

2020 m. vasario 28 d. **Laura Gedminienė** Gamtos tyrimų centre (GTC) apgynė geologijos mokslo krypties disertaciją „Gamtinių ir antropogeninių veiksnių įtaka vėlyvojo ledynmečio ir holoceno (a)biotinės aplinkos raidai paskutinio Skandinavijos ledyno pietrytiniame pakraštyje“. Mokslinė vadovė dr. Miglė Stančikaitė, mokslinis konsultantas dr. Ričardas Taraškevičius.

Laura Gedminienė, Gamtos tyrimų centras

GAMTINIŲ IR ANTROPOGENINIŲ VEIKSNIŲ ĮTAKA VĖLYVOJO LEDYNMEČIO IR HOLOCENO (A)BIOTINĖS APLINKOS RAIDAI

Anotacija

Gedminienė L. Gamtinių ir antropogeninių veiksnių įtaka vėlyvojo ledynmečio ir holoceno (a)biotinės aplinkos raidai // Geologijos akiračiai. ISSN 1392-0006. 2020, nr. 3–4, p. 13–24.

Kompleksinių vėlyvojo ledynmečio ir holoceno ežerų ir pelkių nuosėdų tyrimų (akcentuojant palinologinius, geocheminius ir C^{14}) rezultatai panaudoti siekiant rekonstruoti (a)biotinės aplinkos raidą ir nustatyti aplinkos kaitos priežastis lėmusius gamtinius ir antropogeninius veiksnius. Darbe analizuotos Čepkelių aukštapelkėje, Petrešiūnų ežere ir Lieporių paleoežere susikaupusios nuosėdos. Kompleksinių tyrimų rezultatai, sinchronizuoti su naujausia chronologine skale, leido identifikuoti ir apibūdinti anksčiau regione neaprašytus (a)biotinės aplinkos sąlygų svyravimus. Įrodyta, kad aplinkos raidai didelės įtakos turėjo globalūs veiksniai, sietini su astronominiais įvykiais, saulės ciklų periodiškumu, didžiųjų priledyninių ežerų išsiliejimu.

Abstract

Gedminienė L. Influence of natural and anthropogenic factors on the development of the Late ice age and Holocene (a)biotic environment // Geologijos akiračiai. ISSN 1392-0006. 2020, no. 3–4, pp. 13–24.

The results of complex Late Glacial and Holocene lake and wetland sediment studies (primarily based on palynological, geochemical and C^{14} data), have been used to reconstruct the evolution of the (a)biotic environment and to identify the natural and anthropogenic factors responsible for environmental changes. The study involved sediment layers accumulated in Čepkeliai peat bog, Lake Petrešiūnai, and Lieporiai palaeolake. The results, which were synchronised according to the latest global chronological scale, allowed us to identify and characterise recorded fluctuations in (a)biotic environmental conditions previously unrecorded in the region. It was proved that development of the environment was significantly influenced by global factors related to astronomical events, periodicity of solar cycles, and glacial lake drainage events.

Raktiniai žodžiai: vėlyvasis ledynmetis, holocenas, sporos ir žiedadulkės, geochemija, radiokarboninis datavimas, ežerų ir pelkių dugno nuosėdos.

Keywords: Lateglacial, Holocene, pollen and spores, geochemistry, radiocarbon dating, lake and wetland sediments.

Received 16 April 2020, accepted 10 May 2020

Laura Gedminienė. Gamtos tyrimų centras. Akademijos g. 2, 08412 Vilnius, Lithuania, e-mail: laura.gedminiene@gamtc.lt

ĮVADAS

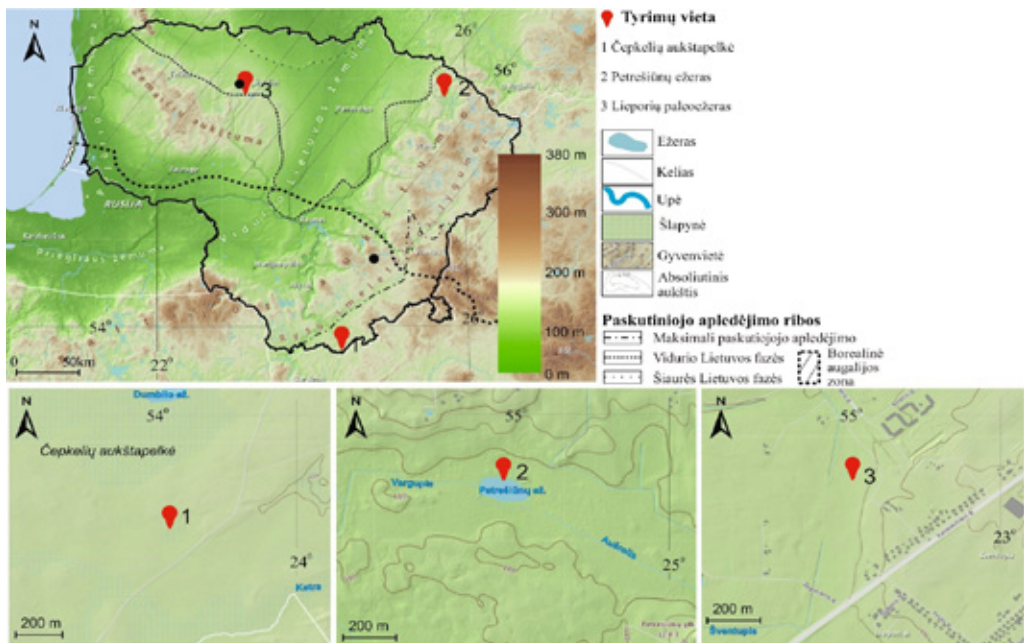
Paleoaplinkos kaitos tyrimų metodai skirstomi į dvi grupes, t. y. metodai, grindžiami netiesiogine informacija, ir šiuolaikiniai instrumentinių matavimų metodai. Atlikta nemažai mokslinių darbų, kuriuose tiriami netiesioginiai informacijos apie klimatą šaltiniai siekiant nustatyti jo kaitos priežastis poledynmečiu. Dažniausiai analizuojami netiesioginiai šaltiniai yra iškastinių augalų ir gyvūnų liekanos bei nuosėdų geocheminės ir geofizikinės savybės. Tokių analizių metu laikomasi prielaidos, kad klimatas, gamtinė aplinka bei vykę procesai tiriamuoju laikotarpiu galėjo būti panašūs į dabartinius, esančius skirtingose geografinėse zonose. Klimato svyravimai yra pagrindinis veiksnys, turintis įtakos gamtinės aplinkos kaitai. Tobulėjant instrumentinių tyrimų ir nuosėdų datavimo technologijoms, tyrimai detalizuojami, atliekama šių tyrimų ir regione bei globaliu mastu gautų rezultatų palyginamoji analizė. Ežerinės nuosėdos, durpės ir dirvožemis puikiai tinka tyrimams, siekiant atskleisti praeityje vykusią aplinkos pokyčių

seką, pokyčius nulėmusius veiksnius. Gautų duomenų analizė padeda geriau suprasti šiuolaikinius klimato kaitos fone vykstančius procesus ir remiantis modeliais prognozuoti galimus pokyčių scenarijus, šitaip užtikrinant saugią ateinančių žmonių kartų aplinką.

Tyrimų tikslas – rekonstruoti vėlyvojo ledynmečio ir holoceno augalijos bei abiotinių komponentų kaitos raidą ir nustatyti aplinkos kaitos priežastis lėmusius gamtinius (astronominis, globalius, regioninius, vietinius) bei antropogeninius veiksnius.

TYRIMŲ VIETA

Ankstesnių tyrimų rezultatai rodo, kad ženkliausi aplinkos pokyčiai išryškėja pereinamojo tipo klimato, sedimentacinių aplinkų, augalijos sudėties ir panašiose zonose. Lietuvos klimatas yra pereinamasis nuo švelnaus jūrinio Vakarų Europos iki žemyninio Rytų Europos. Lietuvos teritorija yra tarpinėje srityje tarp Šiaurės pusrutulio borealinių spygliuočių miškų zonos iš šiaurės ir Vidurio Europos plačialapių miškų zonos



Sukurtas naudojant informaciją iš: © UAB HMIT-BALTIC. Duomenys: © Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio ministerijos, © F. Kavolūtė (2012). Nėdrafais Lietuvos pamatai. 1 dalis: Gytis ir pėvišius, © F. Kavolūtė (2000). Nėdrafais Lietuvos geografinių vietovių pavadinimai, © Vietovardžių žodynas. | © UAB „HMIT-BALTIC“

1 pav. Tyrimų vieta
Fig. 1. The location of the study sites

iš pietų (1 pav.). Siekiant įvertinti globalių ir lokalių veiksnių įtaką abiotinės ir biotinės aplinkos komponentams, atsižvelgiant į teritorijos iširtumą ir į kuo tolygesnį tyrimų vietų išsidėstymą Lietuvos teritorijoje, darbui pasirinktos trys tyrimų vietos pietų, šiaurės rytų bei centrinėje Lietuvos dalyse (1 pav.). Tyrimų objektai – Čepkelių aukštapelkės, Petrešiūnų ežero ir Lieporių paleoežero nuosėdų storumės (1 lentelė).

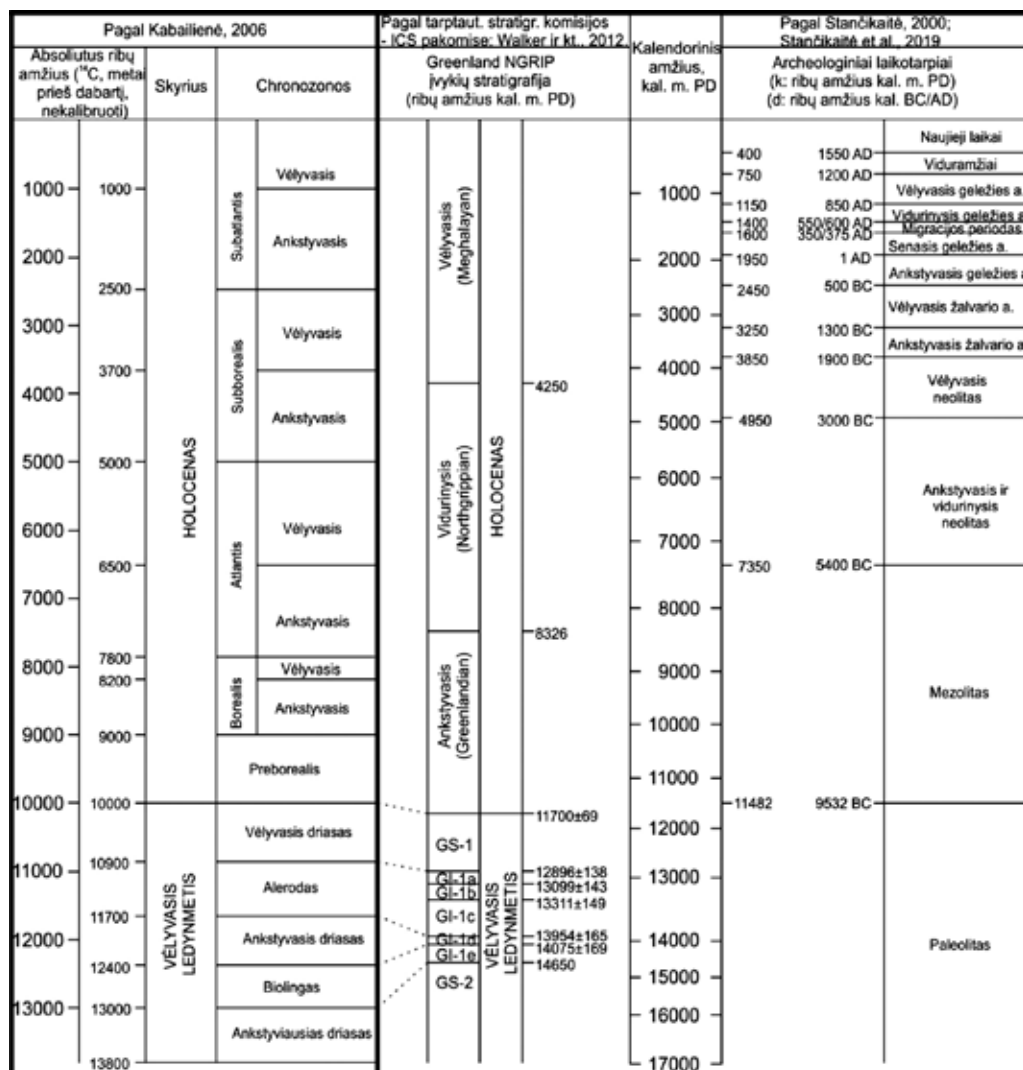
TYRIMŲ METODAI

Šiame darbe taikyti tyrimų metodai: radiokarboninis datavimas, žiedadulkių ir sporų analizė, geocheminiai tyrimai, nuosėdų (organinės, karbonatinės ir mineralinės sudedamosios) kaitinimo nuostolio (LOI, *loss-on-ignition*), magnetinio imlumo (MSus, *mass-susceptibility*), dalelių dydžio pasiskirstymo nuosėdose nustatymas.

Radiokarboninis datavimas. Tam tikrais intervalais atrinkti mėginiai datuoti skirtingose laboratorijose: Čepkelių nuosėdos datuotos Gamtos tyrimų centro (GTC) Branduolinės geofizikos ir radioekologijos laboratorijoje (Vs-), Petrešiūnų nuosėdos – Kijevo radiokarboninėje laboratorijoje (Ki-), Lieporių nuosėdos – Fizinių ir technologijos mokslų centro Masių spektrometrijos laboratorijoje taikant radioaktyviosios anglies (C^{14}) skystųjų scintiliatorių beta spektrometrijos ir greitintuvų masių spektrometrijos (AMS) (FTMC-) metodus (Edvardsson ir kt., 2018; Gedminienė ir kt., 2019; Stančikaitė ir kt., 2019a; Stančikaitė ir kt., 2019b) (1 lentelė). Nuosėdų radioaktyviosios anglies amžius buvo kalibruotas, sudarius amžiaus skalių modelius, jų pagrindu apskaičiuotos medianos ir sudarytos chronologinės skalės vėliau naudotos likusių tyrimų metu. Siekiant palengvinti netiesioginių tyrimų rezultatų sugretinimą su paleojuokiais, fiksuojamais

1 lentelė. Tyrimų objektų vieta, tiriamasis intervalas ir radiokarboninio datavimo duomenys
Table 1. The location of the coring points, the discussed interval of the sediment sequence and the results of radiocarbon dating

Objekto pavadinimas	Mėginių paėmimo koordinatės	Objekto plotas	Intervalas, cm	Lab. Nr.	^{14}C amžius (BP)	Vidutinis kalibruotas amžius, metai PD	$\pm 2\sigma$	Nuosėdų kolonėlės ilgis ir tiriamas intervalas
Čepkeliai	54° 00' 48" N, 24° 37' 01" E	5 858 ha	82–84	Vs-2720	680±35	580	30	1 600 cm 100–1 200 cm
			138–142	Vs-2712	1 125±70	1 100	60	
			162–166	Vs-2713	1 300±90	1 330	70	
			196–200	Vs-2635	1 765±170	1 890	110	
			250–254	Vs-2714	2 915±55	2 980	80	
			292–296	Vs-2636	3 975±85	4 190	100	
			346–350	Vs-2715	3 680±75	4 250	100	
			388–392	Vs-2637	4 435±110	5 010	140	
			490–494	Vs-2638	4 755±230	5 580	210	
			556–560	Vs-2639	5 665±225	6 280	170	
			592–596	Vs-2640	5 480±180	6 390	170	
			790–794	Vs-2642	8 065±140	9 020	200	
			832–836	Vs-2643	8 850±215	9 700	200	
994–998	Vs-2645	9 395±300	10 590	320				
1 034–1 038	Vs-2646	9 355±205	10 730	230				
1 194–1 198	Vs-2647	10 205±240	12 020	320				
Petrešiūnai	55° 50' 52" N, 25° 42' 10" E	1,5 ha	160–170	Ki-10768	580±50	550	50	813 cm 121–813 cm
			250–260	Ki-10770	720±60	710	80	
			290–300	Ki-10888	970±90	890	130	
			410–420	Ki-10769	1 960±100	1 940	100	
			790–800	Ki-10916	6 980±110	7 810	170	
			880–890	Ki-10889	8 080±100	8 960	30	
Lieporiai	55° 54' 04" N, 23° 14' 12" E	8 ha	71–72	FTMC-29-5	7 263±37	8 100	50	200 cm 40–200 cm
			90	Žolinės augalijos išplitimas	12 600	–		
			110–112	FTMC-29-3	11 877±37	13 600	40	
			138–139	FTMC-29-2	11 965±37	13 980	60	
			160–162	FTMC-29-1-2	50 479±802	–	–	



2 pav. Klimatinių įvykių seka

Fig. 2. The chronology of the climatic events

orbitaliniame, globaliame, regioniniame ir vietiniame kontekste, duomenys sinchronizuoti taikant chronologines skales: pagal absoliučius ribų amžių (Kabailienė, 2006), NGRIP (*North European Greenland Ice core Project*) chronologinę skalę ir naują holoceno chronostratigrafinį suskirstymą (Lowe ir kt., 2008; Walker ir kt., 2012), atsižvelgiant į archeologinius laikotarpius (Stančikaitė ir kt., 2019b; Stančikaitė, 2000) (2 pav.).

Žiedadulkių ir sporų tyrimai. Žiedadulkių ir sporų mėginiai paruošti vadovaujantis stan-

dartine žiedadulkių paruošimo metodika (Berglund, Ralska-Jasiewiczowa, 1986; Faegri, Iversen, 1989), tačiau norint atskirti mineralines daleles nuo organinių taikytos dvi skirtingos procedūros. Vienos procedūros metu (Edwards ir kt., 2018; Stančikaitė ir kt., 2019a, b), kuri atlikta GTC, naudotas „sunkusis skystis“ – kadmio ir kalio jodidų tirpalas, kitos procedūros metu, kuri atlikta Talino technologijų universiteto Geologijos institute (laboratorijos vadovas dr. Siim'as Veski), atskiriant naudota fluoro rūgštis (HF) (Gedminienė ir kt., 2019).

Žiedadulkių ir sporų koncentracijai apskaičiuoti naudotos *Lycopodium clavatum* sporos. Žiedadulkių rūšinė identifikacija atlikta biologiniu mikroskopu remiantis Faegri, Iversen (1989) atlasu, raktiniais žiedadulkių aprašymais ir internetine duomenų baze PalDat (www.paldat.org).

Geocheminė analizė. Geocheminė analizė atlikta GTC, naudojant *EDXRF Spectro Xepos* (Kleve, Vokietija) įrangą, pritaikant *Turboquant* metodiką (Schramm, Heckel, 1998) (Gedminienė ir kt., 2019; Stančikaitė ir kt., 2019a). Toliau tyrimams pasirinkti Ca, Mg, Sr, Rb, Al, K, As, Fe, Ti, Mn, P, S, Si, Zr, Na, Zn elementų kiekiai (Gedminienė ir kt., 2019; Stančikaitė ir kt., 2019a). Siekiant išvengti elementų priklausomybės nuo nuosėdose esančių dominuojančių komponentų (pvz., didelės koncentracijos karbonatų, organikos ar silicio), apskaičiuoti tam tikrų elementų santykiai (Si / Ti, Rb / Ti, Mn / Fe, Ca / Mg, K / Na) (Dypvik, Harris, 2001; Kylander ir kt., 2013). Taikant šį metodą nustatomi visi nuosėdose esantys elementai: tiek autigeniniai (jiems priskiriami elementai, į nuosėdas patenkantys diagenozės metu ir / ar iš tirpalų, biochemiškai nuosėdę karbonatai, metalų oksidai hidroksidai, sulfidai, fosfatai, kiti adsorbuoti elementai), tiek alogeniniai (jų į nuosėdas patenka iš telkinį supančių uolienuų ir dirvožemio).

Kaitinimo nuostolio nustatymas (LOI). Nuosėdose esančios organinės medžiagos, karbonatų kiekis nustatytas GTC, taikant standartinį LOI metodą (Dean ir kt., 1974). 105 °C temperatūroje išdžiovinta medžiaga kaitinama iki 550 °C ir 900 °C temperatūros, atitinkamai apskaičiuojant prarastą organinės ir karbonatinės medžiagos svorį, procentais. Pakaitinimo iki 900 °C temperatūros likusi medžiaga priskiriama mineralinei liekanai.

Magnetinis imlumas (MSus). Mėginiai ištirti GTC APC magnetinio imlumo nustatymo prietaisu *MFK1-B kappa bridge* (AGICO), taikant standartinę metodiką (Sandgren, Snowball, 2002). Gauta medžiaga apdorota kompiuterine programa SAFYR. Magnetinis imlumas apskaičiuotas atsižvelgiant į sauso mėginio masę ir išreikštas SI vienetais, m³ kg⁻¹.

Granulimetriniai tyrimai. Smulkia-grūdžių (<0,2 mm) nuosėdų (Gedminienė ir kt., 2019) granulimetrinė sudėtis matuota GTC APC lazeriniu dalelių dydžio nustatymo difrakciniu prietaisu *Analysette 22 Micro Tec plus*. Dalelės suskirstytos pagal *Udden-Wentworth* skalę (Blott, Pye, 2001).

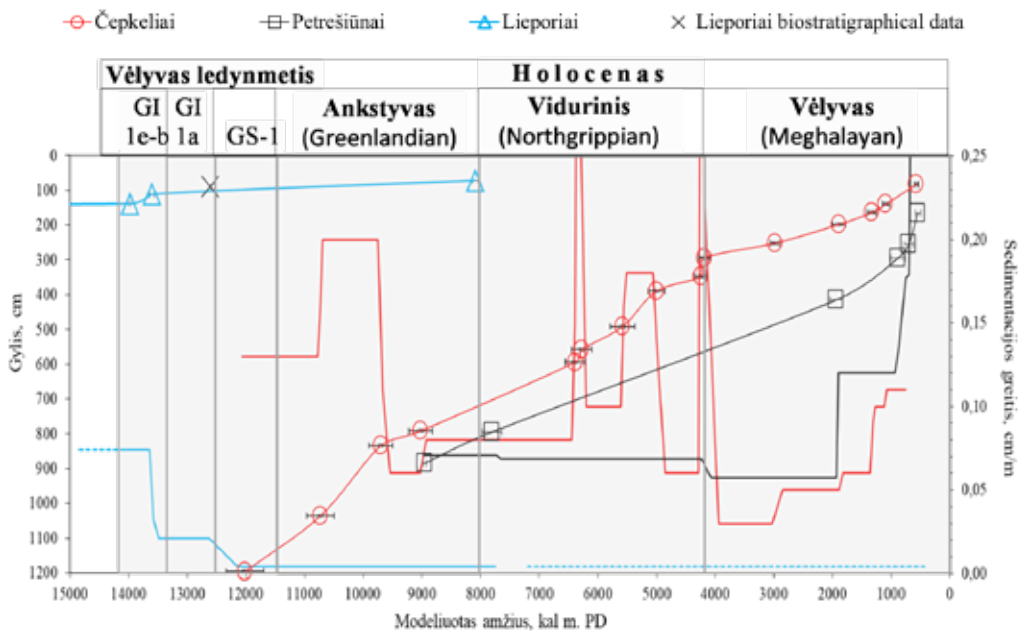
REZULTATAI IR DISKUSIJA

Nuosėdų amžius ir sedimentacijos greitis. Pagal gautas datas, taikant (1) formulę, apskaičiuotas sedimentacijos greitis (1 lentelė):

$$\text{Sed. greitis} = (\Delta h_n / \Delta t_n), \quad (1)$$

čia Δt_n – intervalas tarp turimų datų, metais; Δh_n – analizuojamo sluoksnio storis, cm.

Tai matematinis ir preliminarus sedimentacijos greičio skaičiavimas, kai organinių nuosėdų mineralizacijos sparta ar masės netekimas, galimas dėl įvairių diagenetinių procesų bei sedimentacijos pertraukos nėra įtraukiami. Datavimo rezultatai rodo, kad Lieporių ežero dugno nuosėdų sedimentacinis laikotarpis prasidėjo 14 000 kalibruotų (kal.) metų prieš dabartį (PD) (3 pav.). Didžiausias sedimentacijos greitis buvo ežero formavimosi pradžioje, kai vyko spartus terigeninės medžiagos klostymasis, tačiau nuo 13 500 kal. m. PD nuosėdų akumuliacijos santykis sumažėjo nuo >0,06 iki 0,01 cm per metus. Analizuojama Čepkelių nuosėdų storumės dalis apima laikotarpį nuo 12 000 iki 600 kal. m. PD. Čepkeliuose nustatyta tiesioginė sedimentacijos spartos priklausomybė nuo bioproduktyvumo, kuris didžiausias buvo ankstyvojo holoceno pradžioje prieš 10 500–9 700 kal. m. PD, vidurinio holoceno antroje pusėje intervaluose prieš 6 300–6 100 kal. m. PD, 5 500–4 900 kal. m. PD bei 4 242–4 159 kal. m. PD ir, kai ežere prasidėjo pelkėjimo procesai, vidutiniškai siekė iki 0,2–0,8 cm per metus. Nuo 3 900 kal. m. PD aukštapelkės bioprodukcijos tempas sulėtėjo, sedimentacijos greitis sumažėjo iki 0,1 cm per metus. Petrešiūnų ežero nuosėdų storumė patenka į 9 000–500 kal. m. PD intervalą. Čia spartesnis nuosėdų kaupimasis prasidėjo maždaug prieš 1 800 kal. m. PD, per



3 pav. Sedimentacijos greičio palyginimas skirtingais poledynmečio laikotarpiais
Fig. 3. The comparison of the sedimentation rates during various postglacial stages

pastaruosius kelis šimtus metų sedimentacijos greitis padidėjo nuo 0,2 iki 1,7 cm per metus.

Biotinių ir abiotinių komponentų kaita.

Nepaisant to, kad chronologiniai nuosėdų intervalai tirtuose pjūviuose yra gana skirtingi, o pjūvių chronologinis persidengiamumas nedidelis, tyrimų rezultatai atitinka ankstesnes Lietuvos paleobotanikų ir paleoekologų paleoaplinkos ir paleoaugalijos vystymosi sekas. Pastebėti tiek biotinių, tiek abiotinių rodiklių globaliems įvykiams sinchroniški pokyčiai byloja apie regioninio ar net globalaus lygmens klimatinius įvykius, o skirtumai – apie vietinės reikšmės ekologines sąlygas ir / ar sąlygų priklausomybę nuo objekto geografinės padėties (2 lentelė, 4, 5 pav.).

Paleoįvykių seka vėlyvojo ledynmečio laikotarpiu. Paskutinio Skandinavijos apledėjimo atsitraukimo pradžia sutampa su pokyčiais, vykusiais tiek šiauriniame, tiek pietiniame Žemės pusrutuliuose, ir prasidėjo prieš 22–18 tūkstančių metų (Cronin, 2009). Įvairių tyrimų rezultatai byloja apie staigų klimato atšilimą (Kawamura ir kt., 2007), Ramiojo vandenyno vandens temperatūros pakilimą (Stott ir kt.,

2007), globalų jūros lygio pakilimą (Clark ir kt., 2004), CO₂ ir metano dujų padidėjimą atmosferoje (Kawamura ir kt., 2007). Akivaizdu, kad kintančios klimatinės sąlygos turėjo teigiamą įtaką augalijos įvairovei ankstyvuojau vėlyvojo ledynmečio laikotarpiu (GI-1e-d). Klimatui šylant ir po truputį besiformuojant dirvožemiui, tundrai būdinga augalija kito, sudarydama vandens baseiną supančių paviršinių nuosėdų apsaugą nuo įvairių veiksnių, kaip vėjo erozijos ar paviršinio vandens. Vis dėlto šiuo laikotarpiu globaliai pasireiškiantys kelių dešimtmečių ir / ar šimtmečių įvykiai dar buvo gana dažnas reiškinys ir darė labai didelį poveikį gamtinei aplinkai. Tiesioginės šių pokyčių priežastys tiriamos, bet jau žinoma, kad kai kurie įvykiai susiję su katastrofiniais didžiųjų priedėdinių ežerų išsiliejimais ledynams traukiantis. Pavyzdžiui, apie 13 800 kal. m. PD fiksuojamas trumpas klimatinis nestabilumas, kurio metu sumažėjo pušų ir išaugo žolinių augalų, ypač kiečių, kiekis, galimai susijęs su vadinamuoju GI-1d atšalimu, kuris, anot kai kurių autorių, galėjo būti susijęs su didžiulio Laurentidos ledyno patvenktinio priedėdinių vandens

2 lentelė. Būdingųjų žiedadulkių ir dominuojančių geocheminių elementų pasiskirstymas vėlyvajame ledynmetyje ir holocene

Table 2. The distribution of characteristic pollen and dominant geochemical elements during Lateglacial and Holocene

Laikotarpis, kal. m. PD	Iki 13 700	13 700–13 400	13 400–12 600	12 600–11 300
Būdingosios žiedadulkės	NAP-Salix-Betula	Pinus-Betula	Pinus	NAP-Betula
Augalija	Pradedama plisti ir dominuoja tundroms būdinga žolinė augalija (<i>Poaceae</i> , <i>Artemisia</i> , <i>Chenopodiaceae</i> , <i>Caryophyllaceae</i>). Pavieniai <i>Hippophae</i> , vyrąja <i>Salix</i> ir <i>Betula</i> žemaūgiai krūmai ir krūmokšniai. Apie 13 800 kal. m. PD sumažėja <i>Pinus</i> bei išauga žolinių augalų, ypač <i>Artemisia</i> , kiekis. Lieporių nuosėdose vandens augalijos liekanų kiekis didžiausias.	Palaiapsniui plinta <i>Pinus-Betula</i> retmiškiai, borealinės medžių rūšys žiedadulkių diagramoje siekia 60–80 %, tačiau žolinė augalija (<i>Caryophyllaceae</i> , <i>Rosaceae</i>) vis dar sudaro iki 20 %; nustatytas padidėjęs vandens augalijos ir <i>Salix</i> kiekis.	<i>Pinus</i> žiedadulkių kiekis išauga iki 60 %, randama šių medžių makroliekanų, bylojančių apie jų regioninį paplitimą. Nustatyti didesni kiekiai <i>Corylus</i> žiedadulkių. Sumažėja žolių žiedadulkių, bet šiek tiek išauga <i>Cyperaceae</i> kiekis.	Šiauriam Lietuvos regionui būdinga skurdi žolinė augalija (<i>Artemisia</i> , <i>Caryophyllaceae</i> ir <i>Cyperaceae</i>). Pietinėje Lietuvos dalyje šiuo laikotarpiu žolinės augalijos kiekis sumažėja borealinės augalijos žiedadulkių sąskaita.
Geocheminių elementų pasiskirstymas	Nuosėdų cheminių elementų sudėtyje didžiausi Si, Ti, Al, Rb kiekiai, tačiau Fe, Mn, S koncentracijos nedidelės. Sumažėjus nuosėdų dalelių dydžiui Si nebedominuoja. Apie 13 800 kal. m. PD fiksuojamas nestabilumas visose cheminių elementų kreivėse.		Ca, Sr koncentracija išauga kitų elementų (Si, Al, Rb, Ti ir kt.) sąskaita. Taip pat išauga Mn koncentracija Fe atžvilgiu.	Si, Ti, Al, Rb elementų kiekiai padidėja, Ca, Sr, Mn / Fe santykis ir organinės medžiagos kiekis sumažėja.
Laikotarpis, kal. m. PD	11 300–10 450	10 450–8 600	8 600–4 200	Nuo 4 200
Būdingosios žiedadulkės	<i>Betula-Poaceae-Ulmus</i>	<i>Ulmus-Corylus-Alnus</i>	<i>QM-Picea</i>	<i>Pinus Picea Betula</i> , NAP
Augalija	Periodo pradžioje augalija dar gana skurdi ir įvairi. Reti borealiniai miškai, kuriuose po truputį plinta <i>Corylus</i> , <i>Ulmus</i> , <i>Alnus</i> , <i>Tilia</i> , <i>Quercus</i> medžiai, tačiau vis dar vyrąja <i>Betula</i> .	Plinta plačialapiai šilumamėgiai augalai, <i>Pinus</i> žiedadulkių kiekis smarkiai sumažėja. Atsiranda šlapynėms būdingų augalų liekanų. 9 800–8 100 kal. m. PD intervale Čepkelių nuosėdose vandens augalijos liekanų kiekis didžiausias.	Apie 8 200 kal. m. PD trumpam sumažėja plačialapių medžių ir išauga žolinių augalų kiekis. Vėliau vėl plinta <i>Alnus Ulmus</i> ir kitų plačialapių tankūs miškai. Regioniniu mastu išplinta <i>Picea</i> (ypač šiaurinėje Rytų Lietuvos dalyje). Prieš 6 000 kal. m. PD Čepkelių nuosėdose neberasta ežerinių augalų makroliekanų.	Sumažėja plačialapių šilumamėgių augalų kiekis, gausiau auga <i>Picea</i> . Vis dažniau randama ruderalinės augalijos liekanų <i>Asteraceae</i> , <i>Lactuceae</i> , <i>Secale cereale</i> ir kt.
Geocheminių elementų pasiskirstymas	Geocheminių elementų kreivėse viso intervalo metu fiksuojami trumpalaikiai pokyčiai. Pietryčių Lietuvoje ežerinėse nuosėdose gana didelės Si, K koncentracijos, šiaurinėje Lietuvos dalyje vis dar gausu karbonatų. Staugus Fe ir Mn koncentracijų sumažėjimas, mažas Mn / Fe santykis.	Išauga organikos koncentracija, elementinė sudėtis mažiau kaiti, lyginant su ankstesniu laikotarpiu. Apie 10 200 kal. m. PD fiksuojamas nestabilumas silikaklastinių cheminių elementų kreivėse. Vėliau jų koncentracija palaiapsniui mažėja. Šiaurinėje Lietuvos dalyje staigus Mn / Fe santykio augimas.	8 100–7 800 kal. m. PD intervale Čepkelių nuosėdose staigiai sumažėja ir padidėja Si, K, Zr elementų. Apie 6 200 kal. m. PD ženkliai nukrenta S koncentracija, labai varijuoja molio mineralus ir silikaklastus sudarančių elementų koncentracijos, atsiranda trumpalaikiai staigus terigeninių elementų pikai.	Intervalo pradžioje nuosėdose fiksuojamas padidėjęs mineralinės medžiagos kiekis, nuolatinis Ca / Ti santykio mažėjimas. Jauniausiose nuosėdose stebimas nežymus papildymas Pb, Cu, S, Zn, didesnis litogeninių elementų kiekis bei didesni Si / Ti, Rb / Ti, K / Na elementų santykiai.

baseino (Šiaurės Amerikos žemynas) išsiliejimu į Meksikos įlanką (Clark ir kt., 1996; Brauer ir kt., 2000). Nepaisant to, tyrimų rezultatai rodo, kad tokie pokyčiai neturėjo ilgalaikio poveikio ir aplinkos sąlygos netrukus atsikurdavo. Mūsų duomenimis, 13 400–12 600 kal. m. PD

laikotarpis (GI-1c-a) buvo galimai šilčiausias vėlyvojo ledynmečio intervalas. Šiuo laikotarpiu nuosėdose nustatyta pati didžiausia Ca koncentracija, šiek tiek padidėjęs Rb kiekis bei didžiausia molio dalelių koncentracija, fiksuotos didelės Mn / Fe santykio reikšmės. Tokia

cheminių elementų sudėtis rodo lėtą sedimentaciją, oksidacines bei bioprodukcijai palankias sąlygas. Šiuo laikotarpiu teritorijoje dominavo spygliuočiai. Spygliuočių ir Ca teigiamą asociaciją jau anksčiau analizavo K. Apolinarska su bendraautorais (Apolinarska ir kt., 2012). Manoma, kad spygliuočiai turi didelę reikšmę dirvožemio rūgštingumui, dėl to suintensyvinama karbonatų tirpimas bei patekimas į vandens telkinius. Sparčiam aplinkos vystymuisi palankios sąlygos atitinka GI-1a klimatinį optimumą, kuris Rytų Baltijos šalyse prasidėjo 200 metų anksčiau ir baigėsi 300 metų vėliau, pokyčius lyginant su Grenlandijoje fiksuojama paleoįvykių seka (NGRIP members, 2004) (5 pav.).

Vieno ilgiausių globaliai fiksuotų įvykių, vadinamojo GS-1 atšalimo, priežastis, anot mokslininkų, yra patvenktinių prieleidyninių ežerų (pvz., Šiaurės Amerikos žemyne esančio Agasio ežero, kuris, manoma, per pietų Manitobą išsiliejo į Šiaurės Atlantą) ir / ar Baltijos ledyninio ežero išsiliejimai (Björck ir kt., 1996). Manoma, kad išsiveržęs ledyno tirpsmo vanduo neigiamai paveikė Atlanto vandenyno temperatūrą, galėjo pakeisti net tokias vandenyno sroves kaip Golfo srovė ir sukėlė oro temperatūros pokyčius visoje Vakarų Europoje (Björck ir kt., 1996; Brauer ir kt., 2000). Mūsų rezultatai atskleidė, kad tuo laikotarpiu šiauriniame Lietuvos regione vyravo skurdi žolinė augalija, jos pokyčiai susiję su intensyvesne paviršiaus erozija, o Čepkeliuose žolinės augalijos kiekis sumažėjo borealinės augalijos žiedadulkių sąskaita. Šie gamtinės aplinkos pokyčiai byloja apie akivaizdų aplinkos režimo destabilizavimą. Sinchronizuojant su įvykių seka, nustatyta Grenlandijos ledo kolonėlėse, šis klimatinis pokytis Grenlandijoje prasidėjo 300 metų anksčiau ir baigėsi 200 metų anksčiau nei Baltijos regione (NGRIP members, 2004) (5 pav.).

Paleoįvykių seka holoceno laikotarpiu.

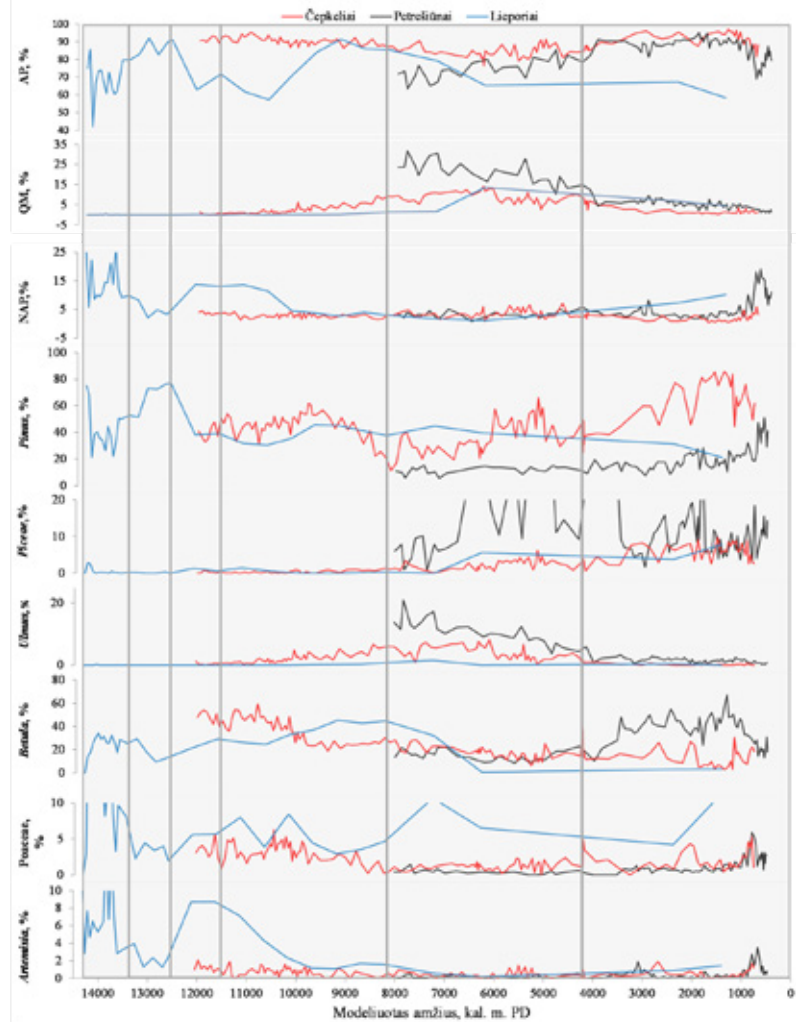
Lyginant su labai kaičiu vėlyvojo ledynmečio laikotarpiu, holocenas yra daug stabilesnis laikotarpis, tačiau ir jo metu fiksuota įvairių įvykių. Manoma, kad daugelį ilgalaikių klimato svyravimų sukėlė veiksniai, su kuriais kartu veikė ir visas kompleksas atsitiktinių astronomi-

nių jėgų, vienaip ar kitaip susijusių su kosminių spindulių srauto pokyčiais. Išanalizavus Čepkelių holoceno žiedadulkių duomenis paaiškėjo sąveikaujančių klimato veiksnių, paskatinusių augalijos pokyčius, hierarchija (Spiridonov ir kt., 2019). Atlikta holoceno laikotarpio nemetrinė daugiamacių skalių analizė atspindi vyraujančių žiedadulkių sudėties parabolinę tendenciją viso holoceno šiluminio maksimumo periodu. Žiedadulkių įvairovė rodo statistškai reikšmingą trijų rangų periodiškumą. Ilgiausi periodiškumai buvo 3 760 ir 1 880 metų trukmės. Šie ilgi ciklai galimai susiję su ilgalaikio saulės aktyvumo arba žemės precesijos indekso kaita (Gray ir kt., 2010; McCracken ir kt., 2013), anksčiau taip pat nustatyta Šiaurės ir Vidurio Europos regionuose. Daug trumpesni cikliškumai, kurie vidutiniškai tęsėsi 208 metus, yra labai artimi „DeVries“ saulės ciklams. Stipriausi šimtmečio ciklai, vidutiniškai trukę 176 metus, greičiausiai atspindi „Gleissborg“ saulės ciklus (Spiridonov ir kt., 2019).

Ankstyvojo holoceno pradžioje globali klimato kaita ir aukštesnė temperatūra lėmė laipsnišką hemiborealinių miškų plitimą. Nors į teritoriją po truputį imigravo plačialapiai: guobos, lazdynai, alksniai, augalijos kaita laikotarpiu iki 10 000 kal. m. PD byloja apie vyravusias permainingas gamtines sąlygas, į kurias ypač jautriai reagavo žolinė augalija ir dirvožemis. Apie 8 000 kal. m. PD fiksuotas trumpalaikis plačialapių medžių sumažėjimas ir gausesnė žolinė augalija, taip pat nuosėdose pastebimas gausnesnis mineralinės medžiagos kiekis sutampa su vadinamuoju 8.2 K klimatinio pašaltėjimo įvykiu, kurį, Laurentidos ledynui ištirpus, galimai inicijavo katastrofinis prieleidyninių Agasio ir Ojibvay (Šiaurės Amerikos žemynas) ežerų nusidrenavimas (Björck ir kt., 1996). Vėliau klimatas sunormalėjo, nuo 7 800 iki 4 200 kal. m. PD apylinkėse plito tankūs alksnių ir guobų, uosių ir kitų plačialapių miškai, didžiojoje Lietuvos dalyje įsivyravo šilumamėgė augalija, regioniniu mastu išplito eglės (ypač šiaurinėje Rytų Lietuvos dalyje). To tarpsnio nuosėdose kaupėsi nesuirusios augalų liekanos, vyko intensyvus pelkėjimas, gausiai apaugusios

4 pav. Atrinktų žiedadulkių taksonai ir jų pasiskirstymas pagrindinių sedimentacijos stadijų metu

Fig. 4. Selected pollen taxa distribution during the main sedimentation stages

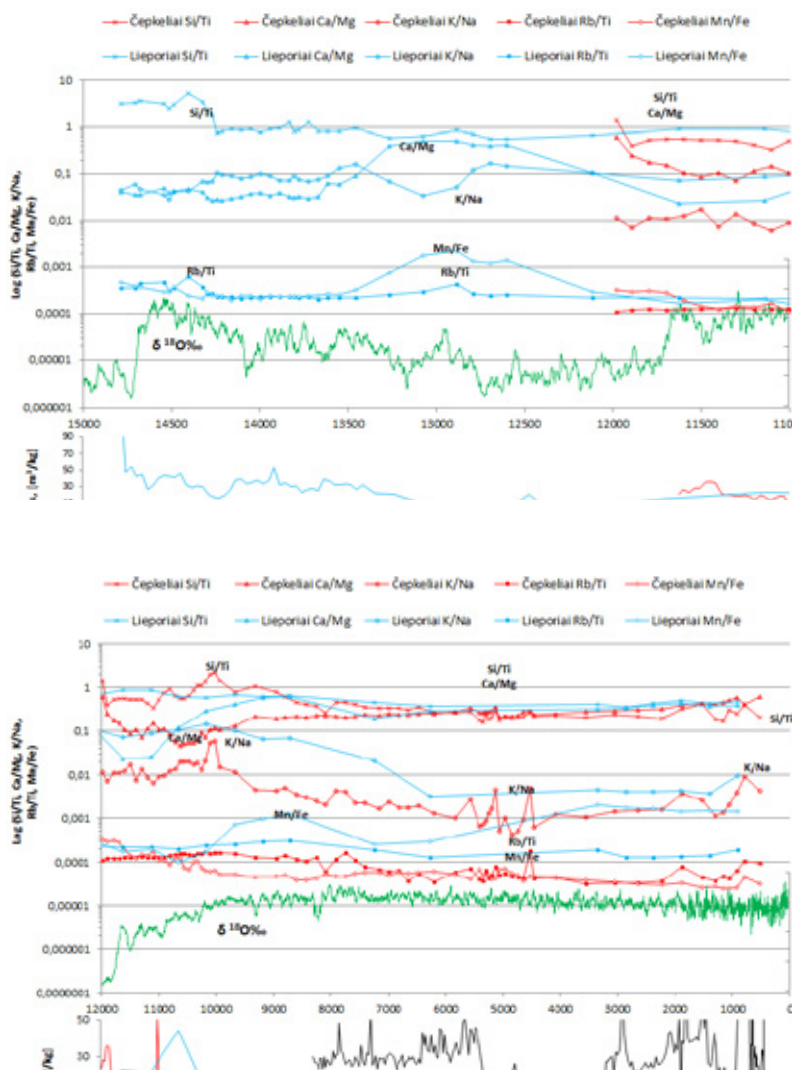


pakrantės neleido mineralinėms ir biogeninėms medžiagoms patekti į ežerą, kuris nuo 6 000 kal. m. PD galutinai supelkėjo – Čepkelių nuosėdose neberasta ežerinių augalų makroliekanų. Kaip tik šiuo laikotarpiu Čepkeliuose nuosėdų kaupimosi greitis buvo didžiausias (Stančikaitė ir kt., 2019a).

Vėlyvojo holoceno metu nuo maždaug 4 200 kal. m. PD šilumamėgių augalų kiekis po truputį mažėjo, gausiau augo eglės, žolinė augalija. Žolinės augalijos paplitimas labiau koreliuoja su atviresnių augaviečių ekosistemomis, tačiau tai gali būti susiję ir su klimato atšalimu, nes panaši augalija būdinga tiek holoceno pradžioje, tiek paskuti-

niam vėlyvojo holoceno tūkstantmečiams. Manoma, jog pastarasis pašaltėjimas gali būti susijęs su sumažėjusiu saulės aktyvumu ir sustiprėjusiais vulkanų išsiveržimais. Taip pat paskutiniais šimtmečiais vis didesnę svarbą gamtinės aplinkos pokyčiams lemia ir žmogaus veikla.

Apibendrinant analizuotą literatūrą ir tyrimų rezultatus pastebėta, kad pastaraisiais metais fiksuojami regioniniai poledynmečio gamtinių sąlygų ir klimato dinamikos bruožai ženkliai skiriasi nuo ilgus metus visuotinai priimtų. Pavyzdžiui, šiaurės ir šiaurės rytų Europoje fiksuojamas GI-1 pašiltėjimo (Veski ir kt., 2015) ir gamtinės aplinkos



5 pav. Atrinktų cheminių elementų koncentracijų, išreikštų logaritminėje skalėje, palyginimas su nuosėdų MSus vertėmis ir NGRIP kolonėlėje fiksuotomis $\delta^{18}\text{O}$ reikšmėmis (NGRIP members, 2004): a) vėlyvojo ledynmečio laikotarpiu, b) holoceno laikotarpiu Fig. 5. Selected chemical element, which were expressed in logarithmic scales, distribution and the comparison with sediment MSus and $\delta^{18}\text{O}$ from NGRIP (NGRIP members, 2004): a) during the Late glacial, b) during the Holocene

atsako į holoceno pradžios atšilimą (Wohlfarth ir kt., 2007; Lauterbach ir kt., 2011; Stančikaitė ir kt., 2015, 2019b) vėlavimas, o šiauriausioje Europos dalyje išryškėjo ankstyvas holoceno temperatūrinis maksimumas (Väliranta ir kt., 2015). Kita vertus, Vakarų Europoje atsakas į ankstyvojo holoceno klimato osciliacijas (Bond ir kt., 2001; Wanner ir kt., 2008), „8,2“ atšalimą (Seppä, Poska, 2004; Veski ir kt., 2004, 2015; Galka ir kt., 2014), holoceno terminį optimumą ir vėlyvojo holoceno atšalimą (Seppä, Poska, 2004) pasireiškė pakankamai sinchroniškai.

IŠVADOS

Tyrimų rezultatai leido identifikuoti ir apibūdinti anksčiau regione nepašlytus (a)biotinės aplinkos sąlygų svyravimus. Įrodyta, kad aplinkos raidai didelės įtakos turėjo globalūs veiksniai, sietini su astronominiais įvykiais, saulės ciklų periodiškumu, didžiųjų ledynų tirpimu bei priledyninių ežerų išsilyjeimu. Atsižvelgiant į biotinių parametrų dinamiką išryškėjo trys vėlyvojo ledynmečio laikotarpiai: GI-1e-d metu vyravusią skurdžią augaliją, įskaitant pušų ir beržų retmiškius,

GI-1c-a laikotarpiu keitė pušynai, o GS-1 atšalimo metu paplito tundros tipo augalija. Ženklausios, anksčiau teritorijoje nefiksotos, holoceno aplinkos sąlygų anomalijos datuojamos 11 200–11 000, 10 600–10 300,

8 200–7 800 kal. m. PD. Holoceno pabaigoje žmogaus įtaka aplinkos dinamikai išaugo, o išryškėję (a)biotiniai aplinkos pokyčių svyravimai yra vienalaikiai su nustatytais žemdirbystės ir gyvulininkystės etapais.

LITERATŪRA

- Apolinarska, K., Woszczyk, M., Obremska, M. Late Weichselian and Holocene palaeoenvironmental changes in northern Poland based on the Lake Skrzyńka record. *Boreas*, 2012, 41(2), p. 292–307.
- Berglund, B. E., Ralska-Jasiewiczowa, M. Pollen analysis and pollen diagrams. In Berglund, B. E. (Eds.). *Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology*. John Wiley, Chichester, 1986, p. 455–484.
- Björck, S., Kromer, B., Johnsen, S., et al. Synchronized terrestrial-atmospheric deglacial records around the North Atlantic. *Science*, 1996, 274(5290), p. 1155–1160.
- Blott, S. J., Pye, K. Gradstat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2001, 26(11), p. 1237–1248.
- Bond, G., Kromer, B., Beer, J., Muscheler, R., Evans, M. N., Showers, W., Hoffmann, S., Lotti-Bond, R., Hajdas, I., Bonani, G. Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene. *Science*, 2001, 294(5549), p. 2130–2136.
- Brauer, A., Günter, C., Johnsen, S. J., Negendank, J. F. Land-ice teleconnections of cold climatic periods during the last Glacial/Interglacial transition. *Climate Dynamics*, 2000, 16(2–3), p. 229–239.
- Clark, P. U., Alley, R. B., Keigwin, L. D., et al. Origin of the first global meltwater pulse following the last glacial maximum. *Paleoceanography*, 1996, 11, p. 563–577.
- Clark, P. U., McCabe, A. M., Mix, A. C., Weaver, A. J. Rapid rise of sea level 19,000 years ago and its global implications. *Science*, 2004, 304(5674), p. 1141–1144.
- Cronin, T. M. *Paleoclimates: understanding climate change past and present*. Columbia University Press, 2009, 448 p.
- Dean, W. E. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Research*, 1974, 44, p. 242–248.
- Dypvik, H., Harris, N. B. Geochemical facies analysis of fine-grained siliciclastics using Th/U, Zr/Rb and (Zr/Rb)/Sr ratios. *Chemical Geology*, 2001, 181(1), p. 131–146.
- Edvardsson, J., Stančikaitė, M., Miras, Y., et al. Late-Holocene vegetation dynamics in response to a changing climate and anthropogenic influences—Insights from stratigraphic records and subfossil trees from southeast Lithuania. *Quaternary Science Reviews*, 2018, 185, p. 91–101.
- Faegri, K., Iversen, I. *Textbook of pollen analysis*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 1989, 328 p.
- Gedminienė, L., Šiliauskas, L., Skuratovič, Ž., et al. The Lateglacial-Early Holocene dynamics of the sedimentation environment based on the multi-proxy abiotic study of Lieporiai palaeolake, Northern Lithuania. *Baltica*, 2019, 32(1), p. 91–106.
- Gałka, M., Tobolski, K., Zawisza, E., Goslar, T. Postglacial history of vegetation, human activity and lake-level changes at Jezioro Linówek in northeast Poland, based on multi-proxy data. *Vegetation History and Archaeobotany*, 2014, 23(2), p. 123–152.
- Gray, L. J., Beer, J., Geller, M., et al. Solar influences on climate. *Reviews of Geophysics*, 2010, 48(4).
- Kabailienė, M. *Gamtinės aplinkos raida Lietuvoje per 14 000 metų*. Vilnius: Mokslas, 2006, 471 p.
- Kawamura, K., Parrenin, F., Lisiecki, L., et al. Northern Hemisphere forcing of climatic cycles in Antarctica over the past 360,000 years. *Nature*, 2007, 448(7156), p. 912–916.
- Kylander, M. E., Klaminder, J., Wohlfarth, B., Löwemark, L. Geochemical responses to paleoclimatic changes in southern Sweden since the late glacial: the Hässeldala Port lake sediment record. *Journal of Paleolimnology*, 2013, 50(1), p. 57–70.
- Lauterbach, S., Brauer, A., Andersen, N., Danielopol, D. L., Dulski, P., Hüls, M., Milecka, K., Namiotko, T., Plessen, B., von Grefenstein, U., DecLakes participants. Multi-proxy evidence for early to mid-Holocene environmental and climatic changes in northeastern Poland. *Boreas*, 2011, 40(1), p. 57–72.
- Lowe, J. J., Rasmussen, S. O., Björck, S., et al. Synchronisation of palaeoenvironmental events in the North Atlantic region during the Last Termination: a revised protocol recommended by the INTIMATE group. *Quaternary Science Reviews*, 2008, 27(1–2), p. 6–17.
- McCracken, K. G., et al. A phenomenological study of the cosmic ray variations over the past 9400 years, and their implications regarding solar activity and the solar dynamo. *Solar Physics*, 2013, 286(2), p. 609–627.
- NGRIP members: High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period. *Nature*, 2004, 431, p. 147–151.
- Sandgren, P., Snowball, I. Application of mineral magnetic techniques to paleolimnology. In: *Tracking environmental change using lake sediments*. Springer, Dordrecht, 2002, p. 217–237.
- Schramm, R., Heckel, J. Fast analysis of traces and major elements with ED (P) XRF using polarized X-rays: TURBOQUANT. *Journal de Physique*, 1998, 8(PR5), p. 335–342.

- Seppä, H., Poska, A. Holocene annual mean temperature changes in Estonia and their relationship to solar insolation and atmospheric circulation patterns. *Quaternary Research*, 2004, 61(1), p. 22–31.
- Spiridonov, A., Balakauskas, L., Stankevič, R., et al. Holocene vegetation patterns in southern Lithuania indicate astronomical forcing on the millennial and centennial time scales. *Scientific Reports*, 2019, 9(1), p. 1–15.
- Stančikaitė, M. Gamtiniai ir žmogaus veiklos sąlygoti aplinkos pokyčiai Lietuvos teritorijoje vėlyvajame ledynmetyje ir holocene. *Daktaro disertacija*, Vilnius, 2000, 222 p.
- Stančikaitė, M., Gedminienė, L., Edvardsson, J., et al. Holocene vegetation and hydroclimatic dynamics in SE Lithuania—Implications from a multi-proxy study of the Čepkeliai bog. *Quaternary International*, 2019a, 501(A), p. 219–239.
- Stančikaitė, M., Simniškytė, A., Skuratovič, Ž., et al. Reconstruction of the Mid- to Late- Holocene history of vegetation and land-use in Petrešiūnai, north-east Lithuania: implications from palaeobotanical and archaeological data. *Quaternary International*, 2019b, 516, p. 5–20.
- Väliiranta, M., Salonen, J. S., Heikkilä, M., Amon, L., Helmens, K., Klimaschewski, A., Kuhry, P., Kultti, S., Poska, A., Shala, S., Veski, S., Birks, H. H. Plant macrofossil evidence for an early onset of the Holocene summer thermal maximum in northernmost Europe. *Nature Communications*, 2015, 6, 6809 p.
- Veski S., Seppä, H., Ojala, A. E. K. Cold event at 8200 yr B.P. recorded in annually laminated lake sediments in eastern Europe. *Geology*, 2004, 32, p. 681–684.
- Veski, S., Seppä, H., Stančikaitė, M., Zernitskaya, V., Reitalu, T., Gryguc, G., Heinsalu, A., Stivrins, N., Amon, L., Vassiljev, J., Heiri, O. Quantitative summer and winter temperature reconstructions from pollen and chironomid data between 15 and 8 ka BP in the Baltic–Belarus area. *Quaternary International*, 2015, 388, p. 4–11.
- Walker, M. J., Berkelhammer, M., Björck, S., et al. Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch: a Discussion Paper by a Working Group of INTIMATE (Integration of ice-core, marine and terrestrial records) and the Subcommission on Quaternary Stratigraphy (International Commission on Stratigraphy). *Journal of Quaternary Science*, 2012, 27(7), p. 649–659.
- Wanner, H., Beer, J., Bütikofer, J., Crowley, T. J., Cubasch, U., Flückiger, J., Goosse, H., Grosjean, M., Joos, F., Kaplan, J. O., Küttel, M., Müller, S. A., Prentice, I. C., Solomina, O., Stocker, T. F., Tarasov, P., Wagner, M., Widmann, M. Mid-to Late Holocene climate change: an overview. *Quaternary Science Reviews*, 2008, 27(19–20), p. 1791–1828.
- Wohlfarth, B., Lacourse, T., Bennike, O., Subetto, D., Tarasov, P., Demidov, I., Filimova, L., Sapelko, T. Climatic and environmental changes in north-western Russia between 15000 and 8000 cal yr BP: a review. *Quaternary Science Reviews*, 2007, 26(13–14), p. 1871–1883.

Summary

INFLUENCE OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS ON THE DEVELOPMENT OF THE LATE ICE AGE AND HOLOCENE (A)BIOTIC ENVIRONMENT

Based on the results of complex studies (primarily based on palynological, geochemical and C¹⁴ data) applied to Čepkeliai, Lieporiai and Petrešiūnai sedimentary basins, the development of the Late glacial (LG) and Holocene (a)biotic environment was reconstructed and the main various-scale natural (astronomical, global, regional, and local) and anthropogenic factors responsible for environment change in the southeastern flank of the Last Scandinavian Glaciation were identified.

The results of the research allowed identification and characterisation of the

fluctuations in (a)biotic environmental conditions previously unrecorded in the region. It was proved that development of the environment was significantly influenced by global factors related to astronomical events, periodicity of solar cycles and glacial lake drainage events. The dynamics of biotic parameters revealed three LG intervals: the GI-1e-d period dominated by poor pioneer vegetation, GI-1c-a when poor pioneer vegetation changed to the pine forest, and the GS-1 event with the spread of tundra-type vegetation. The most significant previously unrecorded Holocene environmental anomalies date back to 11 200–11 000, 10 600–10 300, and 8 200–7 800 cal yr BP. At the end of the Holocene, human influence on environment dynamics increased. The most evident (a)biotic fluctuations in environmental proxies coincided with the dynamics of agriculture and animal husbandry.