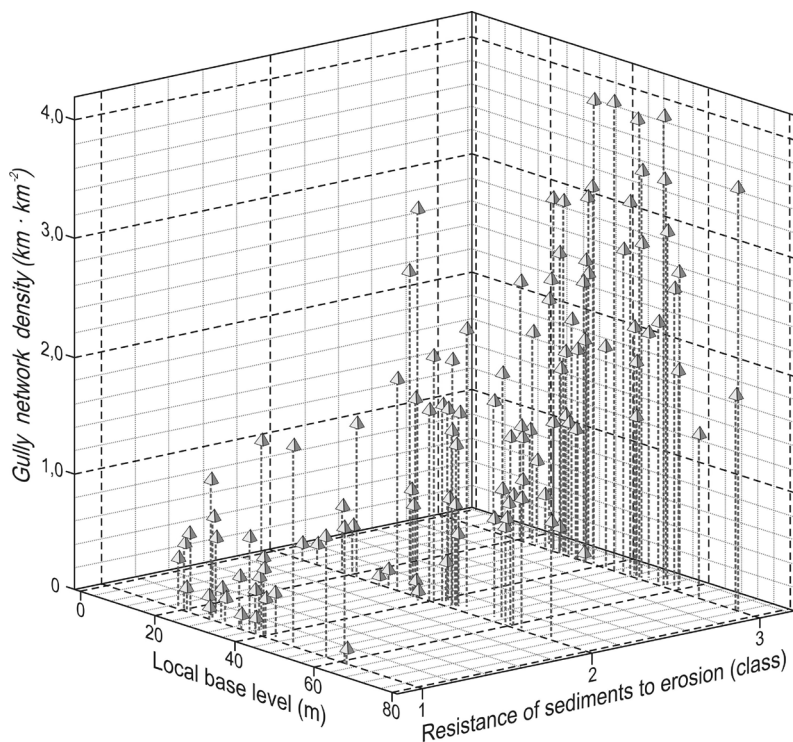


Figure 6. Relation between gully network density with local base level and the resistance of lithologic groups of sediments to water erosion in south-eastern Latvia. (Classes of lithologic groups of sediments are made after Hjulström, 1935; Kosov *et al.*, 1989 and modified by the author)

This discrepancy can be interpreted by the consideration that the positive correlation between erodibility and gully erosion network density reported by other scientists was defined for the territories characterised by unequal seasonal distribution of precipitation due to explicit dry and wet seasons. Under such

semiarid climate conditions, short but intensive rainfalls occur rather often and generate a Hortonian overland flow, thus causing development of rills and gullies. Whereas in south-eastern Latvia, where there are no dry season, precipitation inter-annually is distributed rather evenly, and extreme downpours occur rarely, precipitating of ordinary low-magnitude rain onto erodible sediments such as fine or medium-grained sand or silt, does not cause formation of a Hortonian runoff and associated linear erosion due to high hydraulic conductivity of such sediments and fast absorption of falling rain. In its turn, presence of sediments of low permeability such as erosion-resistant sandy or loamy clayey diamicton, basal till deposits, and glaciolacustrine clay hinders the absorption of even moderate precipitation because of poor infiltration conditions resulting from low hydraulic conductivity and fast saturation of the surface sediments. Hence that generates saturation-induced overland flow, concentration of runoff and subsequent erosion. Consequently, in the territories within the study area, constituted from Quaternary sediments and characterized by low erodibility and, at the same time, low permeability, formation of an erosion-causative runoff under similar precipitation conditions occurs more often than in the territories constituted from erodible, and, at the same time, permeable sediments. Thereby, erosion-resistant glacial or glaciolacustrine deposits entail formation of a much denser gully network than less-resistant ones do.

Summarizing the above discussed issues, it is possible to conclude that local variations in gully network density, its frequency and patterns are directly associated with the geological structure and morphology of relief. On the whole, results of our studies reveal that during the process of lithomorphogenesis in the Late Pleistocene, at the end of the Late Weischelian (Vistulian) glaciation (Āboltiņš, 1989) and in course of subsequent development of river valleys in the Holocene (Eberhards, 1972a), in south-eastern Latvia had basically been shaped spatial patterns of medium-scale positive landforms, e.g. hummocky massifs and plateau-like hills, and negative ones such as spillway valleys and tunnel valleys. Slopes of these medium-scale landforms, in their turn, were that 'substrate', upon which single gullies or even gully systems developed.

Completing this discussion, it is necessary to notice that hitherto most studies dealing with gully erosion issues, pointed out the negative effects of this natural exogenic process (Poesen *et al.*, 2003; Valentin *et al.*, 2005). However, the results obtained in the interdisciplinary, i.e. ecogeomorphological, context and presented in the given thesis indicate that despite negative consequences on the whole, there are some positive effects of gully erosion as well. In this perspective, field studies of geographic distribution of rare and protected plant species and protected habitats of EU importance indicate a direct interconnection between their location and patterns of erosion network in south-eastern Latvia.

Analysis of data shows that this relationship can be explained as resulting from interaction of indirect and direct controlling factors. On the one hand, presence of rare species within erosion forms is a result of indirect controlling factor, i.e. preservation of forest habitats unsuitable for human economic activities due to steep gully slopes, whilst forests in the territories adjacent to gullies were totally cleared off. On the other hand, presence of nature values can be determined by direct controlling factors, that is to say that such changes of natural factors as topography, slope aspect, slope gradient, soil properties, amount of solar radiation, distribution of precipitation and moisture regime, air humidity and temperature, etc. lead to the formation of erosion landforms within landscape, subsequent modification of existing ecosystems, and formation of environment favourable for existence of protected species. All the above mentioned permits to highlight the positive role of gully development, which on the spatiotemporal scale entails diversification of the landscape, formation of different habitats, and increase of biodiversity of territory in general.

CONCLUSIONS

The aim set forth for the thesis has been reached, and the stated objectives have been fulfilled. The results of the given research permit to draw several important conclusions about the factors controlling gully formation, regularities in development of gully erosion network and spatial distribution of gullies in south-eastern Latvia.

Alongside geomorphological and climatic controlling factors, geological structure of the territory is the principal one that affects gully erosion. The densest and most intricate gully erosion network has developed within the areas constituted from glacial or glaciolacustrine sediments of low permeability, predominantly on the slopes of those landforms, which local difference in topography exceeds 30 m, and the angle of slope inclination exceeds 16°.

A pattern of gully erosion network reflects influence of geological structure and topography of catchment on the process of accelerated water erosion and development of fluvial landforms; hence peculiarities of geospatial distribution of gullies can be used for interpreting the morphology of landforms, as well as lithological complexes of earth surface sediments within a particular territory.

Topographic characteristics and morphology of gullies reveal a possible age of gully formation, controlling factors, and environmental conditions under which development of these landforms took place. In respect of their morphometric parameters, the largest U-shaped gullies have been formed during wetter climatic periods in the Holocene, or even in the Late Pleistocene as a result of intensive erosion caused by melting stagnant glacial ice blocks during the retreat of the last ice sheet. It is most likely that the origin of U+V-shaped gullies is more complex than U-shaped ones; and these gullies are polygenetic geomorphological features at temporal scale. In some sense these old gullies could be compared to pages of palimpsest, a medieval manuscript where text were erased and written over again. Gullies in the study area geomorphologically reflect several incision–accumulation phases in the development of erosion network. Formation of typical V-shaped gullies and slope gullies is, in its turn, associated with more recent factors triggering or accelerating linear erosion both by inappropriate land use and by extreme rainfall events.

Formation of a dense and intricate gully erosion network, and particularly of its largest elements, is mainly determined by natural factors such as geology, geomorphology, and climate of the given territory, combination of which stimulates gullying. Human economic activities are a second-rank factor which has affected reactivation of erosion in old infilled gullies or development of smaller erosion landforms on the croplands.

Geospatial distribution of elements which constitute gully erosion network, as well as correlation between the length and catchment area of these elements formed by temporary streams, conform to the same 'laws' and regularities, as the ones established for elements of a hydrographical network formed by permanent streams. However, the correlation between the gully order and number of gullies of different orders indicates that a gully network is characterized by a bigger number of elements with a high degree of branching than is defined by a 'law of stream number' applicable to rivers. It can be explained by the impact of geological work of groundwater on the process of headward branching of gullies.

The initiation of linear erosion and development of gullies are to a high degree determined by hydrometeorological extremes, i.e. formation of a Hortonian runoff resulting from heavy downpours or intense snow melting, whereas usual meteorological factors are not able to cause gullying. It follows that development of gullies has signs of saltatory evolution rather than graduality.

A variety of exogenic geological processes can be observed in gullies, moreover, these landforms, which developed during the previous erosion phases, also provide relevant paleogeographic information about triggering and controlling factors of their formation and the time when it occurred. Consequently, considering their scientific or ecological significance, many of them are nominated as remarkable geomorphological nature monuments and registered in the list of protected nature objects of national importance. At the same time, nature values such as protected and rare plant species, broad-leaved forest habitats, etc. are often located in many gullies thus highlighting and enhancing the role of gully erosion in preservation of biodiversity and diversification of landscape.

Acknowledgements



LATVIJAS
UNIVERSITATE
ANNO 1919



Research reported in this thesis was supported by the ESF project No. 2009/0138/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/004 „Support of doctor’s studies in University of Latvia” and the National Research Program “Climate Change Impact on the Water Environment of Latvia” KALME. The author is very grateful to scientific supervisor, Prof. Valdis Segliņš for his valuable comments on earlier version of this thesis, as well as for his suggestions which allow improving articles for peer-review journals. The author is also grateful to D. Kursits, O. Griņko, K. Laizāns and E. Iliško for their assistance with the fieldwork, and to N. Minova for editing the English version of the text.

List of Publications

- Soms, J., Kalniņa, L., 2010. Studies of morphology and colluvium of old gullies in the Daugava River ancient valley with respect to determination of erosion landforms age. *The series of Earth and Environmental sciences. (Accepted for publication)*
- Soms, J., 2010. Ephemeral gullies and factors controlling their development in south-eastern Latvia. *The series of Earth and Environmental sciences. (Accepted for publication)*
- Soms, J., Segliņš, V., 2010. The landform complexes of mass movement and gully erosion processes: the local case-study area of Nature monument "Sproģu gravas", the River Daugava spillway valley. *Acta Universitatis Latviensis: The series of Earth and Environmental sciences. (Accepted for publication)*
- Soms, J., 2010. Development and Morphology of Gullies in the River Daugava Valley, South-Eastern Latvia. *Landform Analysis. in review*
- Soms, J., 2010. Reactivation of erosion processes in permanent gullies as a geomorphic response to extreme rainfall events. *Folia Geographica ser. Geographica-Physica 41*, 35–47.
- Soms, J., Grišānovs, A., 2010. The evaluation and modelling of soil erosion risk in respect of forecasted trends of climate changes in south-eastern Latvia. In: Plikša, I. (ed.), *Climate change and waters*. LU Academic press, Rīga, 99–111. (in Latvian)
- Škute, A., Gruberts, D., Soms, J., Paidere, J., 2008. Ecological and hydrological functions of the biggest natural floodplain in Latvia. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 8 (2–4), 291–306.
- Soms, J., Gruberts, D., 2008. Sediment and Nutrient Supply in the Gully Catchments of the Daugava Valley. *Lithuanian University of Agriculture Research papers VAGOS 80(33)*, 92–101.
- Soms, J., 2008. Climate changes and re-activation of soil erosion processes in winter period. In: Plikša, I. (ed.), *Climate changes and waters*. LU Academic press, Rīga, 121–133. (in Latvian)
- Soms, J., 2006. Regularities of gully erosion network development and spatial distribution in south-eastern Latvia. *Baltica 19(2)*, 72–79.
- Soms, J., 1999. Geological structure of territory as factor controlling the development of gully erosion landforms. *Journal of the State Geological Survey of Latvia 7/99*, 23–27. (in Latvian)

Participation in international conferences and published proceedings and abstracts:

- Soms, J., 2010. Quantifying suspended sediment, solutes and nutrients supply from small gully catchments under different runoff formation scenarios: a case study in SE Latvia. *Geosciences Union General Assembly 2010*, Vienna, Austria, Vienna, Austria, 02–07 May, 2010 *Geophysical Research Abstracts*, vol.12, EGU2010-6992. Copernicus GmbH (Copernicus Publications).
- Soms, J., 2010. Development and Morphology of Gullies in the River Daugava Valley, South-Eastern Latvia. In: Zglobicki W. (ed), *Human Impact on Gully Erosion*. Proceedings of the 5th International Symposium on Gully Erosion „Human Impact on Gully Erosion”. Lublin, Poland, 19–25 April, 2010. Maria Curie-Skłodowska University, Institute of Earth Sciences, Lublin, pp.110–113.
- Gruberts, D., Soms, J., 2009. Runoff Extremes of the Daugava River at Daugavpils (Latvia). In Kovar, P., Maca, P., Redinova, J. (eds), *Water Policy 2009, Water as a Vulnerable and Exhaustible Resource*. Proceedings of the Joint Conference of APLU (Association of Public

- and Land-Grant Universities) and ICA (Association for European Life Sciences Universities). Prague, CULS Prague, Czech Republic, 23–26 June 2009. p. 180.
- Soms, J., 2008. Re-Activation of Erosion Processes in Permanent Gullies as Geomorphic Response to Extreme Rainfall Event. In: Chelmicki, W., Siwek, J. (eds), Book of abstracts. *12th Biennial Conference of Experimental and Representative Basins (ERB) 2008 "Hydrological Extremes in Small Basins"*. Krakow, Poland, 18–20 September 2008. Jagiellonian University, Institute of Geography and Spatial Management, pp. 341–344.
- Soms, J., 2008. Impact of the climate change-induced runoff formation in winter on the soil erosion and sediment yield from gully catchments. In: Coelho, C. (ed), Book of abstracts. *COST 634 International Conference "On- and Off-site Environmental Impacts of Runoff and Erosion"*. Aveiro, Portugal, 30 June – 04 July, 2008. COST 634, University of Aveiro, p. 63.
- Škute, A., Gruberts, D., Soms, J., Paidere, J., 2008. Ecological and Hydrological Functions of the Biggest Natural Floodplain in Latvia (abstract). In: Book of abstracts. *International conference Ecohydrological Processes and Sustainable Floodplain Management*, Lodz, Poland, 19–23 May, 2008 Lodz, Poland, p. 48.
- Soms, J., 2007. Potential impact of climate change on sediment and nutrient flux associated with soil erosion in the gully catchments in south-eastern Latvia. In: Dazzi C. (ed), Book of abstracts. *The 5th International Congress of the European Society for soil Conservation "Changing Soils in a Changing World: the Soils of Tomorrow"*. Palermo, Italy, 25–30 June, 2007. University of Palermo, p. 170.
- Soms, J., 2007. Morphology and controlling factors of landslide cirque gullies: a case study from the Sprogu gravas nature monument (SE Latvia). In: Casali, J. and Gimenez, R. (eds.), *Progress in Gully Erosion Research*. Proceedings of the 4th International Symposium on Gully Erosion. Pamplona, Spain, 17–19 September, 2007. Navarra Univ., Pamplona, Spain, pp. 120–121.
- Soms, J., 2007. Evaluation of the impact of climate change on bed and bank erosion in stream channels and the resulting sediment delivery to the river Daugava. In: Book of abstracts. *The 3rd International Conference "Climate Change and waters"*, Riga, 09–11 May. Riga, p. 14–15.
- Soms, J., Bамbe, B., Suško, U., 2007. Erosion landforms and spatial distribution of rare vascular plant and moss species and habitats: case study in protected nature areas in SE Latvia. In: Book of abstracts. *4th International Conference "Research and Conservation of Biological Diversity in Baltic Region"*, Daugavpils, 25–27 April, 2007. Daugavpils University, p. 111.
- Soms, J., 2006. Vegetation cover as factor controlling slope stability within gully channels: a case study from the Daugava Valley (SE Latvia). *European Geosciences Union General Assembly 2006*, Vienna, Austria, 02–07 April, 2006. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 8, 05269, Vienna, Austria.
- Soms, J., 2005. Biodiversity as a result of diversification of the environment: the significance of erosion processes in ecosystems changes – case study in Nature Park "Daugavas Loki". In: Book of abstracts. *3rd International Conference "Research and Conservation of Biological Diversity in Baltic Region"*, Daugavpils, 20–22 April, 2005. Daugavpils University, 2005. p. 114.
- Soms, J., 2002. The significance of topographic and geological indicators on gully erosion pattern development and spatial organisation in the morainic uplands, Latvia. In: Book of abstracts. *International Symposium "Soil Erosion Patterns: Evolution, Spatio-Temporal Dynamics and Connectivity"*, Müncheberg, Germany, 10–12 October, 2002. Müncheberg, ZALF, p. 52.

- Soms, J., 2001. Data analysis of correlation between soil parent material and gullying intensity. *In: Book of abstracts. International Symposium "The significance of soil surface characteristics in soil erosion"*, Strasbourg, France, 20–22 September, 2001. Strasbourg, Univ. Louis Pasteur, p. 85.
- Soms, J., 2001. Gully erosion landforms as geomorphological nature monuments in SE Latvia. *In: Abstracts. The European Association for the Conservation of the Geological Heritage Meeting*, Riga, Latvia, 24–27 May, 2001. Riga, University of Latvia, pp. 38–39.
- Soms, J., 2000. The Development and Location Regularities of Gullies in Southeast Latvia. *In: Book of abstracts. International Symposium "Gully Erosion Under Global Change"*, Leuven, Belgium, 16–19 April, 2000. Katholieke Universitet Leuven, p. 120.

Curriculum Vitae (CV)

1. General information

Name, Surname: Juris Soms
 Address: Vienības 40–34., Daugavpils, LV-5401
 E-pasts: Juris.Soms@du.lv

2. Education

1996 The University of Latvia, the Faculty of Geography and Earth sciences; the Master's degree of Natural sciences in Geography
 1994 Post-Graduate Courses at Faculty of Geography and Earth sciences, University of Latvia, Dipl. Teacher of Geography, Riga
 1991 Dipl. Teacher of Biology and Chemistry, Daugavpils Pedagogical Institute, Daugavpils

3. Languages

Latvian: mother tongue
 English: fluently
 Russian: fluently

4. Professional development and posts held

Since 2000 Head of the Department of Geography, Faculty of Nature Sciences and Mathematics, Daugavpils University
 Since 1996 Vice-dean of the Faculty of Nature Sciences and Mathematics, Daugavpils University
 Since 1996 Lecturer on geology and geomorphology, Faculty of Nature Sciences and Mathematics, Daugavpils University
 1995-1996 Assistant, Department of Geography and Chemistry of the Daugavpils University.
 1993–1995 Assistant, Department of Biology of the Daugavpils University.
 1991–1993 Laboratory Assistant, Department of Zoology and Biology of the Daugavpils University.

5. Scientific Work and Publications

Fields of the research: Geomorphology and Quaternary geology, relief of Latvia, morphology, development and spatial distribution of linear erosion landforms

Scientific publications: 11

Text books: 3

Published proceedings and abstracts of scientific conferences: 64

Other publications: 4

Participation in international conferences (number of presentations): 17

Participation in local conferences (number of presentations): 25

6. Academic work

Subjects of B.Sci, Programme “Environmental Science” (undergraduate courses):
“General Geology”, “Geomorphology”, “Cartography”, “Introduction into Remote Sensing”, “Geography of Latvia”, “History of Geographical Discoveries”, “Geographic Information Systems”, “Geospatial Analysis Methods in Environmental Science

Supervised scientific works of students:

79 course papers, 37 Bachelor thesis, 12 Master thesis

7. Participation in scientific societies and unions

Since 2006 member of European Geosciences Union

Since 2006 member National Geographic Society of US

Since 2006 member of European Society for Soil Conservation

Since 1999 member of Quaternary Research Association of Latvia (LATQUA)

Since 1999 member Geographic Society of Latvia

8. Participation in research projects

2008 Development of Nature Protection Plan for Nature Park “Daugavas loki” – expert on geology and geomorphology

2008 Development of Nature Protection Plan for Nature Park “Dridža ezers” – expert on geology and geomorphology

2005–2008 ESF project „Improvement of study process quality in Biology and Environmental Science (No. 2005/0135/VPD1/ESF/PIAA/04/APK/3.2.3.2/0032/ 0065)” – expert

2007 UNDP (United Nations Development Programme) project 000400670 “Building Sustainable Capacity and Ownership to Implement UNCCD objectives in Latvia” – author of text book

2005 Development of Nature Protection Plan for Nature reserve “Pilskalnes Siguldiņa” – expert on geology and geomorphology

2004–2007 ES LIFE-Nature project “Protection of habitats and species in Nature Park Rāzna (LIFE04NAT/LV/000199)” – assistant, GIS expert.

2003 LZP project “The dynamics of ice sheet in Latvia during the last glaciation (No. 01.0300) – expert on geology and geomorphology

2003 Development of Nature Protection Plan for Nature reserve “Zebrus un Svētes ezers” (N0. 06/03-2003-29/u; 21.03.2003.) – expert on geology, geomorphology and GIS

2002 PHARE project “Partnership Action Plan for Long-Term Tourism Development on the Base of Local Cultural and Natural Resources (No. LE 9913.02 / 0015 - 001)” – project coordinator

2001–2002 Project “The functional zoning of the Nature park „Rāzna” and development of management plan (VAF grant Nr. 1-08/367/2000, No.11/ 07.12.2001.) – expert on geology, geomorphology and GIS

-
- 2001–2002 Project “The Nature Values of the Lake Lubāns Wetland Complex (VARAM No.2; 01.10.2001.) – expert on geology, geomorphology and GIS
- 1998–1999 Project “The establishing of the Nature Park “Rāzna”” (LVAf grant, 1998; No.144/ 17.08.98.) – expert on geology, geomorphology and GIS

9. International cooperation

- 1999 JICA course “Conservation of wetland ecosystems and their biological diversity”, Kushiro municipality (Japan)
- 1996 traineeship in Haderslev Staatseminarium (Denmark)
- 1995 TEMPUS II course and traineeship in Odense (Denmark)

Literatūras saraksts

References

- Āboltiņš, O., 1989. *Glaciostruktura i lednikovij morfogenez*. Zinātne, Rīga, 286 pp. (in Russian)
- Āboltiņš, O., 1994a. Augšdaugavas pazeminājums. *Grām.* Kavacs, G. (red.), *Enciklopēdija Latvija un latvieši. Latvijas daba*. 1. sēj. Latvijas enciklopēdija, Rīga, 86.–87.lpp.
- Āboltiņš, O., 1994b. Augšzemes augstiene. *Grām.* Kavacs, G. (red.), *Enciklopēdija Latvija un latvieši. Latvijas daba*. 1. sēj. Latvijas enciklopēdija, Rīga, 91.–92.lpp.
- Alestalo, J., 1971. Dendrochronological interpretation of geomorphic processes. *Fennia* 105, 1-140.
- Arnoldus, H.M.J., 1977. Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. Annex IV, *FAO Soils Bulletin* 34, Roma, pp. 39–48.
- BACC Author Team, 2008. *Assessment of Climate Change for the Baltic Sea basin*. Series: Regional Climate Studies. Springer, Berlin, Heidelberg, Germany, 474 p.
- Bauer, B., 1980. Drainage density: an integrative measure of the dynamics and quality of watersheds. *Zeitschrift für Geomorphologie* 24(3), 263–272.
- Berga, T., 2007. *Augšdaugavas 14.–17. gadsimta senvietas no Krāslavas līdz Slutišķiem*. Latvijas Vēstures inst. apgāds, Rīga, 223 lpp.
- Bethers, U., Sennikovs, J., 2009. Ensemble modelling of impact of climate change on runoff regime of Latvian rivers. *Proceedings of 18th World IMAC /MODSIM Congress*, 13–17.07.2009, Cairns, Australia, pp. 3900-3906.
- Bradford, J. and Piest, R., 1980. Erosional development of valley-bottom gullies in the upper mid-western United States. In: D. R. Coates & J. D. Vitek (eds), *Geomorphic Thresholds*. Dowden & Culver, Stroudsburg, Pennsylvania, 75–101.
- Casali, J., Loizu J., Campo, M. A., De Santisteban, L. M., Álvarez-Mozos, J., 2006. Accuracy of methods for field assessment of rill and ephemeral gully erosion. *Catena* 67(2), 128-138.
- Christensen, P. R., 2003. Formation of recent Martian gullies through melting of extensive water-rich snow deposits. *Nature* 422(6927), 45–48.
- CORINE-CEC, 1992. CORINE soil erosion risk and important land resources. An assessment to evaluate and map the distribution of land quality and soil erosion risk. Office for official publications of the European Communities. EUR 13233. Luxembourg.
- Dreibrodt, S., 2005. Detecting heavy precipitation events during the Holocene from soils, gully fills, colluvia and lake sediments – examples from the Belauer See catchment (northern Germany). *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften* 156(4), 573–588.
- Dietrich, W. E., Wilson, C. J., Montgomery, D. R., McKean, J., Bauer, R., 1992. Erosion thresholds and land surface morphology. *Geology* 20(8), 675–679.
- Dotterweich, M., 2005. High-resolution reconstruction of a 1300 year old gully system in northern Bavaria, Germany: a basis for modelling long-term human-induced landscape evolution. *The Holocene* 15(7), 994–1005.
- Eberhards, G., 1972a. *Strojenije i razvitije dolin baseina reki Daugava*. Zinatne, Riga, 131 pp. (in Russian)

- Eberhards, G., 1972b. Subglacialnīje lozbini i osobennosti ih razmescenija v predelah nizmen-nih raionov Latvii. *Uchoniye zapiski LGU*, v.162. Latvian State University press., Rīga, pp.15–31 (*in Russian*)
- Eberhards, G. un Saltupe, B., 2000. Latvijas upju jaunāko terasu un palieņu aluviālo nogulumu datējumi. *Latvijas ģeoloģijas vēstis* 9/00, 24–30.
- Folk, R. L. and Ward, W. C., 1957. Brazos River bar, a study in the significance of grain-size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 41(1), 489–496.
- Fournier, F., 1960. *Climat et érosion*. Presses Universitaires de France, Paris, 201 pp.
- Goudie, A., Anderson, M., Burt, T., Lewin, J., Richards, K., Whalley, B., Worsley, P. 1998. *Geomorphological techniques*. 2nd ed. Routledge, London, 570 pp.
- Hack, J. T., 1957. Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland. *United States Geological Survey Professional Paper* 294-B, 45–97.
- Hjulström, F., 1935. Studies on the morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyries. *Bulletin of the Geological Institute of the University of Uppsala* 25, 221–527.
- Horton, R., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America* 56(3), 275–370.
- Ijjasz-Vasquez, E. J., Bras, R. L., Rodrigues-Iturbe, I., 1993. Hack's relation and optimal channel networks: the elongation of river basins as consequence of energy minimization. *Geophysical Res. Letters* 20(15), 1583–1586.
- Jarvis, R.S., 1977. Drainage network analysis. *Progress in physical Geology* 1, 271–295.
- Juškevičs, V., Mīšāns, J., Mūrnieks, A., Skrebels, J., 2003. *Latvijas ģeoloģiskā karte mērogā 1 : 200 000. 34. lapa – Jēkabpils un 24. lapa – Daugavpils. 4. lapa „Kvartāra nogulumi”*. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga.
- Knighton, D., 1998. *Fluvial Forms and Processes*. Arnold, London, 383 pp.
- Kondolf, G. M., Lisle, T. E., Wolman, G.M., 2003. Bed Sediment Measurement. In Kondolf, G. M., Piegay, H. (eds.), *Tools in Fluvial Geomorphology*. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 347–395.
- Kosov, B. F., Zorina, J. F., Ljubimov, B. P., Moryakova, L. A., Nikolskaya, I. I., Prohorova, S. D., 1989. *Ovraznaya erozija*. Moscow Univ. Press, Moscow, 168 pp. (*in Russian*)
- Kovalyev, S. N., Ljubimov, B. P., Nikolskaya, I. I., Prohorova, S. D., 2006. Geograficheskiye osobennosti razvitija i rasprostraneniya ovragov. In Zorina, J. F. (ed.), *Geografija ovraznoj erozii*. Moscow Univ. Press, Moscow, pp. 53–96. (*in Russian*)
- Lang, A., Hönscheidt, S., 1999. Age and source of soil erosion derived colluvial sediments at Vaihingen-Enz, Germany. *Catena* 38(2), 89–107.
- Langohr, R., Sanders, J., 1985. The Belgium Loess belt in the last 20,000 years: evolution of soils and relief in the Zonien Forest. In: Boardman J. (ed.), *Soils and Quaternary Landscape Evolution*. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 359–371.
- Leopold L. B., Miller J. P., 1956. Ephemeral streams – hydraulic factors and their relation to the drainage net. *US Geological Survey Professional Paper* 282-A, p. 36.
- Leopold, L. B., Miller, J. P., 1992. *Fluvial Processes in Geomorphology*. Dover Publications, New York, 522 pp.
- Lundqvist, J. and Saarnisto, M., 1995. Summary of project IGCP-253. *Quaternary International* 28(1), 9–18.

- Mihailov, V., Dobrovolskij, A., Dobroljubov, S., 2005. *Gidrologija*. Visšaja škola, Moscow, 463 pp. (in Russian)
- Mitchell, A., 1999. *The ESRI Guide to GIS Analysis: Spatial Measurements and Statistics*. Environmental Systems Research Institute, ESRI Press, Redlands, CA, USA, 238 pp.
- Montgomery, D. R. and Dietrich, W. E., 1988. Where do channels begin? *Nature* 336, 232–234.
- Moore, P. D., Webb, J. A., Collinson, M. E., 1991. *Pollen analysis*, 2nd edit. Blackwell Scientific Publications, London, 216 pp.
- Morisawa, M., 1957. Accuracy of determination of stream lengths from topographic maps. *Transactions of the American Geophysical Union* 38(1), 86–88.
- Morisawa, M., 1985. *Rivers, Form and Process, Geomorphology Texts 7*. Longman, London, 232 pp.
- Mūrnieks, A., Meirons, Z., Misāns, J., 2004. *Latvijas ģeoloģiskā karte mērogā 1 : 200 000. 35.lapa – Rēzekne un 25.lapa – Indra. 3. lapa „Kvartāra nogulumi”*. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga.
- Nachtergaele, J., Poesen, J., Wijdenes, D. O., Vandekerckhove, L., 2002. Medium-term evolution of a gully developed in a loess-derived soil. *Geomorphology* 46(3–4), 223–239.
- Nikodemus, O., Kārklīņš, A., Kļaviņš, M., Melecis, V., 2008. *Augsnes ilgtspējīga izmantošana un aizsardzība*. LU Akadēmiskais apgāds, Rīga, 256 lpp.
- Official Journal of the European Community*, 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy (Water Framework Directive). L 327, vol. 43, 22 December 2000, pp. 1–72.
- Oliver, J.E., 1980. Monthly precipitation distribution: a comparative index. *Professional Geographer* 32, 300–309.
- Panin, A. V., Fuzeina, J. N., Belyaev, V. R., 2009. Long-term development of Holocene and Pleistocene gullies in the Protva River basin, Central Russia. *Geomorphology* 108(1–2), 71–91.
- Patton, P. C., Schumm, S. A., 1975. Gully erosion, Northwestern Colorado: a threshold phenomenon. *Geology* 3 (2), 88–90.
- Parkner, T., Page, M., Marden, M., Marutani, T., 2007. Gully systems under undisturbed indigenous forest, East Coast Region, New Zealand. *Geomorphology* 84 (3–4), 241–253.
- Poesen, J., Vandaele, K., van Wesemael, B., 1996. Contribution of gully erosion to sediment production in cultivated lands and rangelands. In: D. E. Walling and B. W. Webb (eds), *Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives*. Proceeding of Exeter Symposium, UK, 15–19 July, IAHS Publication, Wallingford, UK: 251–266.
- Poesen, J., Nachtergaele, J., Vertstraeten, G., Valentin, C., 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena* 50(2–4), 91–133.
- Prosser, I. P. and Abernethy, B., 1996. Predicting the topographic limits to a gully network using a digital terrain model and process thresholds. *Water Resources Research* 32(7), 2289–2298.
- Reed, A. H., 1979. Accelerated erosion of arable soils in the United Kingdom by rainfall and runoff. *Outlook on Agriculture* 10, 41–48.
- Quilbé, R., Rousseau, A. N., Duchemin, M., Poulin, A., Gangbazo, G., Villeneuve J.-P., 2006. Selecting a calculation method to estimate sediment and nutrient loads in streams: Application to the Beauvillage River (Québec, Canada). *Journal of Hydrology* 326(1–4), 295–310.

- Samani, A. N., Ahmadi, H., Jafari, M., Boggs, G., Ghoddousi, J., Malekian, A., 2009. Geomorphic threshold conditions for gully erosion in SW Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 35(2), 180–189.
- Schwab, G.O., Fangmeier, D.D., Elliot, W. J., Frevert, R.K., 1993. *Soil and Water Conservation Engineering*. 4th edit. John Wiley & Sons, New York, 507 pp.
- Sidorchuk, A., 1999. Dynamic and static models of gully erosion. *Catena* 37 (3–4), 401–414.
- de Smith, M. J., Goodchild, M. F., Longley, P. A., 2007. *Geospatial Analysis. A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools*. 2nd ed. Winchelsea Press, London, UK, 491 pp.
- Smart, J. S., 1972, Channel networks. *Advances in Hydrosociences* 8, 305–346.
- Smolska, E., 2007. Development of gullies and sediment fans in last-glacial areas on the example of the Suwałki Lakeland (NE Poland). *Catena* 71(1), 122–131.
- Soms, J., 2006. Regularities of gully erosion network development and spatial distribution in south-eastern Latvia. *Baltica* 19(2), 72–79.
- Soms, J. and Gruberts, D., 2008. Sediment and Nutrient Supply in the Gully Catchments of the Daugava Valley. *Lithuanian University of Agriculture Research papers VAGOS* 80(33), 92–101.
- Soms, J. un Kalniņa, L. 2010. Daugavas senielejas sengravu morfoloģijas un proluviālo nogulumu pētījumi erozijas formu vecuma noteikšanas iespēju kontekstā. *Acta Universitatis Latviensis: Zemes un vides zinātņu sērija. in press*
- Soms, J. un Segliņš, V., 2010. Nogāžu procesu un gravu erozijas veidotie reljefa kompleksi dabas pieminekļa „Sprōgu gravas” ietvertajā Daugavas senielejas daļā. *Acta Universitatis Latviensis: Zemes un vides zinātņu sērija. in press*
- Spravochnik po klimatu SSSR*, 1968. Iss. 5. Latviiskaja SSR. Part IV: Vlaznostj vozduha, atmosfernije osadki i sneznij pokrov. Hidrometizdat, Laningrad, 210 pp.
- Strahler, A. N., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bulletin of the Geological Society of America* 63 (11), 1117–1142.
- Strahler, A. N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of the American Geophysical Union* 38(6), 913–920.
- Strods, H., 1992. *Latvijas lauksaimniecības vēsture. No vissenākajiem laikiem līdz XX gs. 90.gadiem*. Zvaigzne, Rīga, 287 lpp.
- Stuiver, M. and Reimer, P. J., 1993. Extended ¹⁴C database and revised CALIB 3.0 ¹⁴C age radiocarbon calibration program. *Radiocarbon* 35(1), 215–230.
- Šķiņķis, C., 1992. *Hidromeliorācijas ietekme uz dabu*. Zinātne, Rīga, 297 lpp.
- Torri, D., Dfalanga, M., Chisci, G., 1987. Threshold conditions for incipient rilling. In: Bryan, R. B. (ed.), *Rill Erosion: Processes and Significance*. *Catena Supplement* 8, 97–105.
- Valentin, C., Poesen, J., Li, Y., 2005. Gully erosion: impacts, factors and control. *Catena* 63(2–3), 132–153.
- Vandaele, K., Poesen, J., Govers, G., van Wesemael, B., 1996. Geomorphic threshold conditions for ephemeral gully incision. *Geomorphology* 16(2), 161–173.
- Vandekerckhove, L., Poesen, J., Oostwoud Wijdenes, D., Nachtergaele, J., Kosmas, C., Roxo, M. J., De Figueiredo, T., 2000. Thresholds for gully initiation and sedimentation in Mediterranean Europe. *Earth Surface Processes and Landforms* 25(11), 1201–1220.
- Vandekerckhove, L., Muys, B., Poesen, J., De Weerd, B., Coppé, N., 2001. A method for denrochronological assessment of medium-term gully erosion rates. *Catena* 45(2), 123–161.

- Vanwallegem T., Van Den Eeckhaut M., Poesen J., Deckers J., Nachtergaele J., Van Oost K., Slensters C. 2003. Characteristics and controlling factors of old gullies under forest in a temperate humid climate: a case study from the Meerdaal Forest (Central Belgium). *Geomorphology* 56(1–2), 15–29.
- Venska, V., 1982. Sovremennije geologičeskije processi na territorii nacionalnogo parka Gauja. In: Eberhards, G. (ed.), *Sovremennije ekzogennije processi i metodi ih issledovaniya*. Latvian State University press., Riga, pp.139–159.
- Wischmeier, W. and H., Smith, D., D., 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *American Geophysical Union Transactions* 39, 285–291.
- Wu, B., Wang, G., Xia, J., Fu, X., Zhang, Y., 2008. Response of bankfull discharge to discharge and sediment load in the Lower Yellow River. *Geomorphology* 100(3–4), 366–376.
- Young A., Brunsten D., Thornes J. B., 1974. Slope profile survey. *British Geomorphological Research Group Bulletin* No. 11. Geo Abstracts, Norwich, 52 pp.
- Zelčs, V., 1997. Reljefs. *Grām.* Kavacs, G., (red.), *Enciklopēdija Latvija un latvieši. Latvijas daba*. 4. sēj. Preses nams, Rīga, 234.–238.lpp.
- Zelčs, V. and Markots, A., 2004. Deglaciation history of Latvia. In Ehlers, J., Gibbard, P. L. (eds.), *Extent and Chronology of Glaciations*, v.1 (Europe). Elsevier, pp. 225–244.

Interneta avoti un resursi

Internet resources

- GRDC, 2009. The Global Runoff Data Centre, 56068 Koblenz, Germany. URL: <http://www.bafg.de/GRDC> [Online, 2009.12.10]
- LVĢMC, 2009. Latvijas vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs, meteoroloģisko staciju „Daugavpils” un „Rēzekne” novērojumu dati., URL: http://www.meteo.lv/public/hidrometeo_dati.html [Online, 2009.12.16]

Nepublicētie avoti

Unpublished materials

- Eberhards, G., 1991. Dabas parka “Daugavas loki” reljefa raksturojums. *Grām.* *Dabas parka “Daugavas loki” attīstības ģenerālskāme.* Jelgava, 1991., 290 lpp.