

Jääajad ja jäävaheajad

Kogu Maa aastamiljardeid kestnud ajalugu on olnud alalõpmatu külmade ja soojade perioodide vaheldumine. Viimase aastamiljardi jooksul on olnud viis suurt külmaperioodi: Agueooni lõpul (800-550 mln a. tagasi); Ordoviitsiumi lõpul-Siluri alguses (450-425 mln a. tagasi), Hilis-Karboni ja Permi ajastul (330-250 mln a. tagasi), Hilis-Juura ja Vara-Kriidi ajastikul (170-120 mln a. tagasi) ning Kainosoikumi teisel poolel (alates 55 mln a. tagasi kuni tänapäev). Kuid ei “külmhooneperioodid” ega nende vahele jäänud “kasvuhooneperioodid” ei olnud ühtlased soojad ega külmad ajad, vaid vaheldusid jääaegade ja jäävaheaegade. Nende arvu ei oska keegi kokku lugeda.

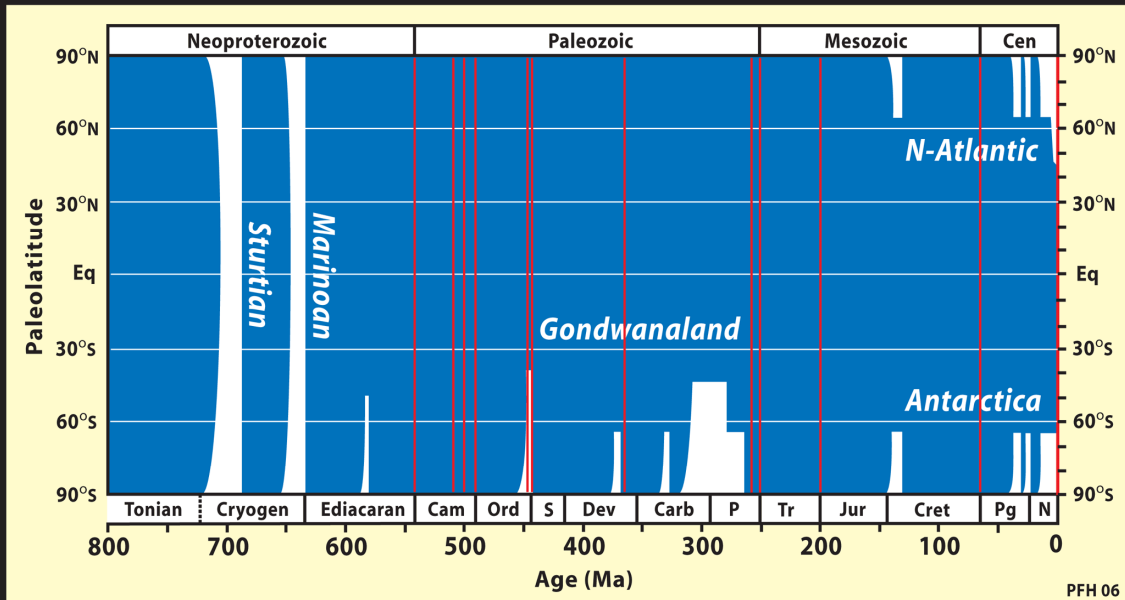
Jääaegade teket on püütud mitmeti seletada: neid on seostatud Päikese kiirguse intensiivsuse ja Maa pooluste asukoha muutumisega, mägede kiire kerkimisega, suurte meteoriitide langemisega, Maa sattumisega kosmilise tolmu pilvedesse, süsihappegaasi hulga muutumisega atmosfääris ja paljude teiste loodusnähtustega. Kõigiti rahuldav ja üldtunnustatud vastus seni puudub.

Jäävaheaega määravaks tunnuseks on, et tema kliimaoptimum peab olema soojem või vähemalt niisama soe, kui on tänapäeva kliima antud kohas ja see peab olema kindlaks määratav kõikjal. Viimasest, Kvaternaari ajastust pärinevad Eestis kolme jääaja (Sangaste, Ugandi ja Järva) ja kahe jäävaheaja (Karuküla ja Prangli) setted. Kahtlemata oli Eestis jääaegade ja jäävaheaegade hulk suurem, kuid nende setted pole meil säilinud.

Me praegune jäävaheag on lihtsalt üks paljudest

Praegu me elame Holotseeni jäävaheaja lõpul niiskel ja jahedal subatlantilisel kliimastaadiumil. On kindlaks tehtud, et igale jäävaheajale olid iseloomulikud oma spetsiifilised kliimarütmid ja taimeliigid. Taimekoosluste vaheldumine ei kulgenud kõigil jäävaheagadel aga kaugeltki ühesuguse skeemi järgi. See võimaldab jäävaheagsete setete õietolmudiagrammide võrdlemise teel enamasti küllaltki ühemõtteliselt määrata läbilõigete vanuselist kuuluvust. Mida vanem on jäävaheag, seda rohkem esineb setetes praeguseks väljasurnud või eksootilisi taimeliike ja nende eoseid ning õietolmu. Viimase (Prangli, Eemi) jäävaheaja flooras väljasurnud liigid peaaegu puuduvad ning eksootilisi elemente esineb ainult rohttaimede seas. Eelviimasel (Karuküla, Holsteini) jäävaheajal oli nüüdseks väljasurnud taimeliike kohati kuni 15% ja soojalembeseid eksoote kuni 10%, kuid üldiselt valitsesid ka tollal praegu kasvavad puud ja taimeliigid.

Paleogeographic extent of continental ice sheets and permanent sea ice over the last 800 Myr (red lines indicate major mass extinctions)



Prangli (Eemi) jäävaheag

Prangli jäävaheag oli Kvaternaari jääaegadest kõige soojem, mille kliimaoptimumi ajal tundravööde Euroopa põhjaosas täielikult puudus ning seal oli vaid neli taimestikuvööndit: okaspuumetsa, laialeheliste ja okaspuude segametsa, laialeheliste puude ja metsastepi vöönd. Jäävaheaja esimest poolt iseloomustab suur laialeheliste puude maksimum, kus harilikult üksteise järel kulmineerusid tamm, pärn ja jalakas. Nendega koos esines rohkesti sarapu- ja lepametsi. Veetase ookeanis oli palju kõrgem nüüdisaegsest ja Läänemeri oli ookeaniga ühenduses nii Taani väinade kui ka Valge mere kaudu. Eestis on teada selle jäävaheaja nii merelised ((Prangli saarel) kui ka kontinentaalsed setted ((Rõngu leiukoht).

Karuküla (Holsteini) jäävaheag

Karuküla jäävaheag seevastu oli niiske ja suhteliselt jahe. Laialehelisi puid kasvas sel ajal vähem. Kliimaoptimumi ajal esines rohkesti leppa ja Prangli jäävaheajale iseloomulikku sarapuud leidus väga tagasihoidlikult. Eestist lõunapoolsetel aladel oli sellele jäävaheajale iseloomulik veel rohke valgepöögi ja nulu esinemine ning nende üheaegne kulminatsioon. Tähtsateks indikaatorliikideks loetakse mitmeid praegu väljasurnud eostaimi (*Osmunda claytoniana*, *Azolla filiculoides* jt.) ja puid (*Picea sec. Omorica*, *Pinus sec. Strobis*, *Tilia*

tomentosa jt.). Läänemere nõos levis sel ajal Holsteini meri, kuid Eestisse see tõenäoliselt ei ulatunud. Karuküla jäävaheaja maismaaseteid on teada Edela-Eestis Karukülas ja Tartu lähedal Kõrvekülas.

Kliima ja paleokliima

Kliima on statistiliste atmosfääritingimuste kogum, mis iseloomustab Maa teatud geograafilist paikkonda. Kliima all mõistetakse aastakümnete keskmist ilma kogu selle muutlikkuses ja kõikumistes keskmise väärtuse suhtes ning oma olemuselt on ta üsna stabiilne, kuivõrd teatud paikkonnas valitseb alati kindel kliimatüüp. Pikema ajavahemiku jooksul on kliima aga seaduspäraselt muutuv ning määratletud globaalse ja kosmilise ulatusega keskkonnaelementidega. Möödunud ajastute kliimat käsitleb paleoklimatoloogia, mis uurib aastasadade, aastatuhandete ja aastamiljonite taguseid kliimaolusid.

Kuidas kujuneb meie planeedi kliima, võib üsnagi ammendavalt lugeda kooliõpikutest, kus on korralikult kirjas, et Maa kliima kujuneb atmosfääri, hüdrofääri, litosfääri ja biosfääri vastastikusel toimel. Seejuures mõjutavad kliimat väga paljud astronoomilised, geoloogilised ja geograafilised tegurid, nagu Päikesesüsteemi asend galaktilisel orbiidil ja Maa asend Päikesesüsteemis, eriti tema kaugus Päikesest, teistest planeetidest ning Kuust, Maa telje kallakus, tema tiirlemiskiirus ümber Päikese ja pöörlemiskiirus ümber oma telje, mandrite ja ookeanide jaotumus, litosfäärikihtide vertikaalne ja horisontaalne ümberpaiknemine ja Maa magnetvälja muutus, merehoovused, ookeanivee keemiline koostis ja temperatuur, vulkaanide tegevus, hiidmeteoriitide langemine jpt tegurid. Inimese osa kliima kujunemisel on võrreldes looduslike faktoritega ilmselgelt kaduvväike. Võrrelgem näiteks inimese kliimat kujundavat rolli Keskaegkonna lõpus Mehhiko lahte langenud hiidmeteoriidiga, mis hävitas saurused ja suure osa Maa elustikust. Need on täiesti erineva suurusjärguga fenomenid.

Kliima muutub meist sõltumata rütmiliselt, kord soojenedes, kord jahenedes ja inimene peab kohanduma muutuva kliimaga, nagu ta ongi seda teinud kogu inimajaloo jooksul. Suurte globaalsete kliimatsüklite pikkus on umbes 150 miljonit aastat. Kuid on teada ka hoopis väikesi kliimariitmide kestusega 9-11, 22, 35, 44, 50-56, 80-90, 111, 170-200...1800-1900, 2200-3500, 29 000 ja 41 000 aastat. Summeerudes võivad nad üksteist võimendada või kustutada.

Paleokliima rekonstruktsioonid

Erinevalt nüüdiskliimast iseloomustatakse paleokliimat kaudsete tunnuste põhjal, kus arvestatakse kivimite ja setete moodustumiseks või taimede ja loomade eluks vajalike

tõenäoliste ilmastikutingimustega. Mida kaugemale minevikku, seda vaieldavamaks muutuvad tehtud järeldused. Mõnesaja aasta taguste aegade kohta on olemas juba primitiivsed ilmavaatlused ja leidub ka möödanikku kirjeldavaid ürikuid, nagu näiteks kasetohule kantud Novgorodi kroonikad või ka Läti Henriku kroonikaraamat. Möödaniku karmist kliimast Madalmaadel kõnelevad Pieter Brueghel vanema (1525-1569) Flandria temaatilised maalid ja paljude kunstnike gravüürid liustike paiknemisest Alpides “väikesel jääajal”. Palju hinnalist teavet annavad talunike ülestähendused viljalõikuse alguse ja lõpu kohta või meremeeste märkmed sadamate ja jõgede jääst vabanemise kohta.

Geoloogilise info kasutamine põhineb aktualismiprintsiibil, mis eeldab, et samad seaduspärasused, mis valitsevad nüüdisajal, valitsesid ka minevikus. Seega – praeguste looma- ja taimeliikide olemustingimuste alusel püütakse taastada väljasurnud liikide elutingimusi. Siin töötab hästi palünoloogiline meetod, millega on edukalt taastatud jääaegade ja pärastjääaja kliimatingimusi. Seda täiendavad kiviaja inimeste koobastest pärinevad faunaleiud.

Hoopis keerukamaks muutub kaugete aegade kliima selgitamine. Abiks võetakse setted. Külmast kliimast kõnelevad moreenid, tilliidid ja löss, ariidse kliima tunnuskiivimiteks on kivisool, kaalisoolad ja kips, niiskes ja soojas kliimas tekivad kaoliinsavi, boksiidid, mangaanimaardlad ja kivisöölademed. Möödaniku kliimast kõnelevad ka paljud geomorfoloogilised tunnused. Näiteks jääkriimud ja ruhiorud kinnitavad külma kliimat, vanad jõeorud kõrbealadel kõnelevad seal muiste olnud niiskest kliimast, vanade luidete orientatsioon aitab aga taastada endisaegadel valitsenud tuulte suundi.

Palju informatsiooni annab dendroklimatoloogiline meetod. Mõõtes aastaringide laiust eri vanuses puudel, sealhulgas palkidel, mis on saadud vanadest ehitistest või leitud turbalasundist, jääst või liustikusetest, ning paigutades saadud aastaringide paksuse kõverad nii, et sarnased kõveraosad üksteist kataksid, võime taastada kliimamuutuste kulu ajas.

Suureks saavutuseks on isotoopmeetodite rakendamine. Eriti häid tulemusi on andnud hapnikuisotoopide kasutamine. Juba 1950. aastal tõestas USA geokeemik H. Urey, et kaltsiumkarbonaadi sadestumisel on hapniku kerge ja raske isotoobi suhe sõltuvuses vee temperatuurist. Madalal temperatuuril on hapniku raske isotoobi suhteline sisaldus karbonaadis suurem kui kõrgemal. Seda seaduspärasust arvestades on Eesti geoloogid selgitanud koguni Ordoviitsiumi ja Siluri ajastu paleokliimat. Veelgi rohkem on Eesti teadlased uurinud liustikujääd, kus on tänini säilinud aastakihid, mis moodustusid kümneid ja sadu tuhandeid aastaid tagasi sadanud lumest. Teatavasti, mida madalam on temperatuur, seda rohkem on sademetes hapniku rasket isotoopi ja vastupidi – kergema isotoobi hulk suureneb temperatuuri tõustes.

Paleokliima modelleerimine

Paleokliimaatilised järeldused põhinevad erinevatel kliimamudelitel, millest igauks kujutab endast erineva lähenemise tulemust. Mudelite omavaheline võrdlus võimaldab eristada tõepärasemad hüpoteesid ja luua teooriad. Iga mudel on programmeeritud matemaatiline kirjeldus, mis realiseeritakse arvutustehnika abil. Mudelite usaldusväärsus sõltub kliimasüsteemi komponentide lähteandmetest, mis on alati ebatäpsed.

Kliimakõikumiste mudeli koostamisel ei jätku atmosfäärikomponentidest ja see tuleb ühendada maailmameremudeli ja biosfääri evolutsiooniga, mistõttu saadav mudel on ülikeerukas ning praktiliselt mittekasutatav. Näiteks ookeanide mõju kliimale on kolossaalne, sest ookeanid ja mered koguvad endasse palju rohkem soojust kui maismaa. Ookeanides on lõputult liikuv hiidkonveier, mille vooluhulk on praegu 20 miljonit kuupmeetrit sekundis, mis enam kui 20 korda ületab kõigi maailma jõgede vooluhulga. Selle liikumise aluseks on vee erinev temperatuur ja soolsus ning ta jaotab ligikaudu 25% Päikeselt saabuvast kiirgusenergiast soojuse näol ümber. Kuid möödaniikus oli mandrite asend hoopis teistsugune ja ka konveier erines nüüdisaegsest. Seda on aga raske rekonstrueerida. Seetõttu tuleb praktikas piirduda lihtsustatud mudelitega juba ette teades, et need ei saa olla päris õiged.

Erinevaid füüsikalisi-matemaatilisi kliimamudeleid on lõpmatu hulk ja neid jaotatakse deterministlikeks ja stohhastilisteks. Modelleerimine algab algtingimuste fikseerimisega ja juba siit saavad alguse suured vastuolud. Maavälistest teguritest sõltuv kliimamuutuste mudel on usaldusväärne vaid nende loojatele, täiesti vastuvõetamatu aga selle kriitikutele. Jääaegade kliima rekonstrueerimiseks kasutatakse lihtsustatud inversiooni mudelit: kliima rekonstrueeritakse paleoliustiku ulatuse, jää oletatava paksuse ja maapinna kompensatsioonilise vajumise alusel, millest omakorda tuletatakse atmosfääri tsüklonaalse tegevuse seaduspära.

Akadeemik Anto Raukas