

# Geoloogilisi üllatusi Voka klindilahest

ANATOLI MOLODKOV, NATALJA BOLIHHOVSKAJA, KULDEV PLOOM

**Ida-Virumaal Voka lähedal ulatub sisemaale Voka klindilaht, mida mere poolt ääristab kvaternaari setetesse murrutatud astang. Hiljaaegu seal tehtud geoloogiliste uuringute tulemused näitasid, et setted on Vokas seniarvatust hoopis vanemad.**

**K**liima globaalne soojenemine ja saagenud looduskatastroofid maakera eri paikades on ärgitanud üha enam panustama teadusuuringutesse. Nendega kogunenud andmed aitavad prognoosida looduskeskkonna arengusuundumusi ja selgitada võimalikke iseärasusi tulevikus. Nii on olulised ka paleo-

graafilised uuringud maastiku- ja kliimamuutuste kohta meie geoloogilises lähiajaloo – kvaternaari ajastul.

1,8 miljonit aastat kestnud kvaternaari jooksul on olnud mitukümmend jääaega ja jäävaheaega ning veelgi arvukamalt väiksemat järku soojenemisi ja jahenemisi.

Maa geoloogilise ajaloo viimasesse 130 000 aastasse mahub kolm suure-

mat paleokliima epohhi: jäävaheaeg ligikaudu 130 000–70 000 aastat tagasi, jääaeg 70 000–11 500 aastat tagasi ning 11 500 aasta eest alanud jäävaheaeg. Viimast nimetatakse holotseeniks ja selles elame me tänini.

Põhjapoolkeral algas viimane suurem jäätumine ligikaudu 28 000 aastat tagasi. Eesti ala oli sellal kaetud Skandinaavia jääkilbiga. Seejärel,

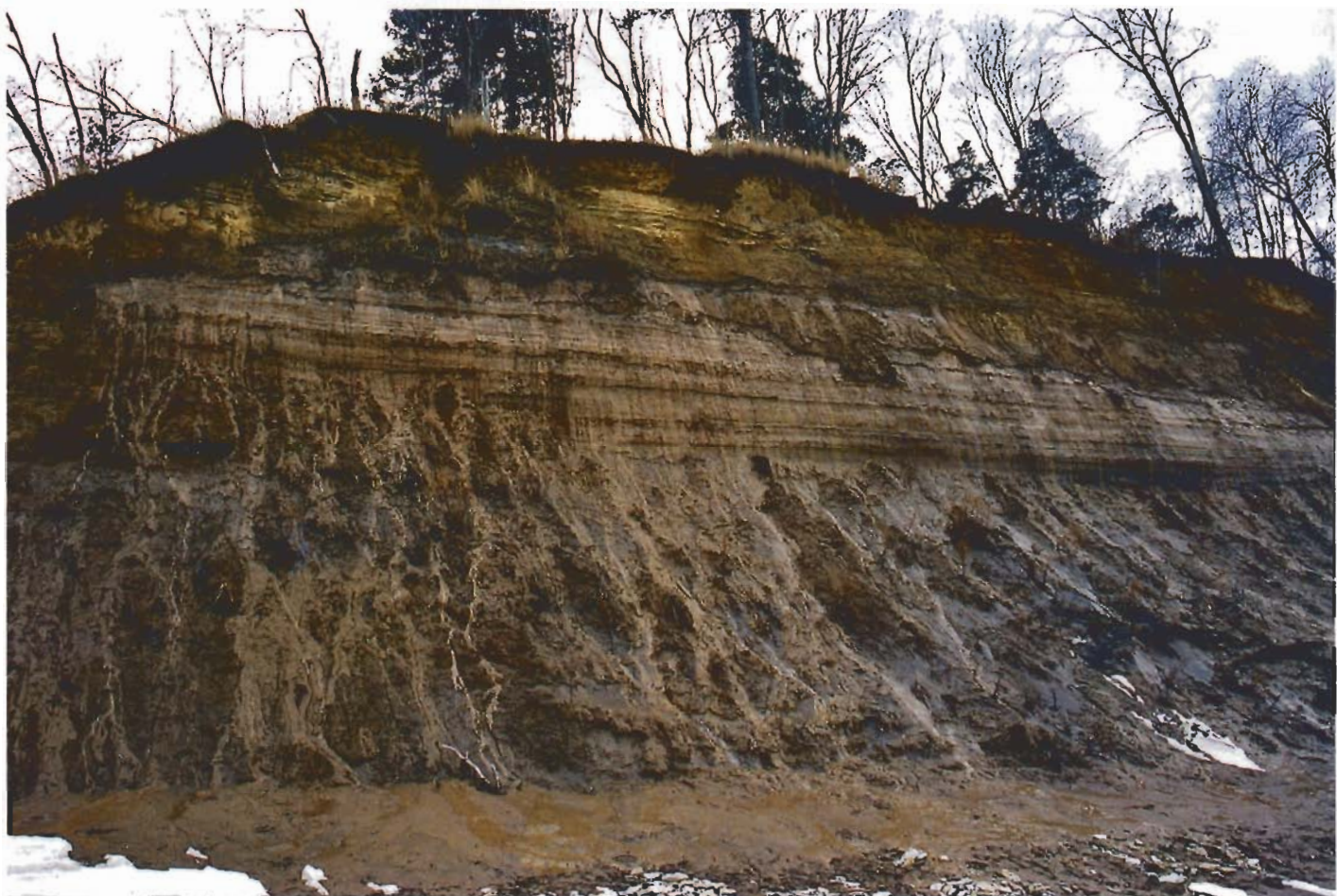
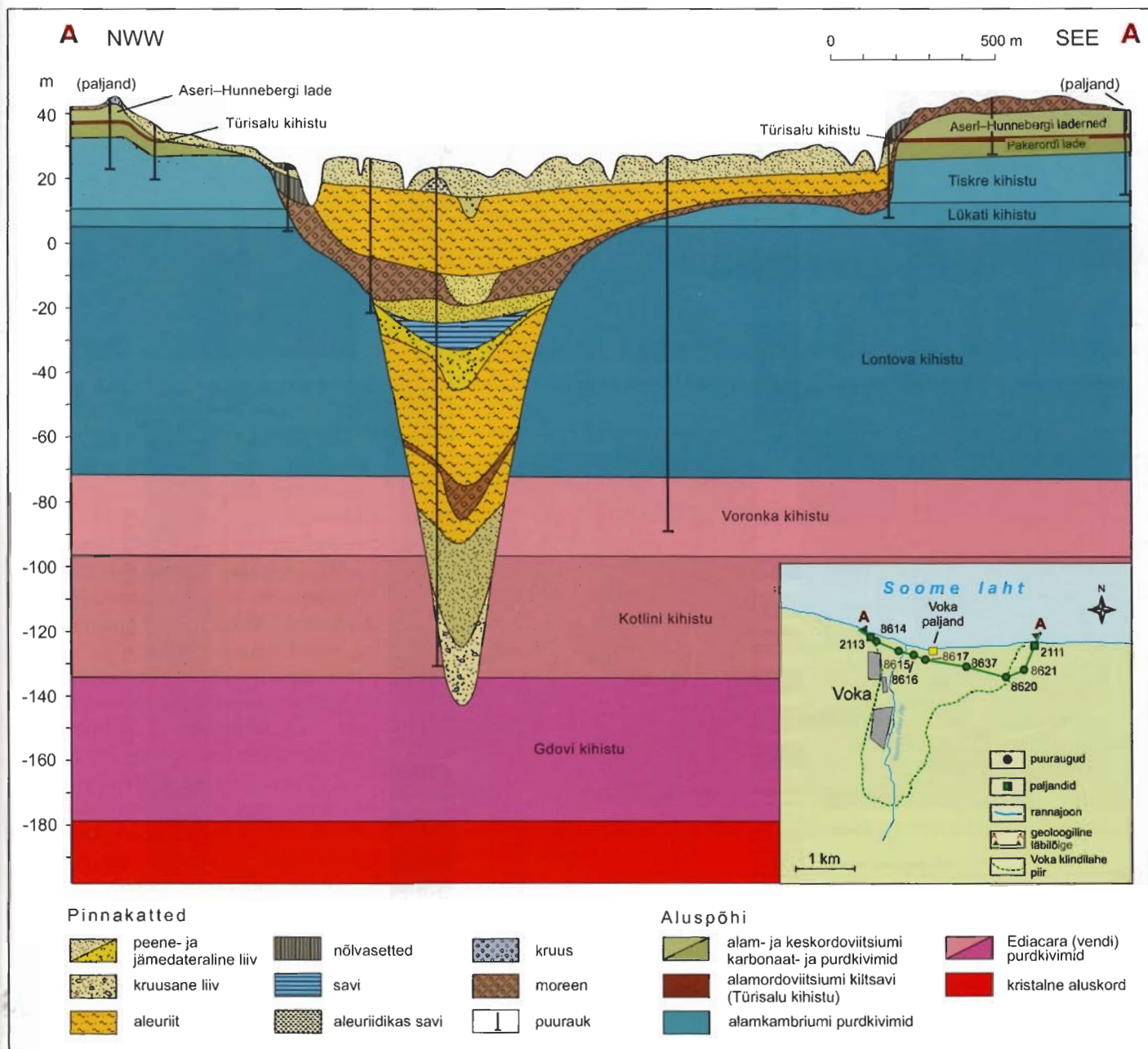


FOTO: AVO MIIDEL

⊙ 1. Voka paljandit võib pidada ainulaadseks, sest mujal Eestis kvaternaari ajastu setteid sedavõrd pikal lõigul imetleda ei saa.



2. Voka klindilahe skemaatiline läbilõige piki klindi serva, koostatud Eesti geoloogiakeskuse andmete põhjal. Tr – Türisalu kihistu; A–H – Aseri–Hunnebergi lade.

19 000–18 000 aasta eest, hakkasid mandriliustikud aegamisi sulama ja jää taanduma. Eesti alal algas see 15 700–14 700 aastat tagasi ja lõplikult kadus jää siit 12 700–12 200 aasta eest.

Oma suurima leviku ajal kattis Skandinaavia mandriliustik üle 5,8 miljoni ruutkilomeetri suuruse ala. Läänes ületas ta Põhjameret, liitudes Briti saari katva liustikuga, lõunas aga ulatus 52. laiuskraadini. Lamamit purustades ja purustusmaterjali ära kandes tegutses üle  $8 \times 10^{15}$  tonnine, keskosas kuni 2,7 kilomeetri paksune jääkilp justkui võimas liivapaber. See hävitas suure osa setetest,

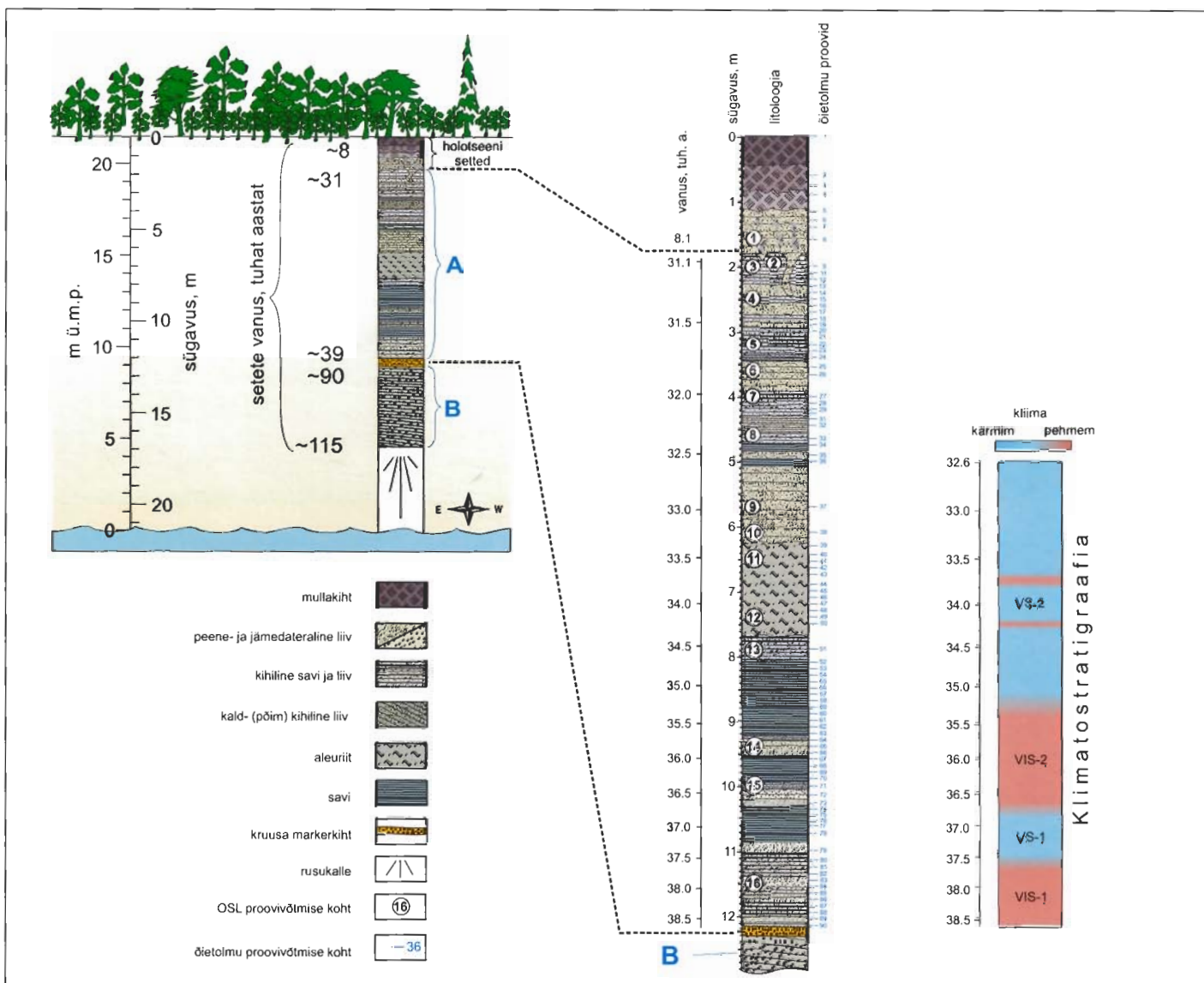
mis kajastanuks teavet varasema geoloogilise aja kohta. Eriti on niiviisi kulutatud Eesti põhjaosa – Põhja-Eesti lavamaa.

### Voka setted on vanemad, kui arvati.

Tänapäeval ületab pinnakatte paksus Põhja-Eesti lavamaal harva viit meetrit. Vaid aluspõhja lohkudes ja nõgudes võib see olla märgatavalt suurem. Üks selline reljeefivorm on ka Voka klindilaht samanimelise asula lähistel Toilast viis kilomeetrit idas. Mere poolt ääristab klindilahte 2,2 kilomeetri pikkusel umbes 22 meetri kõrgune pudedatesse kihilistesse setetesse murruta-

tud astang. Teist sellist “klindilõiku”, kus pinnakate niivõrd hästi paljandub, mujalt Eestist ei leia (1).

Klindilahte suubub omakorda kanjonilaadne, kitsas ja sügav mattunud ürgorg (2). Peaaegu kristalsete kivimiteni aluspõhja lõikunud sisselõige on enam kui 160 meetri paksuselt täitunud pudedate setete, peamiselt peeneteralise liiva ja aleuriidiga [5]. Seni on arvatud, et Voka läbilõikes nähtavad setted on kuhjunud jääaluses vooluvees mandriliustiku taandumise Pandivere staadiumil [7] või jääjärves, kui liustik oli Eesti alalt juba kadunud [2, 3]: seega vaid



⊙ 3. Voka läbilõike koondtulp vasakul, läbilõike ülemise osa (A-kompleksi) detailne tulp koos proovivõtukohtade ja ajaskaalaga OSL-analüüsi andmete järgi keskel ning kliimamuutused Kirde-Eestis umbes 39 000–33 000 aastat tagasi öietolmuanalüüsi andmete järgi paremal.

mõne tuhande aasta jooksul umbes 14 400–12 200 aastat tagasi.

Vastu ootusi näitasid hiljaageu tehtud uuringute tulemused, et Voka klindilahes on säilinud suur osa enne viimase jäätumise maksimumi kuhjunud setetest. Moodsaima uuringumeetodi, infrapunakiirgusega optiliselt stimuleeritud luminescentsanalüüsi (IP-OSL) järgi on setete vanus selles vähemalt 115 000–31 000 aastat. Sedavõrd pika aja vältel tekkinud settekihid on äärmiselt haruldased nii Baltikumis kui ka Eestis, rääkimata Põhja-Eestist.

Praegusajaks põhjalikumalt uuritud läbilõige asub Soome lahe rannaastangul, umbes viissada meetrit Vasavere (Voka) jõe suudmest idas, täpsemalt 59°24,86' pl. ja 27°35,88' ip. Läbilõike

nähtav osa hõlmab kahte peamist litoloogilis-stratigraafilist kompleksi (⊙ 3). Niinimetatud A-kompleks mullakihi all 1,85–12,15 meetri sügavusel koosneb paksude savikas-aleuriitsete vahekihtidega peene- ja pisiteralisest paralleelkihilisest liivast, mõnikord ka liiva vahekihtidega savist. Lamavale, B-kompleksile, on iseloomulikud paralleel-põimkihilised keskmise- ja jämedateralised kruusakad liivad harvade savikamate vahekihtidega. Komplekse eraldab nn. markerkiht: õhuke, kuid kogu läbilõike ulatuses hästi jälgitav, paiguti tsementeerunud kruusa ja veeristega kiht.

**Kuidas määrati setete vanust?** Setete vanuse määramiseks kalendriaastates

kasutasime IP-OSL meetodit. See võimaldab hinnata ühe maakoos enim levinud mineraali, päevakivi terade lõplikust settimisest möödunud aega.

Kauges minevikus settinud ja seejärel teiste kihtide alla mattunud päevakivis hakkab "salvestuma" radiatsioonifooni (looduslike radioaktiivsete elementide ja kosmilise kiirguse) tekitatud ioniseeriva kiirguse energia. Seda kiirgusenergiat on võimalik laboris "vabastada" ja mõõta valguskiirgusena, mille intensiivsus on seotud salvestatud kiirgusenergia kogusega ja seega sette vanusega.

Settest eraldatud päevakiviterade valguskiirgust mõõdetakse väga tundliku seadmega: OSL-loenduriga. Väikest kogust (15 mg) päevakiviteri



FOTO: NATALJA BOLIHOVSKAJA

Viimase jääaja kõige soojematel etappidel hõredates okaspuusaludes kasvanud hariliku kuuse (*Picea abies*) (1), hariliku männi (*Pinus sylvestris*) (2) ja siberi seederänni (*Pinus sibirica*) (3) õietolm.

kiiritatakse infrapunalaaseri lühikese impulsi, lainepikkusega 860 nanomeetrit ( $1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9}$  meetrit). Valgusimpulsi toimel tekib päevakivi-proovis valgusspektri eri lainepikkustega nõrk valguskiirgus, nn. optiliselt stimuleeritud luminesents. Mainitud kiirgus juhitakse valgusjuhtme ja optiliste filtrite kaudu fotoelektronkordistile, kus see võimendatakse ja muudetakse elektrisignaalsiks. See signaal on võrdeline luminesentsi intensiivsusega ning korreleerub teatud seaduspärasuste kaudu setete vanusega. Fotoelektronkordistist väljuv signaal saadetakse töötluks arvutisse. Arvuti juhib ka OSL-loenduri tööd ning arvutab kindla algoritmi alusel setete vanuse, arvestades peale laborikatsetest saadud andmete ka päevakivi paleodosimeetrilisi parameetreid, proovi ümbritseva sette erisuguseid omadusi ja palju muudki. Veelgi põhjalikumalt võib optilisfüüsikalistest dateerimismeetoditest lugeda Martin Aitkeni raamatust [1].

A-kompleksist võeti IP-OSL analüüsiks 15 proovi. Et tulemuste statistilisel töötluks saaks koostada pideva geokronoloogilise skaala, oli proovide intervall võrdlemisi väike, alla poole meetri. Peale nende korjati ka üksikproove selle kompleksi alt ja pealt, et teha kindlaks kogu nähtava läbilõike ajaline ulatus.

Dateeringute tulemusena selgus, et A-kompleksi kuhjus 38 600–31 100 aastat tagasi [4] ja settimise kiiruseks oli seega ligikaudu 1,2 millimeetrit aastas. B-kompleksi vanuseks saadi 115 000–90 000 aastat, mis viitab sel-



FOTO: NATALJA BOLIHOVSKAJA

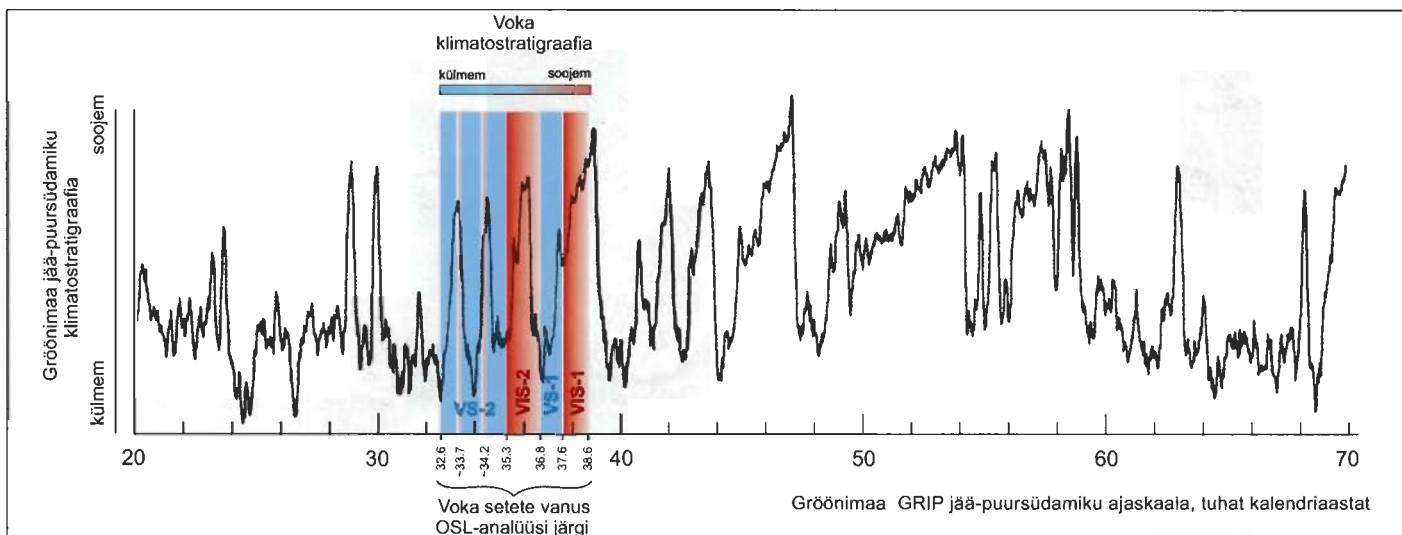
Tavalisemate tundrataimede *Diphasiastrum alpinum* (1) ja koldja selaginelli (*Selaginella selaginoides*) (2) eosed.

gelt suurele settelüngale A- ja B-kompleksi vahel. Kattev mullakiht on aga selgelt jääajajärgne: üksikproovi järgi settimisajaga 8100 aastat tagasi (⊙ 3).

**Taimede õietolm ja eosed.** Et rekonstrueerida endisaegset kliimat ja keskkonnamuutusi Voka kandis, oli abiks detailne õietolmu- ehk palünoloogiline analüüs. Selle objektiks on setteis leiduvad taimede sugurakud – õietolm ja eosed (⊙ 4, 5) –, mida toodetakse tohutul hulgal. Nii näiteks on ühesainas saarepuu tolmukas kuni 12 000 õietolmutera, võilille õisikus on neid üle 250 000, sarapuu urvas aga ligikaudu neli miljonit. Õietolmu ja spooride sporoderms (väline kest) on erakordselt vastupidav välistele füüsikalise-keemilistele mõjutustele. Mikroskoopilised mõõtmed (enamasti 10–100 mikronit) ja kuju iseärasused aitavad aga kaasa nende levikule tuule, vee, putukate vms. abil. Õietolm ja eosed on nii

paleobotaanikas kui ka paleontoloogias tervikuna ainus materjal, mida võib leida peaaegu kõigis settetüüpides. Seetõttu kasutatakse just palünoloogilist meetodit paleokeskkonna analüüsil laialdaselt.

Õietolmuanalüüsi käigus eraldatakse kõigepealt setetest õietolm ja spoorid, seejärel tehakse kindlaks, missuguste taimedele need kuuluvad. Kui kogunenud andmeid on statistiliselt töödeldud, saab teha järeldusi stratigraafia ja paleogeograafia kohta. Mikroskoopi koos analüüsitava õietolmupreparaadiga võib seega vaadelda omapärase ajamasinana, mille abil spetsialist – palünoloog – vaatab kaugele minevikku, nähes vaimusilmas toonaseid maastikke. Analüüsid näiteks ühte proovi Voka läbilõike A-kompleksist, näeb ta, et praegu mõõduka kliimaga sega-okasmetsade piirkonda jäävas Vokas valitses vaadeldaval ajal hoopis karmikliimaline tundra.



⊙ 4. Voka läbilõike paleokliimaatilise struktuuri [4] rööbistamisel Gröönimaa jää puursüdamikust saadud globaalsete kliimasignaalide mustriga [9] ilmneb märkimisväärne korrelatsioon karmi ja pehmemma kliima vaheldumises 39 000–33 000 aastat tagasi.

### Missugune võis olla kliima?

Kõrvutades palünoloogilise ja täppisgeokronoloogilise meetodi tulemusi, on võimalik koostada globaalsete sündmustega korreleeritav Voka läbilõike keskkonnamuutuste ajaskaala. Globaalsete keskkonnamuutuste väljatoomiseks kasutavad kvaternaariuurijad ka ookeanisetete hapniku-isotoopstaadiumeid [8]. Veelgi detailsmaid andmeid on viimasel ajal saadud Gröönimaa jää puursüdamike isotoopanalüüsil [6].

Vokas siiani kõige täielikumalt uuritud A-kompleksis, sügavusel 1,8–12,2 meetrit asuvad võrdlemisi peeneteralised setted, kus on üsna head tingimused taimede õietolmu säilimiseks. Õietolmuanalüüsi järgi vastavad astangus 12,2–11,2 meetri sügavusele jäävad kihid kliima suhtelisele soojenemisele 38 600–37 600 aastat tagasi (⊙ 3, VIS-1). Toona oli siin mandriliustiku serva lähedal karmi külma kliimaga metsatundra, kus vaid kohati kasvas lehise ja siberi seederänniga kuuse-männi hõrendikke.

Sellele järgnes lühiajaline, vaid kaheksasaja aasta pikkune väga kuiva ja külma kliimaga periood (⊙ 3, VS-1). Kirde-Eesti alal levisid siis tundrastepid ja tundra-metsastepid: neile tänapäevastes (st. jäävaheaegsetes) maastikes analooge ei leia.

Eelmisest "soojast" ajavahemikust veelgi soojemal perioodil 36 800–35 300 aastat tagasi (⊙ 3, VIS-2 sügavusel 10,4–8,75 m) laienes uuritavale alale

keskmiste laiuskraadide lumise talve ning võrdlemisi lühikese sooja suvega kliimale iseloomulik boreaalne metsatundra. Seejuures vaheldus harvade hõredate kuuse-männi tukkadega periglatsiaalne metsatundra vähemalt kaks korda tunduvalt niiskemale ja soojemale kliimale omase taigakooslusega.

Ajavahemikus 35 300–32 600 aastat tagasi (sügavus 8,75–4,95 m) valitses siin aga periglatsiaalne tundra (⊙ 3, VS-2). Igikeltsa teke tõi kaasa sambla- ja rohusoode arengu. Õietolmuspektris valdavate tundrataimede vaevakase ja kõrreliste õietolmu ning turbasambla ja koldja selaginelli eosed viitavad kliima jahenemisele üsna kaua aega enne viimase jäätumise maksimumi. Selle külma ajavahemiku sees eristub sügavustel 7,5 ja 6,95–6,7 meetrit kaks lühiajalist soojenemist vanusega 34 200 ja 33 700 aastat, kui tundra asendus väheste hõredate männisaludega metsatundraga.

Võrreldes Voka läbilõike paleokliimaatilist struktuuri Gröönimaa jää puursüdamikust saadud globaalsete kliimasignaalide mustriga, ilmneb märkimisväärne korrelatsioon karmi ja pehmemma kliima vaheldumises 39 000–33 000 aastat tagasi (⊙ 4). Vaevast on selline kokkulangevus juhuslik ja see tõendab Voka läbilõikest saadud andmete usaldusväärsust.

Meie uuringud unikaalses Voka paljandis on alles alanud. Ees ootab palju tööd, mille käigus õnnestub loodetavasti heita valgust mitmele Baltikumi pinnakatte geo-

loogia lahendamata küsimusele. ■

*Töö on tehtud Eesti teadusfondi uurimistoetustega 5440 ja 6112.*

1. Aitken, Martin Jim 1998. An Introduction to Optical Dating, Oxford University Press: 1–267.
2. Miidel, Avo 2003. Stop 14. Voka outcrop. – Excursion Guide and Abstracts of the International Symposium on Human Impact and Geological Heritage, Tallinn, May 12–17: 33–35.
3. Miidel, Avo et al. 2006. Influence of the bedrock topography on oil shale mining in North-East Estonia. – Oil Shale 23 (4): 313–327.
4. Molodkov, Anatoly 2007. IR-OSL dating of uranium-rich deposits from the new late Pleistocene section at the Voka site, North-Eastern Estonia. – Quaternary Geochronology 2: 208–215.
5. Molodkov, Anatoly et al. 2007. The sedimentary sequence recovered from the Voka outcrops, North-Eastern Estonia: Implications for late Pleistocene stratigraphy. – Estonian Journal of Earth Sciences 56 (1): 47–62.
6. North Greenland Ice Core Project members 2004. High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period. – Nature 431: 203–207.
7. Raukas, Anto; Stankowski, Wojciech 2005. Influence of sedimentological composition on OSL dating of glaciofluvial deposits: examples from Estonia. – Geological Quarterly 49: 463–470.
8. Shackleton, Nicholas; Opdyke Neil 1973. Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V28-238: oxygen isotope temperatures and ice volumes on a 10<sup>5</sup> and 10<sup>6</sup> year scale. – Quaternary Research 3: 39–55.
9. Shackleton, Nicholas et al. 2004. Absolute calibration of the Greenland time scale: implications for Antarctic time scales and for  $\Delta^{14}C$ . – Quaternary Science Reviews 23: 1513–1522.

**Anatoli Molodkov** (1945) on geoloogiadoktor, TTÜ geoloogia instituudi kvaternaari geokronoloogia labori juhataja.

**Natalija Bolihhovskaja** (1945) on geograafiadoktor, Moskva riikliku ülikooli geograafia osakonna juhtteadur.

**Kuldev Ploom** (1963) on Eesti geoloogiakeskuse kaardistamise osakonna juhtgeoloog.

# EESTI LOODUS

SEPTEMBER 9/2007 POPULAARTEADUSLIK AJAKIRI. ILMUB 1933. AASTAST

## Ida-Virumaa



HIND: 34.50



ISSN 0131-5862

**MATKARAJAD**

**METSARAHVAS**

**KARJÄÄRID JA LOODUSKAITSE**

**LENDORAV, KALAKOTKAS JA UNIMUDIL**