

**Glacialinių nuogulų tyrimai paleogeografinių ir
paleoglaciologinių sąlygų atkūrimui**

Valentinas Baltrūnas, Bronislavas Karmaza

(Gamtos tyrimų centro Geologijos ir geografijos institutas)

Baltrūnas, V., Karmaza, B., 2011. Investigations of glacial deposits for reconstruction of palaeogeographical and palaeoglaciological environments. *Baltica*, Vol. 24, Special Issue // Geosciences in Lithuania: challenges and perspectives, 103–108. Vilnius. ISSN 0067–3064.

Abstract A critical review of the research methods of Pleistocene glacial deposits, experience in the mathematical modelling of till composition, and analysis of the problem of till multilayers is presented. The diversity of sedimentary environments and the influence of identifiable depositional processes on the sedimentological characteristics of tills at the margin of the modern glaciers prove the viability of application of the principle of methodological relevance for gaining knowledge about past glacial processes and for reconstruction of palaeogeographical and palaeoclimatic conditions.

Keywords *glacial deposit, till, composition, modern glacier, Lithuania.*

Valentinas Baltrūnas [baltrunas@geo.lt], Bronislavas Karmaza, Nature Research Centre, Institute of Geology and Geography, 13, T. Ševčenkos Str., 03223 Vilnius, Lithuania. Manuscript submitted 24 April 2011, accepted 15 July 2011.

ĮVADAS

Lietuvos pleistoceno glacialinių (moreninių) nuogulų tyrimas per pastaruosius du šimtus metų patyrė visus būdingus glacialinės sedimentologijos raidos etapus, pradedant nuo procesų aiškinimo iš marinistinių pozicijų (E. Eichvaldas) ir baigiant glacialistinio požiūrio įsigalėjimu (A. Giedraitis), nuo monoglacializmo, dviejų-trijų apledėjimų teigimo (V. Čepulytė) iki poliglacializmo (A. Gaigalas, V. Vonsavičius ir kiti), nuo chaotiškų glacialinių reiškinių įsivaizdavimo (J. Dalinkevičiaus, V. Čepulytė) iki sedimentacinių procesų detalios klasifikacijos (A. Dreimanis, A. Gaigalas, 1 pav.), nuo epizodiškų atskirų pjūvių ir riedulių apibūdinimo iki specialių kvartero nuogulų geologinio kartografavimo darbų ir gausių analitinių tyrimų.

Viena iš moreninėms nuoguloms skiriamo dėmesio priežasčių – tai įvairaus amžiaus moreninių sluoksnių palyginti didelis paplitimas plote ir vizualiai matomi jų savybių skirtumai. Sudėtingos kvartero nuogulų stovymės atveju moreniniai sluoksniai suteikia tvirtesnį “karkasą” stovymės sandaros modelių sudarymui. Tarp

moreninių sluoksnių aptinkamos retos tarpledynmečių nuosėdos padeda nustatyti moreninių sluoksnių stratigrafinį rangą, sugretinti su kitų regionų pjūviais (Gaigalas 1995; Satkūnas 1999). Iš kitos pusės, moreninių nuogulų tyrimas buvo ir yra atliekamas paleogeografinių ir paleoglaciologinių rekonstrukcijų poreikiams, atsakant į klausimus, iš kur ir koku keliu slinkta ledynų, koks ledynų slinkimo mechanizmas, iš kokių sudedamųjų dalių sudaryti moreninių nuogulų sluoksniai. Geologai ir geomorfologai visada skyrė stratifikuotus moreninius sluoksnius ir ledynų pakraštyje susidariusius moreninius darinius (morenines kalvas, moreninius kalvynus, galines morenas). Reikia pridėti, kad per pokario metus Rytų Europos šalyse įsigalėjęs terminas “moreninės nuogulos” (rus. – morennyje otloženija, ang. – morainic deposit) nėra tikslus ir nutolęs nuo pirminės termino “morena” (nuo pranc. – “moraine”) prasmės, kuri reiškė tik ledyno sukurta reljefo formą. Kadangi ledyninių reljefo formų yra daug ir jos sudarytos iš labai įvairių nuogulų, tai stratifikuotiems nuogulų sluoksniams, susidariusiems tik ledo aplinkoje, nuo seno Vakarų Europoje, JAV ir kitose šalyse naudojamas terminas “tillas” (nuo anglis-

ko "till"). Pastarąjį terminą neseniai pradėjo naudoti ir rusų geologai. Šio straipsnio tikslas – aptarti stratifikuotų moreninių nuogulų tyrimus Lietuvoje, taikytų tyrimo metodų panaudojimo raidą ir informatyvumą, taip pat ateityje nagrinėtinų klausimų ratą.

TYRIMŲ METODIKA IR JOS ĮVAIROVĖ

Metodų trumpa charakteristika pateikiama jų atsiradimo ir įdiegimo tyrimuose eiliškumu Lietuvoje, pradedant nuo tradicinių ir anksčiau naudojamų iki modernesnių jų kompleksų.

Struktūrinės analizės metodai

Tai bene seniausiai taikomi metodai. Praėjusio šimtmečio pirmoje pusėje jie buvo vieninteliai, o antroje - jau buvo taikomi kartu su analitiniais. Šie metodai naudojami ir dabar kaip "ekspres" metodai lauko darbų stadijoje išankstiniam kvartero nuogulų sandaros suvokimui. Dažnai šie metodai atlikdavo "arbitro" vaidmenį, nustatant vieno ar kito pjūvio stratigrafinę interpretaciją (Чепулите 1974; Вонсавичюс 1984 ir kt.). Literatūroje struktūriniai analizės metodai yra vadinami įvairiai ir priklauso nuo mokslininko pasirinktų metodų. Tai struktūrinis-paleogeomorfologinis, struktūrinis-facijinis, morfostratigrafinis ir kiti. Jais buvo analizuojama visa kvartero storumė gausiais susikertančiais geologiniais pjūviais, nuogulų išplitimo, storio, pado bei kraigo žemėlapiams. Išvados buvo padaromos taip pat remiantis makroskopiniu pjūvių aprašymu, vadinamąja "slūgsojimo logika" bei patirtimi pagrįsta intuicija. Reikia pabrėžti, kad tam tikruose rajonuose to paties tyrinėtojo aprašyti ir sugretinti pjūviai dažniausiai pakankamai objektyviai atspindi kvartero storumės sandarą. Mažesnis tokios analizės efektyvumas ir dažnesnės klaidos būna nagrinėjant didelių plotų geologinę informaciją, ypač pateiktą įvairių tyrinėtojų skirtingais laikotarpiais.

Analitinių tyrimų metodai

Pokario metais analitinių metodų rinkinys, nors ir išlėto, tačiau vis didėjo. Paprastai, tai apėmė moreninių priemolių ir priesmėlių sudėties ir savybių tyrimus, kurių rezultatai buvo naudojami kvartero storumės pjūvių stratigrafiniam skaidymui ir gretinimui. Ta pati metodika dažnai tinka skaidant bei gretinant paviršines ledyno nuogulas.

Granuliometrinės sudėties nustatymas - tai apibendrinta nuogulų charakteristika, leidžianti tiksliau identifikuoti nuogulas pagal naudojamą klasifikaciją, taip pat spręsti apie jų susidarymo sąlygas. Moreninių nuogulų, sudarytų iš gargždo, žvirgždo, smėlio, aleurito ir molio ledyninės kilmės mišinio, didžiausią dalį (apie 75%) sudaro smėlingas priemolis bei priesmėlis. Jei tarpmoreninių labai įvairių nuogulų granuliometrinė

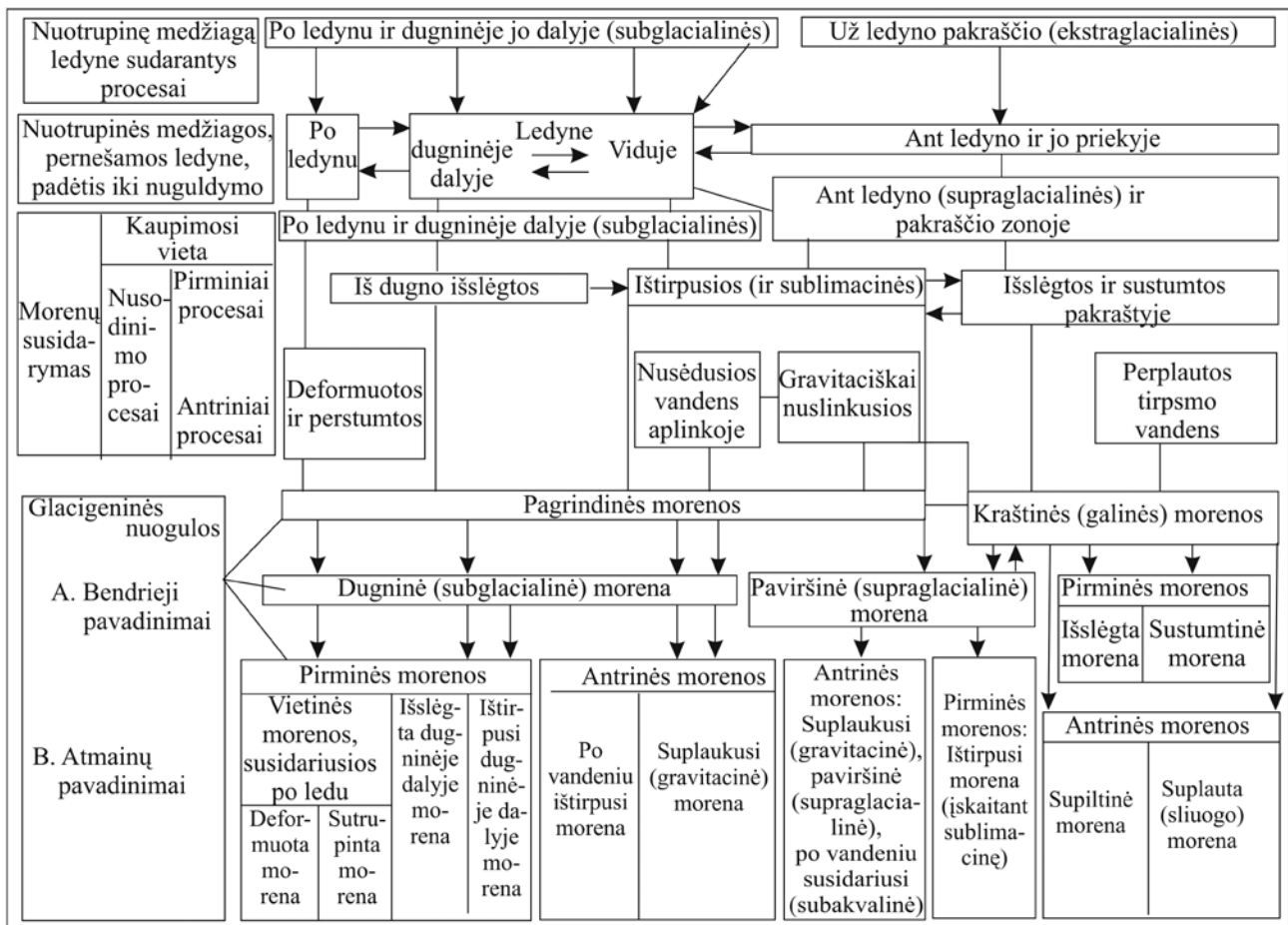
sudėtis leidžia nustatyti konkretaus pjūvio nuosėdų kilmę ir susidarymo hidrodinamines sąlygas, tai moreninių priemolių ir priesmėlių granuliometrinė sudėtis, būdama pastovesnė, tinka pjūvių litostratigrafiniam skaidymui bei gretinimui, ypač stratifikuotoms pagrindinės (duginės) morenos nuoguloms (Климашаускас 1965; Baltrūnas 1995).

Stratigrafinio skirstymo ir gretinimo tikslams naudojami moreninių priemolių ir priesmėlių sunkieji mineralai iš 0,25-0,1 ir 0,1-0,05 mm frakcijų. Jau pirmieji bandymai parodė, kad būtina laikytis regioninio principo ir pjūvius koreliuoti pagal santykinius pagrindinių sunkiųjų mineralų kiekio pakitimus (Климашаускас 1965, 1967). Tuo požiūriu informatyvūs pasirodė padedantys gretinti pjūvius mineralų kiekio santykiai. Aki-vaizdus koreliacinis ryšys tarp uolienos granuliometrinės sudėties ir atskirų sunkiųjų mineralų liudija, kad mineralų proporcijos priklauso ir nuo sedimentacijos sąlygų. Smėlingos frakcijos mineralinė sudėtis gerai tinka pjūviams skaidyti, o nustatytų ribų pjūviuose stratigrafinė, genetinė ar paleogeografinė reikšmė gali būti tikslinama kitais tyrimais. Ledynų slinkimo kryptį dažnai padeda nustatyti morenų molingos dalies mineralinė sudėtis. Kaolinito, hidrožėručių, montmorilonito ir kitų mineralų proporcijos yra susijusios su uolienomis, per kurias slinko ledynas (Климашаускас 1965; Малинаускас 1991).

Dažnai tiriama morenas sudarančių oksidų ir mikroelementų sudėtis. Gali būti nustatoma siaurų granuliometrinių frakcijų, molingos dalies ar bendra uolienos cheminė sudėtis. Literatūrinė medžiaga ir turima patirtis rodo, kad geriausi rezultatai gaunami skaidant pjūvius, kurių sluoksnių stratigrafinė ar genetinė interpretacija gali būti tikslinama kitais metodais. Paaikškėjo, kad informatyvūs yra geocheminiai koeficientai. Geocheminių metodų taikymas yra perspektyvus nuogulas formavusių procesų pažinimui, jų masto įvertinimui (Baltrūnas 1995; Битинас 1991).

Bene populiariausi, kartu ir lengviausiai įgyvendinami yra morenų petrografinės sudėties tyrimai. Paprastai tiriama moreninių nuogulų 30-10, 10-7, 7-5 ir 5-3 mm dydžio nuotrupos. Skirtingai nuo pakraštinių, fluvioglacialinių ir aliuvinių nuogulų, stratifikuotų moreninių sluoksnių (paprastai priemolio ir priesmėlio) žvirgždo ir gargždo petrografinė sudėtis yra pastovesnė. Tai leidžia sėkmingai skaidyti ir gretinti nutolusius pjūvius regionuose, pasižyminčiuose vienoda pokvarterinio paviršiaus geologine sandara (Гайгалас 1971, 1979 ir kt.). Metodo privalumas tas, kad koreliuoti galima ne tik petrografinės sudėties santykinius pakitimus, bet ir absoliutines kiekybines reikšmes bei petrografinius koeficientus. Pritaikymas pjūvių skaidymui ir gretinimui yra sudėtingas, ypač kai pjūviai nedideli, pasižymintys mažu stratifikuotų moreninių sluoksnių skaičiumi.

Seniausiai naudojami būdingųjų riedulių tyrimai. Kristalinių (magminių ir metamorfinių) uolienų petrografinė sudėtis iš pradžių buvo nustatoma rieduliams,



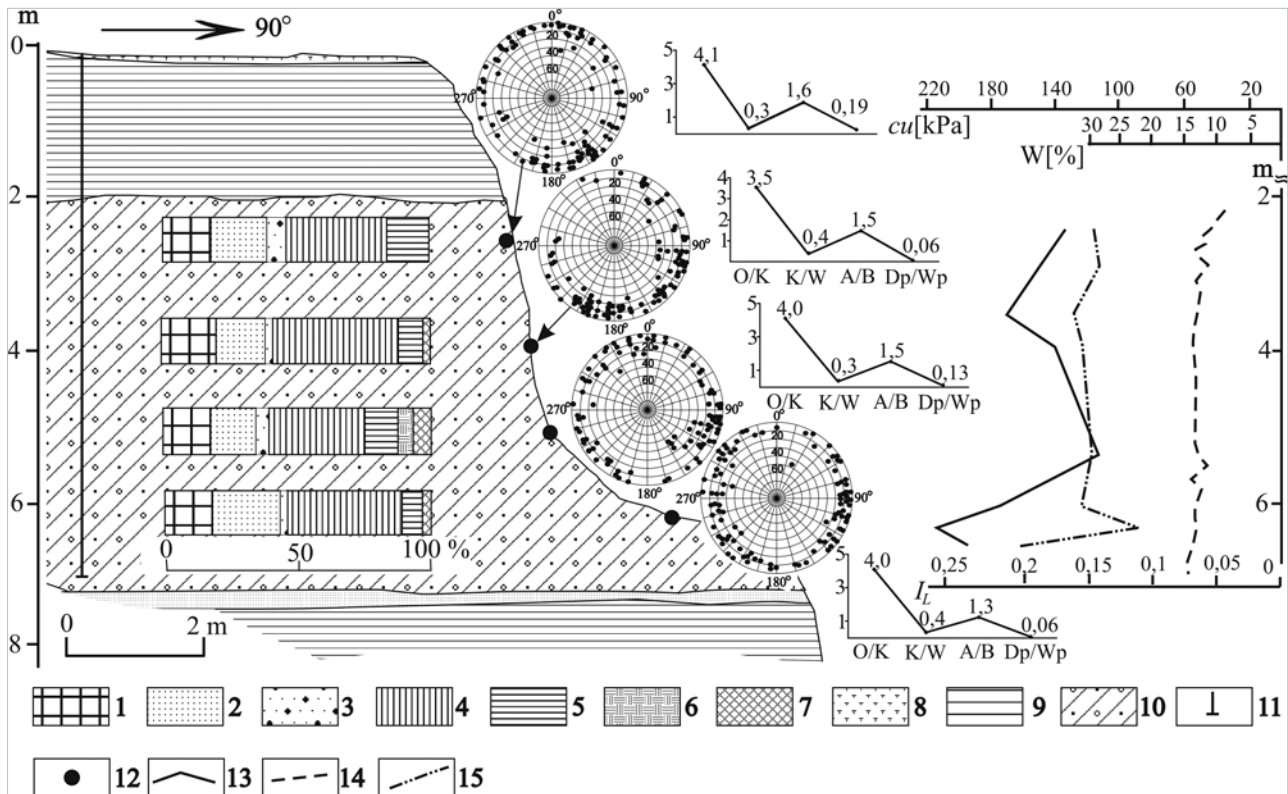
1 pav. Glacialinių nuogulų susidarymo sąlygų klasifikacija (pagal A. Dreimanį, 1989 ir A. Gaigalą, 2006).

o vėliau – ir gargždo dydžio apvalainukams. Tai susiję su pastangomis objektyviau pasinaudoti metodo galimybėmis, panaudojant statistškai reikalingą bent 100 vienetų būdingųjų kristalinių uolienu rinkinį. Ilgamečiais darbais buvo nustatyti būdingųjų kristalinių uolienu kompleksai atskiriems stratifikuotiems moreninių nuogulų sluoksniams ir paviršiniams moreninio reljefo kompleksams (Вийдинг и др. 1971). Išskiriamos dvi stambios moreninių nuogulų grupės, kur vienai būdingi rieduliai iš Vidurio Švedijos, Baltijos jūros dugno ir Alandų salų, o kitai Pietų Suomijos, Suomų įlankos. Būdingųjų kristalinių uolienu proporcijos rodo skirtingus apledėjimų centrus ir skirtingas ledynų slinkimo kryptis. Žinoma, moreninių nuogulų sluoksnių riedulių ir gargždo petrografinė sudėtis liudija ne tik ledyno apledėjimo centrą, bet ir ankstesniųjų apledėjimo morenas, per kurias buvo slinkta.

Labai informatyvus pasirodė žvirgždo ir gargždo ilgųjų ašių orientacijos bei polinkio matavimas. Pradžioje šis metodas taikytas tik rieduliams, bet vėliau pagal A. Gaigalą sukurtą metodiką Lietuvoje jis pradėtas taikyti stratifikuotų moreninių nuogulų gargždo ir žvirgždo nuotrupoms (Гајгалас 1971, 1979). Gausūs tyrimai parodė, kad vyraujančios orientacijos regioninius ypatumus kartais nustelbia vietinės sedimentacijos veiksniai, ypač ledyno slinkimo pagrindo artumas ir

nelygumai, velkami luistai, ledyno gretimų liežuvių sąlytis, įvairios kitos kliūtys.

Gręžinių diafragijos duomenų (kreivių) analizė ir palyginimas leidžia suskaidyti pjūvius, o nedideliais nuotoliais – ir juos sugretinti. Turimos gama ir standartinio karotažo kreivės, ypač jų tarpusavio santykis, leidžia skirti moreninių storių viena lytes dalis (sluoksnius), kurių stratigrafinė reikšmė nustatoma kitais tyrimais. Liekaninio įmagnetinimo nustatymas leidžia susieti kvartero nuogulų pjūvius su absoliučia geochronologine skale. Lietuvoje tuo požiūriu buvo tyrinėtos ir glacialinės nuogulos. Tačiau dėl nedidelės tokių tyrimų apimties Lietuvoje tėra susidaręs tik apytikris vaizdas apie magnetinio lauko kitimą pleistocene (Гајгалас и др. 1991). Stratigrafinio skaidymo ir gretinimo tikslams kartais naudojami uolienu fizikinių savybių tyrimai. Daugiau darbų susiję su statyboms tinkamo grunto paieškomis paskutiniojo apledėjimo ledyno nuogulose ir nagrinėja moreninių sluoksnių fizikinių bei mechaninių savybių formavimąsi (2 pav.). Fizikinių savybių tyrimo rezultatų panaudojimas moreninių nuogulų skaidymui ir gretinimui yra informatyvus ir plėstinas metodas (Gaigalas, Marcinkevičius 1973; Марцинкевичюс 1988; Микшис 1985). Absolutinio amžiaus nustatymas, deja, sunkiai įgyvendinamas. Tokio metodo, leidžiančio tiesiogiai ir patikimai duoti morenines



2 pav. Baltijos stadijos pagrindinės morenos sandara Balbieriškio atodangoje (Baltrūnas et al., 2005). Petrografinės grupės: 1–kristalinės uolienos; 2–smiltainiai; 3–dolomitai; 4–ordoviko ir silūro klintys; 5–kitos klintys; 6–mezozojaus karbonatai; 7–kitos uolienos ir mineralai. Petrografiniai koeficientai: O/K – nuosėdinės uolienos/kristalinės uolienos ir kvarcas; K/W – kristalinės uolienos/visos klintys ir dolomitai; A/B – neatsparios uolienos/atsparios uolienos; Dp/Wp – dolomitai/ordoviko ir silūro klintys. Kiti ženklai: 8–dirvožemis; 9–juostuotas molis; 10–Baltijos stadijos moreninis priemolis; 11–grėžinys; 12–žvirgždo ir gargždo ilgųjų ašių orientacijos ir polinkio (sferogramos) bei petrografinės sudėties (diagramos ir koeficientų kreivės) nustatymo vietos; 13–15 – nuogulų diafragijos kreivės grėžinyje.

nuogulas, kol kas, nėra. Taikomi izotopiniai geocheminiai, termoluminescenciniai, optiškai stimuliuotos luminescencijos ir kiti metodai, kurie datuoja ne tiek patį įvykusį sedimentacinį procesą, kiek moreninėse nuogulose esančių komponentų amžių (Gaigalas, Hutt 1993; Rinterknecht, Bitinas et al. 2008).

GLACIALINIŲ NUOGULŲ SUDĖTIES MATEMATINIS MODELIAVIMAS

Glacialinių nuogulų sudėties tyrimų panaudojimas yra ribotas dėl kelių priežasčių. Nustatyti komponentai atspindi ledynų veiklos paleogeografines sąlygas, taip pat ir slinkimo kryptis. Komponentų kiekiai, jų proporcijos dažniausiai priklauso nuo sedimentacijos sąlygų. Kadangi ledynų slinkimo keliai didele dalimi pasikartodavo, o jų nuogulų specifinius požymius užgoždavo sedimentacijos sąlygų įvairovė, todėl pjūvių skaidymas dažnai įmanomas tik pagal santykinius komponentų kiekio pakitimus. Todėl į pagalbą pasitelkiami statistiniai metodai, leidžiantys modeliuoti moreninių nuogulų sudėtį ir jos pokyčius. Iki šiol pasiteisino D. Rodionovo

surikiuotų aibių, D. Rodionovo nesurikiuotų aibių skaidymo metodai, komponentų koreliacinė analizė, pagrindinių komponentų, faktorinės ir klasterinės analizės metodai (Baltrūnas 1995; Bitinas 1993; Битинас 1991). Paminėtinas santykinės entropijos metodas, kuris geologijoje naudojamas jau senokai. Tai termodinamikoje taikomos funkcijos taikymas. Santykinė entropija išreiškia stebimos sistemos entropijos santykį su maksimalia sistemos entropija $S = Hr/Hm$. Jos nustatymas ir įvertinimas panaudoti stratifikuotų moreninių sluoksnių, paviršinių moreninių darinių, taip pat priedugninio ledo nuotrupinės medžiagos išmaišymo įvertinimui (Baltrūnas et al. 2004; Baltrūnas et al. 2005; Baltrūnas et al. 2009).

MORENINIŲ SLUOKSNIŲ DAUGIANARIŠKUMO PROBLEMA

Morenų daugianariškumą vienaip ar kitaip yra konstatavę, aprašę ir tyrinę daugelis tyrinėtojų. Lietuvoje dažniausiai jis siejamas su pirminiu moreninės medžiagos susikaupimu ledyno stovimeje,

postsedimentaciniais procesais bei ledynų dinamine būseną (Гайгалас 1971, 1979; Baltrūnas 1995; Baltrūnas *et al.* 2005). Turimi kvartero nuogulų tyrimų rezultatai Lietuvoje rodo, kad moreninių sluoksnių storis svyruoja nuo kelių iki 60-80 m. Didžiausi storiai nustatyti paleoįrežiuose. Nuodugnus morenų tyrimas atodangose ir gręžinių kerne paneigia iš pažiūros vienalyčių didelių storymių buvimą. Tai liudijantys duomenys labai įvairūs: moreninių storymių makrotekstūros, stambianuotrupinės medžiagos ilgųjų ašių orientacijos ir polinkio matavimai, granulimetrinių frakcijų spektrų kitimas, žvirgždo ir gargždo petrografinė bei sunkiųjų mineralų sudėtis 0,25-0,1 ir 0,1-0,05 mm frakcijose, oksidų ir mikroelementų pasiskirstymas bei kiti. Analitinių duomenų statistinis apibendrinimas daugeliu atveju patvirtina morenų nevienalytiškumą pjūvyje ir padeda nustatyti jo reikšmingumą.

Moreninių nuogulų tyrimų rezultatai Lietuvoje bei užsienio šalyse leidžia sugrupuoti šių nuogulų daugianariškumo priežastis į keturias grupes: 1 - glacialinių nuogulų daugianariškumas, susijęs su pakartotinais sedimentacijos procesais; 2 - moreninės medžiagos susikaupimo vieta ledyne ir jo aplinkoje (priedugninė, vidinė, abliacinė, pakraštinė ir pan.); 3 - ledyno slinkimas vidaus skilimo plokštumomis ir blokiniu (luistinis) medžiagos transportavimo būdas; 4 - postsedimentaciniai procesai (solifliukcija, dūlėjimas ir kt.).

AKTUALIZMO PRINCIPO TAIKYMO GALIMYBĖS

Kvartero geologijos ir geomorfologijos specialistai niekada nepamiršo gamtos mokslams reikšmingo aktualizmo principo, raginančio senuosius geologinius procesus pradėti tirti nuo šiuo metu vykstančių panašių procesų pažinimo. Ledynų nuogulų tyrinėtojai, dalyvaudami įvairiuose tarptautiniuose mokslų renginiuose, ypač kalnų rajonuose, matė ir stebėjo dabartinių ledynų veiklą, jų suformuotus darinius. Gana daug informacijos apie tai buvo publikuojama mokslinėje spaudoje (Brodzikowski, Van Loon 1991). Deja, specialių tyrimų prie dabartinių ledynų nebuvo atliekama. Buvo apsiribota epizodiškais stebėjimais (fotografavimu, mėginių paėmimu), kurių medžiaga dažnai taip ir likdavo nepublikuota (Baltrūnas 2007).

Tuo požiūriu "ledai pajudėjo" tik šio amžiaus pradžioje, kai Lietuvos valstybinio mokslo ir studijų fondo paramos dėka buvo išvykta į pirmąsias trumpas mokslines ekspedicijas 2006 ir 2008 m. prie Vakarų Grenlandijos, o 2011 m. – prie Islandijos ledynų (3 pav.).

Be pakraštinių reljefo formų, periglacialinių procesų bei katastrofiškai ištekėjusio priedugninio ežero darinių tyrimo, daug dėmesio buvo skirta Russell le-



3 pav. Priedugninio ledo Russell ledyno aplinkoje Vakarų Grenlandijoje 2007 m. (A) ir išledėjusios morenos prie Skeidarárjökull ledyno Islandijoje 2011 m. (B) atodangos. B. Karmazos nuotraukos.

dyno priedugninio (bazalinio) ledo sudėties ir savybių nustatymui (Baltrūnas, Šinkūnas 2007; Baltrūnas *et al.* 2009). Pastarieji tyrimai leido apibūdinti priedugninio ledo, kaip būsimos dugninės morenos, prisotinimo nuolaužine medžiaga laipsnį, nustatyti veiksnius, lėmusius stambianuotrupinės medžiagos ilgųjų ašių orientaciją ir polinkį, įvertinti priedugninio ledo plastiško ir stangraus slinkimo santykį.

IŠVADOS

Lietuvos glacialinių (moreninių) nuogulų tyrimas per pastaruosius kelis šimtus metų patyrė būdingus glacialinės sedimentologijos raidos etapus, pradedant nuo procesų aiškinimo iš marinistinių pozicijų ir baigiant glacialistinio požiūrio įsigalėjimu, nuo

monoglacializmo iki poliglacializmo, nuo chaotiškų glacialinių reiškinių įsivaizdavimo iki sedimentacinių procesų detalios klasifikacijos, nuo epizodiškų atskirų pjūvių apibūdinimo iki kvartero storumės geologinio kartografavimo ir gausių analitinių tyrimų.

Po antrojo pasaulinio karo glacialinių nuogulų tyrimuose dalyvavo trys pagrindinės institucijos: Geologijos ir geografijos institutas (kurį laiką – Geologijos institutas ir LMA Geografijos skyrius), Vilniaus universiteto geologijos ir mineralogijos katedra bei Lietuvos geologijos valdyba (nuo 1991 – Lietuvos geologijos tarnyba). Šių institucijų pastangų dėka buvo išlaikytas tyrimų tęstinumas, atskiras tyrimų kryptis, pasikeitus vykdytojams, perduodant viena kitai.

Pastaraisiais dešimtmečiais, sumažėjus geologinio kartografavimo darbų apimčiai ir analitinių tyrimų įvairovei, atsirado poreikis ir būtinybė remtis mokslinių tyrimų konkursinio finansavimo galimybėmis šalyje ir užsienyje, ypač kuriant ir diegiant pažangesnes glacialinių nuogulų tyrimo metodikas ir technologijas.

Literatūra

- Baltrūnas, V., 1995. *Pleistoceno stratigrafija ir koreliacija*. Vilnius, Academia, 179 pp.
- Baltrūnas, V., 2007. Morenų formavimosi ypatumai dabartinių kalnų ledynų aplinkoje. *Geografija* 43 (1), 52 - 60.
- Baltrūnas, V., Gaigalas, A., 2004. Entropy of Pleistocene till composition as an indicator of sedimentation conditions in Southern Lithuania. *Geological Quarterly* 48 (2), 115 - 122.
- Baltrūnas, V., Karmaza, B., Dundulis, K., Gadeikis, S., Račkauskas, V., Šinkūnas, P., 2005. Characteristic of till formation during the Baltija (Pomeranian) Stage of the Nemunas (Weichselian) Glaciation in Lithuania. *Geological Quarterly* 49 (4), 417 - 428.
- Baltrūnas, V., Šinkūnas, P., 2007. Moreninių nuogulų formavimasis dabartiniuose Grenlandijos ledynuose. *Geologijos akiračiai* 1 (65), 29 - 37.
- Baltrūnas, V., Šinkūnas, P., Karmaza, B., Česnulevičius, A., Šinkūnė, E., 2009. The sedimentology of debris within basal ice, the source of material for the formation of lodgement till: an example from the Russell Glacier, West Greenland. *Geologija* 51, No. 1(65), 12–22.
- Bitinas, A., 1993. The application of mathematical methods for stratigraphic correlation of Quaternary deposits. *Geoinformatics. Japan Society of Geoinformatics* 4, No 3, 347-351.
- Brodzikowski, K., Van Loon, A. J., 1991. *Glacigenic sediments*. Elsevier, Amsterdam, 674 pp.
- Dreimanis, A., 1989. Tills: Their genetic terminology and classification. *Genetic classification of glacigenic deposits* (eds. R.P. Goldthwait, C.L. Matsch), A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 17-69.
- Gaigalas, A., Marcinkevičius, V., 1973. Vidurio Lietuvos neopleistoceno pagrindinių morenų fizinės ir deformacinės savybės. *Geografinis metraštis* 12, 23-26.
- Gaigalas, A., Hutt, G., 1993. Optically stimulated luminescence (OSL) dating of the last climatic macrocycle of the Pleistocene in Lithuania. In *Geochronological and isotope-geochemical investigations*, Vilnius, 18-19.
- Gaigalas, A., 1995. Glacial history of Lithuania. *Glacial deposits in North-East Europe* (eds. J. Ehlers, S. Kozarski and Ph. Gibbard), A. A. Balkema, Rotterdam, 127 - 135.
- Gaigalas, A., 2006. Seredžiaus geologinis pagrindas. *Lietuvos lokaliniai tyrimai. Gamta (biologija, geografija, geologija)* 1(1), 191-211.
- Rinterknecht, V., Bitinas, A., Clark, P. U., Raisbeck, G. M., Yiou, F., Brook, E. J., 2008. Timing of the last deglaciation in Lithuania. *Boreas* 37, 426-433.
- Satkūnas, J., 1999. The Upper Pleistocene stratigraphy and geochronology in Lithuania. *Litosfera* 3, Vilnius, 43–57.
- Битинас, А. К., 1991. Расчленение, корреляция и особенности строения четвертичной толщи в зоне краевой ледниковой аккумуляции. *Автореферат кандидатской диссертации*, Минск, 25 с.
- Вийдинг, Х., Гайгалас, А., Гуделис, В., Раукас, А., Тарвидас, Р., 1971. *Кристаллические руководящие валуны Прибалтики (ред. В. Гуделис)*. Вильнюс, Минтис, 95 с.
- Вонсавичюс, В. П., 1984. Строение четвертичных отложений Литвы и проблемы их стратиграфического расчленения. Кн. *Палеогеография и стратиграфия четвертичного периода Прибалтики и сопредельных районов* (ред. О. П. Кондратене, А. П. Микалаускас), Вильнюс, 88-96.
- Гайгалас, А. И., 1971. Структура, текстура и генетические разновидности основных морен. Кн. *Строение и морфогенез Средне-Литовской моренной равнины* (ред. В. Гуделис, А. Гайгалас), Вильнюс, 28-87.
- Гайгалас, А. И., 1979. *Гляциоседиментационные циклы плейстоцена Литвы*. Вильнюс, 98 с.
- Гайгалас, А. И., Певзнер, М. А., Мелешите, М. И., 1991. Палеонамагниченность позднечетвертичных отложений Южной Прибалтики. Кн. *Геохронологические и изотопно-геохимические исследования в четвертичной геологии и археологии*. Вильнюс, 27-40.
- Климашаускас, А. Ю., 1965. Гранулометрические свойства и закономерности минералогического состава моренных отложений Южно-Восточной Литвы. Кн. *Стратиграфия четвертичных отложений и палеогеография антропогена Юго-Восточной Литвы*. Вильнюс, 39-103.
- Климашаускас, А. Ю., 1967. О возможности применения минералогических данных для стратиграфического расчленения четвертичной толщи. Кн. *Вопросы геологии и палеогеографии четвертичного периода Литвы, Труды Ин-та геологии Вильнюс, Вып. 5*, Вильнюс, 41-50.
- Малинаускас, З., 1991. *Строение и состав межморенных комплексов плейстоцена Литвы*. Вильнюс, Мокслас, 128 с.
- Марцинкевичюс, В. И., 1988. Формирование физико-механических свойств моренных отложений последнего оледенения Средней Литвы. *Научные труды высших учебных заведений Лит ССР, Геология* 9, Вильнюс, 125-136.
- Микшис, Р.-Б. А., 1985. Использование некоторых физических свойств четвертичных отложений г. Вильнюс для стратиграфической идентификации и корреляции. *Научные труды высших учебных заведений Лит ССР, Геология* 6, 113-120.
- Чепулите, В., 1974. Применение структурно-палеогеоморфологического анализа для выявления строения четвертичных отложений в окрестностях гор Аникщай. Кн. *Вопросы изучения четвертичных отложений Литвы* (ред. А. Гайгалас). Вильнюс, Минтис, 5-32.