

VITALIJA DEBESIŪNAITĖ

**LIETUVOS PLEISTOCENO STRATIGRAFIJA IR
PALEOGEOGRAFIJA GEOHRONOLOGINIŲ TYRIMŲ DUOMENIMIS**

2008

Vilniaus Universitetas
Gamtos Mokslų Fakultetas
Geologijos ir Mineralogijos katedra

**LIETUVOS PLEISTOCENO STRATIGRAFIJA IR
PALEOGEOGRAFIJA GEOHRONOLOGINIŲ TYRIMŲ DUOMENIMIS**

Magistro darbas

Geologinės nuotraukos,
paieškos ir žvalgybos specialybės
Magistro studijų programos
II kurso studentės
Vitalijos Debesiūnaitės

Darbo vadovas
Dr. Alberas Bitinas

VILNIUS, 2008

TURINYS

ĮVADAS	
1. TRUMPI DUOMENYS APIE LIETUVOS KVARTERĄ	2
2. TYRIMŲ METODIKA	3
3. GEOCHRONOLOGINIŲ TYRIMŲ METODŲ APŽVALGA	4
3.1. Izotopiniai geocheminiai metodai	4
3.1.1. Radioaktyviosios anglies (^{14}C) metodas	5
3.1.2. Urano – torio (U-Th) metodas	8
3.1.3. Berilio (^{10}B) metodas	9
3.2. Bioindikaciniai metodai	11
3.2.1. Amino rūgščių metodas	11
3.3. Fizikiniai metodai	13
3.3.1. Termoluminescencinis (TL) metodas	13
3.3.2. Optiškai stimuliuotos liuminescencijos (OSL) metodas	14
3.3.3. Elektro paramagnetinio rezonanso (EPR) metodas	15
4. LIETUVOS PLEISTOCENO GEOCHRONOLOGINIAI TYRIMAI	16
5. GEOCHRONOLOGINIŲ TYRIMŲ DUOMENŲ BAZĖ	20
6. PLEISTOCENO STRATIGRAFIJA GEOCHRONOLOGINIŲ TYRIMŲ DUOMENIMIS	44
7. VIDURINIO IR VIRŠUTINIO PLEISTOCENO METU LIETUVOS PALEOGEOGRAFINĖ RAIDA	46
IŠVADOS	51
LITERATŪRA	52
SUMMARY	56

IVADAS

Diplominio darbo tema – Lietuvos pleistoceno stratigrafija ir paleogeografija geochronologinių tyrimų duomenimis. Vienas iš svarbiausių darbo tikslų buvo apžvelgti pagrindinius absoliutaus amžiaus nustatymo metodus, naudojamus tiriant pleistoceno nuogulas Lietuvoje. Geochronologinio datavimo metodais gaunami rezultatai yra labai svarbūs stratigrafiškai suskirstant bei kontroliuojant kvartero nuogulas. Apžvelgus visas publikacijas šiuo klausimu buvo nustatyta, kad Lietuvoje pleistoceno nuogulų geochronologiniam datavimui šiuo metu taikomi trijų rūšių metodai. Tai būtų: izotopiniai geocheminiai metodai – radioaktyviosios anglies, urano-torio, berilio; bioindikacinis – amino rūgščių metodas ir fizikiniai metodai – termoluminescencija, optiškai stimuliuota liuminescencija ir elektro paramagnetinis rezonansas. Šio darbo trečiame skyriuje yra pateikiama kiekvienos metodų grupės bendra charakteristika, bei detaliau aprašomas kiekvienas datavimo metodas. Visi metodai turi savo privalumų ir trūkumų, bet visi kol kas sėkmingai buvo naudojami datuojant nuogulas, t.y. nustatant jų amžius.

Pagrindinis darbo tikslas buvo sudaryti Lietuvos pleistoceno nuogulų geochronologinio datavimo rezultatų duomenų bazę bei atlikti gautų rezultatų analizę, t.y. gautus geochronologinio datavimo rezultatus sugretinti su šiuo metu paskelbtomis įvairių autorių bei oficialių institucijų naudojamomis kvartero schemomis, įvertinant jų pagrįstumą, o taipogi sumodeliuoti paleogeografinių sąlygų raidą Lietuvos pleistoceno metu.

Tolimesnio darbo eigoje buvo sudaryti faktinių duomenų žemėlapiai, kuriuose parodomi datuoti objektai pagal datavimo metodus, taip pat sudarytas Lietuvos teritorijos deglaciacijos paskutiniojo apledėjimo metu izochronų žemėlapis, remiantis paviršinių nuogulų geochronologinio datavimo rezultatais. Turimi surinkti bazėje duomenys panaudoti sudarant vidurinio ir viršutinio pleistoceno (apimant nuo 250 – 300 tūkst. iki 10 tūkst. metų senumo laikotarpį) paleogeografinės raidos modelį Lietuvos teritorijai.

Darbo pabaigoje pateikiamos išvados ir panaudota literatūra. Reiškiu padėką savo darbo vadovui Dr. Albertui Bitinui už suteiktą literatūrinę medžiagą ir konsultacijas.

1. TRUMPI DUOMENYS APIE LIETUVOS KVARTERĄ

Viršutinė Žemės plutos dalis Lietuvos teritorijoje buvo suformuota paties jauniausio geologinio periodo – kvartero (dar vadinamu antropogenu) – metu, kuris prasidėjo maždaug prieš 1,8 mln. metų. Didesniąją dalį šio laikotarpio nuosėdų suklojo ledynai, kurie, slinkdami iš Skandinavijos, keliskart buvo uždenę visą dabartinės Lietuvos teritoriją. Ledynmečius keitė šiltesni laikotarpiai – tarpledynmečiai, kurių metu klostėsi nuosėdos ežeruose, pelkėse, upėse. Kvartero nuogulų storis labai nevienodas: vyraujantis – didesnėje šalies dalyje – 80 - 120 metrų, tuo tarpu Šiaurės Lietuvoje kvartero nuogulų danga tesiekia vos kelis metrus, o Žemaitijos, Vištyčio ar Medininkų aukštumose jos storis yra 200 ir daugiau metrų. Didžiausias kvartero nuogulų storis Lietuvoje – 314,2 m – užfiksuotas grėžinyje prie Vembutų.

Pagrindinius Lietuvos reljefo bruožus – lygumas, aukštumas, plynaukštes, gūbrius – suformavo ledynai bei jų tirpsmo vandenys. Stambiausias dabartinio reljefo formas didesnėje šalies dalyje sukūrė paskutinysis (Nemuno) ledynas ir tik nedidelė Pietryčių Lietuvos dalis – Medininkų aukštuma (su aukščiausia Lietuvos viršukalve – 293,8 m Aukštojo kalnu) ir Eišiškių plynaukštė yra priešpaskutiniojo apledėjimo palikimas. Ledynai, aktyviai akumuliuodami glacigeninius darinius bei deformuodami apačioje slūgsančias įvairaus amžiaus bei kilmės nuogulas, suformavo visas stambiausias Lietuvos aukštumas, o tirpstančio ledo pakraščiuose paliko kalvagūbrius. Ledynams visiškai ištirpus, centrinėse ledyninių plaštakų bei liežuvių dalyse atsirado lygumos. Jas daug kur „perdirbo“ ledynų tirpsmo vandenų srautai (pvz., Pietryčių Lietuvos smėlėtoji lyguma) ar pasitvenkę šių vandenų baseinai. Pastariesiems nusekus, jų vietose likusios smėlingos nuosėdos buvo supustytos į kopas. Ledynui tirpstant susiformavo ir dabartinio upių tinklo užuomazgos. Prieš 10 tūkstančių metų, galutinai ištirpus paskutiniojo ledyno likučiams ir atšilus klimatui, prasidėjo vėliausiais kvartero periodo laikotarpis – holocenas. Jo metu kaupėsi (ir tebesikaupia šiuo metu) nuosėdos upėse bei ežeruose, vyko intensyvus vandens telkinių pelkėjimas – susidarė sapropelio, durpių klodai. Intensyviai kaupiantis sąnašoms Baltijos jūroje bei vėjui perpustant šias nuosėdas jūros krantuose, gimė Kuršių nerija. Ryškų pėdsaką dabartiniame reljefe paliko eroziniai procesai, vykstantys iki šiolei – jų dėka slėnių ir kalvų šlaitus išvagojo griovos bei raguvos, o nuslinkusių nuogulų sluoksnis padengė upių ir statesnių kalvų šlaitus, (<http://www.lgt.lt/index.php?page=60>).

Taigi, Lietuvoje, tiek jos paviršiuje, tiek ir visoje kvartero nuogulų storumėje yra paplitusios įvairios genezės nuogulos, turinčios gana kaičią litologinę sudėtį. Kai kurios iš jų – pirmiausia tai organogeninės bei smėlingos nuosėdos – yra tinkamos datuoti absoliučiais geochronologijos metodais.

2. TYRIMŲ METODIKA

Magistriniam darbui reikalinga geochronologinių tyrimų medžiaga buvo renkama iš įvairių rašytinių šaltinių: įvairių autorių publikacijų, Lietuvos geologijos tarnybos fondų ataskaitų.

Buvo surinkta ir peržiūrėta maždaug 40 atskirų publikacijų (lietuvių, anglų, rusų kalbomis) išsiginčinta į jų turinį ir atrinkta tai, kas buvo svarbu šiam darbui. Pirmajame etape buvo analizuojama medžiaga, kuri susijusi su datavimo metodais, jų veikimo principai. Išnagrinėti šie datavimo metodai: izotopiniai geocheminiai metodai - radioaktyviosios anglies (^{14}C) metodas, urano – torio (U-Th) metodas, berilio (^{10}B) metodas; bioindikaciniai metodai - amino rūgščių metodas; fizikiniai metodai - termoluminescencinis (TL) metodas, optiškai stimuliuotos luminescencijos (OSL) metodas, elektro paramagnetinio rezonanso (EPR) metodas.

Vėliau buvo atrenkami geologiniai objektai – gręžiniai, atodangos, rieduliai – kuriuose buvo panaudoti datavimo metodai ir nustatomas uolienu absoliutus amžius (Lietuvos teritorijoje). Iš 99 geologinių objektų sukaupia 357 analizų rezultatai. Duomenys patalpinti duomenų bazėje (Exel), kurioje apibūdinamas objekto numeris, gręžinio, atodangos, vietovės pavadinimas, ėminio numeris, koordinatės, datuotos nuogulos, gylis, nekalibruotas amžius, absoliutus amžius, geologinis indeksas, laboratorijos kodas, literatūros šaltinis.

Naudojantis jau sudaryta duomenų baze, vėliau buvo sudaromos atskiros lentelės (Exel) pagal datavimo metodus ir sudaromi žemėlapiai, kuriuose vaizduojamos vietovės, kur buvo tirta tam tikru datavimo metodu. Žemėlapių sudarymui naudojama MapInfo programa ir perskaičiuojamos koordinatės iš elipsoidinių į plokštumines (naujoje 1994 metų koordinacių sistemoje). Tam tikruose šaltiniuose datos buvo nekalibruotos. Pasinaudojusi tam tikra programa (www.calpal-online.de/) kai kurias datas perskaičiavau.

Tolimesnio darbo eigoje buvo sudarinėjamas paleogeografinės raidos modelis Lietuvos teritorijai vidurinio ir viršutinio pleistoceno metu. Buvo naudojama „Grapher3“ programa.

Kadangi iš duomenų bazėje sukauptų 357 datų dauguma yra viršutinio pleistoceno laikotarpio, tad paleogeografinės raidos modelis pastaruoju laikotarpiu buvo detalizuotas.

Remiantis paviršinių nuogulų geochronologinio datavimo rezultatais taip pat sudarytas Lietuvos teritorijos deglaciacijos paskutinio apledėjimo metų izochronų žemėlapis.

Atliekant darbą (renkant duomenis į duomenų bazę) buvo susidurta ir su tam tikrais sunkumais. Ne visi publikuoti šaltiniai buvo lengvai surandami, dalis tyrimo duomenų pateikti neaiškiai: nekorektiškai parodytos ėminių paėmimo vietos, nenurodyti laboratoriniai kodai, nenurodytos koordinatės, santraukoje, išvadose ir iliustracijose nurodomas skirtingas datuotų nuogulų amžius. Todėl keletas datavimo rezultatų nebuvo galima įtraukti į duomenų bazę. Sukaupti geochronologinio datavimo duomenys pateikti lentelių, diagramų, žemėlapių pavidalu.

Formuojant darbo užduotį ir pasirenkant tyrimų metodiką buvo atsižvelgta į analogiškų tyrimų patirtį kitose šalyse, pirmiausia Estijoje (Kalm V. 2006).

3. GEOCHRONOLOGINIŲ TYRIMŲ METODŲ APŽVALGA

Lietuvoje kvartero nuogulų geochronologiniams tyrimams taikomus metodus galima suskirstyti į izotopinius - geocheminius, bioindikacinius ir fizikinius. Platesnį ar siauresnį vienu ar kitu metodų taikymą lemia datavimui tinkamų nuogulų paplitimas, turima laboratorinių tyrimų bazė, taipogi ir geochronologinių datavimo metodų kaštai užsienio laboratorijose.

3.1. Izotopiniai - geocheminiai metodai

Izotopas - tai to paties elemento skirtinga forma. Skirtingų izotopų atomų branduoliai turi skirtingą neutronų skaičių, o tuo pačiu ir skirtingą atominę masę. Kai kurie izotopai yra radioaktyvūs ir skyla į labiau stabilus izotopus.

Radioaktyvumas – tai kai kurių nestabilių branduolių savybė savaime skilti į kitų elementų branduolius ir sukelti radiaciją (spinduliuotę). Branduolys išmeta savo sudedamąsias dalis kaip alfa ar beta daleles, o po jų paprastai išspinduliuojami gama spinduliai. Išmesdamas tokią dalelę, branduolys išskiria energiją ir kartu susiformuoja naujas atomo branduolys. Jei jis taip pat radioaktyvus, skilimas vyksta toliau, kol susidaro stabilus (neradioaktyvus) atomas.

Tokia radioaktyviųjų skilimų serija vadinama radioaktyviaja seka. Kitas svarbus parametras nusakantis skilimo spartą yra atomo pusėjimo trukmė (pusamžis) – laiko tarpas per kurį suskyla pusė turimų atomų branduolių. Uolienos radioaktyvumo laipsnis priklauso nuo joje esančio radioaktyviojo izotopo koncentracijos (Lowe J.J., Walker M. J. C.).

Uolienų datavimas remiasi galimybe išmatuoti uolienoje bekintantį, taip vadinamą “motininių – dukterinių” izotopų santykį. Datuojant uolienas būtinos kelios sąlygos:

1. Datuojamas mineralas turi būti susiformavęs tuo pačiu metu kaip ir uoliena.
2. Visas dukterinis produktas minerale atsirado tik iš motininio radioaktyviojo elemento skilimo.
3. Datuojama uoliena turi turėti mineralų su pakankamu pamatuojamu kiekiu dukterinių ir motininių elementų.

Izotopai, naudojami datavimui, skirstomi į dvi grupes. Vieni jų susidaro skylant Žemėje esantiems radioaktyviems elementams, kiti – atmosferoje ar Žemės paviršiuje veikiant kosminiam spinduliavimui, t.y. taip vadinami kosmogeniniai izotopai. Dažniausi žemėje sutinkami radioaktyvūs izotopai: ^{40}K , ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th taip pat ^{87}Rb , ^{176}Lu , ^{187}Re , ^{147}Sm . Labiausiai žinomi kosmogeniniai izotopai: ^3H , ^{39}Ar , ^{39}Si , ^{14}C , ^{36}Cl , ^{26}Ar , ^{10}Be .

3.1.1. Radioaktyviosios anglies (^{14}C) metodas

Šio metodo pradininkas - Amerikos chemikas V.F.Libis (1946). Metodas plačiai naudojamas visame pasaulyje, gerai žinomi jo geocheminiai pagrindai. Tai ir Lietuvoje kol kas plačiausiai taikomas absoliučios geochronologijos metodas.

Gamtinė anglis susideda iš dviejų stabilų izotopų: ^{12}C ir ^{13}C , kurių koncentracijos įvairiuose gamtiniuose objektuose svyruoja nuo 98,89% - 98,98% iki 1,02% - 1,1%, atitinkamai su vidutinėmis reikšmėmis 98,892% ir 1,108%. Be stabilų izotopų taip pat žinoma 4 radiogeniniai anglies izotopai. Trys iš jų turi labai trumpą skilimo pusperiodį (^{10}C -19,1 s, ^{11}C -20,4 min., ^{15}C -2,4 s) ir gamtoje jie nerandami. Šie izotopai taikomi laboratorinėse paieškose vietoj žymėtųjų atomų. Ketvirtas anglies radioizotopas ^{14}C su 5568 +/- 30 metų skilimo pusperiodžiu plačiai taikomas moksliniuose tyrimuose. ^{14}C gamtinėje anglyje sudaro 10^{-10} % svorio, o augaluose – $1,07 \cdot 10^{-11}$ % (Lowe J.J., Walker M. J. C.).

Pirmą kartą ^{14}C izotopas buvo dirbtinai sintetizuotas 1940 m., prie lėtos neutronų sąveikos su azotu. Tais pačiais metais S. Korfas, V. Libis kartu su kitais autoriais teoriškai ir

eksperimentiškai ištyrė ^{14}C susidarymo procesą ir parodė jo galimybę uolienų amžiui nustatyti.

^{14}C izotopo susidarymas vyksta atmosferoje 9 – 12 km aukštyje virš jūros lygio. Atmosferoje susidaręs ^{14}C izotopas negali visą laiką egzistuoti atominėje būsenoje, nes jis oksiduojasi iki CO, o tada susimaišo su neradioaktyviąja anglimi ir atsiduria bendroje anglies apyvartoje. Iš atmosferos CO₂ sugeria augalai fotosintezės proceso metu ir taip ^{14}C patenka į visą biosferą. CO₂ taip pat tirpsta ir vandenynų vandenyse, sudarydamas hidrokarbonatus ir karbonatus, turinčius ^{14}C . Atmosfera, biosfera ir litosfera sudaro apykaitų rezervuarą, kuriame nenutrūkstamai vyksta anglies apykaita.

^{14}C metodas naudojamas jaunoms (mažiau nei 50000 metų senumo) nuosėdinėms uolienoms datuoti. Datavimo objektai labai įvairūs: anglis, augalai, kaulai, audinys, keramika, plunksnos ir t.t. Šis metodas pagrįstas visų gyvų organizmų natūraliai egzistuojančio ^{14}C sunaudojimu. Organizmui žuvus, jis nebepasisavina ^{14}C ir radioaktyvus laikrodys yra paleidžiamas. Bet koks miręs organizmas įkomponuotas į nuosėdines uolienas yra galimas kandidatas pritaikyti šiam datavimo metodui. Radiokarboniniui datavimamui reikalingas pavyzdžio kiekis parodytas 2.1.1.1 lentelėje.

2.1.1.1 lentelė

Medžiaga	Reikalingas kiekis gramais	Komentariai
Medžio anglis ir medis	25	Dažniausiai patikimas
Grūdėliai, sėklos, riešutų kevalai, žolės, šakelės, audinys, popierius, oda	25	Dažniausiai patikimas
Organinė medžiaga sumaišyta su dirva	50-300	Turi turėti ne mažiau kaip 1% organinės anglies. Reikia pašalinti kuo daugiau dirvos

Durpės	50-200	Dažniausiai patikimas tik reikia atskirti nuo jų dabartinių augalų šaknis kurių gali pasitaikyti
Dramblio kaulas	50	Dažniausiai gerai išsilaikęs ir patikimas
Kaulai (suanglėje)	300	Kuo labiau kaulai suanglėje tuo patikimesi rezultatai
Kriauklės (neorganinė anglis)	100	Jų patikimumas dar diskusinis klausimas, nes pavyzdys galėjo būti praturtintas ^{14}C dėl izotopų įvairių priežasčių
Kriauklės (organinė anglis)	Keli kilogramai	Gali duoti didelę paklaidą
Ežerų mergelis ir gilių jūrų ar ežerų nuosėdos	Įvairūs	Reikalinga padaryti pataisą dėl ypatingų formavimosi sąlygų
Keramika	2-5 kg	Patikimi rezultatai

Dideli radioaktyvios anglies kiekiai aptinkami senų medžių rievėse ir tai rodo buvusias fluktuacijas, kurių pagrindinės priežastys buvo:

- 1) magnetinio Žemės lauko pasikeitimas;
- 2) Saulės aktyvumo pasikeitimas;
- 3) naujausių žvaigždžių išsiplėtimas.

Geomagnetinio dipolio pasikeitimas turi įtakos kosminių spindulių aktyvumui, kuris apsprendžia ^{14}C susidarymo greitį Žemės atmosferoje. Eksperimentinės ir teorinės Žemės magnetinio momento pasikeitimo kreivės laike ir ^{14}C išskaičiavimai rodo, kad pagrindinis diapolinio momento pasikeitimas yra 7000-8000 metų. Maksimalus ^{14}C kiekis buvo apytiksliai prieš 5000 - 6000 m, - ^{14}C padidėjimas medžių rievėse siekia 9% - 10%. Tad naudojant ^{14}C datavimą reikia įvesti pataisos koeficientus.

^{14}C metodo tikslumas gali būti patikrintas kitais metodais – pavyzdžiui, medžio rievių skaičiavimu arba varvometrija. Tačiau yra ir kitų ^{14}C datavimo problemų. Pirma, augalai diskriminuoja anglies dioksidą turintį ^{14}C , t.y. jie pasisavina jo mažiau, nei tikimasi, kas

padaro datuojamą objektą senesnę nei jis yra iš tikrųjų. Dar daugiau, skirtingi augalų tipai ^{14}C diskriminuoja skirtingai. Dėl to taipogi turi būti įvestos atitinkamos pataisos. Antra, $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ proporcija atmosferoje nebuvo pastovi – pvz. prieš industrinę erą ji buvo didesnė.

Visa tai lėmė, kad minėtoms paklaidoms pašalinti yra apskaičiuotos ir sudarytos atitinkamos kalibracinės kreivės, pagal kurias koreguojamas (kalibruojamas) laboratorijoje gautas radiokarboninis uolienų amžius.

Pritaikius tam tikras pataisas metodas yra gana patikimas, objektai gali būti datuojami su 50 metų tikslumo paklaida. Didžiausias metodo trūkumas tas, kad jis negali būti taikomas uolienoms senesnėms nei 50000 metų.

3.1.2. Urano-torio (U – Th) metodas

U – Th uolienų absoliutaus amžiaus nustatymo metodas yra plačiai naudojamas. Th nėra tiesioginis U skilimo produktas. U skilimas yra ilga grandininė reakcija, kurios metu jis skyla į daug trumpo egzistavimo elementų. Datavimui tinka U turintys mineralai (Gaigalas A. 2007). Skirtingų radioaktyviųjų izotopų skiriasi paplitimas, skilimo pusamžiai, bei skilimo būdas parodyti 3.1.2.1. lentelėje.

3.1.2.1 lentelė

Elementas	Elemento simbolis	Izotopo simbolis	Natūralus paplitimas	Pusperiodis (Metais)	Pirminė skilimo rūšis
toris	Th	^{232}Th	100.00%	14,000,000,000.00	alpha
uranas	U	^{238}U	99.28%	4,460,000,000.00	alpha
kalis	K	^{40}K	0.01%	1,250,000,000.00	beta
uranas	U	^{235}U	0.72%	704,000,000.00	alpha

U – Th radioaktyvių izotopų santykiai skirtingose uolienose yra nevienodi (3.1.2.2 lentelė).

3.1.2.2 lentelė

Uolienos tipas	Th (ppm)	U (ppm)	K%	Th/U	K/U	Th/K
Evaporitai	0,4	0,1	0,1	4,0	1,0	4,0
Karbonatai	1,6	1,6	0,3	1,0	0,2	5,9
Smiltainiai	5,7	1,9	1,2	3,0	0,6	4,8

Urano - torio metodo taikymas:

1. U – Th metodas plačiai taikomas datuojant urvų kalcito darinius – stalagmitus, stalaktitus ir pan.

2. Koralai. Po koralų žūties skeletai veikia kaip uždaros sistemos, kol neištirpsta arba nepakinta į kalcitą. Dar daugiau jie turi pakankamą kiekį urano (paprastai 2-3ppm), todėl datuojant gali būti naudojamas U – Th metodas.

3. Karbonatinės nuosėdos. Apima travertinus, kalkretus, ežerų mergelį, stromatolitus, fosfatus ir evaporitus. Visi jie turi urano, atsiradusio sedimentacijos metu, bet taip pat visi linę turėti kintantį detritinio torio kiekį, kuris turi būti išskaičiuotas naudojant U – Th santykį.

4. Moliuskai. Iki šiol naudojimas fosilinius moliuskus datavimui buvo nesėkmingas dalinai dėl to, kad jie turi labai mažą kiekį urano. Metodo taikymas moliuskams laikomas nepatikimu.

5. Kaulai. Po gyvūno žūties uranas patekęs iš požeminio vandens yra įkalinamas kaule.

6. Durpės. Durpės kaip ir kitos organinės medžiagos pasiima uraną iš požeminių vandenų ir laikui bėgant gali būti pakankamai prisotintos šio elemento. Taip pat kaip ir kauluose urano turinčių neorganinių detritinių medžiagų įkorporavimas į durpių nuosėdas yra problema. Tačiau tam tikri paskatinantys rezultatai buvo nustatyti datuojant tiek durpes, tiek medį.

3.1.3. Berilio (^{10}Be) metodas

^{10}Be – tai kosmogeninis izotopas aptinkamas kvartero nuogulų pavyzdžiuose, o konkrečiai Lietuvoje – tik ledynų paliktuose rieduliuose.

Kosmogeninis ^{10}Be atsiranda kvarce, esančiame Žemės paviršiuje iki 1 – 3 m gylio, kosminei radiacijai veikiant deguonies ir silicio atomus minerale. ^{10}Be atsiradimo greitis priklauso tik nuo kosminės radiacijos kiekio, pasiekiančio pavyzdį, ir tai gali būti apskaičiuota (Zech R., Abramowski U., 2004).

Kosminė radiacija įeinanti į žemės atmosferą, taip vadinama pirminė radiacija, susideda iš kosminių spindulių – protonų su energija nuo 1 iki 10^{10} GeV, ir iš daug mažesnės energetikos saulės kosminių spindulių. Pastarieji pasiekia žemės paviršių labai nežymiais kiekiais ir ^{10}Be susidarymui *in situ* neturi reikšmės. Ateinantys pirminiai kosminiai protonai pirmiausia yra pakeičiami Žemės magnetinio lauko, kuris atspindi visus spindulius, kurie turi mažesnę energiją nei tam tikra riba. Riba priklauso nuo geomagnetinės platumos. Ji yra didžiausia ties ekvatoriumi, kur geomagnetinio lauko linijos eina lygiagrečiai su Žemės paviršiumi. Taigi, ^{10}Be atsiradimas bet kurioje vietoje priklauso nuo tos vietos geomagnetinės pozicijos.

Pirminė radiacija, kaskadinėmis branduolinėmis reakcijomis yra transformuojama į antrinius spindulius, turinčius daugiausia neutronų protonų. Antrinis neutronų srautas toliau savo kelyje į Žemės paviršių yra silpninamas dėl kolizijos su atmosferiniais spinduliais. Antra, ^{10}Be atsiradimas bet kur paviršiuje priklauso nuo atmosferinių branduolių kiekio, susiduriančių su antrine radiacija, o taip pat nuo aukščio virš jūros lygio bei atmosferos sudėties virš vietos, kur atsiranda ^{10}Be . Gyliuose didesniuose nei 3 m. ^{10}Be atsiradimas dėl protonų sąveikos tampa taip pat svarbiu. ^{10}Be atsiradimo uolienose gylio profilis yra apytiksliai eksponentinis.

Kosmogeninių nuklidų koncentracija N (prie g^{-1}) bet kurios uolienos paviršiuje didėja kartu su uolienos atsidengimo laiku t . Radioaktyviems nuklidams, tokiems kaip ^{10}Be , kosmogeninių nuklidų koncentracijos didėjimas gali būti išskaičiuojamas žinant skilimo pusperiodį ir išreiškiamas tokia lygtimi:

$$N = P/\lambda(1 - e^{-\lambda t})$$

kur λ – ^{10}Be skilimo pusperiodis. Atsidengimo laiko t apskaičiavimas reikalauja ^{10}Be atsiradimo greičio P ir ^{10}Be koncentracijos N žinojimo.

Skaičiuojant amžių daromos tokios pataisos:

Pataisa dėl pavyzdžio storio ir dangos. Kadangi ^{10}Be atsiradimas priklauso nuo gylio, kuriame yra uoliena, tad atsiradimo greitis turi būti paskaičiuotas visam uolienos

pavyzdžio storiui (vidurkinis). Turi būti atsižvelgta ir į pavyzdžio padengimą sniegu ar dirvožemiu, o taip pat į padengimą augalija (išskyrus atvejus, kai ši įtaka yra labai nežymi).

Pataisa dėl topografijos. Paviršiaus, iš kurio buvo imtas pavyzdys, polinkis taip pat turi įtaką vietiniam ^{10}Be atsiradimui.

Pataisa dėl paviršiaus erozijos. Uolienos paviršiaus erozija lemia sukaupto *in situ* kosmogeninio ^{10}Be netekimą. Deja, metodai reikalingi nustatyti uolienos paviršiaus erozijos greičiui, ne visada yra prieinami.

Pataisa dėl tektoninio iškilimo. Kadangi atsiradimo greitis priklauso nuo aukščio virš jūros lygio, į tektoninį aktyvumą taip pat turi būti atsižvelgta.

Pataisa dėl geomagnetinio lauko intensyvumo ir jo pozicijos dipolio ašiu atžvilgiu pasikeitimo. Mažesnėse nei 50° platumose kosminių spindulių srautas yra stipriai sumažinamas dėl nukreipimo, kuris yra kintančio dipolio momento funkcija.

Lietuvoje ^{10}Be metodas naudotas riedulių datavimui – gautas žemės paviršiuje kosmogeninis amžius rodo, prieš kiek laiko sutirpo ledynas ir riedulys atsidūrė Žemės paviršiuje, t.y. jį pradėjo veikti kosmogeninis spinduliavimas.

3.2. Bioindikaciniai metodai

Bioindikaciniai metodai susiję su organizmų gyvybiškumu. Datavimui naudojami organizmai, kurie savyje išsaugo tam tikrus cheminius elementus, o po organizmų žūties, pagal cheminių elementų likučius galima nustatyti, kada jie gyvavo, ir taip “padėti” kvartero geochronologijai. Lietuvoje datavimui kol kas buvo taikytas tik vienintelis - amino rūgščių – metodas.

3.2.1. Amino rūgščių metodas

Fosilijos, nuosėdos ir uolienos yra veikiamos daugybės cheminių reakcijų. Po organizmo žūties audiniai suardomi daugybės cheminių procesų tam, kad susidarytų paprastesnės cheminės struktūros. Mineralų ar fosilijų paviršius gali būti pakeistas dėl hidratacijos ar tam tikrų chemikalų susikaupimo požeminiame vandenyje, kai tuo tarpu pedogeniniai procesai palaiptinui sąlygos matomus pasikeitimus uolienoje ar nuosėdų paviršiuje. Pasikeitimo lygis, sukeltas skirtingų cheminių reakcijų, didėja laike. Gyvas kaulas

susideda iš maždaug 23% kologeno pluoštelių, apribotų fosfatinės kalcitinės medžiagos. Proteinai gali išgyventi kaule ar kiautelyje labai ilgą laiką ir tuo pačiu patirti daugybę molekulinį pasikeitimų. Proteino likučių atradimas fosilijų kauluose ir kiauteliuose pirmą kartą paminėtas Abelson (1956). Kai kurie cheminiai proteinų pasikeitimai, kurie įvyksta po organizmo žūties, priklauso nuo laiko, ir tam tikrų proteinų likučių charakteristikos. Tai svarbu kvartero geochronologijai.

Išskyrus gliciną, visos amino rūgštys paprastai randamos proteinuose ir gali egzistuoti dvejose molekulinėse formose (izomerinės formos). Cheminės ir biocheminės savybės šių amino rūgščių formų yra panašios, tačiau sukasi skirtingomis kryptimis. Šie optiniai izomerai yra priskiriami L-amino ir D-amino rūgštims. Anglies atomas izomero centre formuoja asimetrijos tašką ir leidžia dviejų optinių izomerų atsiradimą. Skirtumas tarp šių izomerų yra tas, kad L-izomeras yra gyvuose (aktyviuose) proteinuose, o D-izomeras gali būti laisvoje formoje, kaip neproteininių struktūrų komponentas ir fosilijų organinėje medžiagoje kaip proteinų skilimo rezultatas.

Aminostratigrafija - tai yra amino rūgščių naudojimas skirstyti fosilijas ir su jomis susijusias nuosėdas pagal amžių. Be to amino rūgščių santykis gali būti kalibruojamas su pavyzdžiais, kurių amžius gautas radioaktyviosios anglies, urano, termoluminescencijos arba elektro paramagnetinio rezonanso datavimo metodais. Aminostratigrafija gali būti taikoma visam kvartero periodui. Kelių milijonų metų amžius gali būti nustatytas iš izomerų santykio.

Kai kurie principiniai aminostratigrafijos taikymai:

1. Koreliacija ir interglacialinių pakrančių datavimas.
2. Regioninių chronologijų nustatymas. Amino rūgščių metodo naudojimas neįūriniamis moliuskams, suteikia galimybę nustatyti amžių kontinentuose, taip pat kaip ir pakrančių zonose.
3. Įvairių amžių populiacijų išskyrimas. Jūrinių moliuskų grupės dažnai rodo skirtingą amžių, nors dažnai tai nėra vizualiai matoma tyrinėjant fosilinę medžiagą.
4. Fosilijų patikrinimas prieš radiokarboninį matavimą. Radiokarboninis datavimas senesnių nei 50000 metų fosilijų yra laikomas nepatikimu ir brangiu, o tuo tarpu amino rūgščių analizė yra ne tokia brangi, sąlyginai greita ir gali būti taikoma fosilijų analizei prieš radiokarboninį datavimą.

5. Paleotermometrija. Amino rūgščių santykio nustatymas gali būti naudojimas temperatūrinių sąlygų, įtakojusių proteinus nuo diagenozės pradžios, nustatymui. Tačiau šis metodas turi ribotą pritaikymą ten, kur fosilijos patyrę daugybę temperatūrinių svyravimų.

3.3. Fizikiniai metodai

Kaip savarankiška grupė metodų egzistuoja ir fizikiniai metodai, kurie paremi fizikinių charakteristikų pasikeitimais, arba mineralų savybe, reaguoti į gamtinės aplinkos įtaką, t.y. kaupti savyje radioaktyviuosius elementus.

3.3.1. Termoluminescencinis metodas (TL)

Bet kokia medžiaga, į kurios sudėtį įeina uranas, toris, arba kalis (visos nuosėdinės ir vulkaninės uolienos, kurios turi visus 3 elementus), yra nuolat bombarduojamos $\alpha\beta\gamma$ dalelėmis. Tuo metu vyksta medžiagos jonizacija, elektronai „sugaunami“ minerale (Lowe J.J., Walker M.J.C. 2002) Šie elektronai gali būti išlaisvinti kaitinant, ir prie tam tikrų sąlygų įvyksta charakteringa šviesos emisija, kuri yra proporcinga elektronų, įkalintų minerale, skaičiui. Tai vadinama termoluminescencija. Išspinduliuota šviesa yra kaip priedas prie normalaus šviesos spinduliavimo, gaunamo kaitinant. Ši pastaroji minėta šviesa bus išspinduliuota kiekvieną kartą pavyzdį kaitinant, kai tuo tarpu termoluminescencinė šviesa, kartą išlaisvinta, dar kartą gali pasirodyti tik po sekančio radiacijos poveikio tiriamai uolienai. Termoluminescencinės savybės kaupiasi nuosėdose, kurios nuolat yra veikiamos radiacijos. Taigi, termoluminescencinis intensyvumas yra proporcingas radiacijos kiekiui. Žinant gautą per metus radiacijos kiekį (radiacijos dozės greitis), galima apskaičiuoti ir radiacijos laiko trukmę. Uolienos amžius yra siejamas su elektronų sugavimo pradžia. Kvartero tyrimuose tai leidžia termoluminescenciją panaudoti objektų išdegimo laikui (keramika), arba nuosėdų, kuriose yra didelis kiekis kvarco arba feldšpatų, pasižyminčių termoluminescencinėmis savybėmis, palaidojimo laikui nustatyti. Tai yra todėl, kad abiem minėtais atvejais tiek išdegimas, tiek prailgintas buvimas saulės šviesoje efektyviai išlaisvina sugautus elektronus, ir tuo pačiu perstato termoluminescencinį laikrodį nuo nulio.

Termoluminescencinės savybės (TL signalas) atsispindi pavyzdžio išspinduliuotos šviesos intensyvume, kai tas pavyzdys yra kaitinamas nuo kambario temperatūros iki daugiau

nei 500° C. Tai matosi švytėjimo kreivėje, kurioje pikai yra randami prie pavyzdyje esančių sugautų elektronų energijos temperatūrinių charakteristikų. Radiacijos dozė gaunama nuliniame taške yra vadinama ekvivalenti doze ED arba paleodoze ir randama lyginant pavyzdį, atspindinčios švytėjimo kreivės termoluminescencinį signalą, su laboratorijos palyginamuoju pavyzdžiu. Be to, metinė dozė (arba radiacijos dozės greitis) taip pat turi būti pamatuotas. Tai yra gaunama nustatant tiriamajame pavyzdyje esančių radioaktyviųjų elementų (K, Th, U) kiekius. Datuojant nuosėdas yra nustatomas ir pavyzdyje esantis vandens kiekis, kadangi pavyzdyje dalis energijos yra išsklaidoma daugiau per vandenį nei per mineralo grūdelius, o tai gali sukelti žymią nustatymo amžiaus paklaidą. Žinant metinę dozę, amžius metais gali būti išskaičiuotas iš formulės:

$$TL = \text{Ekvivalenti dozė} / \text{Metinė dozė}.$$

Netikslumų šaltinis TL datavime susijęs su sisteminėmis klaidomis, kurios yra susiję su kalibravimu bei su laboratorijos radiacijos šaltiniu, o tai reiškia, kad mažai tikėtina jog, datavimo tikslumas, didesnis nei +/- 5 %, bus pasiektas. Urano skilimo kreivės nestabilumas, radioaktyviųjų elementų migracija per paviršiaus nuosėdas ir buvęs vandens kiekis uolienose yra kliūtis nustatyti metinį radiacijos dozės greitį.

3.3.2. Optiškai stimuliuotos liuminescencijos (OSL) metodas

Šis metodas remiasi tais pačiais fizikiniais principais, kaip ir termoluminescencija, tik čia spinduliuotės sužadinimui naudojamas ne kaitinimas, o šviesos šaltinis, paprastai lazeris. Šiuo metodu yra matuojama liuminescencija, išspinduliuota iš labiausiai šviesai jautrių elektronų gaudyklių tam tikruose mineraluose, ypač kvarce ir feldšpatuose, atsiradusi dėl pavyzdžio buvimo šviesoje. Liuminescencijos sužadinimas naudojant arba žalios šviesos šaltinį (žalią lazerį), arba feldšpatų atveju - infraraudonos šviesos šaltinį (IR), yra vadinamas optine stimuliacija. (Lowe J.J., Walker M. J. C. 2002).

OSL datavimas yra paremtas tuo, kad galima apskaičiuoti radiacijos dozę, kuri susidarė nuosėdų grūdeliuose, tokiuose kaip kvarce arba feldšpate, nuo jų paskutinio buvimo saulės šviesoje, kada metastabilūs elektronai yra išlaisvinami ir išspinduliuojama šviesa – įvyksta taip vadinamasis “nulinis momentas”, arba, kitaip tariant, geochronologinio laikrodžio nustatymas nuo nulio. Mineralo grūdeliui nusėdus, jis yra palaidojamas ir pradedamas

bombarduoti radioaktyviaisiais izotopais, t.y. geochronologinis laikrodis yra vėl paleidžiamas eiti.

Laikas reikalingas “nulinio momentui” yra apie 500 s tiesioginės saulės šviesos (pvz. eoliniams smėliams). Smėliams, nusodintiems po vandeniu, tai užims ilgesnį laiką, kadangi vanduo susilpnina saulės spektrą.

Tačiau įmanoma, kad zonose, esančiose arti upės žiočių, vandens nešami grūdėliai gali būti įkorporuoti į litoralės zonos smėlius. Šie grūdėliai gali turėti nepilną “nulinio momentą”, t.y. per trumpai apšviesti, jeigu jie buvo nešami turbiditinių vandenų netoli dugno. Tokių grūdėlių buvimas sumažins OSL amžiaus tikslumą.

OSL metodu datuotų pavyzdžių amžiaus tikslumas yra +/-15%. Tai yra santykinai didelė paklaida egzistuojanti dėl galimo netikslumo apskaičiuojant buvusį vandens kiekį bei jį gretinant su esamu vandens kiekiu, paskaičiuotu prisotintiems smėliams. Jei šis santykis yra per didelis, tai paskaičiuota dozė bus per maža, o tuo pačiu amžius per didelis. Tačiau jei amžiaus išsibarstymas yra didesnis +/- 15%, tikėtina, kad paklaida yra dėl OSL signalo grūdėliuose išsibarstymo. Tai gali būti įrodymas, kad grūdėliai nusodinimo metu nebuvo pasiekę “nulinio momento”.

Datuojamų nuogulų amžius metais skaičiuojamas pagal formulę, kaip ir TL datavimo atveju: $OSL = \text{Ekvivalenti dozė} / \text{Metinė dozė}$

TL ir OSL datavimui tinka visos nuogulos, kurios yra susiklosčiusios veikiant tiesioginei saulės radiacijai. Lietuvoje tai būtų – eolinės, aliuvinės, limninės bei jūrinės nuogulos.

3.3.3. Elektro paramagnetinio rezonanso (EPR) metodas

Šio metodo naudojimas turi šiuos uolienuų amžiaus nustatymo privalumus:

1. Galimybę analizuoti skirtingos sudėties ir genezės pavyzdžius.
2. Galimybę pakartotiniams matavimams, nesvarbu koks buvo pavyzdžio kiekis.
3. Minimalus pradinis pavyzdžio kiekis.
4. Maža paklaida skirtingo svorio pavyzdžiams.
5. Objektų amžiaus nustatymo įvairovė.

EPR spektroskopijos metodas duoda tiesioginę indikaciją paramagnetinių defektų kristalinėse struktūrose. Gamtinių mineralų atveju šie defektai sukuriama radioaktyvių

elementų, įeinančių į mineralo sudėtį ir į jo aplinką jonizuojančiu spinduliavimu. Stebint EPR signalo intensyvumą ir koreliuojant su paramagnetinių radioinduktyvuojamų defektų kiekiu, galima nustatyti mineralų amžių. Jeigu radiacija yra pastovi (paprastas atvejis), amžius skaičiuojamas pagal formulę:

$$T = AD/P,$$

kur AD – akumuliuota radiacijos dozė

P- metinė dozė

Šiuo metu eksperimentų rezultatai pripažinti perspektyviais tolimesniems tyrimams daugiau kaip 25 objektams. Tai yra karbonatinės nuosėdos, kaulų liekanos, mediena ir t.t. Kaip potencialūs datavimo objektai yra subfosilinės moliuskų kriauklės, nes tradicinių būdų panaudojimas (radioaktyviosios anglies, urano - torio, termoluminescencijos) kriauklių datavimui turi tam tikrus apribojimus ir nesuteikia laukiamų rezultatų. (Lowe J.J., Walker M. J. C. 2002).

EPR datavimo problema tiesiogiai susijusi su korektišku dozės nustatymu, kriauklės palaidojimo laikotarpiu ir su metinės dozės įvertinimu. Gamtinės radiacijos akumuliuota dozė, kurią kriauklė gauna nuo jos susidarymo momento, nustatoma naudojant “papildomas dozes”, tai yra laboratorinės dozės pridedamos prie akumuliuotos kriauklės dozės. Metinė dozė priklauso nuo laiko, nes radioaktyvių elementų - urano šeimos elementų įsisavinimas į kriauklės struktūrą jos kristalizavimosi metu priklauso nuo jų skilimo pusperiodžių.

Iškastų subfosilinių kriauklių moliuskų pavyzdžiai labai gerai praplaunami vandeniui, smėlinių ir molinių mineralų likučiai šalinami ultragarso vonioje, tris penkias minutes panardinami į 0,3 N HCl, tam, kad pašalinti išorinį sluoksnį. Po to kriauklės smulkinamos agatinėje vonelėje ir išskiriama grūdelių frakcija. Grūdelių išmatavimams naudojami 50– 250 mg svarmenys. Visos pasiruošimo procedūros daromos dienos šviesoje. Likusieji matavimai atliekami tam tikrame prietaise.

4. LIETUVOS PLEISTOCENO GEOCHRONOLOGINIAI TYRIMAI

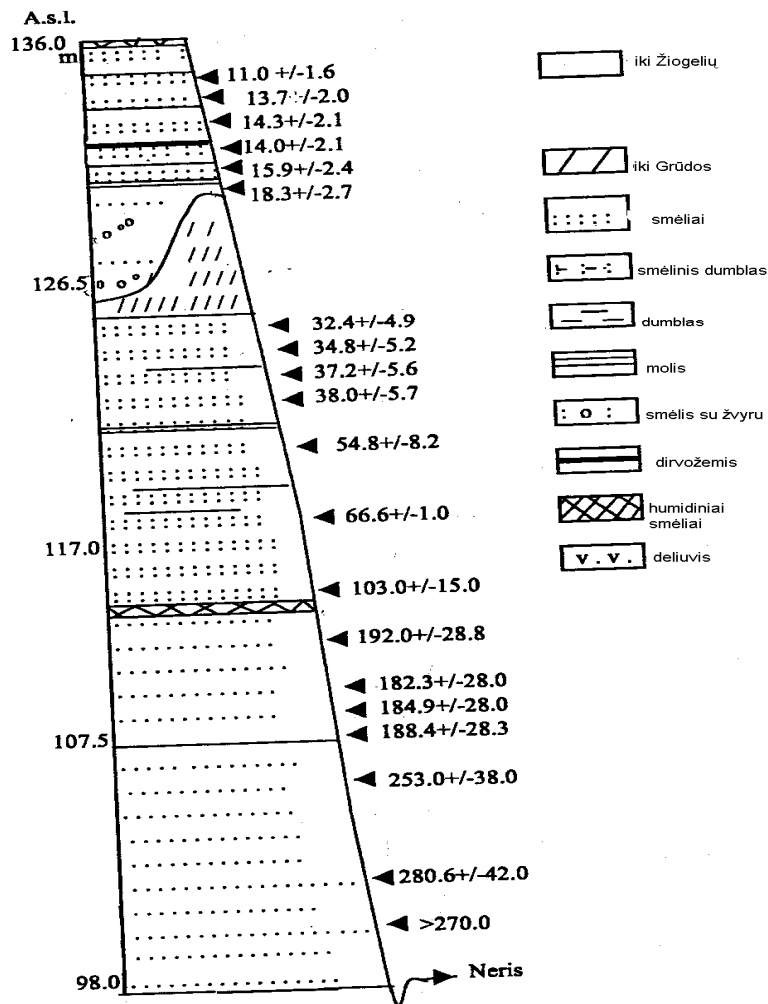
Absoliučios geochronologijos metodus taikomus pleistoceno nuogulų datavimui Lietuvoje galima suskirstyti į tris grupes: OSL, TL – taikomus eolinėms, limninėms, aliuvinėms ir jūrinėms nuosėdoms (smėliams); ¹⁴C – organogeninėms nuoguloms,

kabonatinėms; ^{10}B – rieduliams. Lietuvoje kvartero nuogulų absoliutaus amžiaus nustatymui kol kas plačiausiai taikomas radiokarboninis ^{14}C metodas. Pigiausias metodas – amino rūgščių – tačiau kvartero nuogulose retai sutinkamas datavimo objektas – kriauklės. Geriausias efektas (didžiausias patikimumas) gaunamas, kai datuojant vieno pjūvio nuogulas taikomi keli datavimo metodai, kontroliuojantys vienas kitą. Geochronologiniais metodais nėra datuojamos glacialinės nuogulos – morenos, nes nesurastas joks tai daryti leidžiantis fizikinis ar geocheminis principas.

Pagal surinktus duomenis (5.1 lentelė), 1967 metais Lietuvoje pirmasis pradėtas naudoti radiokarboninis (^{14}C) metodas. Tik 1989 metais jau taikomas ir TL metodas, 1995 metais – OSL, 1996 metais – ESR, 2003 metais – U-Th metodas, o ^{10}B – tik 2006 metais.

Lietuvoje yra tik viena laboratorija, kurioje atliekamas kvartero nuogulų absoliutaus amžiaus nustatymas. Tai Geologijos ir geografijos instituto Radioizotopinių tyrimų laboratorija, kurioje taikomas radioaktyviosios anglies (^{14}C) metodas. Datavimas kitais metodais atliekamas įvairiose kitų šalių laboratorijose.

Kaip termoluminescencinio (TL) metodo pavyzdys pateikiama Vilkiškių atodanga (Fedorowicz, 2003). Kaip matyti iš gautų rezultatų (4.1 pav.), gautos smėlių absoliutaus amžiaus datos išsidėsto logiškai – nuosekliai didėja einant gilyn. Pagal datavimo rezultatus matoma, kad atodangoje sutinkamos smėlingos nuosėdos susiklojo kelių apledėjimų ciklu metu. Smėliai buvo tiriami Gdansko universiteto Geomorfologijos ir kvartero geologijos laboratorijoje. Tai rodo, kad, geochronologinius tyrimus Lietuvoje vykdė ir kitų šalių tyrinėtojai.



4.1 pav. Vilkiškių atodangos geologinis pjūvis ir smėlių datavimo rezultatai.

Urano – torio metodas Lietuvoje praktiškai taikyti pradėtas neseniai, 4.1 lentelėje pateikti Merkinės tarpledynmečio durpių iš Netiesų atodangos prie Nemuno, pirmą kartą datuotų ^{230}Th -U izochroniniu metodu, rezultatai (Gaigalas, Arslanov, 2005).

Nuogulos datuotos Sankt – Peterburgo universiteto laboratorijoje.

4.1 lentelė

Netiesų durpių mėginių tirpinių radiocheminio ir nekoreguoto amžiaus duomenys

No	Depth, cm	Ash, %	^{230}Th dpm/g	^{230}Th dpm/g	^{230}Th dpm/g	^{230}Th dpm/g	$\frac{^{230}\text{Th}}{^{234}\text{U}}$	$\frac{^{234}\text{U}}{^{238}\text{U}}$	Uncorrected Age
N-1b	30–35	50.41	0.537 ± 0.022	0.641 ± 0.025	0.352 ± 0.009	0.193 ± 0.007	0.549 ± 0.026	1.194 ± 0.059	84 +6.8 -6.2
N-2b	35–40	51.94	0.572 ± 0.018	0.617 ± 0.019	0.353 ± 0.006	0.227 ± 0.005	0.572 ± 0.020	1.080 ± 0.041	90.8 +5.9 -5.5
N-3b	40–45	49.71	0.494 ± 0.017	0.553 ± 0.018	0.329 ± 0.009	0.229 ± 0.007	0.595 ± 0.025	1.118 ± 0.045	96.1 +7.5 -6.8
N-4b	45–50	49.33	0.728 ± 0.022	0.792 ± 0.023	0.478 ± 0.016	0.267 ± 0.012	0.604 ± 0.027	1.088 ± 0.037	98.8 +8.4 -7.5
N-5b	50–55	47.31	0.640 ± 0.018	0.727 ± 0.019	0.430 ± 0.016	0.246 ± 0.012	0.592 ± 0.027	1.135 ± 0.035	95.0 +7.8 -7.2
N-6b	55–60	45.81	0.477 ± 0.008	0.527 ± 0.009	0.360 ± 0.008	0.233 ± 0.006	0.682 ± 0.019	1.106 ± 0.020	121 +6.9 -6.4

Taip pat ir 4.2 lentelėje pateikti priešpaskutiniojo (Vėlyvojo, Vidurinio pleistoceno) tarpledynmečio gitijos U-Th izochroninio datavimo rezultatai Mardasavo atodangoje (Gaigalas, 2007). Datavimas atliktas taip pat Sankt – Peterburgo universiteto laboratorijoje.

4.2 lentelė

U ir Th izotopų alfa aktyvumas ir jų santykis Mardasavo atodangos gitijos mėginiuose visiškai ištirpinus degtus molius.

No.	Depth, cm	Ash, %	^{238}U ppm	^{234}U ppm	^{230}Th ppm	^{232}Th ppm	^{230}Th / ^{234}U	^{234}U / ^{238}U	Age
M-1a	35–40	56.36	1.672 ± 0.036	1.820 ± 0.039	1.485 ± 0.023	0.825 ± 0.014	0.816 ± 0.022	1.089 ± 0.033	175.8 ± 15/13
M-2a	40–45	45.42	1.564 ± 0.038	1.718 ± 0.041	1.562 ± 0.025	0.638 ± 0.014	0.909 ± 0.026	1.098 ± 0.037	237.5 ± 36/26
M-3a	45–50	55.10	1.424 ± 0.060	1.508 ± 0.062	1.322 ± 0.023	0.615 ± 0.014	0.877 ± 0.039	1.059 ± 0.062	217.3 ± 51/32
M-4a	50–55	57.55	1.398 ± 0.028	1.520 ± 0.030	1.272 ± 0.014	0.915 ± 0.011	0.837 ± 0.019	1.087 ± 0.031	187.5 ± 15/13
M-5a	55–60	67.71	1.077 ± 0.037	1.144 ± 0.038	1.000 ± 0.019	1.025 ± 0.019	0.874 ± 0.033	1.062 ± 0.051	214.6 ± 39/27
M-6a	60–65	68.36	1.032 ± 0.023	1.059 ± 0.023	0.847 ± 0.011	0.891 ± 0.012	0.800 ± 0.020	1.026 ± 0.032	172.4 ± 14/12

Abiem atvejais gauti rezultatai reikšmingi sprendžiant Lietuvos pleistoceno nuogulų stratigrafijos problemas. Pirmuoju atveju gauta, kad organogeninės nuosėdos Netiesų atodangoje pradėjo klostytis Merkinės tarpledynmetyje, o antruoju atveju įrodyta, kad Lietuvoje turime Snaigupėlės tarpledynmečio nuogulas.

5. GEOCHRONOLOGINIŲ TYRIMŲ DUOMENŲ BAZĖ

Vienas iš pagrindinių magistrinio darbo tikslų buvo sudaryti pilną Lietuvos pleistoceno nuogulų geochronologinio datavimo rezultatų duomenų bazę. Tikslas pasiektas, sukaupia 357 analizių rezultatų iš 99 geologinių objektų.

Nustatyta 30 objektų, kurie buvo tirti radiokarboniniu datavimu (5.1 pav). Daugiausia tyrimų atlikta Pietryčių Lietuvoje, bet jų būta ir visoje Lietuvos teritorijoje. ^{10}B metodu tirti 33 objektai, kurie išsidėstę po visą Lietuvą (5.2 pav). Mažiau geologinių objektų tirta IR-OSL metodu (5.3 pav) - daugiausia pajūryje, bet atskiri gręžiniai išsibarstę ir kitoje Lietuvos teritorijoje. TL, ESR ir U-Th metodais datuota mažiausiai. Termoluminescencijos metodu tirta tik 9 geologiniai objektai (5.4 pav), ESR metodu - 7 (5.5 pav), o U – Th metodu tik 3 objektai (5.6 pav). Duomenys, apie visus geologinius objektus, suvesti 5.1 lentelėje. Visą duomenų bazę sudaro:

1. objekto numeris;
2. gręžinio, atodangos, vietovės pavadinimas;
3. ėminio numeris;
4. koordinatės;
5. datavimo metodas;
6. datuotos nuogulos;
7. slūgsojimo sąlygos;
8. gylis nuo žemės paviršiaus, m/ *aukštis nuo vandens lygio, m/ **santykinis gylis, m;
9. nekalibruotas amžius, metai;
10. absoliutus amžius, metai;
11. geologinis indeksas;
12. laboratorijos kodas;
13. literatūros šaltinis;
14. pastabos.

5.1 pav.

5.2 pav.

5.3 pav.

5.4 pav.

5.5 pav.

5.6 pav.

**Lietuvos pleistoceno nuogulų geochronologinio datavimo rezultatų
duomenų bazė**

5.1 lentelė

Lentelėje naudojami tam tikri sutartiniai ženklai:

Tyrimų metodai:

^{14}C - radioaktyviosios anglies metodas;

U-Th – urano - torio metodas;

^{10}B - berilio metodas;

TL - termoluminescencinis metodas;

OSL - optiškai stimuliuotos liuminescencijos metodas (IR – OSL – sužadinimui taikomi infraraudonieji spinduliai);

EPR - elektro paramagnetinio rezonanso metodas;

Geologiniai indeksai:

f II, I II – neidentifikuotos fluvialinės ir limninės vidurinio pleistoceno (detaliau nesuskirstytos) nuogulos bei nuosėdos;

I II bt – limninės Būtėnų tarpledynmečio nuosėdos;

I II sn, II sn – limninės bei genetiškai neidentifikuotos Snaigupėlės tarpledynmečio nuosėdos (sn₁, sn₂ – atitinkamai apatinė bei viršutinė tarpledynmečio pjūvio dalys);

I II an – limninės Antavilių tarpstadialo nuosėdos;

I II vl – limninės Vilkiškių tarpstadialo nuosėdos;

I II md – limninės Medininkų ledynmečio nuosėdos.

I II pm – limninės Pamario tarpstadialo nuosėdos.

I, b III mr, III mr – limninės, balų bei genetiškai neidentifikuotos Merkinės tarpledynmečio nuosėdos.

a, I, b, d, ch III – aliuvinės, limninės, balų, deliuvinės bei chemogeninės viršutinio pleistoceno (detaliau nesuskirstytos) nuogulos bei nuosėdos.

a, I, b, v, f III nm – aliuvinės, limninės, balų, eolinės bei fluvio-glacialinės Nemuno ledynmečio nuosėdos bei nuogulos (nm₁, nm₂, nm₃, – atitinkamai Apatinio, Vidurinio bei Viršutinio Nemuno nuogulos bei nuosėdos);

g III, LGM, Pm, ML, NL – glacialinės paskutiniojo apledėjimo (Viršutinio Nemuno) nuogulos, atitinkamai: maksimalaus ledyno poslinkio, Pomeranijos stadijos, Vidurio ir Šiaurės Lietuvos fazių.

I III OD – limninės Ankstyvojo Driaso laikotarpio nuosėdos.

Ig III BLE – limnoglacialinės Baltijos ledynuotojo ežero nuosėdos.

I III BO – limninės Biolingo laikotarpio nuosėdos.

l, b III AL – limninės ir balų Aleriodo laikotarpio nuosėdos.

v, b, ch III-IV – eolinės, balų ir chemogeninės viršutinio pleistoceno – holoceno (detaliau nesuskirstytos) nuogulos bei nuosėdos.

v IV, PB, BO, A, SB – eolinės holoceno nuogulos, atitinkamai: Preborealio, Borealio, Atlančio bei Subborealio laikotarpių.

Geochronologiškai datuotos nuogulos publikacijose indeksuojamos pagal įvairias kvartero stratigrafines schemas, kartais net prieštaraujančias viena kitai. Sudarytoje duomenų bazėje daugeliu atvejų palikta originali publikacijų autorių stratigrafinė interpretacija. Nuogulų stratigrafinė priklausomybė, jei ji nebuvo nurodyta indeksu, o tik apibūdinta žodžiais arba ji visai buvo nenurodyta, yra išreikšta indeksu pagal Lietuvos geologijos tarnyboje naudojamą geologinio indeksavimo sistemą.

Laboratorių kodai:

St. Petersburg – Sankt Peterburgo universiteto laboratorija;

Tln, Tallinn, TI, RLQG – Talino technologijos universiteto Kvartero geochronologijos tyrimų laboratorija;

AA – Vašingtono valstybinio universiteto radiokarboninė laboratorija;

Ki – Kijevo radiokarboninė laboratorija;

Gdansk, Gd, UG – Gdanskio universiteto geomorfologijos ir kvartero geologijos laboratorija;

Gliwice – Glivico universiteto laboratorija

Lub, Lu – Liublino universiteto termoluminescencinė laboratorija

Vs – Geologijos ir geografijos instituto Radioizotopinių tyrimų laboratorija, Vilniuje;

Mo – Maskvos geochemijos instituto laboratorija;

ST – Švedijos universiteto Laboratorija

6. PLEISTOCENO STRATIGRAFIJA GEOCHRONOLOGINIŲ TYRIMŲ DUOMENIMIS

Sukaupti geochronologinio datavimo duomenys gauti iš ėminių, surinktų tik iš atodangų, grėžinių bei keliasdešimties žemės paviršiuje esančių riedulių. Pagal turimus duomenis galima pastebėti, kad geochronologinio datavimo tyrimai buvo pradėti jau 1967 metais. Tuo metu buvo naudojamas radiokarboninis datavimo metodas - tirta mediena humusingame aleurite Pamerkio atodangoje, Rudnioje, Zervynose. Stebint pirmųjų duomenų laboratorinius kodus (pvz. Mo-431) matome, kad mėginiai tirti Maskvos geochemijos instituto laboratorijoje. Vėliau, 1972 metais datavimas pradėtas Vilniaus Geologijos instituto Radioizotopinių tyrimų laboratorijoje. Datuotos nuogulos – mediena durpėse, durpės. Sugretinus datas iš Biržų grėžinio, pastebėsime, kad jos viena nuo kitos nelabai skiriasi (38975±/ 1830 ir 38431 ±/ 1772 metų). Čia buvo tirta mediena aleurite, bet mėginiai datuoti skirtingose - Vilniaus ir Liublino - laboratorijose. Tai įrodo, kad datos yra patikimos.

Jau 1989 metais pradėtas taikyti termoluminescencinis metodas. A. Gaigalas atliko Punžionių atodangos tyrimus. Mėginiai datuoti Talino universiteto laboratorijoje. Šioje laboratorijoje taip pat tirta Rokų atodangos nuogulos – smėlis su žvyru. Bet jau taikytas OSL datavimo metodas (Gaigalas, Hutt, 1995). Beveik visi Rokų atodangos nuogulų datavimo rezultatai jas rodo esant Vidurinio Nemuno nuogulomis ir nuosėdomis. Tik keli apatiniai mėginiai priskirti Apatiniam Nemunui.

1996 metais A. Gaigalas ir A. Molodkov pritaikė ESR datavimo metodą tiriant Gailiūnų atodangoje rastus moliuskus. 1997 metais tą patį metodą naudojo Neravų, Jonionių, Netiesos atodangų tyrimuose. Visais atvejais mėginiai tirti Taline technologijos universitete. Datuotų nuogulų amžius atitinka Butėnų tarpledynmetį.

2001 metais Jonionių atodangoje rastos moliuskų liekanos smėlyje, tirtos dviem skirtingais datavimo metodais – OSL ir ESR. Gylis buvo vienodas. ESR metodu tirtų moliuskų liekanų absoliutus amžius – 110000, o OSL – 114000 ±/ 11000. Amžius skiriasi, bet vis tiek moliuskai priklauso Merkinės tarpledynmečiui.

Pietryčių Lietuvoje esančių atodangų tyrimams nuo 2002 metų plačiai naudotas TL metodas. Buvo tirta Vilkiškių atodangoje esantis smėlis, smėlis su žvyru, smėlis su aleurito tarpfluksniais. Atodangoje, einant gilyn, amžius didėja. Paeiliui rasta Viršutinio Nemuno nuogulų, Vidurinio, Apatinio, kelios datos priklauso Merkinės tarpledynmečiui, seniausios

datos - Snaigupėlės tarpledynmečiui. Datavimas buvo vykdomas Gdansko universiteto laboratorijoje. 2002 metais taip pat tirtos moliuskų liekanos ESR metodu Valakupių atodangoje (Molodkov ir kt., 2002), priklausančios Merkinės tarpledynmečiui.

2003 metais pirmą kartą panaudotas urano – torio datavimo metodas (Satkūnas ir kt., 2003). Datuotas sapropelitas ir durpės Medininkų grėžinyje. Taip pat tirta Vilkiškių atodanga (Fedorowicz, 2003). Datuotas smėlis. Buvo naudojami OSL, TL ir ^{14}C datavimo metodai. Tyrimai atlikti Glivico universiteto, Liublino universiteto ir Talino technologijos universiteto laboratorijose. Nuogulos susiklostė Vidurinio Nemuno metu.

Per 2004 metus iširta Rokų atodanga (Gaigalas, Pazdur, 2004) radiokarboniniu metodu, Būtingės ir Rimkų grėžiniai (Bitinas, 2004) OSL metodu. Nustatyta, kad nuogulos suklostė Vidurinio Nemuno metu Baltijos ledynuotajam ežere.

2005 metais tirtas Panemunės grėžinys. OSL metodu datuotas smėlis, kuris priklauso Apatinio Nemuno nuosėdoms. Naudotasi Talino laboratorija (Karmazienė, 2005).

Netiesų atodangoje pirmą kartą Lietuvoje panaudotas Urano - torio datavimo metodas - . Datuotos durpės, kurios pagal nustatytą absoliutinį amžių priklauso Merkinės tarpledynmečiui. Tyrimai buvo vykdomi Sankt - Peterburge (Gaigalas, Arslanov, 2005). Taip pat tyrinėta Rokų šiaurinė ir pietinė atodangos TL metodu. Vienoje ir kitoje atodangose aleuritingo smėlio nustatytas absoliutus amžius atitinka Apatinio ir Vidurinio Nemuno nuosėdas (Gaigalas ir kt., 2005). Dar kartą tirta Netiesos atodanga, bet jau TL metodu. Vienos datos atitinka Merkinės tarpledynmetį, o kitos priklauso Apatiniam, Viduriniam ir Viršutiniam Nemunui. Nuogulos datuotos Gdansko universiteto laboratorijoje. Dar šiais metais (2005) analizuota ir Tartokų atodanga TL metodu. Datuotos nuogulos buvo smėlis. Nustatytas absoliutus amžius įvairus, bet nuoseklus (žiūrint pagal gylį): rasta Butėnų, Snaigupėlės, Merkinės tarpledynmečių nuogulų ir Ankstyvojo, Viduriniojo ir Viršutiniojo Nemuno nuogulų.

2006 metais tirtas Kašučių grėžinys. Datuotos nuogulos – sapropelitas, durpės (Šeirienė ir kt., 2006). Amžiaus nustatymas ^{14}C buvo vykdomas Kijevo laboratorijoje. Nuogulų amžius atitinka Viršutiniojo Nemuno nuogulas. Pamerkio, Kriokšlio, Zervynų atodangose taip pat ^{14}C metodu datuotos organinės nuosėdos, priklausančios Viršutiniam Nemunui (Rirterknecht V. R. ir kt., 2006). Nuogulų amžius buvo nustatytas Vašingtono valstybinio universiteto radiokarboninėje laboratorijoje. Tais pačiais metais datuota didelė

dalis riedulių žemės paviršiuje, kurie, kaip matysime vėliau, yra pagrindiniai indikatoriai, kontroliuojantys nuledėjimo ribas. Datavimo metodas - ^{10}B , o laboratorijos kodai sutampa su vietovės kodu.

2007 tirta Mardasavo atodanga (Gaigalas ir kt. 2007). Čia tirtas sapropelitas Urano - torio metodu. Datuotos nuogulos priklauso Snaigupėlės tarpledynmečiui. Datuojama buvo Sankt - Peterburgo universiteto laboratorijoje.

Apibūdinant geochronologinio datavimo rezultatų duomenis matyti, kad pleistoceno nuogulose galima pagrįstai išskirti Butėnų, Snaigupėlės ir Merkinės tarpledynmečių nuosėdas. Gretinant gautus rezultatus su įvairių autorių stratigrafinėmis schemomis matyti, kad dėl Snaigupėlės tarpledynmečio išskyrimo kyla tam tikrų abejonių, tad jis nėra vaizduojamas Lietuvos geologijos tarnybos Kvartero stratigrafinėje schemoje (Satkūnas, 2005). Vietoje jo čia yra išskiriamas Vilkiškių tarpstadialas.

Geochronologinių tyrimų rezultatai taipogi nerodo, kad Lietuvoje Viršutinio Nemuno (t.y. paskutiniojo apledėjimo) metu būtų kaupusios tarpstadijinio ar tarpfazijinio rango tarpmoreninės nuosėdos, išskiriamas daugelyje šiuo metu naudojamų stratigrafinių schemų (Gaigalas, 1997, Satkūnas, 2005). Todėl minėtų tarpstadijinių bei tarpfazijinių nuosėdų išskyrimas kelia pagrįstas abejones.

7. VIDURINIO IR VIRŠUTINIO PLEISTOCENO METU LIETUVOS PALEOGEOGRAFINĖ RAIDA

Pasinaudojus surinkta geochronologinio datavimo duomenų baze, išrinkus viršmoreninės nuogulas datuotas ^{14}C ir ^{10}B metodais, kurių amžius kito nuo 20000 metų iki 10000 metų, buvo sudarytas Lietuvos teritorijos deglaciacijos paskutiniojo apledėjimo metų izochronų žemėlapis (7.1 pav).

Sudarinėjant šį žemėlapi, pagrindiniai indikatoriai buvo rieduliai, datuoti ^{10}B metodu, rodantys kada sutirpo ledynas ir riedulys atsidūrė žemės paviršiuje. Viršmoreninės organogeninės nuogulos datuotos ^{14}C metodu buvo panaudotos kaip kontroliuojančios nuledėjimo laiką. Viršmoreninių nuogulų radiokarboninio datavimo datos rodo, kada sutirpus ledynui, pradėjo klostytis organogeninės nuosėdos. Gautame žemėlapyje matome, kad pagal visus surinktus duomenis, paskutiniojo (Viršutiniojo Nemuno) apledėjimo pakraštys intensyviausiai tirpti pradėjo maždaug prieš 18 tūkst. metų. Rieduliai esantys už 18 tūkst. metų

ribos ir esantys už paskutiniojo apledėjimo ribos, gali būti, kad jie buvo atidengti ledyno tirpsmo vandenų. Didesnioji Lietuvos teritorijos dalis nuledėjo maždaug prieš 13 tūkst. – 14

tūkst. metų. Tam tikri ledyno likučiai ištirpo ir vėliau prieš 12 tūkst. – 10 tūkst. metų. Kai kurios nuosėdos manoma susidarė vidiniuose ledo protirpos nedideliuose ežeruose.

Naudojantis duomenų baze, buvo sudarytas vidurinio ir viršutinio pleistoceno, (apimant laikotarpį apytikriai nuo 355 tūkst. iki 10 tūkst. metų) paleogeografinių sąlygų raidos modelis Lietuvos teritorijai (7.2 pav., 7.3 pav.).

Žvelgiant į modelį (7.2 pav.), pagal datavimo duomenis Žemaitijos apledėjimas Lietuvoje prasidėjo apytiksliai prieš 285 tūkst. metų, o baigėsi prieš 250 tūkst. metų. Lyginant su Europos Kvartero stratigrafine schema (Atlas, 1997) šis etapas atitinka MIS 8 etapą (Jūrų deguonies izotopinę stadiją). Butėnų tarpledynmetis atitinka MIS 9-11 stadijas. Snaigupėlės tarpledynmetis prasideda prieš ~250 tūkst metų, baigiasi prieš ~180 tūkst metų. Duomenys labai artimi su Europos Kvartero stratigrafine schema ir atitinka MIS 7 stadiją. Snaigupėlės tarpledynmečio ribos matomos aiškiai, tai įtakoja visi surinkti duomenys – rastos ir datuotos nuogulos, kurių amžius atitiko Snaigupėlės tarpledynmečio amžių. Medininkų apledėjimas prasidėjo prieš ~180 tūkst. metų, o baigėsi prieš ~150 tūkst. metų. Šie metai ne visiškai atitinka Europos Kvartero stratigrafinę schemą (Atlas, 1997), kadangi joje Medininkų apledėjimas baigėsi maždaug prieš 132 tūkst. metų. Skirstyti Medininkų apledėjimą į kelis etapus nėra prasmės, nes nėra tai įrodančių duomenų. Rezultatai rodo, kad tai buvo vienas - atskiras apledėjimas. Medininkų apledėjimas dalinai atitinka MIS 6 stadiją Europos Kvartero stratigrafinėje scheme. Žvelgiant į deglaciacijos modelį pakankamai aiškiai galima išskirti Merkinės tarpledynmetį, kuris pagal surinktų duomenų rezultatus prasidėjo prieš ~150 tūkst. metų. Aiškiai matosi Apatinio Nemuno ir Viršutinio Nemuno pakopos. Kadangi viršutinėje modelio dalyje duomenys padengia vieni kitus (dėl tų panašių plokštumos koordinatų), buvo detalizuotas paskutiniojo ledyno nuledėjimo dinamikos modelis (7.3 pav.). Pagal turimus duomenis Viršutiniojo Nemuno ledynmetis prasidėjo prieš ~23750 metų, o baigėsi apytikriai prieš 13 tūkst. – 14 tūkst. metų. Stebint modelį, išryškėja viena osciliacija, kuriai pagrindą suteikia Vilkiškių ir Tartokų atodangose tirtos nuogulos. Taip pat yra tam tikrų anomalijų: matomos kelios ^{10}B datos įeinančios į apledėjimo teritoriją. ^{14}C , OSL metodais datuoti objektai, taip pat įeinantys į apledėjimo teritoriją, rodo, kad galbūt tuo metu nuosėdos galėjo kauptis ledyno protirpiuose arba tai yra nekorektiškos datos.

7.1 pav.

7.2 pav.

7.3 pav.

IŠVADOS

Absoliučios geochronologijos metodus, taikomus pleistoceno nuogulų datavimui Lietuvoje, galima suskirstyti į tris grupes:

- optiškai stimuliuota liuminescencija (OSL), termoluminescencija (TL) – eolinėms, limninėms, aliuvinėms ir jūrinėms nuosėdoms (smėliams);
- radiokarbininis (^{14}C), urano – torio (U-Th), elektro paramagnetinis rezonansas (EPR) – organogeninėms ir karbonatinėms nuosėdoms; berilio (^{10}B) – rieduliams.

Geochronologinio datavimo duomenų bazėje sukaupta 357 analizių rezultatų iš 99 geologinių objektų (grėžinių ir atodangų pjūvių bei paviršiaus riedulių). Kai kuriose publikacijose duomenys pateikti nekonkrečiai (nenurodytos koordinatės, nepateiktas pjūvis, ėminių paėmimo gylis ir kt.), todėl jų negalima buvo įtraukti į duomenų bazę.

Pagal surinktus geochronologinio datavimo duomenis galima daryti išvadą, kad egzistavo Snaigupėlės tarpledynmetis, o Medininkų ir Žemaitijos ledynmečiai turi savarankišką apledėjimų rangą, o nėra vieno apledėjimo stadijos.

Pagal surinktus geochronologinio datavimo duomenis, paskutiniojo (Viršutiniojo Nemuno) apledėjimo metu ledyno pakraštys intensyviausiai tirpti pradėjo maždaug prieš 18 tūkst. metų, o didesnioji Lietuvos teritorijos dalis nuledėjo maždaug prieš 13 tūkst. – 14 tūkst. metų. Kai kurie ledyno blokai galėjo baigti tirpti apytikriai tik prieš 10 tūkst. metų.

Viršutinio pleistoceno paleogeografinės raidos modelyje išryškėja tik viena paskutiniojo apledėjimo ledyno osciliacija, kurios stratigrafinis rangas nėra aiškus. Išskirti kai kuriose stratigrafinėse schemose rodomų stadijų – tarpstadijų ar fazių – tarpfazių nėra pagrindo.

LITERATŪRA

1. Atlas. 1997. Geology for environmental protection and territorial planning in the Polish – Lithuanian cross – border area. 1:500000. Warsaw.
2. Balakauskas L., Mažeika J. 2004. Formation of Kirkliai karst sinkhole (Northern Lithuania) and the palaeoecology of its surroundings during Late Glacial and Holocene. *Geologija*. Vilnius. Nr. 46. P. 41 – 48.
3. Baltrūnas V. 2001. Akmens amžius Pietų Lietuvoje (geologijos, paleogeografijos ir archeologijos duomenimis). Geologijos institutas.
4. Baltrūnas V., Karmaza B., Karmazienė D. 2005. Pleistoceno nuogulu sandaros ir formavimosi ypatybės Šiaurės Lietuvoje. *Geologija*. Vilnius. Nr. 52. P. 22 – 33
5. Bitinas A. 2004. Lietuvos eolinių nuogulų amžius. *Geologija*. Vilnius. Nr. 45.
6. Bitinas A., Damušytė A., Stančikaitė M. 1997. Kompleksinis geologinis kartografavimas 1:50 000 masteliu Kretingos plote VIII tomui, III tomas Kvartero geologija ir geomorfologija. Lietuvos geologijos tarnyba. Ataskaita..
7. Bitinas A., Damušytė A., Stančikaitė M., Aleksa P. 2002. Geological development of the Nemunas River Delta and adjacent areas, West Lithuania. *Geological Quarterly* 46.
8. Blažauskas N., Kisilienė D., Kučinskaitė V., Stančikaitė M., Šeirienė V., Šinkūnas P. 1998. Late Glacial and Holocene sedimentary environment in the region of Ūla River. *Geologija*. P. 25. 20 – 30.
9. Fedorowicz S. 2003. Interlaboratory comparison of TL dating results in the Vilkiškės profile (Lithuania). *Geologija*. Vilnius. Nr. 42. P. 40 - 44.
10. Fedorowicz S. 2003. Termoluminescence method: outline of history, foundations, principle, possibilities, perspectives and limitations. *Geologija*. 41. P. 28 – 35.
11. Gaigalas A. 2000. Correlation of ¹⁴C and OSL dating of Late Pleistocene deposits in Lithuania. *Geochronometria*. Nr. 19. P. 7 – 12.
12. Gaigalas A. 2002. Fedorowicz S., Melešytė M. Termoluminescence of Middle and Late Pleistocene deposits of Vilkiškės exposure in Eastern Lithuania. Abstract book of 5th Baltic stratigraphic conference. Vilnius. P. 41 – 44.

13. Gaigalas A., Asrlanov Kh. A., Maksimov F. E., Kuznetsov V. Yu., Chernov S. B. 2007. Uranium - Thorium isochron dating results of penultimate (Late Mid-Pleistocene) Interglacial in Lithuania from Mardasavas site. *Geologija*. Vilnius. Nr. 57. P. 21 - 29.
14. Gaigalas A., Asrlanov Kh. A., Maksimov F. E., Kuznetsov V. Yu., Chernov S. B., Melešytė M. 2005. Results of uranium - thorium isochron dating of Netiesos section peat-bog in South Lithuania. *Geologija*. Vilnius. Nr. 51. P. 29 - 38.
15. Gaigalas A., Fedorowicz St. 2002. Thermoluminescence dates of Mid – and Late Pleistocene sediments in Vilkiškės exposure, Eastern Lithuania. *Geologija*. Vilnius. Nr. 38. P. 31 – 40.
16. Gaigalas A., Fedorowicz St., Melešyte M. 2005. TL dates of aquatic sandy sediments of Middle - Upper Pleistocene in Lithuania. *Geologija*. Vilnius. Nr. 51. P. 39 - 49.
17. Gaigalas A., Hütt G. 1996. OSL dating of the Merkinė (Eem) Interglacial (in Jonionys) and Nemunas Glaciation (Rokai section) in Lithuania. *PACT* 50. P. 59 – 69.
18. Gaigalas A., Kovalukh N., Pazdur A., Pazdur M. F. 1996. Interpretation of radiocarbon data and isotopic composition of carbonate deposits from Vilnius environs. *Geochronometria* 14. Lithuania. Nr kol. 1331.
19. Gaigalas A., Molodkov A. 2002. ESR ages of three Lithuanian mid- late Pleistocene interglacials methodical and stratigraphical approach. *Geochronometria*. Nr. 21. P. 57 - 64.
20. Gaigalas A., Molodkov A., Melešytė M. 1994. The first ESR dating results of Butėnai (Likhvin) and Merkinė (Mikulino) Interglacial deposits in Lithuania.
21. Gaigalas A., Pazdur A. 2002. Radiocarbon age of tills of last glaciation in Lithuania. Abstract book of 5 th Baltic stratigraphic conference. Vilnius. P. 44 – 47.
22. Gaigalas A., Pazdur A., Pawlyta J. 2001. Radiocarbon age of late Pleistocene Glacigenic Sediments in Jonionys section of Merkinė (eemian) interglacial. *Geochronometria*. Nr. 20. P. 75 – 80.
23. Gaigalas A., Satkūnas J. 1996. Application of radiocarbon dating for mapping of the limits of the last glaciation (Nemunas, Weichselian) in south – east Lithuania. *Geologija*. Vilnius. Nr. 19. P. 26 – 30.
24. Gaigalas A., Pazdur A. 2004. Radiocarbon dating of Late Quaternary in Lithuania. “Book of Abstracts 8 th International conference “Methods of absolute chronology”. 17 – 19 th May, Ustron, Poland. P. 51-53

25. Grigienė A., Jusienė A. 2004. The deposits of the middle Weichselian in Northern Lithuania. International field symposium on quaternary geology and modern terrestrial processes. Western Latvia. September - 12-17. P. 16 – 17.
26. Guobytė R. 2002. Lietuvos paviršiaus geologijos ir geomorfologijos ypatumai bei deglaciacijos eiga. Daktaro disertacijos santrauka. Vilnius.
27. Jusienė A., Aleksa P., Grigienė A. 2003. Antro lygio kvartero geologinis kartografavimas 1:50 000 masteliu Mažeikių plote. Lietuvos geologijos tarnyba. Ataskaita. Vilnius.
28. Kalm V. 2004. Pleistocene chronostratigraphy in Estonia, southeastern sector of the Scandinavian glaciation. *Quaternary Science Reviews* 25 (2006). P. 960-975.
29. Karmazienė D., Karmaza B., Baltrūnas V. 2007. Structural characteristics of pleistocene deposits in north Lithuania. Geological Survey of Finland, Special Paper 46. P. 31-38.
30. Kondratienė O. 1998. Nemuno ledynmečio periglacialinės nuosėdos šiaurės vakarinėje Lietuvos dalyje. *Geologija*. Vilnius. Nr. 23. P. 72 -76.
31. Kondratienė O., Bitinas A., Šerienė V. 2003. Tarpledynmečių ežerų nuosėdos Kintų - 19 pjūvyje. *Geologija*. Vilnius. Nr. 44. P. 48 – 61.
32. Lietuvos kvarteras, Lietuvos geologijos tarnybos internetinis puslapis (<http://www.lgt.lt/index.php?page=60>).
33. Lowe J. J, Walker M. J. C. 2002. *Reconstructing Quaternary Environments*.
34. Molodkov A., Bitinas A. 2006. Sedimentary record and luminescence chronology of the Lateglacial and Holocene aeolian sediments in Lithuania. *Boreas*. Oslo. Nr. 35.
35. Molodkov A., Bolikhovskaya N., Gaigalas A. 2002. The last Middle Pleistocene interglacial in Lithuania: insights from ESR- dating of deposits at Valakampiai, and from stratigraphic and palaeoenvironmental data. *Geological Quarterly*. 46 (4). Warszawa.
36. Rinterknecht V. R., Clark P. U., Raisbeck G. M., Bitinas A., Yiou F., Brook E. J., Marks L., Zelčs V., Lunkka J. P., Pavlovskaya I. E., Piotrowski J. A., Raukas A. 2006. The last deglaciation of the southeastern sector of the Skandinavian ice sheet. *Science* 311. P. 1449 – 1452 (www.sciencemag.org/cgi/content/full/311/5766/1449/DC1)

37. Satkūnas J., Grigienė A., Velichevich F., Robertsson A- M., Sangren P. 2003. Upper Pleistocene stratigraphy at the Medininkai site, eastern Lithuania: a continuous record of the Eemian – Weichselian sequence. *Boreas*. Oslo. Nr. 32. P. 627 – 641.
 38. Satkūnas J., Hutt G. 1998. Stratigraphy of the section Antaviliai, eastern Lithuania, and its implication for the Upper Weichselian climatostratigraphic subdivision. *Warszawa. GeolQuart.* 43 (2). P. 213 – 218.
 39. Satkūnas J., Molodkov A. 2005. Middle Pleistocene stratigraphy in the light of data from the Vilkiškės site, Eastern Lithuania.
 40. Šeirienė V., Stančikaitė M., Kisielienė D., Šinkūnas P. 2006. Lateglacial environment inferred from palaeobotanical and ^{14}C data of sediment sequence from lake Kašučiai, west Lithuania. *Baltica*. Nr. 19. P. 80 – 90.
 41. Stančikaitė M., Šeirienė V., Šinkūnas P. 1998. The new of Pamerkys outcrop, south Lithuania, investigations. *Geologija*. Vilnius. Nr. 23. P. 77 – 88.
 42. Zech R., Abramowski Uwe. 2004. Surface exposure dating using *in situ* cosmogenic ^{10}B , *Proc. Estonian Acad. Sci. Geol.* P. 54, 1, 3 – 12.
 43. Гайгалас А., Хютт Г., Битинас А., Мелешите М. 1989. Термолюминесцентный возраст позднечетвертичных песков в обнажении Пунжонис. *Литвагеология*. С. 42 -43.
 44. Пиррус Р. 1967. Абсолютный возраст и стратиграфическое положение уласких межстадиальных отложений юго-восточной Литвы. *Известия академии наук эстонской сср. Том XVI химия. Геология..* Nr. 2.
 45. Пунниг Я.М.К., Раукас А.В. 1983. Геоморфология. Москва. Том 7. С. 53 – 63, 81 – 97, 123 – 137.
- Саткунас Й.А., Гайгалас А., Хютт Г.И. 1991. Литогенез и время формирования скярсбаляйского золотого массива. *Литвагеология*. Вильнюс. С. 14 – 25.

SUMMARY

The formation of the database of results of geochronological dating of Pleistocene sediments of Lithuania was one of the main purposes of the master work. The results of 375 dating made by different methods of absolute geochronology (^{14}C , ^{10}Be , U-Th, OSL, TL, ESR) from 99 geological objects (boreholes, outcrops, erratic boulders) were collected in the mentioned database. The estimation of validity of stratigraphic schemes of Quaternary of the Lithuania published by different authors or official institutions was done. The model of the development of the paleogeographic conditions in the Lithuania during the Middle and Upper Pleistocene as well as the scheme of the deglaciation of territory of Lithuania during the Last Glaciation are presented.

According to the results of geochronological dating, there are possible to distinguish Būtėnai, Snaigupėlė and Medininkai Interglacials as well as Žemaitija, Medininkai and Upper Nemunas Glaciations in the Quaternary stratigraphy scheme of Lithuania. The most intensive melting of the ice sheet of the Last Glaciation started about 18 kyrs BP, whereas the complete deglaciation of the entire territory of Lithuania occurred about 13-14 kyrs BP. The final melting of separate blocks of the died ice could be finished about 10 kyrs BP. There is possible to distinguish only one readvance (oscillation) of the ice sheet during the Last Glaciation; there aren't any backgrounds for separation stadials – interstadials of phasials – interphasials.

Recenzija

Vadovo atsiliepimas