Neringa Gastevičienė, Gamtos tyrimų centras

PALEOAPLINKOS IR PALEOTEMPERATŪROS REKONSTRUKCIJOS NAUDOJANT *CHIRONOMIDAE* TYRIMŲ DUOMENIS

Anotacija

Lieporių paleoežero ir Čepkelių pelkės nuosėdų pjūvių *Chironomidae* morfotipų sudėties kaitos analizė leido nustatyti atskirus vandens baseinų raidos etapus vėlyvojo ledynmečio ir ankstyvojo holoceno metu. Sugretinus paleobotaninių, litologinių ir izotopinių tyrimų duomenis, įvertinta paleobaseinų ekologinių sąlygų raida ir nustatytos jų kaitą lėmusios priežastys. Atlikus vėlyvojo ledynmečio ir ankstyvojo holoceno vidutinės liepos mėnesio paleotemperatūros rekonstrukcijas identifikuota keletas poledynmečio klimatinių įvykių, kurie fiksuojami visame Šiaurės Atlanto regione.

Abstract

This paper examines the environmental and climatic changes during the Late Glacial and Early Holocene, based on *Chironomidae* data from Lieporiai Palaeolake and Čepkeliai Bog sediment sections. The analysis shows the changes of different morphotypes of fossil *Chironomidae* which indicates different stages of palaeobasins evolution. *Chironomidae* data were correlated with the palaeobotanical, lithological, and isotopic investigation data. Quantitative reconstructions of mean July temperature enable to fix several short-term climatic events that correlates well with climatic events in the North Atlantic region.

Raktiniai žodžiai: Lietuva, *Chironomidae,* fosilijos, vėlyvasis ledynmetis, ankstyvasis holocenas, temperatūros rekonstrukcijos, klimatiniai įvykiai.

Keywords: Lithuania, *Chironomidae,* fossils, Late Glacial, Early Holocene, temperature reconstruction, climate events.

ĮVADAS

Šiuo metu pasaulyje vykstantys klimato svyravimai lemia reikšmingus aplinkos pokyčius. Šią klimato dinamiką ir jos poveikį skirtingiems gamtinių sistemų elementams padeda įvertinti ypač suaktyvėję paleoekologiniai tyrimai. Jie reikšmingi atkuriant vėlyvojo ledynmečio ir ankstyvojo holoceno gamtines sąlygas, kurių metu vyko visame Šiaurės Atlanto regione sinchroniški trumpalaikiai klimato svyravimai. Paleoaplinkos ir paleoklimato rekonstrukcijoms vis dažniau taikomi uodo trūklio (*Chironomidae*) tyrimai. Tai viena gausiausių vabzdžių šeimų, priklausanti dvisparnių būriui. Pasaulyje priskaičiuojama daugiau nei 15 tūkst. skirtingų jos rūšių (Armitage ir kt., 1995; Pape ir kt., 2011). Uodo trūklio lervos puikiai prisitaiko prie įvairių aplinkos sąlygų, todėl plačiai išplitusios nuo Arkties iki tropikų. Dažniausiai ir gausiausiai *Chironomidae* aptinkamos gėlo vandens baseinuose, nors kai kurios rūšys gyvena ir drėgnose lapų paklotėse ar samanose. Baltijos jūros kranto šiaurinėje dalyje identifikuota daugiau nei 160 *Chironomidae* rūšių (Paasivirta, 2000). Jūrinių uodų trūklių lervų rasta net menkių skrandyje (Chernovskii, 1949). Kai kurie *Chironomidae* morfotipai puikiai gyvuoja aukštoje (net iki 40 ^{0}C) (Pinder, 1995), o kai kurie – žemoje (Brundin, 1966) temperatūroje, kiti gyvena net vulkaniniuose ežeruose, kur pH siekia vos 1,4 (Yamamoto, 1986), ar kelerius metus išdžiūvusiuose vandens telkiniuose (Hinton, 1960).

Šių vabzdžių gebėjimas užimti įvairias ekologines nišas ir trumpas gyvenimo ciklas leidžia jiems, skirtingai nei augalams, greičiau reaguoti į kintantį klimatą ir lengviau prisitaikyti prie besikeičiančios aplinkos (Brooks ir kt., 2007; Watson ir kt., 2010). Fosilinės uodo trūklio lervų galvos kapsulės gerai išlieka vandens baseino nuosėdose. Jų morfotipų sudėties kaitos nuosėdų pjūvyje tyrimai leidžia įvertinti platų ekologinių sąlygų spektrą – vandens pH, druskingumą, maisto medžiagų kiekį,

vandens lygį ir pan. Daugelis šių vabzdžių rūšių yra stenoterminės, t. y. prisitaikiusios gyventi nežymių temperatūrinių svyravimų sąlygomis. Todėl taikant šį tyrimų metodą galima nustatyti ne tik vėlyvojo ledynmečio klimatinius įvykius, bet ir mažesnės amplitudės klimato svyravimus, būdingus ankstyvojo holoceno laikotarpiui.

Chironomidae radinių amžius siekia 150 mln. metų. Seniausios pavienės fosilinės *Chironomidae* liekanos rastos mezozojaus eros juros sistemos nuogulose, tačiau iki morfotipų identifikuoti jų nepavyko (Kalugina, 1980). Kiek vėliau uodo trūklio suaugėlių ir lėliukių radinių aptikta kreidos ir paleogeno sistemų gintaro inkliuzuose (Thienemann, 1954; Frey, 1964), tačiau jie paleoekologinės reikšmės neturėjo. Gausiausiai fosilijų randama kvartero sistemos vėlyvojo ledynmečio ir holoceno laikotarpio ežerų, upių ir pelkių nuosėdose (Hofmann, 1988).

Remdamasis Viršutinio ežero (vok. *Obersee*) Austrijoje Lunzo geologinės formacijos (pirmasis ją aprašė M. V. Lipold'as ir pavadino pagal Lunz am See miestą) nuosėdų tyrimais pirmasis darbą apie *Chironomidae*, kaip paleoekologinį indikatorių, 1927 m. publikavo H. Gamsas (Gams, 1927). Vėliau šie tyrimai plačiai paplito Vakarų Europoje, Skandinavijoje, Didžiojoje Britanijoje ir Kanadoje. Pastaraisiais dešimtmečiais *Chironomidae* tyrimų duomenys plačiai naudojami nustatant ir analizuojat aplinkos temperatūros pokyčius, kurie lemia lokalius ilgalaikius vandens telkinių ekosistemos kitimus (eutrofikacijos, rūgštingumo ir druskingumo, antropogeninės veiklos padarinių). Identifikuoti globaliu mastu vykstantys trumpalaikiai klimato svyravimai leidžia analizuoti biosferoje vykstančius pokyčius (Ilyashuk E., Ilyashuk B., 2004).

Chironomidae laboratorinių tyrimų raidą pagreitino fosilijų identifikacijos vadovai (Wiederholm, 1983; Klink, Moller Pilot, 2003; Brooks ir kt., 2007; Laroque-Tobler, 2014), kuriuose aprašyta ištirtų šiuolaikinių *Chironomidae* atstovų ekologinė elgsena ir kurie leidžia fosilines uodo trūklio lervas identifikuoti iki rūšių.

Šiuo metu vyrauja dvi paleoekologinės fosilinių *Chironomidae* tyrimų kryptys. Pirmoji – kiekybinio ir kokybinio šiuolaikinio tinklo plėtra, paremta šiuolaikinių uodo trūklio taksonominių grupių įvairove tam tikruose geografiniuose biomuose. Tyrimams ir analizei *Chironomidae* imami iš tame pačiame geografiniame regione esančių vandens telkinių (mažiausiai 50-ties) paviršinio nuosėdų sluoksnio. Gauti biologiniai rezultatai gretinami su tam tikromis surinktomis biotopo charakteristikomis (pH, druskingumas, vandens telkinio gylis, temperatūra ir kt.), o duomenų pagrindu kuriami statistiniai kalibraciniai modeliai paleotemperatūros rekonstrukcijoms atlikti. Antroji – tai stratigrafinė analizė, paremta fosilinėmis *Chironomidae* liekanomis, surinktomis iš giliųjų vandens telkinio nuosėdų sluoksnių. Gauti identifikuotų fosilinių uodo trūklio lervų rezultatai gretinami su kiekybiniais ir kokybiniais kalibracinio modelio duomenimis, kuriais remiantis nustatomi paleoaplinkos pokyčiai ir atsekami klimatiniai įvykiai (Ilyashuk E., Ilyashuk B., 2004).

Kaimyninėse šalyse pirmieji fosilines uodo trūklio lervas pradėjo tyrinėti Lenkijos mokslininkai. Pirmąją išsamią stratigrafinę *Chironomidae* analizę kartu su bendraautoriais 1979 m. paskelbė B. Čečuga (Czeczuga ir kt., 1979). Autoriai tyrinėjo Vygrių (lenk. *Wigry*) ežero nuosėdas šiaurrytinėje Lenkijoje. O pirmuosius kiekybinius *Chironomidae* paleoekologinius tyrimų rezultatus tik po kelių dešimtmečių paskelbė V. Kubovčikas (Kubovčik, 2004) ir A. Halkievičius (Halkiewicz, 2005). Atliekant upių ir ežerų monitoringus šiuolaikinės *Chironomidae* lervos, kaip ežero zoobentoso sudėtinė dalis, pagal kurią nustatomas ežero vandens lygis ir trofiškumas, tyrinėtos Latvijoje. 2020 m. paskelbti Sekšių ežero (latv. *Seksu ezers*) biologinių tyrimų duomenys (1934–2018 m.) (Zawiska ir kt., 2020). *Chironomidae*, kaip vandens baseinų bestuburių dalis, nusakanti eutrofikacijos procesus, tyrinėjama ir Estijoje (Timm ir kt., 2006).

Atliekant Lietuvos upių ir ežerų vandens kokybės vertinimus, *Chironomidae* šeima tirta kaip makrozoobentoso rūšinė sudėtinė dalis, išskiriant sezoninę rūšinę dinamiką ir nustatant antropogeninės veiklos įtaką ekosistemoms

(Grigelis ir kt., 1981; Pliūraitė, 1999; Bubinas, Jagminienė, 2002; Gasiūnaitė, Arbačiauskas, 2009). Sudaryti naujų ir retų Lietuvos vabzdžių rūšių sąrašai, įtraukiant ir šiuolaikinių *Chironomidae* taksonus (Pakalniškis ir kt., 2006).

Šiuo metu Lietuvoje pradėti ir uodo trūklio lervų fosilijų tyrimai. *Chironomidae* identifikuojamos iki genties rango, nes dėl ne visiškai išlikusios morfologinės informacijos labai sudėtinga apibūdinti detaliau, iki rūšies. Dažniausiai fosilinės uodo trūklio lervos pagal išorinius požymius grupuojamos į rūšių morfotipus. Šiuolaikinių ir fosilinių *Chironomidae* sistematika nevienoda. Identifikuota fosilija ne visada priskiriama tam pačiam šiuolaikiniam sistematiniam rangui, nes pavadinimas fosilijoms suteikiamas atsižvelgiant tik į galvos kapsulės išorinę sandarą ir gali būti, kad fosilijos, priskirtos tai pačiai genčiai, gali gyventi skirtingomis ekologinėmis sąlygomis (Brooks ir kt., 2007).

METODIKA

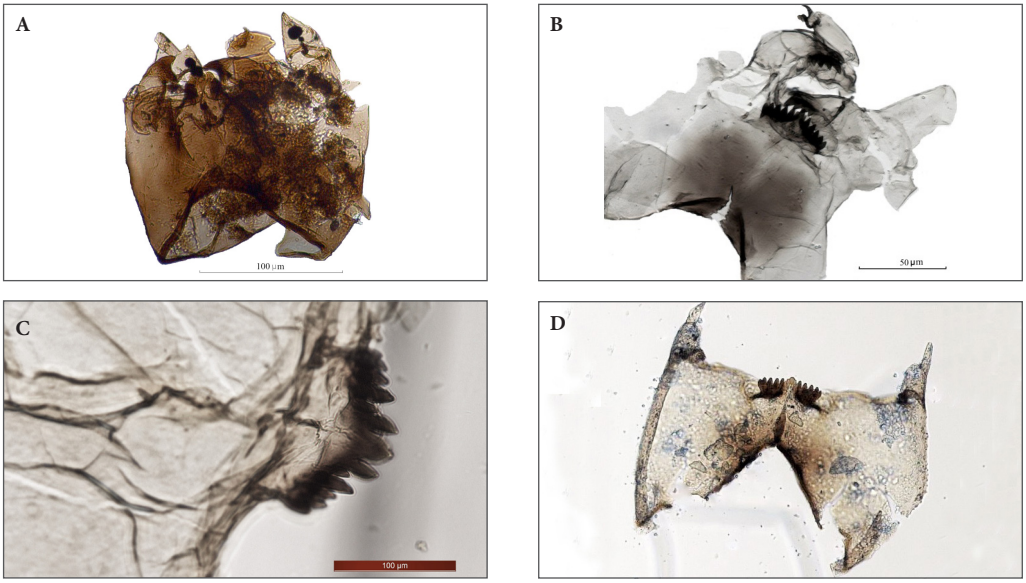
***Chironomidae* tyrimai.** Paprastai iš kiekvieno tiriamo mėginio imama 1–10 cm^3 drėgnos nuosėdinės medžiagos ir tam, kad būtų galima atlikti statistiškai patikimas paleoaplinkos rekonstrukcijas ir daryti korektiškas interpretacijas, viename analizuojamame mėginyje išrenkama 50–100 lervų galvos kapsulių (Heiri ir kt., 2001; Larocque, 2001; Quinlan, Smol, 2001a). Fosilinių uodo trūklio lervų kiekis mėginyje priklauso nuo nuosėdų sudėties ir sedimentacijos greičio. Apskaičiuota, kad pakankamam ir statistiškai patikimam tyrimo egzempliorių skaičiui surinkti oligotrofiniuose-mezotrofiniuose vidutinių platumų ežeruose reikia paimti 2–6 cm^3 drėgnų nuosėdų (Langdon ir kt., 2006). O maisto medžiagų persotintuose eutrofiniuose ežeruose, kur deguonies stygius riboja *Chironomidae* lervų veisimąsi ir yra didelis sedimentacijos greitis, mėginio dydis gali siekti ir 10 cm^3 nuosėdų (Brooks ir kt., 2007).

Chironomidae preparuoti iš nuosėdų ir mėginiams paruošti taikoma standartinė metodika (Walker ir kt., 1991; Brooks ir kt., 2007). Pirmiausia iš nuosėdų išrenkami plika akimi matomi makrofitai. Mechaniškai išvalytos nuosėdos užpilamos 10 % kalio šarmo (KOH) tirpalu ir 10–15 min. kaitinamos vandens vonelėje. Temperatūra negali pakilti aukščiau 75 ^{0}C, nes karštis gali pažeisti *Chironomidae* lervų chitininę galvos kapsulę. Šarmo tirpalas reikalingas sulipusioms nuosėdoms išskaidyti. Jei tiriamos nuosėdos labai karbonatingos, molingos ar stipriai išdžiūvusios, jos dar papildomai veikiamos 10 % druskos rūgštimi (HCl) (Lang ir kt., 2003). Iškaitinti, deflokuliuoti mėginiai perplaunami distiliuotu vandeniu ir persijojami 200 μm ir 90 μm tankumo sietais į stiklinaitę, iš kurios pipete suspensija pilama į specialią Bogorovo individų skaičiavimo kamerą (Gannon, 1971).

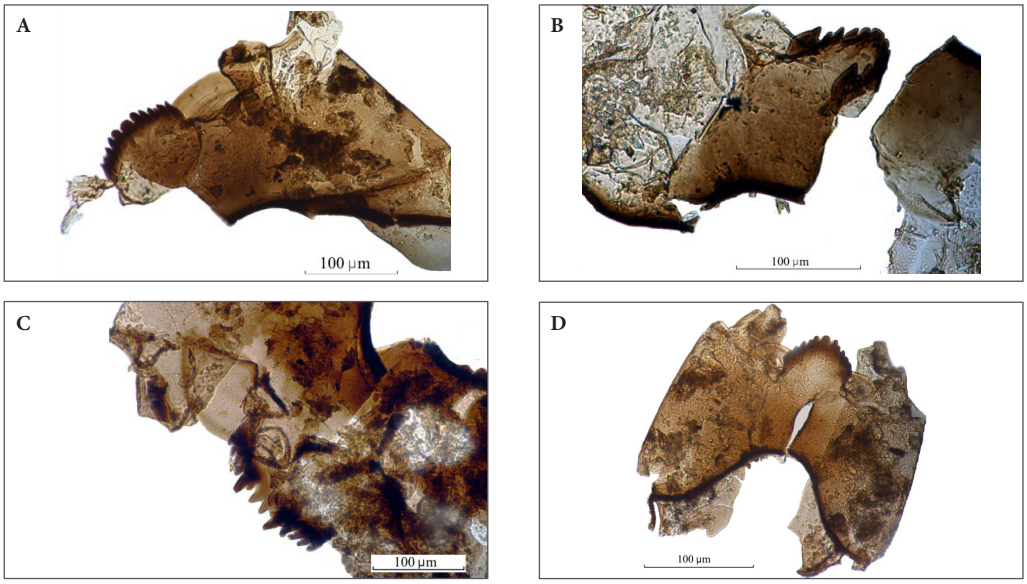
Chironomidae analizė ir identifikacija atliekama naudojant kelis mikroskopus. Pirmiausia naudojamas binokuliarinis stereomikroskopas, didinantis 20–40 kartų. Iš rūšiavimo indo lervų galvos kapsulės plonu pincetu atrenkamos į nedidelį indelį su vandeniu arba 80 % etanolio tirpalu priklausomai nuo to, kokia terpė bus naudojama kapsulei klijuoti. Etanolio tirpalas padeda visiškai pašalinti galvos kapsulėse esančius vandens likučius. Ant 1–2 *Chironomidae* lervų galvų kapsulių klijuojami dengiamieji stikleliai. Toliau identifikacijai naudojamas biologinis mikroskopas, didinantis 400 kartų, ir atlasai. Rengiant šį darbą, rūšims apibūdinti buvo naudojami 2007 m. S. Brookso su bendraautoriais (Brooks ir kt., 2007) ir 2014 m. I. Laroko-Toblerio (Larocque-Tobler, 2014) sudaryti morfotipų identifikavimo atlasai.

Chironomidae šeima skirstoma į 11 pošeimių ir 22 tribas. Paleoaplinkos tyrimuose dažniausiai identifikuojami 6, o atliekant fosilinių uodų trūklių lervų tyrimus Lietuvoje identifikuoti 3 *Chironomidae* pošeimiai, kuriems daugiausia priklauso *Tanytarsini* tribos atstovai, t. y. *Corinocera ambigua*, *Tanytarsus* gentis, *Pseudochironomus* ir *Stempellinela* grupės (1 pav.), bei *Chironomini* tribos taksonai, t. y. *Chironomus anthracinus*, *Cladopelma lateralis*, *Microtendipes pedellus* ir *Dicrotendipes nervosus* tipai (2 pav.). Taip pat identifikuota keletas *Ortocladiinae* pošeimio taksonų: *Psectrocladius-sordidellus* tipas ir *Cricotopus* genties fosilijos (3 pav.) bei aptikti *Tanypodinae* pošeimio *Ablabesmyja* ir *Procladius* genčių taksonai (4 pav.).

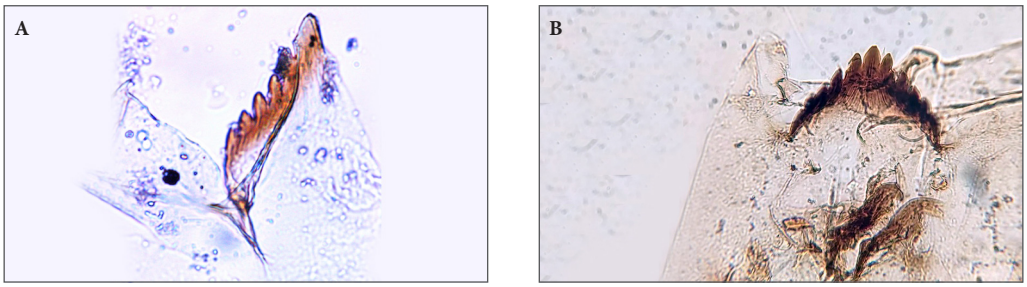
Paleotemperatūros rekonstrukcijos. Paleotemperatūrai atkurti naudojami kalibraciniai modeliai. Duomenys renkami mažiausiai iš 40 vandens telkinių, kurie yra panašioje geografinėje teritorijoje ir pasižymi panašiomis fizinėmis ir cheminėmis savybėmis. *Chironomidae*



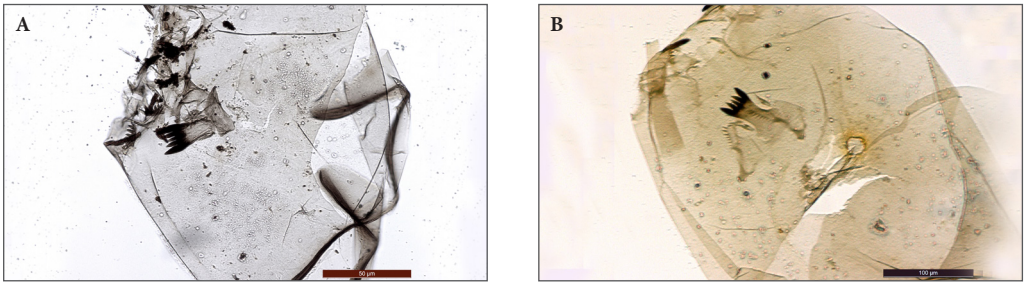
1 pav. *Chironomidae* pošeimio *Tanytarsini* tribos atstovai: A – *Corynocera ambigua* (Zetterstedt, 1838); B – *Tanytarsus mendax* tipas (Kieffer, 1925); C – *Pseudochironomus* (Malloch, 1915); D – *Stempellinela-Zavrelia* (Kieffer, 1925)
Fig. 1. The representatives of the subfamily *Chironominae* of the tribe *Tanytarsini*: A – *Corynocera ambigua* (Zetterstedt, 1838); B – *Tanytarsus mendax*-type (Kieffer, 1925); C – *Pseudochironomus* (Malloch, 1915); D – *Stempellinela-Zavrelia* (Kieffer, 1925)



2 pav. *Chironomidae* pošeimio *Chironomini* tribos taksonai: A – *Glyptotendipes barbipes* tipas (Staeger, 1839); B – *Cladopelma lateralis* tipas (Goetghebuer, 1934); C – *Microtendipes pedellus* tipas (De Geer, 1776); D – *Dicrotendipes nervosus* tipas (Staeger, 1839)
Fig. 2. The representatives of the subfamily *Chironominae* of the tribe *Chironomini*: A – *Glyptotendipes* barbipes-type (Staeger, 1839); B – *Cladopelma lateralis*-type (Goetghebuer, 1934); C – *Microtendipes pedellus*-type (De Geer, 1776); D – *Dicrotendipes nervosus*-type (Staeger, 1839)



3 pav. *Ortocladiinae* pošeimio taksonai: A – *Psectrocladius-sordidellus* tipas (Zetterstedt, 1838); B – *Cricotopus* genties fosilijos (Staeger, 1839)
Fig. 3. The representatives of the subfamily *Ortocladiinae*: A – *Psectrocladius-sordidellus*-type (Zetterstedt, 1838); B – *Cricotopus ssp.* (Staeger, 1839)



4 pav. *Tanypodinae* pošeimio genčių taksonai: A – *Ablabesmyja* (Johannsen, 1905); B – *Procladius* (Skuse, 1889)
Fig. 4. The representatives of the subfamily *Tanypodinae*: A – *Ablabesmyja* (Johannsen, 1905); B – *Procladius* (Skuse, 1889)

mėginiai imami iš 5 cm gylio ir identifikuojami. Aprašomos tiriamųjų vandens telkinių savybės ir aplinkui esanti teritorija, matuojama temperatūra (Brooks ir kt., 2007). Suvedus visus surinktus duomenis ir identifikuotas *Chironomidae* į programą sudaromas kalibracinis modelis. Vėliau giliųjų gręžinių identifikuoti *Chironomidae* morfotipai lyginami su kalibracinio modelio duomenimis ir atkuriama paleoaplinka. Šiuo metu paskelbti daugiau kaip 35 Vakarų Europos, Amerikos, Skandinavijos tiriamųjų vandens telkinių kalibraciniai modeliai. Lietuvoje paleotemperatūros rekonstrukcijoms atlikti naudojamas dr. T. P. Luoto su bendraautoriais sudarytas Suomijos kalibracinis modelis (Luoto, Nevalainen, 2017). Dviejų komponentų modelis apima 180 ežerų ir 129 *Chironomidae* taksonus. Temperatūros diapazonas svyruoja nuo 7,9 ^{0}C iki 17,6 ^{0}C.

Tyrimo vietos. Tyrimams pasirinkti du objektai. Pirmasis – Šiaurės Lietuvoje, pietvakarinėje Šiaulių miesto dalyje buvęs Lieporių ežeras. Šiuo metu tai didelė apie 8 ha atvira pieva, išsidriekusi 122 m aukštyje virš jūros lygio (Šeirienė ir kt., 2021). Antrasis – aukštapelkė, iškilusi apie 131 m virš jūros lygio ir esanti pietrytinėje Čepkelių pelkės dalyje, netoli Lietuvos ir Baltarusijos sienos (Stančikaitė ir kt., 2019).

TYRIMO REZULTATAI

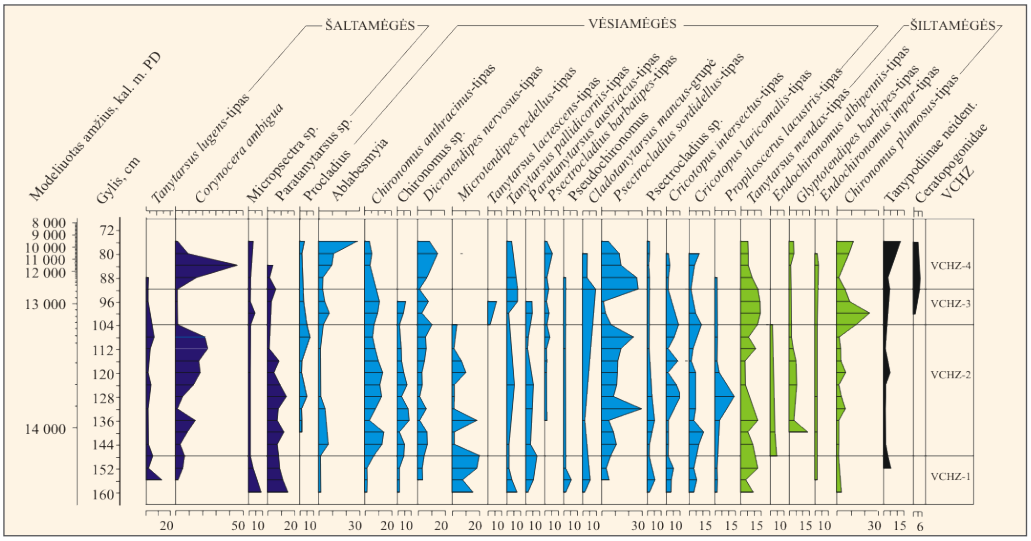
Pagal nuosėdose aptiktų fosilinių uodo trūklio lervų morfotipų pokyčius galima išskirti *Chironomidae* sudėties kaitos etapus (vietines zonas). Pavyzdžiui, Lieporių paleobaseino nuosėdose išskirtos keturios vietinės *Chironomidae* zonos (5 pav.). Pirmos zonos nuosėdose uodo trūklio lervų įvairovė pati mažiausia, aptikti *Corynocera ambigua* ir *Tanytarsus lugens* tipo taksonai rodo buvus šaltas, oligotrofiniams ežerams būdingas sąlygas (Brooks ir kt., 2007). Antroje zonoje auga šaltamėgiai taksonai, nedideliais kiekiais atsiranda naujų vėsiamėgių *Chironomus anthracinus* tipo ir *Dicrotendipes* genties lervų, o tai rodo, kad ežere prasidėjo eutrofikacijos procesai,

nes šie taksonai klesti vandens baseinuose, kuriuose gausu maisto medžiagų (Pinder, Reiss, 1983). Trečia zona pasižymi didžiausia uodo trūklio lervų įvairove ir tai pati šilčiausia zona visame pjūvyje. Čia gausiai aptinkami šiltų vandenų indikatoriai – *Chironomus plumosus* tipo ir *Chironomus anthracinus* tipo lervos – patvirtina, kad pelkėjimo procesai spartėjo. Šios uodo trūklio lervos turi hemoglobino, toleruoja žemą deguonies kiekį ir net keletą dienų gali išgyventi anaerobinėmis sąlygomis. Jos yra eutrofinių sąlygų, o kartu ir prastos vandens kokybės indikatoriai. Ketvirtoje zonoje vyrauja vėsiamėgiai *Chironomidae*, tačiau rūšinė įvairovė mažėja. Tai, kad gerokai padidėjo *Psectrocladius* genties atstovų, gyvenančių hipertrofiniuose ar užterštuose ežeruose ant augalų ar tarp siūlinių dumblių, rodo, jog kito vandens pH (Moller Pillot, Buskens, 1990).

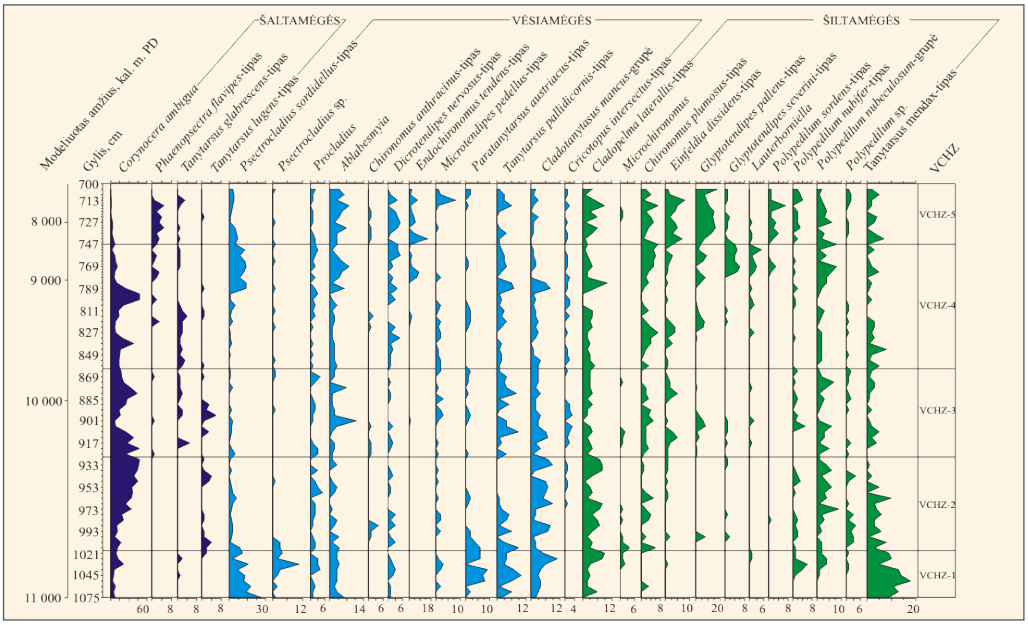
Čepkelių pelkės nuosėdų pjūvyje buvo išskirtos penkios vietinės *Chironomidae* zonos (6 pav.). Pirmoje zonoje dominuoja vėsiamėgiai taksonai, taip pat gausiai randamas šiltųjų vandenų indikatorius – *Tanytarsus mendax* tipas, kuris byloja apie didėjantį humuso kiekį (Brooks ir kt., 2007). Antroje zonoje padidėja *Chironomidae* rūšinė įvairovė. Gausiai smėlingose nuosėdose gyvenantys taksonai, tokie kaip *Cladotanytarsus mancus* grupė ir *Cladopelma laterallis* tipas, rodo, kad į baseiną šioje zonoje galimai erozijos procesų metu ar su įtekančiais vandens srautais buvo prinešama daugiau mineralinių medžiagų (Gandouin ir kt., 2006). Trečios zonos nuosėdose ir toliau auga šaltamėgių taksonų kiekis ir įvairovė, jie sudaro iki 50 % nuo bendro *Chironomidae* kiekio. Taip pat šioje zonoje gausėja smulkesniais *Chironomidae*, šakotaūsiais ar titnagdumbliais mintantys plėšrūs *Ablabesmyia* taksonai, kurie rodo vandens lygio kilimą ir maisto medžiagų vandens baseine gausėjimą (Moller Pillot, Buskens, 1990). Ketvirtos zonos nuosėdose fiksuojamas panašus šaltamėgių, vėsiamėgių ir šiltamėgių fosilijų santykis, rūšinė uodo trūklio lervų įvairovė didėja. Penktoje zonoje išauga didelis šiltamėgių eutrofinių fosilijų kiekis ir fiksuojama didžiausia rūšinė įvairovė – tai šilčiausia zona visame tirtame pjūvyje.

DISKUSIJA

Tyrimų metu gauti *Chironomidae* duomenys gerai koreliuoja su paleobotaniniais, radioaktyviosios anglies ir litologiniais tyrimais. Apibendrinus rezultatus galima išskirti vandens telkinių kaitos etapus ir nustatyti klimatinius įvykius: Lieporių paleoežero baseine –



5 pav. Lieporių ežero paleobaseino nuosėdų pjūvio gausiausių *Chironomidae* morfotipų procentinė diagrama
Fig. 5. Percentage *Chironomidae* diagram of most abundant taxa in Lieporiai Palaeolake

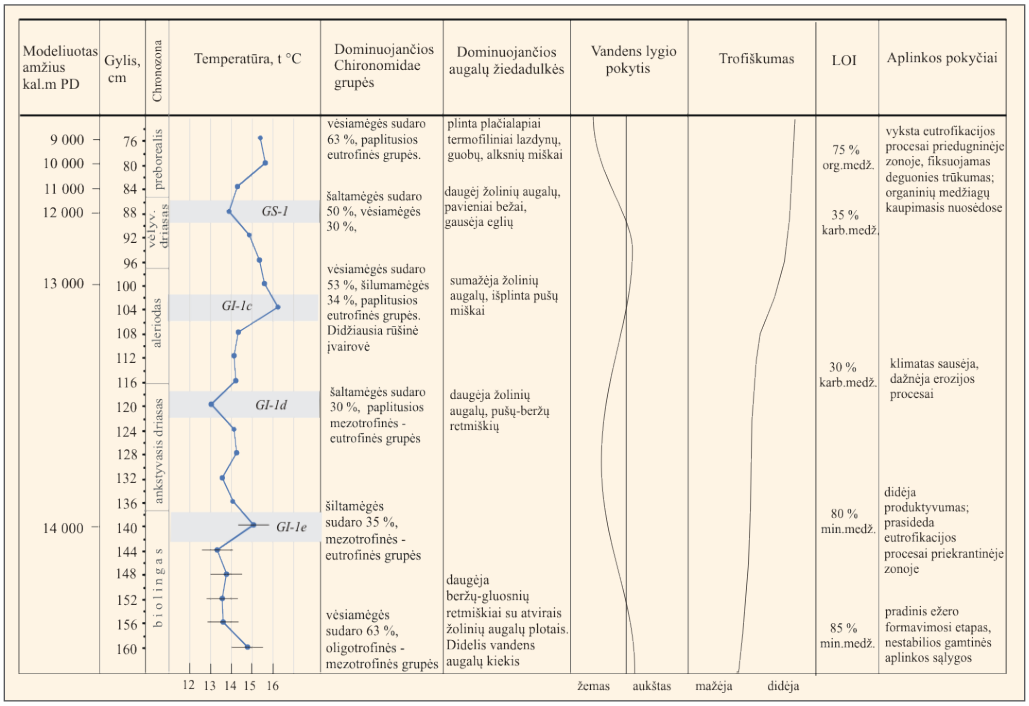


6 pav. Čepkelių pelkės paleobaseino nuosėdų pjūvio gausiausių *Chironomidae* morfotipų procentinė diagrama
Fig. 6. Percentage *Chironomidae* diagram of most abundant taxa in Čepkeliai Bog

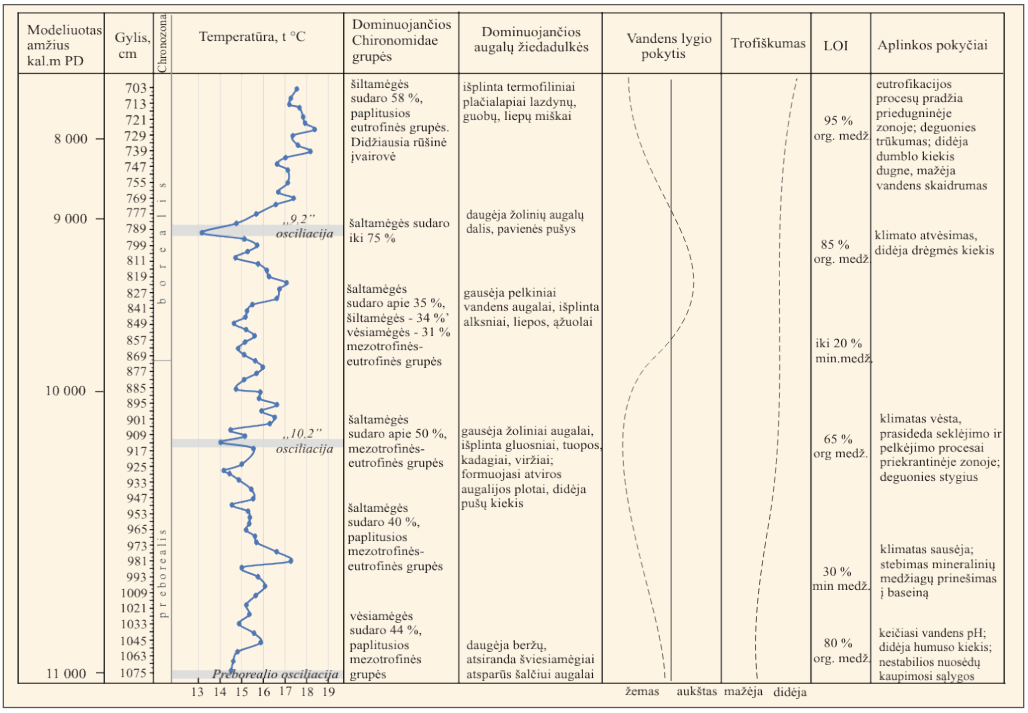
vėlyvojo ledynmečio ir Čepkelių pelkės – ankstyvojo holoceno laikotarpiais.

Lieporių paleoežero nuosėdose, kurios susiklostė maždaug 14 000 kal. m. PD (kalibruoti metai prieš dabartį), gausiai rasta šiltamėgių mezotrofinių-eutrofinių *Chironomidae* morfotipų, o tai byloja apie klimato pašiltėjimą biolingo metu (GI-1e) (7 pav.). Ežero produktyvumas didėjo, pasireiškė pirmi eutrofikacijos procesai, o vidutinė liepos mėnesio temperatūra galėjo siekti 15 ^{0}C. Ankstyvojo driaso pabaigoje klimatas sausėjo, dažnėjo erozijos procesai, daugėjo šaltamėgių mezotrofinių-eutrofinių morfotipų bei žolinių augalų ir pušų retmiškių (Gedminienė ir kt., 2019). Vidutinė liepos mėnesio temperatūra tuo metu galėjo nukristi iki 13 ^{0}C ir šis klimato atvėsimas gali būti siejamas su ankstyvojo driaso (GI-1d) atvėsimu apie 13 600–13 300 kal. m. PD. Aleriodo laikotarpiu (GI-1c) apie 13 300–13 000 kal. m. PD fiksuota didžiausia *Chironomidae* rūšinė įvairovė ir staigus šaltamėgių morfotipų sumažėjimas, pušynų išplitimas ir žolinių augalų mažėjimas. Tai patvirtina besikeičiančias klimato sąlygas, kai vidutinė liepos mėnesio temperatūra galėjo pakilti iki 16 ^{0}C. Netrukus šiltą klimatinį periodą apie 12 600–11 800 kal. m. PD pakeitė šaltesnis vėlyvasis driasas (GS-1). Apie tai liudija pakitusi *Chironomidae* rūšinė sudėtis: išaugo šaltų vandenų taksonų skaičius, ypač *Corinocera ambigua* rūšies (jų fosilijų pjūvyje randama daugiausia). Taip pat ryškūs ir augalijos pokyčiai: drastiškai mažėjo pušynų ir plėtėsi atvirų plotų su žoline augalija kraštovaizdis (Gedminienė ir kt., 2019). Rekonstruota vidutinė liepos mėn. temperatūra pažemėjo iki 14 ^{0}C.

Čepkelių pelkės nuosėdų tyrimai (8, 9 pav.) rodo, kad ankstyvojo holoceno pradžioje čia buvo paplitusios vėsiamėgės mezotrofinės *Chironomidae* grupės, daugėjo beržų ir atsparių šalčiui šviesiamėgių augalų (Stančikaitė ir kt., 2019). Remiantis tyrimų rezultatais, vyravo nestabilios, greičiausiai preborealio laikotarpiui būdingų klimato svyravimų apspręstos ežero nuosėdų formavimosi sąlygos. Vidutinė liepos mėnesio temperatūra galėjo būti apie 14,2 ^{0}C. Toks klimatinių sąlygų svyravimas gali būti siejamas su preborealio osciliacija (apie 11 250 kal. m. PD). Šis klimatinis įvykis fiksuotas įvairiose Europos



7 pav. Lieporių paleoežero vėlyvojo ledynmečio aplinkos pokyčių schema
Fig. 7. Summary diagram of environmental changes during the Late Glacial of the Lieporiai Palaeolake



8 pav. Čepkelių paleoežero ankstyvojo holoceno aplinkos pokyčių schema
Fig. 8. Summary diagram of environmental changes during the Early Holocene of the Čepkeliai Bog

dalyse (Heiri, Loter, 2005; Magny ir kt., 2007). Antroje preborealio pusėje didėjo šaltamėgių uodo trūklio lervų kiekis, išplito žoliniai augalai, vadinasi, klimatas vėso, prasidėjo ežero seklėjimo ir pelkėjimo procesai. Apie 10 200 kal. m. PD vidutinė liepos mėnesio temperatūra pažemėjo iki 14 ^{0}C. Šis klimatinių sąlygų pasikeitimas gali būti siejamas su vadinamąja „10.2“ klimato osciliacija (Bjőrck ir kt., 2001). Maždaug 9 200 kal. m. PD borealio chronozonoje fiksuotas staigus *Chironomidae* kiekio pasikeitimas: šaltamėgės fosilijos sudarė net 75 % nuo bendro *Chironomidae* kiekio, stebėti augalijos pokyčiai. Klimatas vėso, didėjo drėgmė, o vidutinė liepos mėnesio temperatūra galėjo būti 13 ^{0}C. Vėliau šį šaltąjį laikotarpį keitė šiltesnis – augo šiltamėgių uodo trūklio lervų kiekis, plito termofiliniai plačialapiai augalai, intensyvėjo eutrofikacijos procesai, didėjo dumblo kiekis, mažėjo vandens skaidrumas, o vidutinė liepos mėnesio temperatūra pakilo iki 18 ^{0}C.

IŠVADOS

Iki šiol *Chironomidae* analizės metodas Lietuvos paleoekologiniuose tyrimuose nebuvo taikytas. Šis darbas leido įvertinti visą paleobaseinų ekologinių sąlygų raidos spektrą ir nustatyti jų kaitą lėmusias priežastis. Tyrimų rezultatai patvirtino, kad pagrindinis veiksnys, lėmęs *Chironomidae* morfotipų įvairovės kaitą vėlyvojo ledynmečio metu, buvo klimatas. Jo pokytis atsitraukus ledynui turėjo stiprų poveikį visiems Europos vidutinių platumų klimato juostos vandens baseinams. *Chironomidae* morfotipų sudėties pokyčiams ankstyvojo holoceno metu didelę įtaką turėjo vietinės aplinkos sąlygos. Čepkelių pelkės nuosėdose dominavę morfotipai patvirtina, kad čia vyko intensyvūs eutrofikacijos procesai, sparčiai formavosi dumblas, didėjo vandens drumzlėtumas ir žemėjo vandens lygis. Lieporių paleobaseine dominuojančios fosilijos atspindi mažėjantį vandens pH (rūgštėjimą), deguonies stoką ir intensyvų paleobaseino užžėlimą. Atliktos paleoklimatinės rekonstrukcijos leido atkurti vidutinės liepos mėnesio temperatūros kaitą vėlyvojo ledynmečio ir ankstyvojo holoceno laikotarpiais bei identifikuoti poledynmečio klimatinius įvykius, kurie koreliuoja su Šiaurės Atlanto regione globaliu mastu vykusiais reiškiniais.

9 pav. Čepkelių pelkė. L. Gedminienės nuotr.
Fig. 9. The view of the Čepkeliai Bog

Literatūra

Armitage, P. D., Cranston, P. S., Pinder, L. C. V. The Chironomidae the biology and ecology of non-biting midges. London: Chapman and Hall, 1995.

Bjőrck, S., Musheler, R., Kromer, B., Andersen, C. S., Heinemeier, J., Johnsen, S. J., Conley, D., Koc, N., Spurk, M., Weski, S. High-resolution analyses of an Early Holocene climate event may imply decreased solar forcing as an important climate trigger. *Geology,* 2001, vol. 29, p. 1 107–1 110.

Brooks, S. J., Langdon, P. G., Heiri, O. The identification and use of Palaearctic Chironomidae larvae in palaeoecology. QRA Technical Guide, No. 10. London: Quaternary Research Association, 2007, 276 p.

Brundin, L. Transarctic relationships and their significance, as evidenced by chironomid midges. With a monograph of the subfamilies Podonominae and Aphroteniinae and the austral Heptagyiae. *Kungl Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar,* 1966, vol. 11, p. 1–472.

Bubinas, A., Jagminienė, I. Bioindication of the Neris River based on the structure of hydrobiocenoses. *Acta Zoologica Lituanica,* 2002, vol. 12, no. 1, p. 42–46.

Chernovkii, A. A. Identification of latvae of the midge family Tendipendidae. English translation by Lees, E., 1961. Boston Spa.: Yorshire: National lending Library for science and technology, 1949.

Czeczuga, B., Kossacka, W., Niedzwiecki, E. Ecological changes in Wigry lake in the postglacial period. Part III. Investigations of the Chironomidae stratigraphy. *Polskie Archiwum Hydrobiologii,* 1979, vol. 26, p. 351–369.

Frey, D. G. Remains of Animals in Quaternary Lake and bog sediments and their interpretation. *Archiv für Hydrobiologie. Beihefte. Ergebnisse der Limnologie,* 1964, vol. 2, p. 1–114.

Gams, H. Die Geschichte der Lunzer Seen, Moore und Walder. *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie und Hydrographie,* 1927, vol. 18, p. 304–38.

Gandouin, E., Maasri, A., Van Vliet-Lano, B., Franquet, E. Chironomid (Insecta: Diptera) assemblages from a gradient of lotic and lentic waterbodies in river floodplains of France: a methodological tool for paleoecological applications. *Journal of Paleolimnology,* 2006, vol. 35, p. 149–166.

Gannon, J. E. Two counting cells for the enumeration of zooplankton micro-crustacea. *Transactions of the American Microscopical Society,* 1971, vol. 90, p. 486–490.

Gasiūnaitė, A. Z., Arbačiauskas, K. Zooplanktono tyrimų pagrindai. Mokomoji metodinė knyga. Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla, 2009, 103 p.

Gedminienė, L., Šiliauskas, L., Skuratovič, Ž., Taraškevičius, R., Zinkutė, R., Kazbaris, M., Ežerinskis, Ž., Šapolaitė, J., Gastevičienė, N., Šeirienė, V., Stančikaitė, M. The Lateglacial-Early Holocene dynamics of the sedimentation environment based on the multi-proxy abiotic study of Lieporiai palaeolake, Northern Lithuania. *Baltica,* 2019, vol. 32, no. 1, p. 91–106.

Grigelis, A., Lenkaitis, R., Nainaitė, O., Žukaitė, E. Peculiarities of Distribution of Cold-Stenotherm Hydrobionts in Lakes of the National Park of the Lithuanian SSR. V*erhandlungen des Internationalen Verein Limnologie,* 1981, vol. 21, p. 501–503.

Halkiewicz, A. Subfossil remains of Chironomidae from two shallow lakes representing extreme alternative states. *Studia Quaternaria,* 2005, vol. 22, p. 45–49.

Heiri, O., Lotter, A. F. Holocene and Late Glacial summer temperature reconstruction in the Swiss Alps based on fossil assemblages of aquatic organisms: a review. *Boreas an International Journal of Quaternary Research,* 2005, vol. 34, no. 4, p. 506–516.

Heiri, O., Lotter, A. F., Lemcke, G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology,* 2001, vol. 25, p. 101–110.

Hinton, H. E. Cryptobiosis in the larva of Polypedylum vanderplamki Hint. (Chironomidae). *Journal of Insect Physiology,* 1960, vol. 5, p. 286–300.

Hofmann, W. The significance of chironomid analysis (Insecta: Diptera) for paleolimnological research. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,* 1988, vol. 62, p. 501–509.

Ilyashuk, E. A., Ilyashuk, B. P. Analysis of chironomid remains from Lake sediments in paleoecological reconstruction. *Water Resours,* 2004, vol. 31, no. 2, p. 203–214.

Kalugina, N. S. Insects in Aquatic Ecosystems of the Past. *Trudy Paleontologicheskovo Instituta Akademii Nauk SSSR,* 1980, vol. 175, p. 224–240.

Klink, A. G., Moller Pillot, H. K. M. Chironomidae larvae. Key to Higher Taxa and Species of the Lowlands of Northwestern Europe. Amsterdam: European Institute of Inovation and Technology, 2003 [CD-ROM].

Kubovčík, V. Chironomid tanatocenoses (Diptera: Chironomidae) in the sediments of the lakes of the High Tatra Mts. *Dipteron,* 2004, vol. 20, p. 21–22.

Lang, B., Bedford, A. P., Richardson, N, Brooks, S. J. The use of ultra-sound in the preparation of carbonate and clay sediments for chironomid analysis. *Journal of Paleolimnology,* 2003, vol. 30, p. 451–460.

Langdon, P. G., Ruiz, Z., Brodersen, K. P., Foster, I. D. I. Assessing Lake eutrophication using chironomids: understanding the nature of community response in different lake types. *Freshwater Biology,* 2006, vol. 51, p. 562–577.

Larocque, I. How many chironomid head capsules are enough? A statistical approach to determine sample size for palaeoclimatic reconstructions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,* 2001, vol. 26, p. 307–322.

Larocque-Tobler, I. The Polish sub-fossil chironomids. *Palaentologia Electronica,* 2014, vol. 17, p. 28.

Luoto, T. P., Nevalainen, L. Quantifying climate changes of the Common Era for Finland. *Climate Dynamics: Observational, Theoretical, and Computational Research on the Climate System,* 2017, vol. 49, no. 7–8, p. 2 557–2 567.

Magny, M., Vannie'Re, B., De Beaulieu, J. L., Be'Geot, C., Heiri, O., Millet, L., Peyron, O., Walter-Simonnetd, A. V. Early Holocene climatic oscillations recorded by lake-level fluctuations in west-central Europe and in central Italy. *Quaternary Science Reviews,* 2007, vol. 26, p. 1 951–1 964.

Moller Pillot, H. K. M., Buskens, R. F. M. De larven der nederlandse Chironomdae. *Autoecologie en Verspreiding. Nederlandse Faunistische Mededelingen,* 1990, no 1 c, p. 1–87.

Paasivirta, L. Chironomiae (Diptera) of the northern Baltic Sea. In: O. Hoffrichter (Ed.) *Late 20th Century Research on Chironomidae: an Anthology from the 13th International Symposium on Chironomidae.* Germany, Freiburg, September 5–9, 1997. Germany: Aachen: Shaker Verlag, 2000, p. 589–598.

Pakalniškis, S., Bernotienė, R., Lutovinovas, E., Petrašiūnas, A., Podėnas, S., Rimšaitė, J., Sæther, O. A., Spungis, V. Checklist of Lithuanian Diptera, 2006, p. 16–154.

Pape, T., Blagoderov, V., Mostovski, M. B. Order Diptera Linnaeus, 1758. In: Z-Q Zhang (Ed.) Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness. *Zootaxa,* 2011, vol. 3 148, p. 222–229. Prieiga internete: http://www.mapress.com/zootaxa/2011/f/zt03148p229.pdf.

Pinder, L. C. V. The habitats of chironomid latvae. In: P. D. Armitage, P. S. Cranston, L. C. V. Pinder (Eds.). *The Chironomidae. The Biology and Ecology of Nonbiting Midges.* London: Chapman and Hall, 1995, p. 107–135.

Pinder, L. C. V., Reiss, F. The larvae of Chironominae (Diptera: Chironomidae) of the holarctic region – keysand diagnoses. In: T. Wiederholm (Ed.). *Chironomidae of the Holarctic Region. Keys and Diagnoses. 129 Entomologica Scandinavica Supplement,* 1983, part 1, vol. 19, chapter 10, p. 293–435.

Pliūraitė, V. Zooplankton. In: *Hydrobiological Research in the Baltic Countries. Part I. Rivers and Lakes.* Vilnius: Institute of Ecology, 1999, p. 18–24.

Quinlan, R., Smol, J. P. Setting minimum head capsule abundance and taxa deletion criteria in chironomid-based inference models. *Journal of Paleolimnology,* 2001 a, vol. 26, p. 327–342.

Stančikaitė, M., Gedminienė, L., Edvadsson, J., Stoffel, M., Corona, Ch., Gryguc, G., Uogintas, D., Zinkutė, R., Skuratovič, Ž., Taraškevičius, R. Holocene vegetation and hydroclimatic dynamics in SE Lithuania: Implications from a multi-proxy study of the Čepkeliai bog. *Quaternary International,* 2019, vol. 501, p. 219–239.

Šeirienė, V., Gastevičienė, N., Luoto, T. P., Gedminienė, L., Stančikaitė, L. The Lateglacial and early Holocene climate variability and vegetation dynamics derived from chironomid and pollen records of Lieporiai palaeolake, North Lithuania. *Quaternary International,* 2021, vol. 605–606, p. 55–64.

Thienemann, A. Chironomus. Leben, Verbeitung und Wirtshafliche bedeutung der chironomiden. *Die Binnengewasser,* 1954, vol. 20, p. 1–834.

Timm, H., Mols, T., Timm, T. Effects of long-term non-point eutrophication on the abundance and biomass of macrozoobenthos in small lakes of Estonia. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Biology. Ecology,* 2006, vol. 3, p. 187–198.

Walker, I. R., Smol, J. P., Engstrom, D. R., Birks, H. J. B. An assessment of Chironomidae as quantitative indicators of past climatic change. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science,* 1991, vol. 48, p. 975–987.

Watson, J. E., Brooks, S. J., Whitehouse, N. J., Reimer, P. J., Birks, H. J. B., Turney, C. Chironomid-inferred late-glacial summer air temperatures from Lough Nadourcan, Co. Donegal, Ireland. *Journal of Quaternary Science,* 2010, vol. 25, p. 1 200–1 210.

Wiederholm, T. Chironomidae of the Holarctic region. Keys and Diagnoses. Part 1. Larvae. *Entomologica Scandinavica Supplement,* vol. 19. Lund: Scandinavian Entomology, 1983, 457 p.

Yamamoto, M. Study of the Japanese Chironomus inhabiting high acidic water (Diptera, Chironomidae). *I. Kontyu,* 1986, vol. 54, 324 p.

Zawiska, I., Dimante-Deimantovica, I., Luoto, T. P., Rzodkiewicz, M., Saarni, S., Stivrins, N., Tylmann, W., Lanka, A., Robeznieks, M., Jilbert, T. Long-Term Consequences of Water Pumping on the Ecosystem Functioning of Lake Sekšu, Latvia. *Water,* 2020, vol. 12, 1 459 p.

SUMMARY

PALAEOENVIRONMENTAL AND PALAEOTEMPERATURE RECONSTRUCTION BASED ON DATA OF *CHIRONOMIDAE* INVESTIGATIONS

Recent global climate variability is leading to major changes in the biotic environment worldwide. Over the last decades, palaeoenvironmental studies have become increasingly common, providing an opportunity to assess the temporal and spatial dynamics of modern climate and its impact on various elements of natural systems. The Late Glacial and Early Holocene periods are particularly important for this type of research, as they were characterized by short-term climatic fluctuations that were synchronous across the North Atlantic. The *Chironomidae* studies have become more popular in palaeoenvironmental and palaeoclimatic reconstructions in recent decades. The *Chironomidae* family (Diptera) also known as non-biting flies, is the most abundant and widespread group of freshwater insects. The head capsules of larvae are well preserved in lake sediments. Their short life cycle and their ability to occupy different ecological niches allow them to respond more quickly to environmental changes than terrestrial vegetation. (Brooks et al. 2007; Watson et al. 2010). Changes in *Chironomidae* taxa in the sediment core are indicative of different ecological conditions, such as water pH, salinity, nutrient content, and water level. This method can thus be used to detect Late Glacial climatic events as well as the weaker amplitude climate variations of the Early Holocene. This paper analyzes the environmental and climatic changes during this period using *Chironomidae* data from two sediment cores in Lithuania. One core, the Lieporiai Palaeolake, is located in northern Lithuania. The second investigated site is in the Čepkeliai raised Bog near the Lithuanian–Belarusian border in the south-eastern part of the Čepkeliai Reservation.

Research has demonstrated that the initial phase of Lieporiai Palaeolake formation is characterized by unstable environmental conditions, as shown by the high diversity of *Chironomidae* morphotype assemblages. Oligotrophic – *Tanytarsus lugens* type, oligotrophic-mesotrophic – *Corynocera ambigua,* mesotrophic-eutrophic – *Microtendipes pedellus*-type, eutrophic – *Polypedillum* genus are the characteristic morphotypes. On palaeobasin transition to oligotrophic-mezotrophic (Lieporiai Palaeolake and Čepkeliai Bog), it is characterized by a large amount of *Corynocera ambigua* fossils. The increase in the fossils of *Chironomus anthracinus*-type and *Tanytarsus mendax*-type suggests the growing productivity of the palaeobasin and the simultaneous eutrophication processes in the littoral zone of the water basin. The disappearance of oligotrophic morphotypes and the increase in typical peat fossils of the *Dicrotendipes* genus, *Glyptotendipes* genus, and *Ablabesmyja* show rapid eutrophication processes in the profundal zone of the two investigated sites. At the final stage of palaeobasin formation (Lieporiai Palaeolake), the rapidly increasing organic matter and the accelerating swamping processes influenced the complete disappearance of the *Chironomidae* morphotypes and the ultimate eutrophication of palaeobasins.

The palaeoclimatic reconstructions performed allowed for the restoration of the change in mean. July temperature during the Late Glacial and Early Holocene, as well as the identification of a series of postglacial climatic events: in the Lieporiai Palaeobasin, GI-1e, GI-1d, GI-1a, and GS-1; and in the Čepkeliai Palaeobasin, "Preboreal", "10.2", and "9".