

# Nordrusland - et krydsfelt for Istidens gletschere og nutidens kvartærgeologer

Kurt H. Kjær, Svend Funder, Michael Houmark-Nielsen og Jan K. Nielsen

I sidste istid kæmpede flere store iskapper fra Skandinavien, Barents- og Karahavet på skift om at invadere den nordlige del af Rusland. De spor, som iskapperne efterlod på det eurasiske kontinent, fortæller os i dag om de klimaændringer, der fandt sted gennem sidste istid og hjælper os til bedre at forstå mekanismerne og drivkræfterne bag det nuværende klimasystem. Et europæisk forskningsprojekt har siden 1995 forsøgt at belyse forholdene i tiden under og umiddelbart før sidste istid, samt processerne bag iskappernes dannelse og afsmeltning, varigheden af de enkelte isfremstød, og sammenhængen med ændringer i de nordatlantiske havstrømme.

## KLIMA OG IS PÅ SOKKELEN

En af de væsentligste årsager til ændring af Jordens klimaforhold er dannelse og smeltning af iskapper på landjorden. Iskapperne indvirker på det globale klima især gennem deres påvirkning af den mængde solstråleenergi, der absorberes eller kastes tilbage fra jorden. Overfladen af en sneklædt iskappe reflekterer væsentlig mere solstråleenergi til verdensrummet end en overflade, som er bar eller med vegetation. Iskappers og snes spejlende virkning på indstrålingen bevirker en afkøling af polaregnene i forhold til ækvatorialområderne. Desuden påvirker iskapper den overordnede atmosfæriske cirkulation og forholdene omkring nedbørsmængde og afstrømning fra kontinenterne mod havet via floder. Almindeligvis antages det, at iskapperne blev dannet under kølige og nedbørsrige forhold i højtliggende bjergegne, hvorfra de flød ned og dækkede de omliggende lavlandsområder. Et godt eksempel på dette er den skandinaviske indlandsis' bevægelse nedover Danmark fra de svenske og norske fjelde. Men store iskapper kan også dannes under andre omstændigheder, nemlig på tørrelagte områder af kontinentalsokkelen. Sokkelområderne ligger i dag som en lavvandet yderste rand omkring kontinenterne og er adskilt fra dybhavet ved kontinentalskrænten. Sokkelen er gennemsnitlig 60 kilometer bred og dens yderrand sættes ofte ved en havdybde på 600 meter.



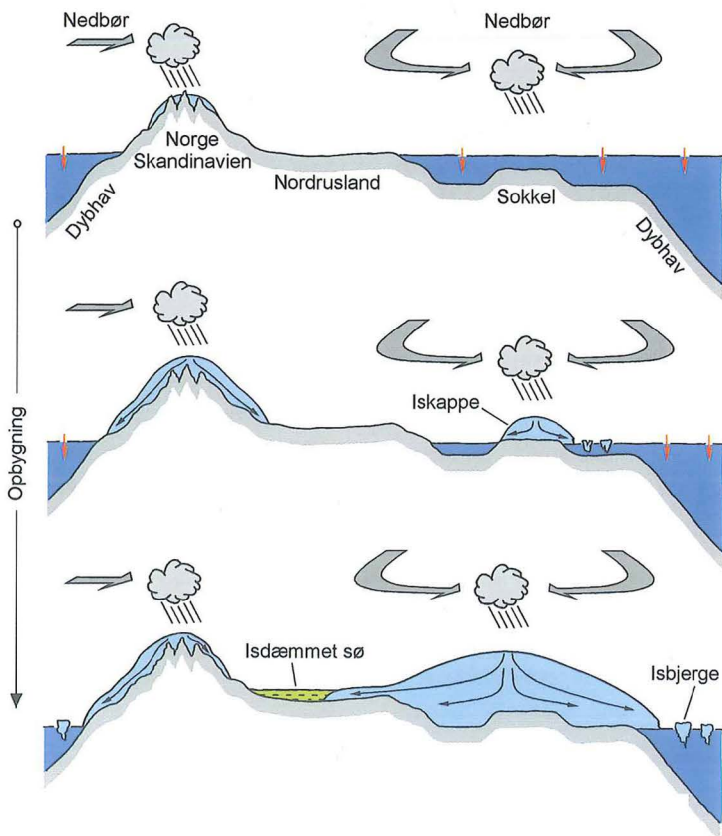
Den nordlige del af det eurasiske kontinent. Den røde boks viser undersøgelsesområdet for det skandinavisk-russiske forskerhold i Nordrusland. På kortet kan man se fordelingen mellem dybhavet og kontinentalsokkelen - hjemsted for sokkel-isen.

Det blev påvist allerede i 1950'erne af russiske forskere, at der i det nordrussiske og sibiriske lavland er spor af iskapper, der voksede op på sokkelen og bevægede sig mod kysten og ind i land. Tilgrænsende bjergområder som den store Ural bjergkæde, der adskiller europæisk Rusland fra Sibirien, forblev isfrie.

I nutidens Sibirien finder man faktisk stadig rester af disse iskapper. På grund af de lave sommertemperaturer smeltede isen ikke efter Istidens ophør, men blev som tykke islegemer indkapslet i permafrostlaget under taigaen og dens sedimentdække. Selvom disse forhold var velkendt i Rusland, forblev det upåagtet eller betragtet med skepsis i vesten, indtil sokkel-is hypotesen blev fremført fra amerikansk side, hvor den umiddelbart blev gjort til hovedansvarlig for iskappedannelse fra sidste istids begyndelse.

At Barentshavet havde rummet en selvstændig iskappe blev senere påvist gennem undersøgelser på Svalbard i 1990'erne, hvor hævnning af gamle strandaflejringer tydede på, at iskappens centrum havde ligget midt ude i det nuværende Barentshav. Men da hovedområdet for udbredelsen af sokkel-isen lå i det tidligere Sovjetunionen og dermed var næsten utilgængeligt for vestlige forskere i både fysisk og sproglig forstand, var dens eksistens stadig omgæret med en vis mystik, stor usikkerhed og dens rolle overset i bedømmelsen af tidligere globale klimaændringer.

En iskappe på sokkelen dannes først, når havniveauet falder i verdenshavet og sokkelen tørlægges som følge af, at vand bindes i iskapper på land. Her spiller væksten af indlandsisen på det nordamerikanske kontinent en hovedrolle, mens den langt mindre skandinaviske indlandsis synes at have haft en underordnet betydning. I Skandinavien begynder udviklingen med sne, der bliver liggende sommeren over i fjeldkæden. Det fører til opbygningen af en indlandsis. Men efterhånden som havniveauet falder tilstrækkeligt, blotlægges de højstliggende dele af sokkelen, og nedbøren, der blandt andet tilføres fra de varme nordatlantiske havstrømme, bidrager til opbygningen af mindre iskapper på den flade kontinentalsokkel. Nu er der sat en selvforstærkende proces i gang, hvor havniveauet falder yderligere, efterhånden som mere vand bindes i iskappen, hvorved mere af sokkelen blotlægges og giver plads til yderligere vækst af iskappen. På et tidspunkt når iskappen en størrelse, hvor den invaderer de omkringliggende landområder og blokerer for afstrømningen af floder fra kontinentet. Blokeringen fører til dannelsen af kæmpemæssige isdæmmede søer foran iskappen med opmagasinering af ferskvand. Ved randen til dybhavet vil iskappen kunne flyde et stykke ud i havet, hvorefter den vil bryde op - begynde at kalve og sætte isbjerge.



Skitse af is-opbygning på kontinentalsokkelen og dens indflydelse på flodernes udløb.



Den eurasiske 'nordsokkel' spillede en hovedrolle i dannelsen og udviklingen af iskapper på sokkelen, fordi den er verdens bredeste (op til 1.300 kilometer) og laveste med kun 100-200 meters vanddybde - iskapper har her haft særdeles gunstige vilkår for at vokse sig store og indflydelsesrige. Samtidig har 'nordsokkelen' en kritisk geografisk placering på grænsen til Arktis, hvor luften er tilstrækkelig varm til at indeholde rigelige mængder af nedbør, mens temperaturerne på jorden er så lave, at sne kan blive liggende sommeren over. Det store lavvandede område er også endestation for både indstrømningen af varmt atlantisk overfladevand til Arktis og for afstrømning af floder, der dræner store dele af kontinentet, og er dermed storleverandør af ferskvand til oceanerne, som igen menes at være en af kræfterne bag klimaændringer i hvert fald i Kvartærtiden (se infoboks). Sagt med andre ord udgør den eurasiske 'nordsokkel' en klimafølsom platform, der er en aktiv faktor i det globale klimasystem, hvor ikke mindst ændringer i havniveau og overfladestrømning kan optræde som udløsende faktorer for overordnede klimaændringer.

### Infoboks KVARTÆRTIDEN

Kvartærtiden, også kaldet Pleistocæntiden, er foreløbigt det sidste kapitel i Jordens historie og begyndte for ca. 2,5 millioner år siden. Perioden udmærker sig ved hurtige skift mellem kuldeperioder - **istider**, og kortere varmeperioder - **mellemistider**. Vi lever på nuværende tidspunkt i en mellemistid, der har varet 12.000 år. I de sidste 800.000 år har vi haft otte istider. Den overordnede styring af klimasvingningerne skyldes uregelmæssigheder i Jordens bane om solen, **Milankovitch-effekten**, der forårsager ændringer i solstrålingen og dens fordeling på Jordens overflade. Ændringerne forstærkes af drivhusgasser, støv i atmosfæren og ikke mindst omlægning af havstrømmene. I hele dette forløb spiller opbygningen af de store iskapper en nøglerolle på grund af deres virkning på den atmosfæriske og oceaniske cirkulation.

**Mellemistiderne** varede 10.000-20.000 år med klima og naturforhold næsten som det nuværende, og ligesom nu eksisterede den grønlandske indlandsis og den langt større iskappe over Sydpolen. Iskapperne dækker ca. 10 % af Jordens landareal. Den yngste mellemistid kaldes Eem-mellemistiden.

**Istiderne** varede ca. 100.000 år og iskapperne voksede til at dække ca. 30 % af Jordens landareal. På den nordlige halvkugle var iskappen over Nordamerika langt den største. På vore breddegrader herskede mammutsteppen - åbent græsklædt land med spredte lunde og skove og et rigt dyreliv af store pattedyr som mammutten. Istidernes klima var ikke alene koldt, det var også meget omskifteligt, og iskapperne voksede og smeltede mange gange i løbet af en istid. Når iskapperne voksede på land, sank vandstanden i verdenshavene – op til mere end hundrede meter.



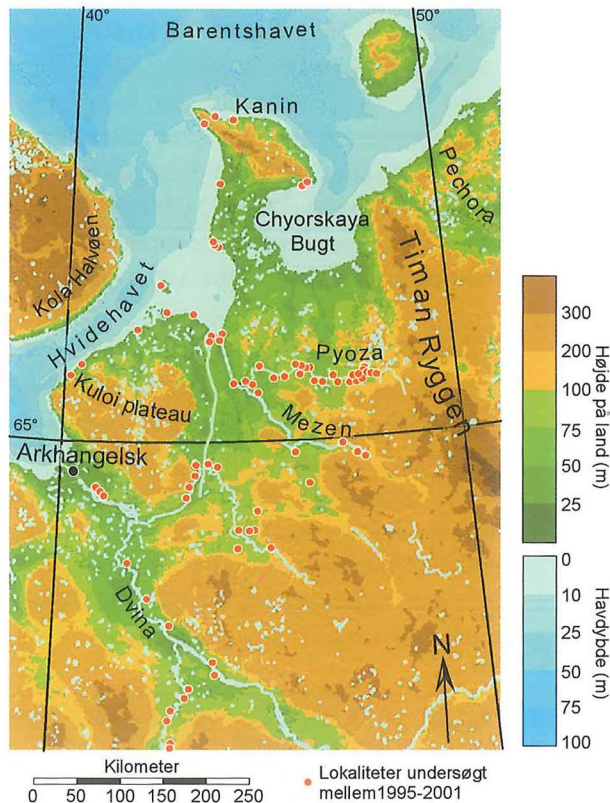
## FORMÅL, FELTARBEJDE OG ARKHANGELSK REGIONEN

Med denne viden i bagagen begyndte vestlige kvartærgeologer efter jerntæppets fald at søge kontakt med russiske forskere. I 1994 startede en række samarbejdsprojekter i det nordlige Rusland og Sibirien, fra Karelen i vest til Laptevhavet i øst - et område som strækker sig over mere end 100 af jordens længdegrader. Samarbejdet foregår gennem QUEEN projektet (Quaternary Environment of the Eurasian North), der omfatter 8 europæiske nationer. Formålet er at koncentrere sig om klimaudvikling og iskappedannelse gennem de sidste 130.000 år.

Selv om vores gruppe tæller mere end 70 forskere, dækker vi stadig kun en beskeden del af Rusland - et tilsyneladende uendeligt land med en infrastruktur i yderområderne, som er næsten uændret fra Zarens tid. Selvsagt vil der stadig være store områder, som ikke får besøg af en kvartærgeolog i mange år, og på kortet vil der fortsat findes 'hvide pletter', hvorfra man ikke har nutidig viden om den kvartære historie. Derfor er særlig kritiske områder blevet udvalgt for nærmere undersøgelse. Et af dem er Arkhangelsk regionen i den nordvestlige del af europæisk Rusland, hvor vi siden 1996 har været i tæt samarbejde med norske og russiske kvartærgeologer om at løse Istidens gåder.

Arkhangelsk 'oblast' er langt den største region i europæisk Rusland med et areal på størrelse med Frankrig. Befolkningstætheden er forholdsvis lille med et indbyggerantal på omkring 1,5 millioner, hvoraf ca. 0,5 million lever i selve Arkhangelsk by, hvor floden Severnaya Dvina munder ud i Hvidehavet. Resten af befolkningen lever i landsbyer langs med de utallige større og mindre floder, som gennemskærer landet.

De største af floderne, Severnaya Dvina og Mezen, kan i størrelse sammenlignes med Rhinen



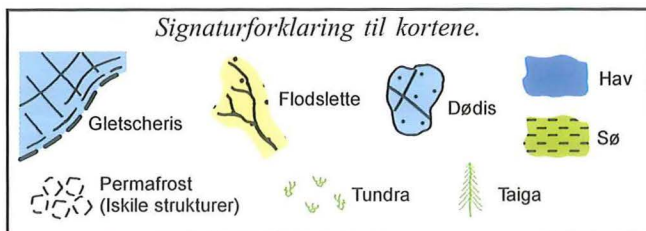
*Arkhangelsk regionen, et område ca. 10 gange større end Danmark, med de lokaliteter vi har undersøgt siden 1995 og som danner grundlag for de efterfølgende kort. Kortgrundlag fra Jakobsson, 2000.*

og Elben i Vesteuropa. Både Dvina og Mezen løber oven på dybe bassiner fyldt med sedimenter fra Kvartærtiden, hvor nutidens floder har skåret sig ned og blotlagt store dele af den senkvartære lagfølge. Bassinerne afgrænses indbyrdes af Kuloi plateauet, der flader ud i ca. 150 meters højde. Mod øst afgrænses Mezen flodens bassin af Timan ryggen, som er en nedslidt bjergkæde, der når højder på op til 300 meter og løber ca. 800 kilometer fra nord til syd med en fortsættelse på den nordlige del af Kanin halvøen. Tilsyneladende har den spillet en rolle i opbygningen af lokale iskapper på land. Desuden adskiller Timan ryggen Mezen-Dvina bassinerne fra Pechora flodens bassin mod øst.

En vigtig del af transporten i forbindelse med feltarbejdet foregår ved sejlads op og ned ad floderne i småbåde eller langs med Hvidehavs- og Barentshavskysterne i større fartøjer for at undersøge klinternes sedimentlagfølger. Langs nordkysten af Kanin halvøen strækker klinterne sig ubrudt over 10-20 kilometer og når en højde på op til 80 meter. Her kan man få et usædvanlig detaljeret indblik i Istidens begivenheder. Inde i landet derimod er der tæt, ufremkommelig taiga, moser og sumpområder, hvor kun myg eller myriader af andre blodtørstige insekter sidder og venter på deres chance. Der findes dog lokaliteter af en sådan vigtighed, at de må besøges, og så foregår transporten med de store russiske helikoptere. Tæt på 80 lokaliteter er på denne måde beskrevet i detalje og danner baggrund for vores sammenstilling af Istidens skiftende miljøer og de medfølgende palæogeografiske kort.

## KORTENE

I en serie af kort har vi forsøgt at vise fordelingen af land, hav, iskapper, søer og flodaflejringer for nogle af kvartærhistoriens væsentlige omdrejningspunkter gennem de sidste 130.000 år i nordvest Rusland - begivenheder som udvider vores viden om de overordnede miljøændringer i de nordlige områder af vores kontinent, især hvad angår samspillet i tid og rum mellem de forskellige iskapper, som har hjem søgt området. I kortene indgår både vore egne resultater og tidligere russiske arbejder. I nogle tilfælde har vi måttet ty til fantasien for at få et meningsfyldt billede ud af de mange observationer.



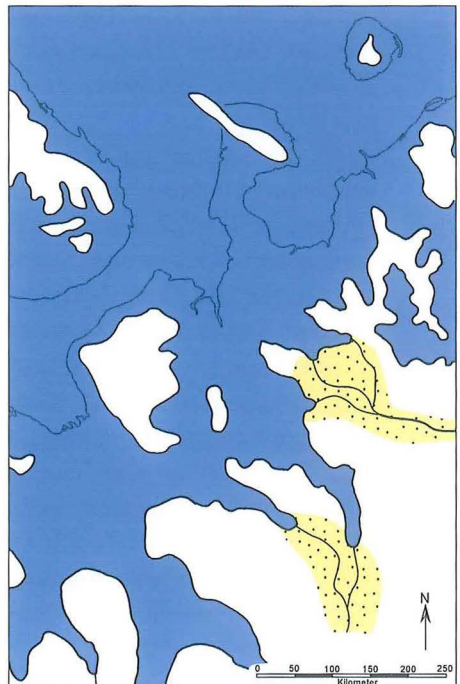


## 130.000 ÅR FØR NU

Det er mere end 150 år siden, at den berømte engelske geolog Impey Murchison kunne vende hjem og fortælle, at man langs floder i Arkhangelsk regionen kunne finde marine aflejringer med friske velbevarede skaller af nulevende muslingearter så langt som 300-400 kilometer fra den nuværende kyst. Murchison var ansat af den russiske zar til at lave et geologisk kort over Rusland til og med Ural bjergene, hvilket han også fuldførte og publicerede i 1845. Snart efter blev det vist, at denne såkaldte 'Boreale Transgression' dækkede store dele af Nordrusland og Sibirien mod øst helt frem til Taymyr halvøen, og at aflejringerne stammer fra Eem-mellemistiden. Aflejringerne er altså samtidige med Cyprinaleret herhjemme, som i øvrigt blev opdaget og udforsket på samme tid i 1840'erne. Cyprinaleret, der er en analog til de marine aflejringer fra Eem-mellemistiden i Nordrusland, er opkaldt efter *Cyprina islandica* - molboøstersen, som senere har skiftet navn til *Arctica islandica*.

Eemhavet i Nordrusland var et lavvandet hav med mange øer, holme og bugter. Det lignede på den måde de indre farvande, vi finder i Danmark, og kunne ligesom dem byde på en rigdom af forskellige havmiljøer. Det ser man af den rige og varierede fauna og de mange typer af sedimenter. Navnet 'Den Boreale Transgression' skyldes, at mange af muslinge- og sneglearterne i vore dage lever i den boreale zone, som med sit karakteristiske dyreliv strækker sig fra den Engelske Kanal i syd og op langs Norges kyst. Her følger den Golfstrømmen rundt om toppen og når mod øst til Murmansk, hvor vinterhavisen sætter en stopper for meget af dyrelivet på lavt vand. I Eem-mellemistiden strakte denne zone sig altså meget længere mod øst, og både Barentshavet og den sydlige del af Karahavet var isfrie året rundt.

*For ca. 130.000 år siden i Eem-mellemistiden trængte havet frem over den nordlige del af Arkhangelsk regionen, op til 400 kilometer fra den nuværende kystlinje. Området var et lavvandet hav med øer og holme, strømsteder og bredninger. Aflejringerne fra Eem-mellemistiden ses langs med de nuværende floder og deres rige faunaer af muslinger og snegle har været kendt og udforsket i mere end 150 år.*







*Flodskrænt ved den øvre del af Pyoza floden. De finkornede lerlag forneden i profilet er afsat på stille vand i Eemhavet. Øverst ses yngre flodaflejringer, som har skåret sig ned i Eem aflejringerne for ca. 15.000 år siden.*

Golfstrømmen var kraftigere end i vor tid og sendte store mængder af varmt vand ind i Arktis. Det mærkedes også i vore danske farvande. Her levede en del såkaldte lusitaniske arter - arter der i vore dage har deres nordgrænse ved Frankrigs kyster.

Det var et samspil af flere faktorer, der var årsag til, at havet dengang kunne nå så stor en udbredelse netop i Rusland. Den vigtigste årsag var den usædvanligt hurtige havniveaustigning i begyndelsen af Eem-mellemistiden. Nyere undersøgelser af koralrevenes vækst på den sydlige halvkugle har vist, at stigningen i en periode på ca. 1.000 år var 4 centimeter om året! Dette skete, mens det nordlige Rusland endnu hævede sig efter vægten af Saaleistidens (næstsidste istid) ismasser, men i en periode løb havniveaustigningen altså stærkere. Forholdene kan sammenlignes med Stenalderhavstigningen herhjemme. Her var det den amerikanske iskappes endelige sammenbrud, der i Stenalderen skabte en havniveaustigning, som i en periode var hurtigere end landhævningen, således at havet bredte sig for derefter atter at trække sig tilbage, da landhævningen igen blev dominerende. Blot var havniveaustigningen i den tidlige Eem-mellemistid stærkere og mere langvarig end Stenalderhavstigningen. Ud fra oplysningerne om koralrevenes vækst er det sandsynligt, at 'Den Boreale Transgression' i Rusland fandt sted for ca. 129.000 år siden og varede i ca. 1.500 år, i begyndelsen af Eem-mellemistiden.

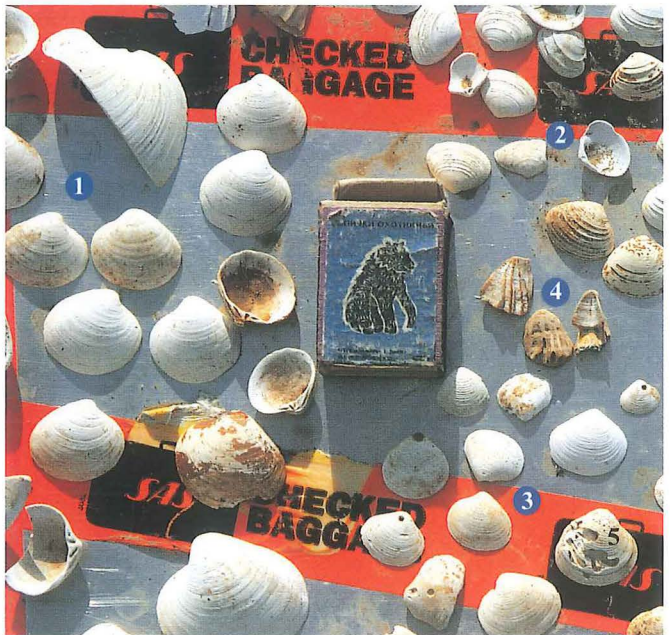




Strandsand og -grus med tæt pakkede muslingskaller fra Eem-tiden, Mezen floden.

Udpluk af tyve minutters indsamling af muslingskaller i strandsand fra Eem-tiden i Arkhangelsk området. Skallerne er overvejende fra boreale muslinger, dvs. arter der i dag lever langs vore og Norges kyster; men som ikke trænger ind i det østlige Barentshav.

Til venstre (1) for tændstikæskan molboøsters (*Arctica islandica*). Til højre (2) trugmusling (*Spisula elliptica*), (3) østersømusling (*Macoma balthica*). Desuden rurer (4) og en skal (5) af *Astarte borealis*, med spor af boreorm (*Polydora ciliate*), der også har en boreal udbredelse.





## 100.000-90.000 ÅR FØR NU

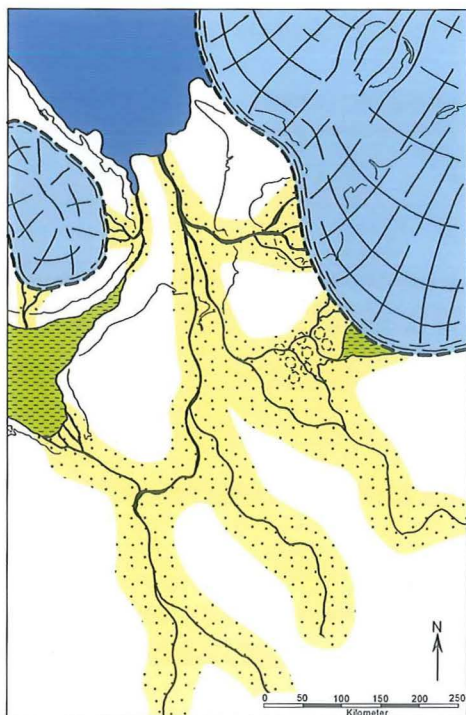
Efter en periode med faldende havniveau blev Arkhangelsk regionen allerede for 100.000-90.000 år siden invaderet af en gletscher - den første af mange som ramte området gennem den sidste istid Weichsel (se infoboks). En bred tunge eller udløbsgletscher fra en stor iskappe, centreret i Karahavet, trængte frem fra nordøst og standsede ved Timan ryggen og Kanin halvøen. Det skal ses i lyset af, at vi ikke har fundet aflejringer, der tyder på en isoverskridelse. Til gengæld findes smeltevandsaflejringer og randnære aflejringer, som er afsat umiddelbart foran gletscherfronten. Smeltevandssletten, der var vegetationsløs og havde permafrost, viser at smeltevandet fra gletscheren løb ud i havet mod nord og nordvest. Ved isranden var der søbassiner, hvor sten, grus, sand og mudder blev frigjort hurtigt - dumpede og aflejrede i en usorteret blanding lige ved fronten af gletscheren.

Om de første 10.000 år af sidste istid ved vi ikke ret meget, men den kendsgerning, at en stor iskappe voksede frem på Karahavets kontinentalsokkel og invaderede Nordrusland, tyder på at der også under afkølingen af klimaet efter sidste mellemistid blev ført nedbør frem til området, ligesom under Eem-mellemistiden. Isen trængte dog ikke langt nok frem til at blokere for udløbet af Dvina og Mezen floderne. Derimod nåede den på den østlige side af Timan ryggen at blokere for Pechora floden, og en kæmpe-

mæssig ferskvandssø - Komi søen - begyndte at brede sig over lavlandet, hvor den nåede en størrelse på 2-3 gange Danmarks areal.

På Kola halvøen er der fundet spor efter en mindre iskappe fra denne tid. Havniveauet stod muligvis noget lavere end det nuværende, og det er ikke usandsynligt, at Gorlo-halsen som leder fra Barentshavet til den centrale del af Hvidehavet - var tørlagt. Den centrale del af Hvidehavet var således en stor ferskvandssø, der opsamlede vandet fra Dvina floden.

Det lave havniveau fik floderne til at skære sig ned i de ældre aflejringer. Det ser man tydeligst langs Dvina floden, hvor alle aflejringerne fra de første 30.000-40.000 år af den sidste istid er bortroderede.



*Tiden for 100.000-90.000 år siden. Første fremstød af Karahavs iskappen i sidste istid.*



## Infoboks SIDSTE ISTID - WEICHSEL

Weichselistiden: Den sidste istid er i Nordvesteuropa opkaldt efter den polske flod Weichsel (Vistula på polsk), hvor typiske aflejringer fra denne er beskrevet. Det var en pludselig afkøling, der for ca. 117.000 år siden startede opbygningen af iskapper, sandsynligvis i det østlige Canada. Hermed begyndte en selvforstærkende proces, hvor yderligere afkøling førte til fortsat isvækst mens vandstanden i havene sank.

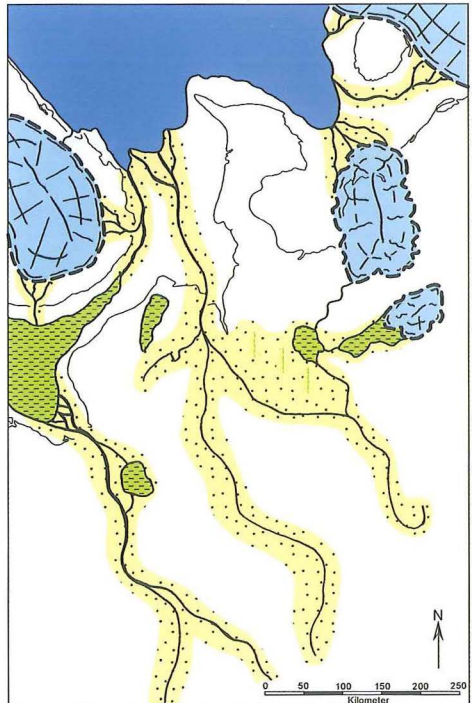
Istidens koldeste perioder var for ca. 60.000 og 20.000 år siden. Her nåede iskapperne deres største udbredelse langs den nordatlantiske kontinentalsokkel. Havniveauet sænkedes omkring 120 meter og mammutsteppen brede sig så langt sydpå som til det sydlige Frankrig. Jordens gennemsnitlige årstemperatur var 5° – 10° lavere end nu. Det var en pludselig temperaturstigning, der for ca. 12.000 år siden definitivt brød den onde cirkel og bragte Istiden til en afslutning. Mammutsteppen forsvandt og erstattedes af skov over det meste af området - vores nuværende mellemistid, Holocæntiden, var begyndt.

### 90.000-75.000 ÅR FØR NU

I perioden for mellem 90.000 og 75.000 år siden skete der en mildning i klimaet, og iskappen fra Karahavet begyndte at smelte. Under tilbagesmeltning efterlod Karahavs iskappen imidlertid 'død' gletscheris i store områder på Timan ryggen - gletscheris som var helt isoleret fra den del af iskappen, som stadig var i bevægelse trods den generelle mindskning.

Mange mindre søer blev dannet i lokale lavninger, ofte uden nogen forbindelse til afsmeltning af gletscheris. I aflejringer fra disse søer kan man ved studier af planterester og pollen aflæse datidens klimasignal, som fortæller at med varmeperioden fulgte en ændring i vegetationen, hvor steppe-tundra med urter og græs voksede side om side med subarktiske åbne skove med birk, fyr og nåletræer.

*Tiden for 90.000-75.000 år siden. På Timan ryggen opbyggedes mindre lokale iskapper på resterne af død is efterladt af Karahavs iskappen.*



Varmeperioden fik dog en brat afslutning og flodsletter prægede af permafrost blev på ny det foretrukne miljø. På et tidspunkt genoplivedes de isolerede områder med dødis af sne fra Nordatlanten og små selvstændige levende gletschere begyndte at vokse frem på Timan ryggen. 'Hvidehavssøen' havde muligvis samme udbredelse som før.

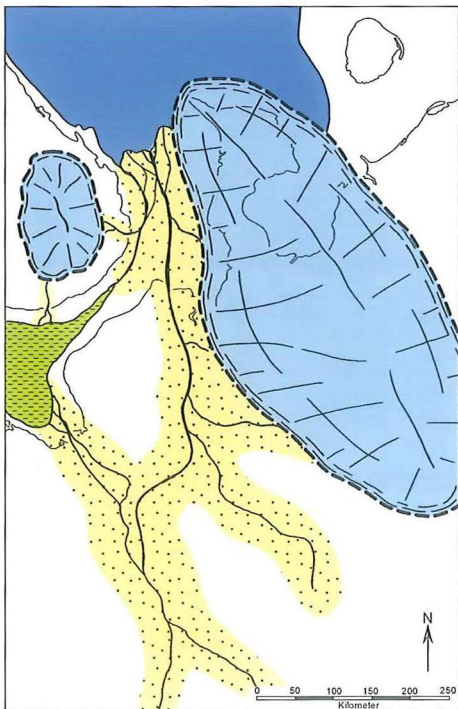
### 75.000-65.000 ÅR FØR NU

Karahavs iskappen forlod helt området for 75.000-65.000 år siden, mens de små gletschere på Timan ryggen voksede sammen til en større selvstændig Timan iskappe. Opdagelsen af Timan iskappen var uventet for os, og det kan ikke nægtes, at det har ført til en del polemik indenfor den kreds af videnskabsfolk, der arbejder i Rusland, fordi sporene efter iskappen foreløbigt kun er fundet vest for Timan ryggen. Interessen samler sig også om, at Timan iskappen er de første spor af is på det nordrussiske fastland under sidste istid. Opbygningen af iskappen hang dog nøje sammen med udviklingen af sokkel-isen i Karahavet.

Vi forestiller os, at der i tiden, umiddelbart efter at Karahavs iskappen begyndte at smelte tilbage, blev etableret et stabilt højtryk over dens center.

Lavtryksbanerne som ellers bragte næring i form af nedbør (sne) til gletscheren ind fra vest og sydvest blev afbøjet på grund af højtrykket og fordelte nedbøren langs med den marginale del af iskappen.

Mange steder fandt nedbøren afløb gennem floder, men over Timan ryggen gik nedbøren til at genoplive de isolerede dødisområder, som efterhånden flød sammen til en større iskappe. Under opbygningen voksede Timan iskappen formodentlig hurtigst mod vest hvorfra den største mængde nedbør kom.



*Tiden for 75.000-65.000 år siden. Den landbaserede Timan iskappe når sin største udbredelse.*





*Profil gennem aflejringer fra sidste istid - Weichsel. Nederst till fra Timan iskappen for ca. 70.000 år siden. Till-bænken er udbredt næsten som et tæppe i området. Øverst ses flodaflejringer dannet for ca. 15.000 år siden.*

Den nøjagtige udbredelse af Timan iskappen er stadig usikker og bygger på få lokaliteter eller afgrænsede områder – Pyoza floden, mundingen af Mezen og nordkysten af Kanin halvøen. Men langs med den nuværende Pyoza flod udbreder till, aflejret af Timan iskappen, sig som et tæppe over en afstand på mere end 100 kilometer. Till - eller morænemateriale, som det tidligere blev kaldt i ældre skandinavisk fagsprog - består af en blanding af ler, silt, sand, grus og sten, som er aflejret ved bunden af en gletscher. Det er et af de mest almindelige isaflejrede sedimentter og danner jordoverfladen i lidt over halvdelen af Danmark.

I Rusland skelner vi till, som er afsat fra de skiftende iskapper under den sidste istid, ved hjælp af deformationsstrukturer og klastefabric analyser (stenorienteringsmålinger), som begge kan fortælle om isens bevægelsesretning. Derudover ser vi på sammensætningen af stenindholdet i till, som viser hvor isen har spist af undergrunden og dermed indirekte hvor den kom fra.

Under den maksimale udbredelse kunne man forestille sig, at nordranden af Timan iskappen flød ud i Barentshavet, hvor medtransporterede sedimentter dumpedes i nærheden af en kalvende gletscherfront.

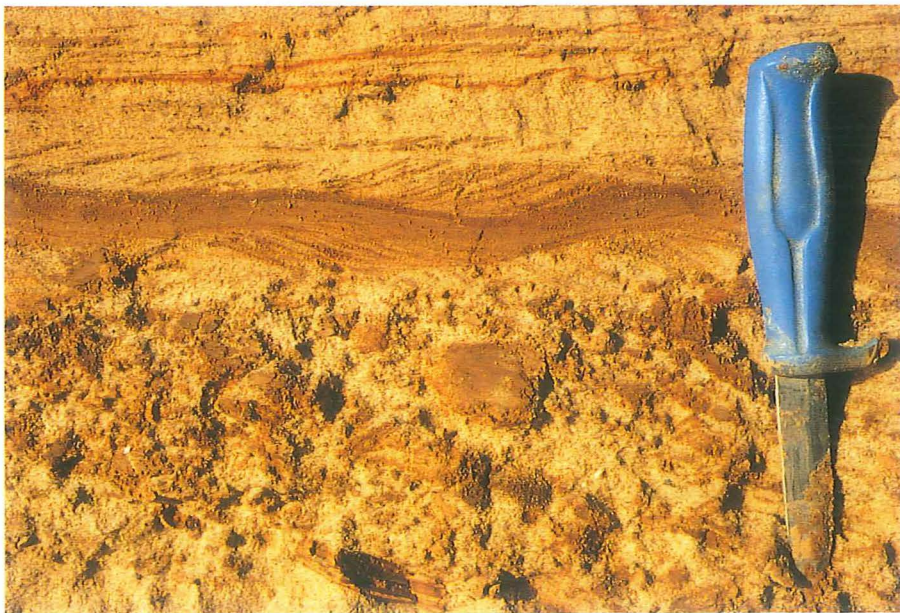


## 60.000 ÅR FØR NU

For ca. 60.000 år siden blev området omkring Kanin halvøen og nordkysten af Kuloi plateauet et krydsfelt for istidens gletschere. Karahavs iskappen var atter på vej frem fra nordøst efter at have været borte fra Arkhangelsk området i 15.000-20.000 år. Samtidig blev nedbørsmønstret omlagt til fordel for Karahavs iskappen, og Timan iskappen modtog kun ringe mængder sne til at holde gletschere ved lige og var derfor under hastig tilbagesmeltning. En mindre iskappe kunne tænkes at have eksisteret på Kola halvøen.

Nedpresningen af jordskorpen efter Timan iskappen eller vægten i forbindelse med den fremrykkende Karahavs iskappe har formodentlig sænket området i en sådan grad, at havet har haft mulighed for at trænge ind over det isfrie land - op til 20 meter over det nuværende havniveau.

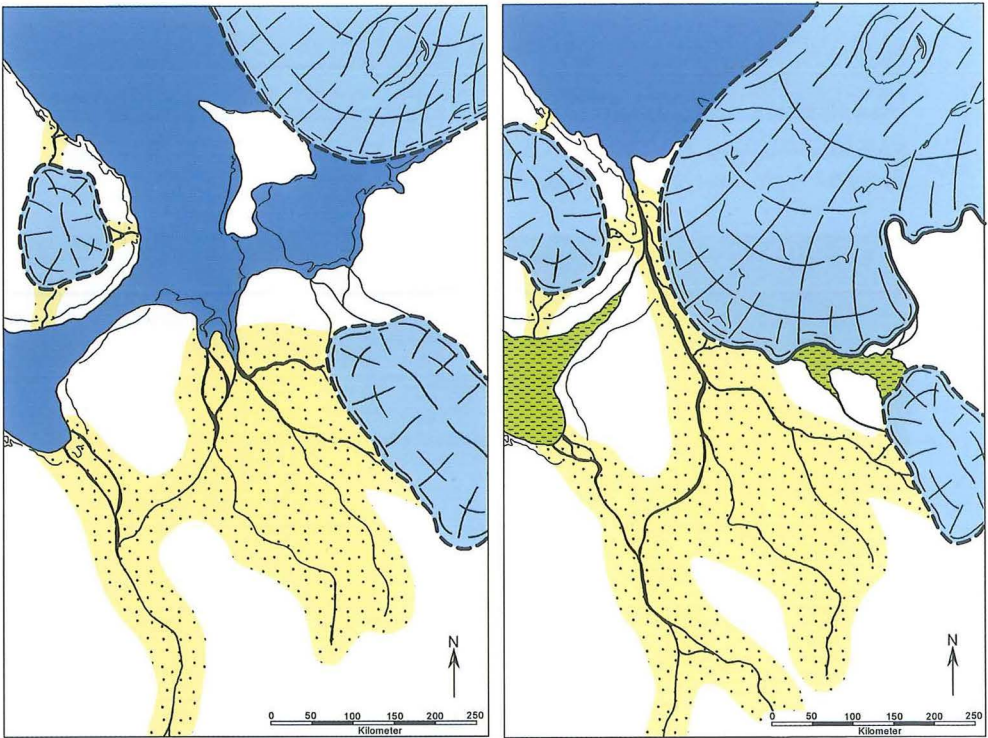
Et bredt område langs med Kuloi kysten, Kanin halvøen og Chyorskaya bugten har skiftevis været tørlagt og dækket af havet i forbindelse med lavvandede marine forhold, hvor også tidevandspåvirkning har spillet en rolle. Muligvis trængte havet også frem til den centrale del af Hvidehavet og bragte en ende på den gamle 'Hvidehavssø'. Langs Dvina floden løb mæandrerende flodarme i et landskab med permafrost mod nord og nordvest, ud i det isfrie Barentshav.



*Det østlige Hvidehav og kysten omkring Kanin halvøen var en tidevandskyst for ca. 60.000 år siden. Til venstre for kniven ses strømstrukturer, som viser at vandet har løbet i begge retninger; afsat af indstrømmende og udstrømmende tidevand.*

## 55.000-50.000 ÅR FØR NU

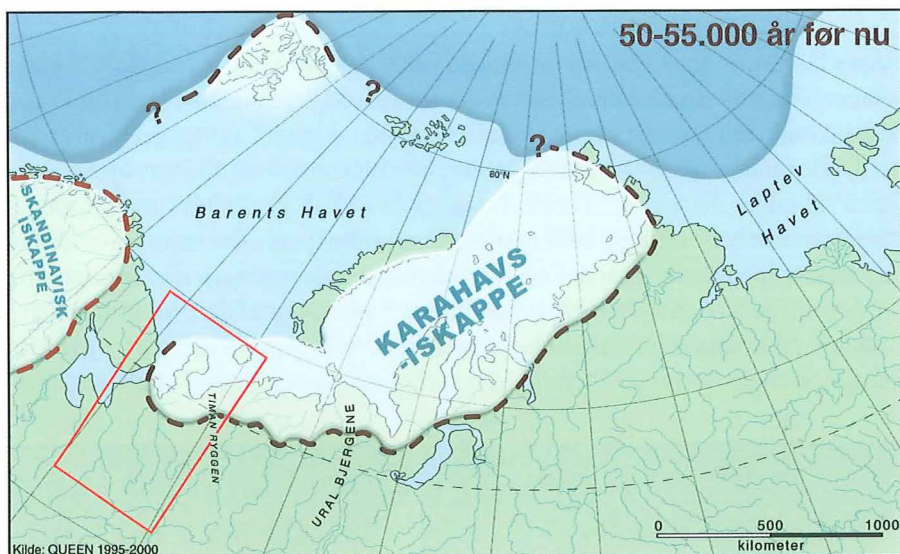
Nogle få tusinde år senere, for omkring 55.000-50.000 år siden, nåede Karahavs iskappen sin maksimale udbredelse under sidste istid. Umiddelbart nord for Pyoza floden, omkring Timan ryggen og ind i Pechora lavlandet, opbyggedes et fremtrædende randmorænebælte, hvor sedimenter blev presset/bulldozet op foran en fremrykkende gletscher fra nord. I dagens landskab genkendes randmorænebæltet som en serie aflange bakker og sammensatte rygge, der nemt forbindes til en sammenhængende israndslinie. Karahavs iskappen standsede formodentlig før den nåede Kola halvøen, hvor der ikke er fundet spor af den. Samtidig synes floderne på kontinentet også at have haft frit udløb til Barentshavet, og derfor må der have eksisteret en åben floddal mellem iskappen og Kola halvøen. Men



*Tv.: Tiden for 60.000 år siden. Timan iskappen smelter, Karahavs iskappen glider frem og havet erobrer dele af Hvidehavskysten.*

*Th.: Tiden for 55.000-50.000 år siden. Karahavs iskappen når sin største udbredelse og blokerer for afstrømningen af Pyoza floden, hvorved en del af Timan iskappen smelter bort i en issø. Den fuldt optrukne linie angiver en sikker kortlægning af israndslinien på basis af randmoræner og andre israndsaflejringer.*





*Karahavs iskappen for 55.000-50.000 år siden. Et mere detaljeret billede over Arkhangelsk regionen i denne periode er vist på forrige side.*



*Kap Tolstik ved munden af Mezen floden på Hvidehavskysten. I kystklinten ses sporene af tre forskellige isfremstød fra sidste istid. Næsten øverst ses till aflejret i forbindelse med Karahavs iskappens fremstød for 55.000-50.000 år siden. Den nederste tillbænk er aflejret af Timan iskappen.*



øst for Timan ryggen nåede Karahavs iskappen at blokere for Pechora floden, og endnu en kæmpemæssig issø bredte sig ud over lavlandet

Mens dette skete smeltede de sidste rester af Timan iskappen bort. Den havde på dette tidspunkt en forholdsvis beskeden størrelse der dækkede over den sydligste og højeste del af Timan ryggen. Det meste af tiden kunne smeltevandet fra Timan iskappen løbe frit ud til soddelen gennem Pyoza og Mezen bassinet, men i tiden omkring Karahavs iskappens maksimale udbredelse var denne forbindelse blokeret.

Resultatet blev en opstemning af smeltevand mellem de to iskapper og dannelsen af mindre issøer. I flodskrænter langs med den nuværende Pyoza flod kan man se en gradvis overgang mellem till aflejret af Timan iskappen og issøens fint lagdelte muddersedimenter. Sandsynligvis opstod der igen en ferskvandssø i den centrale del af Hvidehavet, da Gorlo – halsen mellem havet og søen - på ny blev tørtlagt.



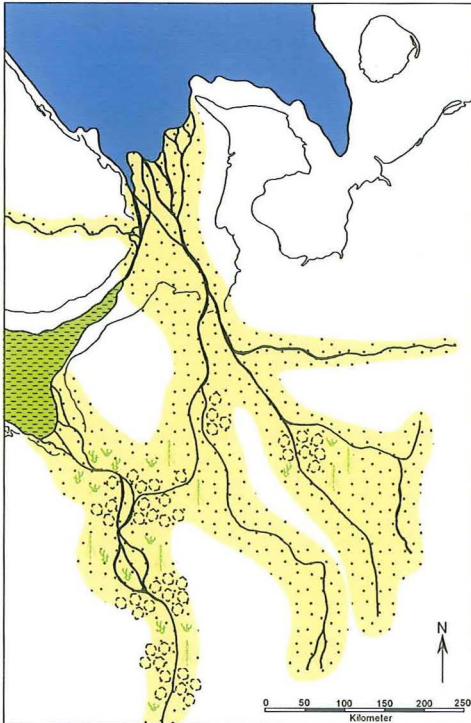
*Gradvis overgang mellem till aflejret af Timan iskappen og issøsedimenter fra den sø, der opstod, da isen smeltede bort.*

## 40.000-25.000 ÅR FØR NU

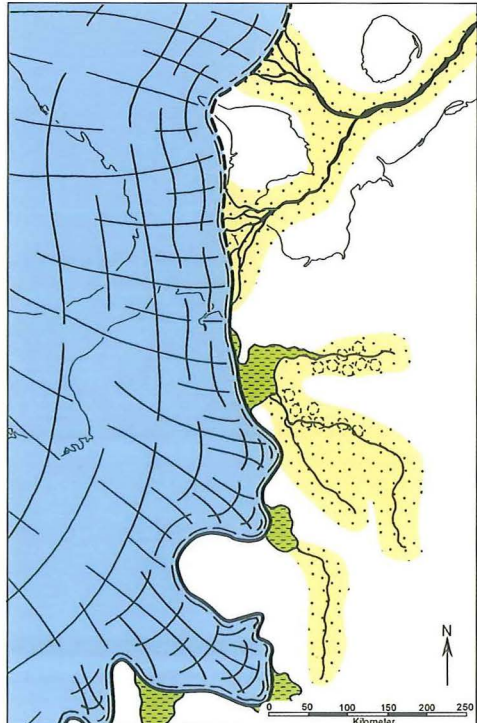
En markant mildning i klimaet fandt sted for ca. 40.000 år siden. I perioden som fulgte efter, forlod alle iskapper Arkhangelsk området. Isfrie forhold synes derfor at have hersket igennem mange tusinde år.

Det mest fuldstændige billede af tiden finder vi i aflejringer langs med Dvina. Her blev lagdelt, sorteret sand og grus afsat i flodkanaler, der førte vandet mod nord og nordvest. Ofte fandt vandet nye veje og de gamle flodlejer tørrede ud og efterlod flodsletten udsat for kryoturbation, dvs. kraftige forstyrrelser af de øverste sedimenter i forbindelse med frost-tø processer. Her dannedes også iskiler (se forsidefoto) - en sikker indikation på, at der trods mildningen stadig var permafrost.

Samtidig med at floderne flyttede sig henover sletten, voksede der tørvemoser frem, hvor planteresterne viser, at taigaen vandt indpas i tundraen. Senere stødte mammutten til denne udvikling sammen med åbne græsklædte stepper.



*Tiden for 40.000-25.000 år siden. Isen er smeltet tilbage og på de store flodsletter dækker tundraen over permafrossen jordbund.*



*Tiden for 17.000 år siden. Den skandinaviske indlandsis når sin største udbredelse mod øst og opdæmmer samtidig en række mindre issøer foran gletscherfronten.*



## 17.000 ÅR FØR NU

Det bedst belyste kapitel i vores historie fra Rusland er tiden omkring Istidens kulmination, for ca. 20.000 år siden. Endnu en berømt geolog Wilhelm Ramsay, der trods sit engelske navn var finsk, førte an i denne afdækning. Wilhelm Ramsay besøgte Arkhangelsk regionen flere gange i begyndelsen af 1900-tallet og nedlagde her en grundsten, som selv i dag er til stor hjælp og inspiration.

For 17.000 år siden skete der et skift i isens bevægelse. Den kom ikke længere fra Karahavet eller Timan ryggen, men fra Skandinavien. Det er første og eneste gang i sidste istid, at den skandinaviske indlandsis er nået så langt mod øst. I nord var den vokset sammen med en iskappe i Barentshavet, som okkuperede det meste af Barentshavet, samt Svalbard og Franz Joseph Land. Iskappen i Barentshavet var altså en sokkel-is ligesom Karahavs iskappen. Den nåede sin største udbredelse i Istidens sidste del, hvor havniveauet i verdenshavet var ca. 120 meter lavere end det nuværende, og store dele af Barentshavet blev tørlagt. Den skandinaviske indlandsis rykkede frem over Arkhangelsk området fra Finland og fra Kola halvøens høje fjelde og bevægede sig som en bred tunge op i Dvina bassinet. Mod øst nåede den frem til Pyoza flodens udmunding i Mezen, samt helt frem til vestkysten af Kanin halvøen. Formodentlig har isen her været ganske 'tynd' i den randnære del (300-400 meter) og dermed tilladt, at landskabet styrede gletscherens udbredelse, hvilket kan aflæses i de mange lobeformede gletschertunger, som fulgte flodbassinerne nøje.



*Den skandinaviske indlandsis og Barentshavs iskappen for 17.000 år siden. Et mere detaljeret billede for Arkhangelsk området ses på figuren til venstre.*



*Allerøverst ses en till aflejret af den skandinaviske indlandsis ved Dvina, tæt på Arkhangelsk by.*

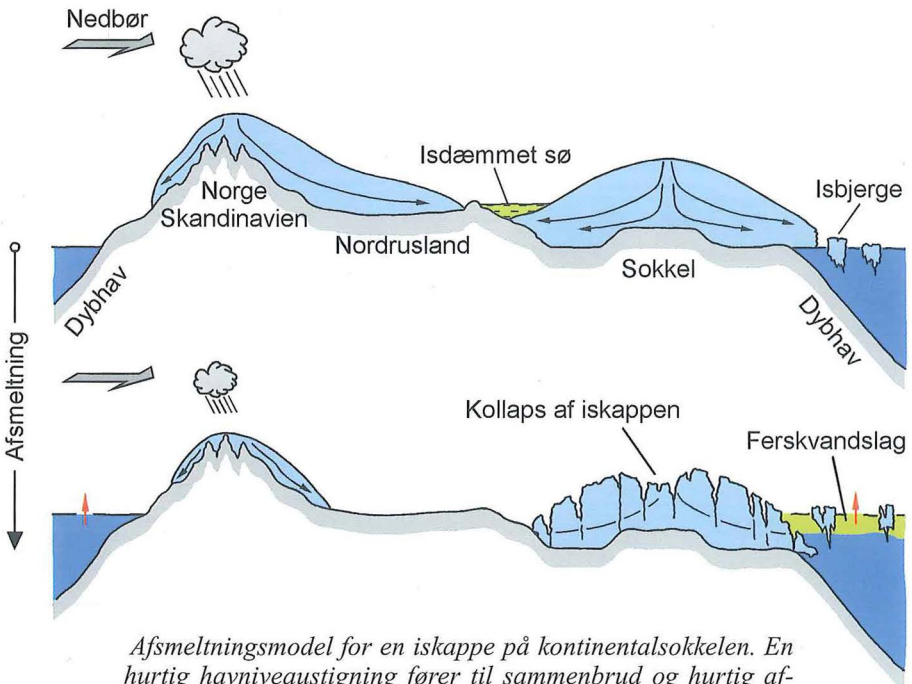
Allerede i 1903 forudsagde Wilhelm Ramsay en udbredelse af den skandinaviske indlandsis, der kommer meget tæt på vores nutidige opfattelse. Ved hjælp af nefelinsyenit, en karakteristisk ledeblok, kunne han spore den fra oprindelsesstedet på Kola halvøen til den forsvandt ca. 500 kilometer længere mod øst og kunne derved anslå, hvor langt isen nåede. Foran gletscherfronten blev der opdæmmet en del mindre issøer med fint lamineret mudder tilført af smeltevand fra gletscheren og vand fra floderne. De store flodsletter med deres permafrost eksisterede stadig og strukturer i lagene viser, at vandet til tider løb mod syd - bort fra det nordlige hav.



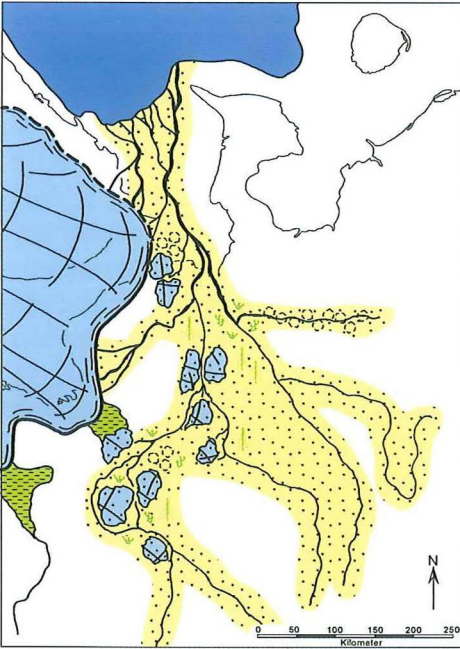
## 15.000-12.000 ÅR FØR NU

Afslutningen på Istiden begyndte at tone frem for 15.000-12.000 år siden. En pludselig temperaturstigning og reduktion i mængden af nedbør bevirkede, at iskapperne begyndte at smelte og havniveauet i verdenshavene steg kraftigt. Den selvforstærkende proces bag om dannelsen af en iskappe på sokkelen forløb nu modsat - iskappen smeltede og havniveauet steg, hvorved iskappen 'druk-nede' og kollapsede - havniveauet steg yderligere...etc. Sammenbrud af isbarrierer forårsager pulser med koncentreret udsendelse af fersk smeltevand til oceanerne, der meget vel kan have ændret cirkulationsmønstret af de nordatlantiske havstrømme. Muligvis var ændringerne så drastiske at cirkulationsmønstret brød helt sammen.

I Arkhangelsk regionen var den skandinaviske indlandsis i opbrud og begyndte at smelte ned og retirere mod vest - efter et kortvarigt ophold ved Hvidehavskysten forsvandt gletscheren helt ud af området. Gletscheren efterlod dog et bælte af dødis i lavningerne langs med den tidligere isrand. Dødisen forsvandt først et stykke tid ind i vores nuværende mellemistid, Holocæn, og et dække af sediment nåede at smelte frem og vegetation nåede at slå rod ovenpå dødisen.



*Afsmeltningsmodel for en iskappe på kontinentalsokkelen. En hurtig havniveauanstigning fører til sammenbrud og hurtig afsmeltnings af iskappen. Store mængder af fersk smeltevand løber ud i havet og påvirker de nordatlantiske havstrømme.*



*Tiden for 15.000-12.000 år siden. Den skandinaviske indlandsis er under tilbagesmeltning og efterlader dødis i lavliggende områder. Der er et kortvarigt ophold i denne tiltagesmeltning ved Hvidehavskysten.*

Mellem dødisklumperne løb der floder i et landskab med en mængde søer, som modtog smeltevandet fra den vigende gletscherrand. Pyöza floden dannede nye flodaflejringer, som ofte blev permafrosne og udsat for kraftige subarktiske vinde.

I små vandfyldte lavninger er der bevaret plantefragmenter, som fortæller at en tundra- og taigavegetation også var på vej. Efter at vægten af både Barentshavs iskapen og den skandinaviske indlandsis forsvandt, begyndte landet hurtigt at hæve sig.

Pyöza, Mezen og Dvina floderne skar sig dybt ned i ældre sedimenter og dannede de 20-50 meter høje flodbrinker, som vi har studeret de sidste 6 år. Til slut dækkedes Istidens aflejringer ofte af et lag af tørv, som når en tykkelse på 8-10 meter.



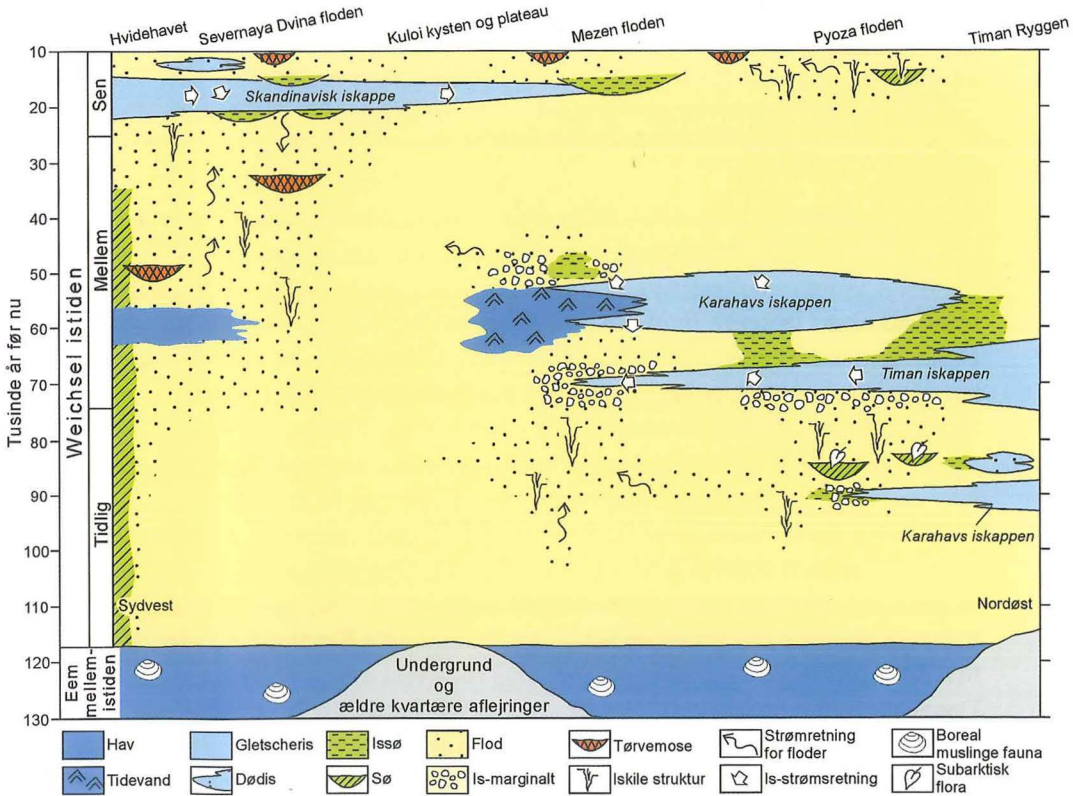
*Skrænt udformet i tørv. Efter isens tilbagesmeltning blev Istidens aflejringer dækket af tørv, der ofte når en tykkelse på 8-10 meter.*



## ISTIDENS SKIFTENDE MILJØER OG ISFREMSTØD

Hvis man forestiller sig, at alle kortene blev lagt ovenpå hinanden i rigtig rækkefølge med de ældste kort nederst og de yngste øverst - næsten som lag i en kage - og man derefter skærer et snit tværs ned gennem 'kagen', ser man en lagfølge, som kan følges over en bestemt afstand. I virkeligheden får man et skema, som på én gang viser alle begivenhederne, som skete i Arkhangelsk området gennem den sidste mellemistid og istid. Man får med andre ord en historisk oversigt på skemaform. Vi har her valgt at lave et snit gennem lagfølgen, som løber fra Timan ryggen i øst, henover Mezen og Dvina floderne til Hvidehavet i vest. Horisontalt viser skemaet altså en distance på næsten 600 kilometer og lodret en tidsakse, som i vores tilfælde løber fra 130.000 til 10.000 år før nu.

Det første som springer i øjnene er de mange 'blanke' områder som findes i sådan et skema. Faktisk er det 'huller' eller såkaldte lakuner i lagfølgen, hvorfra vi ikke har nogen informationer om de begivenheder som fandt sted - enten fordi



*Istidens skiftende miljøer og isfremstød i Arkhangelsk området.*



*Landsbyen Loban ved Pyozha floden - en af ekspeditionens baser. De karakteristiske "Izba'er", russiske træhuse, stammer fra 1700 tallet og skaber rammen om et landsbyliv, som ikke har ændret sig meget siden da.*

de var begrænset i deres udbredelse eller fordi vi ikke har fundet spor af dem endnu. Men en af de afgørende begivenheder, som har sat tydelige spor i hele regionen, er Eem-mellemistiden. Under den sidste mellemistid trængte atlantisk overfladevand længere mod øst på den eurasiske sokkel, end det har gjort i Holocæn, vores nuværende mellemistid. Det nordrussiske område blev omdannet til et lavvandet arkipelag med mange øer, holme og bugter, der strakte sig ca. 400 kilometer syd for den nuværende kyst. Årsagen til denne udbredelse var en meget hurtig havniveaustigning ved mellemistidens begyndelse, der var stærkere end landhævningen umiddelbart efter ismassernes forsvinden.

En anden række begivenheder, som også fylder godt i skemaet, er iskappernes kommen og gåen indover Arkhangelsk området. Den iskappe, der har efterladt de mest iøjnefaldende spor, var - overraskende - en nedisning centreret på sokkelen i Karahavet. To gange under sidste istid trængte Karahavs iskappen frem til Arkhangelsk området, sidste gang så langt mod vest som til Hvidehavsregionen. Denne dannedes og smeltede bort tilsyneladende længe før Istidens kulmination for ca. 20.000 år siden, som er reflekteret i den skandinaviske indlandsis' største udbredelse. Før denne nedisning eksisterede der over Timan ryggen en mindre landbaseret iskappe, som spredte sig ud over dele af Nordrusland.



Disse resultater har i høj grad udvidet vores viden om de overordnede klima- og miljøændringer i de nordlige områder af vores kontinent. Hvis man igen forestiller sig alle kortene sammenlagt, men denne gang gennemlyst således, at alle begivenhederne ses på et kort, får man det indtryk, at der gennem hele sidste istid kunne have været nedisning i Arkhangelsk området. Dette er i princippet det billede, kvartærgeologerne - indtil for få år siden - tegnede af Istiden i det nordlige Rusland. Det blev altså oprindeligt antaget, at iskapperne i Karahavet og Barentshavet samt den skandinaviske indlandsis var samtidige. Men den tilsyneladende mest betydningsfulde, Karahavs iskappen, var i både dannelse og forfald helt ude af fase med de andre større iskapper og må derfor være styret af andre mekanismer end disse, muligvis havniveauændringer og nedbør. Havdybden i Karahavet er betydeligt lavere end andre steder på den eurasiske 'nord-sokkel', og den bliver derfor også tørlagt først, hvilket giver mulighed for en tidlig iskappedannelse her. Samtidig har Karahavet en kritisk geografisk placering på grænsen til Arktis, hvor luften er varm nok til at indeholde rigelige mængder af nedbør, mens temperaturen på jorden er så lav at sne kan blive liggende sommeren over.

Selv om vores forståelse af Kvartærtidens overordnede klima- og miljøændringer er øget betydeligt med de sidste 5-6 års arbejde i Nordrusland, er der stadig mange spørgsmål, som trænger sig på og som vi ønsker at belyse de kommende år. For eksempel - den iskappe, der ifølge tidligere modeller var anset for den mest betydningsfulde, Barentshavs iskappen, er der kun fundet få og usikre spor efter, og dens relation til den tilgrænsende skandinaviske indlandsis kender vi stadig ikke.

## ARKHANGELSK PROJEKTET

Det nuværende norsk-dansk-svensk-russiske Arkhangelsk projekt blev startet på norsk initiativ i 1995 og ledes fra Norges geologiske Undersøgelse, Trondheim med Geologisk Institut ved det russiske Videnskabernes Akademi i Petrozavodsk som partner. Desuden deltager Geologisk Institut og Museum ved Københavns Universitet, samt Kvartærgeologiska afdelingen ved Lunds Universitet.

Projektet har modtaget generøs finansiel støtte fra Statens Naturvidenskabelige Forskningsråd i Danmark, Forskningsrådet i Norge, samt gennem det EU finansierede 'Eurasian Ice Sheets' (kontrakt ENV4-CT97-0563) og QUEEN projektet, som er et netværksprojekt under ESF (European Science Foundation).



*Et par hundrede kilometer syd for Arkhangelsk by ligger Plesetsk, som er opsendelsesbase for russiske raketter; medførende blandt meget andet satellitter. Under opsendelsen følger raketterne næsten samme bane – et stykke tid efter opsendelsen afskydes løfteraketterne, som stort set falder ned inden for samme område i Nordrusland. I nogle områder kan man se raketdele hænge eller ligge rundt i taigaen.*

*På øverste billede ses en af disse raketter, som er blevet hentet ind til Kalinov landsbyen ved Pyoza floden. Da metallet fra raketterne er værdifuldt og russisk opfindsomhed er stor; kan man på nederste billede se resultatet efter en let bearbejdning - en 'raket' båd.*