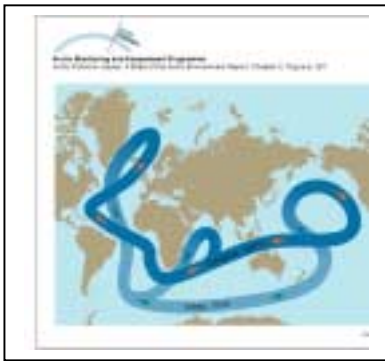


Bill Heal

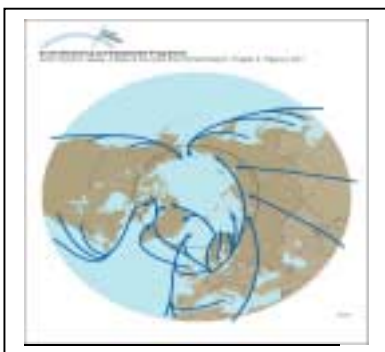
HEIMSKAUTASVÆÐIN ERU VISTKERFI

Ef litið er til jarðar utan úr geimnum, gegnum sólvinda sem sólgosin þeyta út á 200 km hraða á mínútu, gegnum helkalt heiðhvolfið, -200 gráður á Celsíus, sem rúið hefur verið vernd ósonlagsins, gegnum mörk efra og neðra hjúps andrúmsloftsins í 3 km hæð, gefur að líta norðurheimskautið hjúpað vetrarmyrkri í böndum 39 milljón ferkílómetra hafishellu sem kennd er við norðurlínunni. Íshellan teygist til suðurs í átt að þremur leiðum út úr Íshafinu – þröngu sundi inn í Norður Atlantshafið vestan Grænlands; gegnum 500 kílómetra breitt hafsvæði milli Grænlands og Svalbarða; og gegnum 70 kílómetra breitt Beringsundið milli Chukotka og Alaska inn í Beringshaf, en þaðan er leiðin greið til Kyrrahafs. Margir jöklar þekja einnig landssvæðin umhverfis Íshafið. Langstærstur er hinn víðáttumikli Grænlandsjökull, sem þekur 1,7 milljón ferkílómetra og er allt að 3200 metrar á þykkt. Rúmmál þessa mikla jökulmassa er hvorki meira né minna en 2.8 milljónir rúmkílómetra. Ístungur teygja sig niður fjallshlíðar í Noregi, Úralfjöllum, Kolyma, Alaska, Yukon og á Baffin eyju, þó nokkuð suður af heimskautsbaug.

Þykk snjóalög hylja landið næst hafinu, en mun snjóléttara er inn til landsins. Þar eru víðáttumiklar eyðimerkur og hrjóstur heimskautsins þar sem sauðnaut og hreindýr þrjóskast við að krafsa gegnum hjarnið sér til fæðu. Þar flakka úlfar og refir í leit að æti og ísbirnurnar liggja í dvala og fæða húna í snjóbyrgjum sínum. Undir frosnum jarðveginum leynast þykkir klakadrönglar í sífreranum sem aldrei lætur bilbug á sér finna næst heimskautinu, en rofnar árstíðabundið er sunnar dregur. Ísinn sem hylur djúp stöðuvötn, fljót og höf þekur vatn sem er yfir frostmarki, þótt í andrúmsloftinu sé frostið 50 stig á Celsíus eða jafnvel enn harðara.



Með nýrri árstíð rís sólin yfir sjóndeildarhringinn og varpar bjarma sínum á heimskautasvæðin, hitar loftið og bræðir hafisinn sem sífellt þynnist og hverfur að lokum. Á landi bráðnar ís og snjór, árnar flæða yfir bakka sína og leysingavatnið lækkar bæði seltu og hitastig sjávarins næst ströndinni. Kaldur, seltuminni sjór streymir í hringrás um Íshafið og ryður sér leið undir hlýrri sjó á yfirborðinu gegnum þröng sundin er liggja að Atlantshafi og Kyrrahafi. Hvalir og selir leggja leið sína í norðurátt, færandi hvítabjörnum björg í bú. Á landi verma sólargeislarnir gróðurþekjuna og berangurinn og loftið hlýnar smám saman. Litríkur gróður sprettur upp, nánast “á einni nóttu” – sumpart reyndar vegna þess að ekki er um neina nótt að ræða.



Hreindýr á faraldsfæti, gæsir, endur og vaðfuglar snúa til baka til að gæða sér á nýgræðingnum og skordýramergöðinni. Lax syndir upp árnar og birnir fá fylli sína. En undir yfirborðinu er jarðvegurinn lengur að hlýna. Efsta lagið bráðnar og verður “virkt” morandi í örverum og skordýralífum og lífræn efni taka að rotna ofan á sífreranum.

Svona er vistkerfi heimskautsins. Frerasvæðið. Það er tiltölulega sjálfbært (Miðjarðarhaf norðursins) lofthjúpur, land, ferskvatn og sjór; allt er þetta í nánu sambandi, bæði með lóðréttum og

láréttum tengslum. Það er hringrás innan svæðisins frá landi til vatns, svo til sjávar og aftur til baka. Það er hringrás íss og sjávar, efnabreytinga, dýra og jurta að ógleymdum mannverum innan Íshafsins og umhverfis það. Ef hróflað er við einum þætti kerfisins, munu áhrifin segja til sín innan annarra þátta. Ef loftslag breytist – eins og ávallt hefur gerst – og fer hlýnandi, mun meira leysingavatn streyma inn í Íshafið. Hrynji loðnustofninn í hafinu munu áhrifin koma fram á landi, gegnum fæðukeðjuna. Ef spilliefnum er sleppt út í andrúmsloftið eða hafið á einum stað, má búast við að þau berist vítt og breitt um svæðið.

Hér er um að ræða eitt gríðarstórt, samhæft, sívirkt vistkerfi sem knúið er af orku sólarinnar.



En það er ekki aðskilið og einangrað frá öðrum svæðum jarðar – ekkert vistkerfi starfar algerlega út af fyrir sig. Vistkerfi heimskaupsins teygir sig þrep fyrir þrep yfir til suðlægari breiddargráða og hefur áhrif á það sem þar gerist. Loftmassi heimskaupsins beinir köldu lofti til suðurs á vetrum, og suðrænir vindar flytja hlýtt loft, sem ber í sér mengun, í norðurátt. Spendýr, fuglar og fiskar stefna norður í hópum til að finna sér fæðu og koma upp afkvæmum við ísröndina og strendurnar, í óshólmum og mýrlendi, en öll eiga þessi svæði það sameiginlegt að þar er nóg um lífsbjörgina. Síðan er haldið aftur suður til vetrardvalar. Sjórinn kólnar er hann streymir í norður og kalt ferskvatnið, sem verður til er ís og snjór bráðnar, viðheldur hinu mikla “færibaldi” hafsins – hitahringrás sjávar – sem hefur veruleg áhrif á loftslag inn til landsins, engu síður en á hafsvæðin.

BREYTILEGT VISTKERFI HEIMSKAUPSINS

Ef fylgst er með loftslaginu í áratugi eða aldir, koma fram tímabundin kulda- eða hitaskeið. Skammvinn kuldaköst geta stafað af eldfjallaösku sem dreifist um heiðhvolfið og dregur úr geislun í nokkur ár. Varanlegri áhrif stafa af breyttum styrkleikahlutföllum tveggja stórra hringrásra; annars vegar Norður Atlantshafssveiflunni er kalt loft úr norðri mætir hlýju suðrænu lofti og hins vegar Hitahringrás jarðar sem flytur hlýjan sjó til norðurs í kælingu Íshafsins og hann streymir síðan suður á bóginn á ný. Sveiflur í þessum kerfum andrúmslofts og hafstrauma valda loftslagsbreytingum, eins og gerðist á *Litlu ísöld* á 16. og 17. öld. Þannig geta orðið langtímabreytingar á loftslagi heimskaupsins til viðbótar stórbrotnum árstíðasveiflum.

Snjóá- og ísalög vaxa og dragast saman, jöklar skriða fram og móta U-laga dali í mjúkt berg, skilja eftir sig jökulruðninga og breyta ásýnd landsins. Ár flæða yfir bakka sína, grafa sér nýja farvegi og flæmast yfir flæðilönd, eða flóðin réna, flæðilönd þorna upp og tjörnum fækkar. Yfirborð landsins er í tekur sifelldum breytingum vegna frosts og þíðu (frostlyfting), sífrerinn og ísdrönglarnir mjakast upp eða niður, eftir því sem loftslagið breytist, og skilja eftir sig mismunandi mynstur í flötu eða hallandi landslagi. Er jöklar og snjóalög hörfa, nær gróður að breiðast út, lífræn efni hlaðast upp og mynda jarðveg og mór verður til í votri jörð. Jafnt á landi sem í hafi víkka landamæri dýra og plöntulífs, eða þau dragast saman, við norður og suðurjaðra landfræðilegrar útbreiðslu þeirra. Á eyjum eða fjallatindum kann svo að fara að tegundir sem eru komnar á ystu mörk lífrýmis síns deyi út á svæðinu. Þær eiga sér enga undankomuleið.

Í árþúsundir hefur yfirborð jarðarinnar brugðist við loftslagsbreytingum, risið eða hniðið í takt við breytingar ísmassans, svo að til hafa orðið hækkandi (eða lækkandi) sandstrendur og árósar sem hafa breytt farvegi vatnsfalla. Þessar breytingar verða sýnilegar á þúsundum ára, en á okkar

tímum er einnig unnt að mæla ris um 2-3 mm á áratug á sumum svæðum – en hér er um að ræða eina af mörgum hægum en sívirkum breytingum innan vistkerfis heimskautilandanna.

Loftslagsbreytingar hafa mótað heimskautasvæðin og lífsskilyrði þeirra um þúsundir ára. Áhrifin eru ekki bara breytileg frá einum tíma til annars; þau eru líka staðbundin. Dýr og jurtir sem best geta lagað sig að ríkjandi ástandi á hverjum tíma lifa af og dafna. En aðstæður geta verið mismunandi innan afmarkaðra svæða sem oft skiptir miklu máli, sér í lagi þar sem skilyrði eru hörð og sibreytileg. Hlýlegar, skjólrikar landspildur mót suðri geta verið eins og vinjar sem skapa viðkvæmum lífverum afkomuskilyrði.

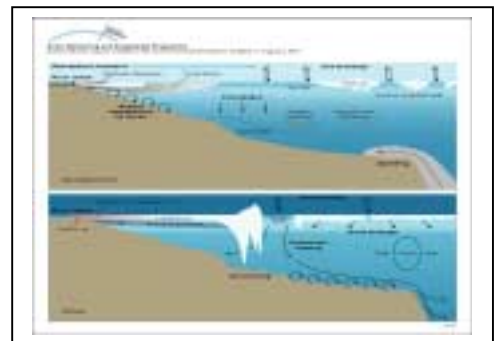
Rakar eða votlendar dældir í þurru landslagi eru athvörf þegar úrkoman bregst. Frostlyfting jarðvegsins hjálpar tegundum sem eru snjallir landnemar en standast illa samkeppni. Þannig hefur breytileiki landslagsins ásamt loftslagssveiflum í tímans rás valið úr dýr og jurtir sem kunna að vera “fyrirfram aðlagaðar” til að standast álag vegna loftslagsbreytinga í framtíðinni.

BREYTILEGT UMHVERFI HEIMSKAUTASVÆÐANNA

Vistkerfi heimskautilanda er eins og púsluspil. Myndin er samsett úr mörgum pörtum. Vistkerfin sem við þekkjum með sínar mismunandi aðstæður og kjörlendi eru ekki, eins og sýnt hefur verið fram á, einangruð og aðskilin hvert frá öðru, heldur nátengd og vinna saman. Þau breytast líka smám saman í samræmi við tiltekna þætti í þróun umhverfisins. Það eru svo þessir þættir sem ákvarða uppbyggingu og hlutverk vistkerfa, virkni þeirra og viðbrögð við sibreytilegu umhverfi.

Hverjir eru svo þessir þættir? Á landi, í ferskvatni og sjó er ríkjandi þáttur hækkanði hitastig frá norðri til suðurs. En til koma líka aðrar aðstæður ytra umhverfis sem hafa veruleg áhrif á gerð og starfsemi vistkerfanna.

- Á landi, frá ströndinni og inn í landið, er það breytan úthafs-meginlandsloftslag sem veldur vaxandi mun á hitastigi eftir árstíðum og minnkandi úrkomu. Fjallgarðar, sér í lagi í námunda við ströndina, hindra framrás skýjanna og valda stórauðinni úrkomu á afmörkuðum svæðum. Fjöllin skapa líka afar breytilegt loftslag vegna hæðarmunar.
- Ferskvatnskerfi stjórna af staðháttum í landslagi (halla og bratta) sem einkum eiga sér jarðfræðilegar orsakir Jöklar og fljót skriða og renna til sjávar eða dreifast um stórar, flatlendar túndrur meginlandanna.
- Vistkerfi sjávarsíðunnar taka breytingum frá ströndinni gegnum fjöruna þvert yfir aflíðandi landgrunnið niður á mikið dýpi þar sem hafsbótinn myndar dali, dældir og fjöll sem eru spegilmynd landslagsins ofansjáva.



Hvernig bregðast þessi vistkerfi við mismunandi umhverfisþáttum? Hvernig þróast gerð þeirra og virkni? Hvernig breytast stykkinn í púsluspilinu. Við skulum skoða áhrifin nánar um leið og farið yfir breytur undirkerfanna þriggja – á landi, í fersku vatni og í sjó.

VI STKERFI Á LANDI

Utan úr geimnum gefur að líta ískaldar eyðimerkur pólsvæðanna, nyrst í heimskautalöndunum, þar sem stöku þyrpingar steinbrjóta gægjast upp úr grýttri urð, og lágvaxinn valmúi, dvergviðir, mosar og skófir hafa náð að skjóta rótum mót suðri í skjóli stórra steina. En auðnin er samt ekki alger. Í Truelove, Norður Kanada, er t.d. lítið og lágt dalverpi í skjóli hamrabelta mót suðri, sem hefur myndast við rof kalksteinssléttunnar á Devon eyju. Láglandið einkennist af röð fjörukamba sem myndast hafa við landris úr sjó á mismunandi tímasteiðum. Kambarnir hindra framrás leysingavatns og plöntur dafna þarna, vermdar af geislum sólar, þrátt fyrir lágan lofthita. Þar sem leysingavatn seytlar úr snjódældum, vaxa líka tiltölulega gróskumiklir skikar af mosa og skófum á þeim eina mánuði, eða þar um bil, sem nefna má “sumar”. Þannig geta staðbundnar aðstæður orðið fimbulkuldanum yfirsterkari. En vatn verður ávallt að vera til staðar, þar sem grýttur jarðvegurinn, snauður af lífrænum efnum, nær ekki að halda í sér vætu og þornar upp á sumrum.

Lengra til suðurs, eða nær ströndinni, verður gróðurþekjan smátt og smátt fjölbreyttari og nær yfir helming yfirborðsins eða jafnvel meira – þetta er hrjóstrug gresja, hálfeyðimörk. Hér er gróður einnig frjósamari á skjólríkum blettum þar sem raki er nægur. Þar spretta grös, starir, runnar, og dvergviðir, birki og lerki. Við þessi skilyrði ná frjóangar að spíra og dafna mun befur en á opnum svæðum sem þorna upp yfir sumarið.

Mörkin milli eyðimerkur og hrjóstrugar gresju eru óljós. Breytingin gerist smám saman, með reitum og teigum þar sem annað vistkerfið blandast hinu. Þrír þættir, tveir augljósir en einn leyndur, gegna lykilhlutverki í mótun landslagsins.

Snjór. Hér skiptir mestu um dýpt, gerð og tímasetningu. Nýfallinn snjór er frábært einangrunarefni, en þjöppun og ísnálar sem myndast í umhleyppingum geta hundrafaldað hitaleiðnina. Vegna góðrar einangrunar, getur þykkt snjólag sem fellur snemma vetrar verndað jarðveginn gegn frosthörkum svo að yfirborð hans (lífræni jarðvegurinn) helst ófrosið langt fram á vetur. Læmingjar og mýs eiga sér þar athvarf og auka kyn sitt undir snjónum, rjúpur grafa sig í fönn til að verða ekki refum að bráð; en hreindýr og sauðnaut stritast við að krafsa ofan af gróðri til beitar. Fannir sem liggja fram á vor hindra hreiðurgerð fugla og framrás skordýra. Punnt snjólag veldur kali á gróðri og auknu beitarálagi, en klakabrynja getur staðist krefs hreindýranna. Vorleysing áður en jörð nær að þiðna flæðir yfir bæli litilla spendýra og drekkir ungum eða hrekur þá út á víðavang þar sem þeir verða rándýrum auðveld bráð. Það sem úrslitum ræður er vatn í föstu eða fljótandi formi.

Frostlyfting. Hreyfing vegna daglegra eða tímabundinna sveiflna á milli frystingar og þiðnunar flytur jarðvegsagnir, mól og steina og raðar þeim í hringi, þúfur eða meltigla en í hliðum myndast jarðsil og skriður. Þessi jarðvegsmyndstur trufla vöxt og viðgang jurta, en þau mynda einnig fingerðari og rakari jarðveg sem hentar nýjum gróðri a. m. k. um stundarsakir. Sprungur sem myndast vegna frosthreyfinga veita nýgræðingi enn frekari tækifæri. Krafturinn sem myndast við rúmmálsbreytingu vatns þegar það frýs mótar yfirborð landsins.

Sífreni. Í fingerðri, rakri eða blautri jörð getur yfirborðið þiðnað allt að 20 sentimetra niður og enn dýpra þar sem jarðvegur er þurr og grófur. En þar fyrir neðan ríkir frostið, jafnvel þótt aðeins sé um að ræða öfá stig undir frostmarki. Vegna geislunar sólar við yfirborð, getur

hitasveifla milli dags og nætur numið allt 50 gráðum á Celsíus. En í neðri lögum dreifist hitinn illa og frosinn jarðvegur hindrar daglegar og árstíðabundnar hitasveiflur, svo að sífrerinn heldur sínu striki, 1-3 stig undir frostmarki. Hér kemst vatnið ekki í gegn, svo gróðurlagið er blautt eða rakt og í halla rennur vatn á, eða rétt undir, yfirborði. Þetta er hinn leyndi þáttur landslagsins.

Eyðimerkur og hrjósturgresjur heimskautilandanna í hánorðri eru gróðurlitlar en víðáttumiklar, einkum í Rússlandi og Kanada. Staðbundin einkenni eru lítil um sig innan stórra landslagsvídda - miðlungs stór svæði sem þekja nokkur hundruð fermetra eða kílómetra; smáskikar sem telja má í sentimetrum eða metrum. Í hverju tilviki er um að ræða grunnmynstur, venjulega gróðurfar eða landslagsmyndanir. Á hverju svæði er um að ræða ferli frumframleiðslu, rotnunar og hringrásar. Þessir þættir einkenna vistkerfið, þ.á.m. það sem svæðið tekur á móti utan frá og gefur af sér, en vistkerfi eru aldrei alveg lokuð. Á eyðimörkum og steppum eru vistkerfi gjarna tengd með vatnsrennsli á yfirborði og umferð dýra sem oft fara langar leiðir og færa sér í nyt afmarkaða, gróskumikla gróðurbletti í skjólgóðum fljótsdölum.

Ekki er um að ræða skörp skil milli eyðimarkanna og túndrunnar sem nær yfir mikinn hluta heimskautasvæðanna þegar fjær dregur pólnum. Smáskikar túndrugróðurs með heiðum sem einkennast af dverggrunnum, þýfi vöxnu fifu, eða votlendum mýrarfenjum koma fyrir lengra til norðurs, en verða ríkjandi og útbreiddasta gróðurfarið sunnar á heimskautasvæðunum, sem þó er breytilegt eftir loftslagi, jarðfræðilegum aðstæðum, jarðvegi og halla í landslagi.

Á runnvaxinni túndru, þrífst dvergbirki ásamt víði og elri, bláberjum, lyngi, alparós, störum og steinbrjótum sem oft mynda 50-80 sentimetra háa þekju yfir samfelldri breiðu mosa og flétta. Þar sem skýlt er, getur plöntuþykknin náð allt að 2 metra hæð. Runnvaxin túndra finnst einkum í þurrum jarðvegi og dreifing hennar tengist veðurskilyrðum. Þannig nær hún allt til 74° norður á Vestur Grænlandi, en á Austur Grænlandi nær túndran einungis til 62° norður vegna þess að hlýjan frá Labrador straumnum nær ekki á þær slóðir. Plönturnar eru háðar minnstu breytingum í umhverfinu. Á stórum svæðum í Rússlandi eru túndrur vaxnar dverggrunnum, sums staðar er stór eða fifa áberandi, en fifu- eða stararþúfur einkenna oft votari, lélegri og svolítið súran jarðveg. Þar sem afrennsli er lítið vegna sífrera, leirkennds jarðvegs eða flatlendis eru gjarna stór fenjasvæði, þar sem stór er ríkjandi tegund, þótt margar aðrar tegundir komi einnig fyrir og mosaþembur eru mjög áberandi. Yfirborðið er mestmegnis þýfi og tjarnir, og eins og á við um allar túndrur, má sjá sérstök mynstur vegna áhrifa þíðu og frosts. Frostsprungur, hólar og tjarnir ásamt ýmiss konar öðrum veðrunarmynstrum sem spilla gróðrinum eru einkennandi fyrir þessi svæði. Er gróðurinn verður samfelldari og þéttari og einangrar yfirborðið betur, verða slík einkenni minna áberandi. Engu að síður getur afl íss og sífrera breytt landslagi með afgerandi hætti eins og sést af hólum eða smáhæðum (*Pings*) sem gnæfa allt að 100 metra upp úr landslaginu.

Er sunnar dregur og loftslag mildast, verða birkitré algengari, síðan fura, greni og lerki sem mynda skógartúndruna. Í fyrstu er lággróður er áfram svipaður og á túndrunni lengra í norðri, en lætur undan síga er trén verða meira áberandi og mynda svokallaðan taiga, eða hinn norðlæga skóg. Lerki og fura eru ríkjandi tegundir og í skugga þeirra dregur úr vexti lággróðurs í þurrum jarðveginum. Skuggar trjána kæla og þótt loftslag sé hlýrra á þessum slóðum, getur sífrerinn haldið velli í skógarbotninum þó að opin svæði þíðni. Þannig getur skipst á þíð jörð og sífreri.

Þessi framvinda frá heimskautsauðn til norðurskógar (taiga) í margbreytilegum myndum og mynstrum einkennir landslag heimskautasvæðanna. Margt hefur verið skrifað og skrafað um

skilgreiningar mismunandi plöntusamfélaga, stórkostlega aðlögun dýra og jurta og náttúrufræði þeirra. En hvað um kerfið? Hver er aflvaki þessa umhverfis? Hvernig virkar það sem samþætt vistkerfi, eða röð vistkerfa? Þessar spurningar verða sífellt brýnni eftir því sem umhverfið tekur meiri breytingum vegna loftslags, landnýtingar, iðnvæðingar og mengunar. Við skulum því kanna suma kraftana sem virka á vistkerfin og áhrif þeirra: Breytingar í rás tímans – Fæðukeðjur; Kolefni og hringrás næringarefna; Fjölbreytni lífríkisins.

Breytingar í rás tímans

Er jöklar og ishettur hörfuðu fyrir 10-20,000 árum var fyrsti “jarðvegurinn” einungis berangur, urðir og jökulruðningar. Veðrun vann seint á hörðu granítbergi og myndun jarðvegsefna og uppleysanlegra næringarefna var því hæg. Kalksteinn veðraðist mun hraðar og til varð basískur jarðvegur. En jarðvegsörður voru fljótar að leysast upp, vatnsrásir opnuðust og næringarefnin vildu skolast út úr kerfinu. Í öðru setbergi var meira um sand og leiragnir og nauðsynleg næringarefni, eins og t.d. fosfór og kalíum varðveittust betur. Jarðfræðin mótaði uppruna vistkerfanna. Köfnunarefni var það frumefni sem þurfti til að plöntur næðu að dafna og tímgastr. Regn var af skornum skammti, en blá-grænir þörungar sem gátu unnið köfnunarefni úr andrúmsloftinu uxu þar sem vatn var að hafa. Sumir þörungar, gátu nýtt sér endurkast sólarljóss og uxu undir steinum sem safna í sig sólarhitann. Smám saman tóku skófir að myndast á klettum og steinum. Skófir eru eins konar sambýli þörungs og svepps og mynda sjálfstætt innbyggt vistkerfi sem getur framleitt, leyst upp og endurnýtt.

Það eru þessir frumherjar sem náðu að sanka að sér ómissandi köfnunarefni og næringu sem koma plöntulífi á stað mitt í auðninni þar sem ekkert lífrænt efni var áður að finna – en næringarefnin voru einmitt sá höfuðstóll sem safna þurfti. Örverur sem geta unnið frumefni úr steinum hjálpa svo til við þessa þróun. Þegar örður lífrænna efna taka að myndast, byrja aðrar plöntur að festa rætur og sá sér út með frækornum sem ná að spíra og vaxa með því að nýta sér agnir lífrænu efnanna sem fyrir eru. Annars staðar eru leifar gróðurs sem hafði vaxið áður en ísinn lagðist yfir, eða borist á svæðið með árframburði. Hér gengur landnámið greiðar fyrir sig, en fyrstu landnemarnir eru oft plöntur sem bera með sér örverur sem geta bundið köfnunarefni.

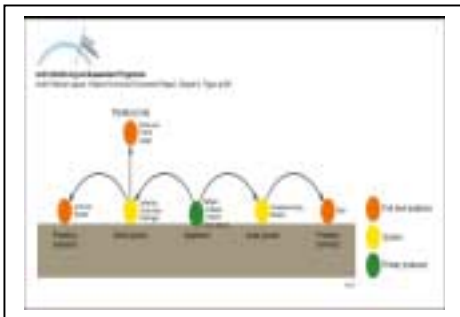
Þær plöntur sem fyrst nema land vaxa og tímgastr hratt til að ná að nýta landkostina. Smátt og smátt fjölga tegundum, nýjar plöntur dafna í skjóli þeirra sem fyrir eru og nærast á uppsöfnuðum lífrænum áburði. Gróðurþekjan verður æ stærr, mosar þekja stór svæði og jarðvegurinn nýtur verndar gegn kulda. En einangrandi gróðurþekjan bægir ekki bara frostinu frá. Hún getur líka haft þveröfug áhrif; viðhaldið sífreranum, svo gróðurlagið verður þynnra, lífræn efni endurnýjast hægar, plöntur eiga erfiðara með að skjóta rótum og jarðveginum hættir til að verða vatnsósa í mikilli úrkomu. Þær plöntur sem varðveita orkuförða innra með sér til að ná öflugum vexti í upphafi sumars eru mun betur settar við þessi skilyrði. Þær halda fast á sínu og sigra því gjarna í samkeppninni. Smám saman hafa breytt gróðurskilyrði einnig áhrif á dýralífið. Blómskrúð plantna sem fyrstar hafa náð rötfestu laðar að grasbíti. Lítil skordýr berast með vindi og þau heppnu lenda í gróðurvinjunum. Á síðari stigum þróunar vaxa fjölærar plöntur, með trékenndum stönglum, sem oft framleiða varnarefni gegn ágangi grasbitanna. Þá bregst dýralífið við með aukinni sérhæfingu og beititakmarkast við tímabil þegar ekki er aðra fæðu að fá.

Hvað varðar tímaskeið þessa ferlis, mælist fyrsta stigið í öldum. Síðari þrep eru afar breytileg frá einum stað til annars, eins og upphaflegar aðstæður sem koma ferlinu af stað. Röskun jarðvegs vegna endurtekinna frosta og þíðu, veðrun, þornun stöðuvatna, eldur og athafnir manna, svo sem traðk eða iðnvæðing; allt getur þetta fært ferlið til baka á upphafsstig. Gróðurfar og dýralíf í grennd getur verið uppspretta nýrra landnema. Landnám dýra og gróðurs á nýjan leik mælist gjarna í áratugum.

Í grundvallaratriðum hefur allt svæðið orðið fyrir loftslagsbreytingum um þúsundir ára; ýmist hefur hlýnað eða kólnað. Dyr og plöntur hafa aðlagast til að geta lifað af þessar sýnbreytilegu, harðneskjulegu aðstæður. Flókið aðlögunarmynstur, t.d. notkun efna sem verja gegn frosti, gerir tegundunum fært að bregðast við og lifa af loftslagsbreytingar eins og þær sem vænta má vegna mikils kolefnis sem mennirnir dæla út í andrúmsloftið. Dreifing tegunda mun breytast; sumar færa sig á ný svæði, aðrar draga sig í hlé; ferlið er sveiflukennt eins og ávallt hefur verið. Minnkandi og vaxandi fjölbreytni hreindýrategunda á Grænlandi síðustu 10,000 árin er gott dæmi um langtíma þróunarmynstur sem í þessu tilviki átti rætur að rekja til landslagsbreytinga, ísmyndunar og jökulhindrana, ásamt með loftslagssveiflum, ofbeit og ágangi manna og úlfa.

Keðja lífs – og dauða

Séð úr fjarlægð virðist ljóst hver étur hvern, ef brugðið er upp skyndimynd til skamms tíma.



Skófir – hreindýr – úlfur
Gras – læmingi– snjóugla
Birki – haustfiðrildi – smáfugl – fálki
Fræ – snjótittlingur - smyrill

En í reynd er hér um að ræða flókna fæðukeðju, þar sem ekki eru skörp skil milli jurtaæta og kjötæta; flestar tegundir nærast á fjölbreyttri fæðu, þar sem mestu skiptir hvað er hægt að klófesta hverju sinni. Stóru rándýrin sem tróna efst í keðjunni, sækja í fjölbreytta bráð og mörg þeirra gera sér að góðu skordýr og jurtir þegar aðalfæðuna skortir. Lítil dýr éta ekki þau stærri – þótt það sé strangt tekið ekki alveg rétt, því sjá má refi éta skrokk af hreindýri sem drapst úr hungri, eða hrifsa varnarlausu nýfædda kálfa.

Læmingjar og önnur minni spendýr eru aðalfæða margra rándýra. Hinar stóru sveiflur í læmingjastofninum gætu virst vandamál rándýra sem treysta á þá til að ala önn fyrir ósjálfbjarga ungum sínum fyrstu vikurnar eftir fæðingu. Sum rándýr bregðast við vandanum með því að aðlaga fjölda ómaga að framboði fæðunnar. Þegar læmingjastofninn er stór eftir vel heppnað vetrargot undir fönninni, eru mörg egg í hreiðrum snjóuglu og kjóa og hreysikettir eignast fjölda unga. Sama á við um önnur rándýr sem mörg hver ferðast langar leiðir til að sækja í læmingjamerögðina. Við slíkar aðstæður geta hreindýr jafnvel lagt sér læmingja til munns. Svo hrynur læmingjastofninn vegna ásóknar rándýra, sjúkdóma og ofbeitar og á næstu árum snarfækkar eggjum í hreiðrum ránfuglanna og sumir hverfa á braut. Þá er komið að því að læmingjastofninn taki að hressast á nýjan leik.

Þetta er hinn sígilda hringrás læmingja með klassískri samvirkan rándýrs og veiðidýrs. – veiðidýrum fjölgar og á eftir fylgir vaxandi mergð rándýra sem með linnulausri ágengni fækka veiðidýrum og í kjölfarið fækkar svo rándýrunum sjálfum. Raunveruleg atburðarás er að vísu

sjaldan alveg svona einföld, en þetta gefur hugmynd um nokkra hlekki samvirkrar fæðukeðju og það lykilhlutverk sem læmingjar gegna í vistkerfi heimskautasvæðanna. Innan þessarar samvirkni leynist svo annar þáttur kerfisins –rotnunarhringrásin.

Læmingjar nærast á blaðfótum grasa og starartegunda. Þegar mergð læmingja er í hámarki, getur graslendi á tundra minnt á tún sem hefur verið slegið, en ekki er búið að hirða heyið af því. Nýfallin grösín og læmingjaskíturinn eru fæða fyrir bakteríur, sveppi, orma í jarðveginum og skordýralirfur, sem eru svo éttnar af öðrum hryggleysingjum. Rotnunarhringrásin getur af sér mikinn fjölda fullvaxta skordýra sem bjöllur og köngulær gæða sér óspart á. Snemma sumars vex upp mergð af hrossaflugum, mýi og bitmýi sem eru aðalfæða annarra og meira áberandi hópa. Hér er um að ræða skordýraæturnar; grátittlinga, lævirkja, sólskrikjur, finkur og þar sem votlent er, vaðfugla. Allir þessir verða nú hluti fæðukeðjunnar ofanjarðar, bráð handa fálkum, kjóum og uglum. Þannig tengjast saman mismunandi hlekkir vistkerfisins.

Efnaflæðið: hringrás kolefnis og næringarefna

Fæðukeðjan gefur til kynna hvernig efni flyst gegnum vistkerfið. Hún virðist skilvirk, en á mælikvarða framleiðni, er ferlið afar óskilvirk. Flutningur úr plöntu í grasbít og yfir í kjötætu hefur í för með sér yfir 95% framleiðslutap – í hverju skrefi! Sem dæmi má nefna að af allri plöntuframleiðslu á yfirborðinu eru sjaldan meira en 10-20% étin af grasbitum. Aðeins um helmingur þessa er meltur. Megnið af því efni sem melt hefur verið er síðan notað til hreyfiorku, sér í lagi ef um er að ræða dýr með heitu blóði og aðeins lítill hluti nýtist til nýrrar framleiðslu. Í tilviki rándýranna eru skrefin kannske ögn skilvirkari vegna þess að fæðan er auðmeltanlegri. Hryggleysingar breyta hærra hlutfalli meltrar fæðu í nýja líkamsvefi vegna þess að þeir þurfa ekki að halda hita á skrokknum.

Þótt um einhvern breytileika sé að ræða, er samt heildarferlið sams konar – hvert fæðustig flytur aðeins lítinn lífmassa upp í næsta hlekk fæðukeðjunnar. Því þurfa grasbitir að fara um víðáttumikil svæði til að finna næga fæðu, og kjötæturnar þurfa jafnvel enn stærri lendur. Dýrin nýta sér einnig mjög fjölbreytta fæðu – tileinka sér fjölbreytni fremur en sérsvið. Þau hafa líka áunnið sér hæfni til að spara orku eins og unnt er, t.d. með því að leggjast í dvala og með góðri einangrun, en þessa er brýn þörf vegna ónógrar plöntuframleiðslu á heimskautasvæðunum. Því er vel hugsanlegt að vistkerfi heimskaotalandanna, vegna aðlögunar að sérstöku loftslagi og rýrri fæðu, séu alveg eins skilvirk og þau sem sunnar liggja.

Nú virðist sem gífurleg sóun ríki í frumframleiðslu grasa og gróðurjurta. Svo er þó alls ekki! Plönturnar flytja mikinn hluta af framleiðslu sinni undir yfirborðið til geymslu í lok vaxtartímans og það er einmitt þessi söfnunartilhneiging sem gerir þeim kleift að taka hressilegan vaxtarsprett að vori. Lífmassi plantna, í formi róta, rótarsprotta og jarðstöngla, er mun meiri neðanjarðar, heldur en á yfirborði; nokkuð sem er einkennandi fyrir norðlægan gróður. Þeir hlutar plöntunnar er vaxa í moldinni nýttast sumum stórum jurtaætum, sem grafa eftir þeim. Sömuleiðis er hér um að ræða eftirsóknarverða fæðu ýmissa dýra sem þrífast í jarðveginum, t.d. þráðorma, blaðlúsa og annarra skordýra. Þannig heldur fæðukeðjan áfram niðri í jörðinni, þar sem á veisluborðið bætast mikilvægir réttir, svo sem saur og rotnandi plöntuleifar. Megnið af plöntuframleiðslunni endar í jarðveginum í einni eða annarri mynd, þar sem hún nærir miklu meiri fjölda og fjölbreytni örvera og hryggleysingja heldur en finnast ofanjarðar.

Því eru rotnandi plöntuleifar lykill að þróun vistkerfisins. Þær innihalda mikið af þeim næringarefnum, þ.m.t. köfnunarefni, sem plönturnar hafa safnað í sig. Plöntuefnið rotnar fyrir tilverkað sveppa og baktería og fer leið sína gegnum fæðukeðju jarðvegsins þar sem næringarefnin flytjast frá einni lífveru til annarrar, eftir því sem þau smám saman leysast upp og sjúgast aftur inn í plönturætur. Kolefnið í plöntuleifunum fer líka í gegnum lífverurnar, losnar smám saman úr læðingi við öndun og hverfur út í andrúmsloftið. Á norðurslóðum gengur rotnun hægt fyrir sig, að nokkru leyti vegna lágs lofthita og kælingar sífrerans. Bæði vatnsskortur í þurri jörð og gegnsósa jarðvegur þar sem vatnið fær ekki framrás, hægja á rotnuninni. Megnið af því efni sem til fellur úr plöntunum tapar aðeins u.þ.b. 5-10% af þyngd sinni fyrsta árið. Síðan hægir á þyngdartapi, því að efnið sem eftir er rotnar síður og þokast inn í kaldari jarðlög. Lifræn efni sem kynslóðir plantna skilja eftir sig safnast fyrir í jarðveginum sem mótast og þróast í aldanna rás. Í mýrum myndast þykk lög af mó vegna súrefnisskorts og lágs hitastigs í vatnsósa jarðvegi.

Hringrás kolefnis og næringarefna gegnum vistkerfið fer margar leiðir og gerist með ýmsum hætti. Hér er ekki um lokað kerfi að ræða. Bæði kolefni og næring fæst úr andrúmsloftinu og flæðir um kerfið. Sum þessara efna seytle út í ár og læki. Að lokum skilar mest af kolefninu sér aftur út í andrúmsloftið. Það er viðkvæmt jafnvægið milli innstreymis og útstreymis af kolefni sem menn horfa einkum til varðandi hlutverk norðurslóða í breytingum á andrúmsloftinu.

Þótt plöntuframleiðsla í norðrinu gangi seint fyrir sig, er rotnun líka hægfara. Því er það að jarðlögin þykkna smátt og smátt, svo að jarðvegurinn á heimskautasvæðunum inniheldur um 25% af kolefni allrar jarðarinnar. Kolefnið safnast einkum fyrir í mýrum, fenjum og djújum. Þar sem jarðvegur heimskautasvæðanna er tiltölulega ungur – ekki meira en 10,000 ára eða þar um bil – hefur hann safnað í sig kolefni í plöntum og lifrænum jarðefnum. Þótt mikið af kolefninu hafi sameinast andrúmsloftinu á ný vegna öndunar plantna, dýra og örvera, hafa vistkerfin engu að síður hamstrað meira kolefni en þau hafa látið frá sér. Það er svo kaldhæðni örlaganna að hlýnandi loftslag í nútíð og framtíð mun trúlega hraða rotnun og sleppa út meira af því kolefni sem varðveitt er í jarðveginum. Því eru líkur á að jafnvægið milli kolefnisbindingar við ljóstillífun og losunar við rotnun muni breytast. Í stað þess að safna í sig kolefni eins og áður var, munu vistkerfi túndrunnar sleppa út umframbirgðum og gerast kolefnisframleiðendur framtíðarinnar. Slíkar breytingar hafa þegar gert vart við sig í Alaska.

Framtíð vistkerfa jarðarinnar

Erfitt er að spá um breytingar næstu 50-100 árin! Það þarf ekki einungis að huga að breyttu jafnvægi hvað varðar framleiðslu og rotnun innan kerfisins. Hér kemur einnig til álita útbreiðsla gróðurs í kjölfar loftslagsbreytinganna. Í þessu skyni má nota tölulíkön. Nýjasta líkanið tengir saman helstu loftslagsþættina sem breytingunum valda og svörun gróðurfars og lifrænna efna í jarðveginum. Búist er við að árlegur meðalhiti á svæðinu hækki um 4 gráður á Celsíus á þessari öld, meira lengst til norðurs og minna á suðurslóðum heimskautalandanna og svæðum norðurskóganna. (**). Mun minni breytingar verða á úrkomu, sem sennilega eykst einungis um fáeina sentimetra á hverjum áratug. Á þessum forsendum er líkanið síðan keyrt frá 1850 til 2100 á svæðunum umhverfis norðurpólinn, allt frá 50 gráðum norður.

Líkanið gefur eftirfarandi til kynna:

- Barrskógar munu breiðast út á kostnað túndrunnar
- Núverandi túndrur munu hafa minnkað um helming árið 2100
- Vaxandi skógargróður mun gera betur en vega upp á móti aukinni rotnun og því mun svæðið halda áfram að safna í sig kolefnisbirgðum alla öldina.

Margt þarf þó að taka með í reikninginn og slík líkön gefa aldrei tæmandi niðurstöður. Breytingarnar verða ekki jafnar og reglubundnar, heldur munu sums staðar koma tímabil þar sem loftslagsbreytingin gengur til baka um skemmri tíma (áratugi) vegna sérstakra aðstæðna or loftslagssveiflna. Erfitt verður að henda reiður á skammtíma sveiflum, að nokkru vegna þess að svörun lífríkisins er hægverkari en þróun veðurfarsins. Kerfið mun þó breytast, á því leikur enginn vafi.

Vistkerfi jarðar; heildarmyndin

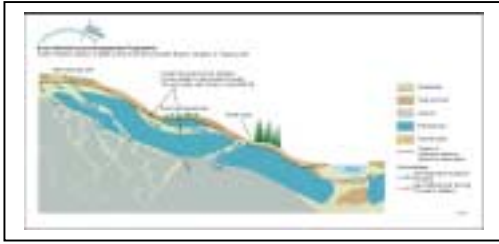
- Vistkerfi jarðarinnar hafa áður tekið breytingum, eru nú að breytast og munu halda því áfram í framtíðinni.
- Kerfin bregðast við svæðis- og tímabundnum loftslagsbreytingum, allt frá litlum spildum innan túndrunnar, til breytinga á gróðri og dýralífi allt í kringum pólninn.
- Plöntur, dýr og örverur eru í nánnum tengslum á hverju svæði, á yfirborðinu, í jarðveginum og í mismunandi landslagi.
- Hiti (orka) vatn, kolefni og næringarefni flytjast inn á svæðin, færast til innan þeirra og flytjast út úr þeim vegna líffræðilegra og eðlisfræðilegra þátta.
- Breytingar í andrúmslofti hafa áhrif á landið og breytingar á landi endurspeglast í andrúmsloftinu.

Greina má mismunandi tegundir gróðurfars (vísindamenn eyða miklum tíma í að rökræða hvernig þær skuli flokkaðar) og ætla mætti að þær táknuðu mismunandi vistkerfi jarðarinnar. Þær have vissulega sín sérkenni og margvísleg innri tengsl. Í þeim skilningi er um vistkerfi að ræða. En hitt er jafnvíst að þau eru sívirk og taka breytingum; þau eru náskyld og tengjast náttúrulegu umhverfi sínu með dynamiskum og kröftugum hætti. Það er nauðsynlegt að skilja þessi víðtækari tengsl, þegar fjallað er um verndun tegunda og heimkynna þeirra, svo og nýtingu og stjórnun auðlinda. Breytingar á einum stað segja til sín annars staðar. Þetta táknar að breytingar á norðurslóðum hafa áhrif til suðurs, og öfugt. Eitt kerfi!

SNJÓR, ÍS OG VATN

Hinar þrjár mismunandi ásýndir H₂O eru reginöfl landslagsgerðar sem einnig ráða úrslitum lífríkið og athafnir manna. Á mörg þúsund árum, hefur snjórinn hlaðist upp og þjappast saman í íshettum og jöklum heimskaualandanna. Snjócoma hvers árs myndar nú “frosið skjalasafn” sem vísindamenn “lesa” til að átta sig á loftslagsbreytingum liðinna alda, sér í lagi með rannsóknum á íshellunni miklu sem þekur Grænland. Hún er þrír kílómetrar á þykkt og nánast stærsti ferskvatnsgeymir í norðrinu.

Ísfargið skriður niður fjöllin í formi jökla. Þrýstingur að ofan ýtir þeim niður, allt að 30 metra á ári, og á skriðinu skrapa þeir og skafa berggrunninn og hrifa með sér leir og grjót sem berst allt að jökulröndinni þar sem það verður eftir í formi jökulurða, ýmist beggja megin jökulsporðsins, eða við enda hans. Stundum flýtur jökulframburðurinn líka burt að stórum hluta með leysingavatni sem myndar ár og læki, djúp og straumhörð vatnsföll í bröttum hlíðum, sem síðan dreifa úr sér og flæmast yfir flatlendi og flæðisanda. Eitt af því sem einkennir landslag og staðhætti í heimskaualöndum er fjöldi tjarna og stöðuvatna á stórum svæðum sem myndast við bráðnun jökla og fannfergis.



En það er sífrerinn – enn eitt vatnsforðabúrið – sem kemur í veg fyrir að vatn síist niður í dýpri jarð- og berglög. Svo jafnvel þótt lítið snjóí, undir 30 mm á meginlöndum, er vatn yfirleitt ríkjandi þáttur í landslaginu. Undantekning frá þessu er þar sem framræsla er í grýttum jarðvegi, ofþurrkur hindrar að gróður fái þrifist og þar sem póleyðimerkur eru ríkjandi. Ein ástæða þess að svo lítið snjóar er að kalt loft flytur miklu minni raka en hlýtt loft. Við ströndina berst hlýtt loft af hafi, kólnar vegna snertingar við landið, sér í lagi er fjöll verða á vegi þess og losar sig við rakann sem regn eða snjó. Strandhéruð eru því gjarna hlýrri, en þar er úrkoman mun meiri, allt að 3000 mm.

Vegna tengsla milli hitastigs og rakainnihalds lofts, er líklegt að hlýnandi loftslag leiði til meiri úrkomu, sér í lagi við strendur.

Gullnir fiskar norðursins

Á stórum hluta heimskautasvæðanna er vatnið snautt að næringarefnum vegna þess að verður til er ís og snjór bráðnar og hart bergið inniheldur fá næringarefni. En þrátt fyrir næringarskortinn vaxa þörungar ágætlega, jafnvel undir ís í frosnum stöðuvötnum og leggja þannig grundvöll fæðukeðjunnar í hánorðri. Ýmsar tegundir krabbadýra nærast á þörungunum (t.d. vatnaflær og rækjutegundin *Chirocephalus diaphanus*) svo og skordýralirfur sem heimskautableikjan (*Salvelinus alpinus*) sækist eftir, en hún er hinn gullni fiskur norðurslóða og eina fisktegundin sem þrifist villt í vötnum í hánorðri. (*heimskautableikja t.d. AMAP p24*). Hún dafnar afar vel, lifir í aldarfjórðung eða meir, verður allt að 15-16 kíló á þyngd og þrifist alls staðar á svæðunum umhverfis norðurpólinn. Þessi eina tegund er gott dæmi um marga meginþætti í líffræði ferskvatnslífvera og vistfræði manna í norðrinu.

Heimskautableikjan hefur aðlagast lágu hitastigi og veiðist á eyjum lengst í norðri, t.d. Svalbarða. Mestan hluta ársins heldur hún sig í ám og vötnum, leitar út á grunnsævi við strendur 1-2 mánuði á sumri til að nýta sér mikið fæðuframboð áður en hún snýr aftur upp á árnar til að hrygna. Kynþroskaaldur er afar breytilegur og hún getur hrygnt árlega, á tveggja ára fresti, eða sjaldnar allt eftir aðstæðum í umhverfinu. En sumir stofnar, sem eru allt árið í landluktum vötnum, geta þróað sín sérkenni sem gera þá frábrugðna fiskum á fjarlægum vatnasvæðum. Stundum skiptast stofnar í tvo stærðarflokka, minna afbrigði sem leitar fæðu meðal botndýra og dýrasvifs og stærra afbrigði sem étur svo það minna – nærast á eigin tegund. Raunar virðast afbrigðin nánast skiptast í tvær tegundir. Við nyrstu mörk heimkynna sinna, þar sem hún er eina fisktegundin, hefur heimskautableikjan afar sveigjanlegan lífsstíl.

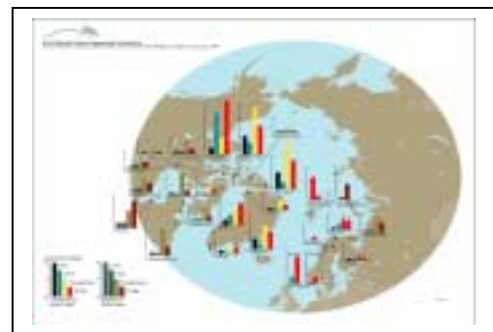
Lengra í suðri, á lægri breiddargráðum, deilir heimskautableikjan svæðum með öðrum fisktegundum sem þola illa kulda, en keppa við hana þar sem hitastig er hærra. Þar sem hún deilir heimkynnum með urriða (*Salmo trutta*) í Norður Svíþjóð, étur heimskautableikjan gjarna dýrasvif nálægt yfirborði, en urriðinn gæðir sér á botndýrum. En á veturnum heldur bleikjan áfram að nærast og flýtur sig niður að botni, en urriðinn hættir gjarna að taka til sín fæðu, því hann aðlagast ekki eins vel lágu hitastigi. Svipað samlífi sem byggist á árstíðabundinni skiptingu auðlinda á sér stað meðal heimskautableikju og lækjalontu (*Salvelinus fontinalis*) í Austur Kanada. Þegar fisktegundum fjölgar enn meir í sömu heimkynnum, verður fæðuval bleikjunnar jafnvel enn sérhæfðara og afmarkaðra.

Þannig er vistfræðilegur sess heimskautableikjunnar, stærð hennar og önnur líffræðileg einkenni með afar breytilegum hætti við norðurmörk útbreiðslu hennar. Staða bleikjunnar og lífsferill þrengist og takmarkast vegna samkeppni stofna sem hafa minna kuldapól, eftir því sem fjölbreytni tegunda vex við suðurmörk dreifingar hennar. (hér komum við aftur að þrepskiptum umhverfisaðstæðum).

Vistfræðileg einkenni heimskautableikjunnar eru dæmi um þann sveigjanleika sem trúlega er útbreiddur, en ekki svo augljós, meðal norðlægra dýra og plantna. Heimskautableikjan getur líka blandast náskyldum tegundum, eins og t.d. lækjalontu. Blöndun tegunda er einkennandi fyrir marga norðlæga fiskistofna, sem gefur til kynna að enn sé um að ræða virkt þróunarferli á þessu tiltölulega unga svæði.

Vistfræði mannsins hefur líka haft mikil áhrif á vistfræði heimskautableikjunnar. Eftirfarandi listi yfir staðbundin og víðtæk áhrif gefur til kynna almennt inngríp manna í lífsmynstur norðurslóða.

- Um margra alda skeið hafa Inúítar á Grænlandi og í heimskautalöndum Kanada valið sér fasta búsetu á stöðum þar sem vel hentar að veiða úr fiskigöngum sem fara hjá. Meðal Sama ríkti sú hefð að rækta upp bleikju í fjallavötnum til að eiga sér forðabúr meðfram farleiðum hreindýrana.
- Veiðar í lagnet til lengri tíma valda mikilli fækkun stærri fiska og hafa þannig áhrif á uppbyggingu stofnsins og lífshlaup einstaklinganna. Notkun eiturefna og dynamits hefur eytt fiskistofnum við Svalbarða. Endurtekin ofveiði úr fiskigöngum í steingildrur “*saputit*” hefur eytt fiskistofnum á afmörkuðum svæðum við Grænland.
- Viða hafa stíflugarðar til öflunar raforku breytt yfirborðsstöðu vatns, spillt hrygningu á grynningum, lagt stór flæmi undir vatn og takmarkað fæðuöflun.
- Ofveiði mikilvægra tegunda (loðna, þorskur) hefur spillt fæðuöflun sjógöngubleikju með slæmum afleiðingum fyrir stofninn.
- Aðflutningur utanaðkomandi fiskistofna og ferskvatnsrækju til að “bæta” fiskiriid hefur leitt til fækkunar í bleikjustofnum vegna samkeppni, breytt erfðaeiginleikum vegna blöndunar og haft áhrif á fæðukeðjuna. Aðrar óvæntar afleiðingar hafa t.d. verið stórfækkun eða útrýming stofna á borð við hávellu (*Clangula hyemalis*) og annarra fugla sem lifa á fiski (lómar, fiskiendur og gjóðar; fiskiörn = *Pandion haliaëtus*)
- Hækkað sýrustig vegna loftmengunar úr suðri, sem safnast fyrir í snjónum vetrarlangt, segir skynilega til sín með vorhlákunni. Slík mengun hefur útrýmt fiski úr mörgum vötnum í norðanverðri Skandinavíu, aukið við dýrasvif og fjölgað fuglum sem nærast á skordýrum, en fækkað fiskætum.
- Varanleg eiturefni í lífverum, þ.m.t. margskonar skordýraeitur, berast norður á bóginn, setjast í fituvefi og safnast saman er ofar dregur í fæðukeðjunni. Heimskautableikjan er um miðbik keðjunnar og í mörgum stofnum er



mengun komin yfir hættumörk skv. opinberum skýrslum.

- Hlýnandi loftslag verður til þess að mjög fer batnandi hagur keppinauta á nyrstu mörkum heimkynna sinna. Yfirburðir bleikjunnar í fæðuöflun að vetrarlagi munu minnka verulega vegna þess að hitastig er talið munu hækka hlutfallslega mest á vetrum. Bleikjan mun vinna ný svæði á nyrstu slóðum, en láta undan síga í suðri.

LENGI TEKUR SJÓRINN VIÐ

Í fyrstu vorleysingum flæðir kalt leysingavatn í stríðum straumi af öllum landsvæðum umhverfis Íshafið. Vatnsmagn í ám og fljótum er um 4000 rúmkílómetrar á ári. Hér er aðeins um að ræða um 2% af öllu innstreymi úr Atlantshafinu í Íshafið og, í mun minna mæli, úr Beringshafi, en í samanburði við önnur höf er þó um hátt hlutfall að ræða. Leysingavatnið flytur með sér næringarefni og setlög sem jöklar hafa mulið úr berginu. Er flóðið rénar, sekkur þyngri framburðurinn til botns, sér í lagi þar sem flatlent er, en feikna magn af fingerðum sandi og leðju berst út í árósa og höf.

Árlega ber Yenisey fljótið u.þ.b. 6 milljón tonn af jarðvegsefnum inn á grunnsævi Karahafsins í 600 rúmkílómetrum vatns. Hins vegar flytur Mackenzie fljótið sjö sinnum meiri framburð í Beaufort hafið, þótt það sé, hvað vatnsmagn varðar, aðeins hálfdrættingur á við Yenisey. Ástæðan fyrir þessum mismun er sú að Yenisey rennur um flatlenda, frosna túndru, en vatnasvæði Mackenzie fljóts er minna um sig og brattara; þar er sífrerinn ekki eins ríkjandi og jarðvegur og bergmyndanir berskjaldaðri fyrir veðrun og ágangi vatns.

Árósar og óshólmar safna í sig megninu af framburði fljótanna, en sumt sekkur til botns á landgrunninu, sem undan strönd Síberíu nær 900 km til hafs. Aðeins 10-20% af framburði OB og Yenisey fljótanna berst lengra en í óshólmana og landgrunn Kara hafsins. Óshólmar Mackenzie fljóts bæta við sig nokkrum sentimetrum af setlögum ár hvert. Sumt af framburðinum rennur yfir hafisinn að vori, síðar litar hann geira út í sjóinn og myndar smákekki sem sökkva til botns. Lögum sjávarbotnsins, fjarlægð frá ströndinni og ísalög ráða mestu um gerð og mótun botnlaga á landgrunninu. Árvatnið og bráðnandi hafis kælar sjóinn yfir landgrunninu, en geislar sumarsólarinnar geta komið hitanum á grunnsævi upp í 4-5 gráður á Celsíus.

Yfirborðssjórinn og hafisinn renna um Beaufort hringrásina og berast yfirleitt í vestur frá Austur-Íshafi yfir til Fram sunds og þaðan inn í Norður Atlantshaf. Hafisinn er aðeins 5-6 ár á leiðinni frá Chukchi hafi undan Alaska að Fram sundi, enda þótt heildarmyndin gefi ekki til kynna hve ólíkt ísinn hreyfist á mismunandi svæðum.

Er svalur, lágsaltur yfirborðssjórinn (nálægt 0 gráðum á Celsíus)flæðir gegnum Fram sundið mætir hann og blandast hlýjum (3,5 –6,0 stig á Celsíus) Atlantshafssjó, er flytur með sér hitann úr suðurhöfum, en þaðan fær einmitt Golfstraumurinn orku sína. Það er svo fyrir tilverknað Golfstraumsins að loftslag á Svalbarða, Íslandi og í Vestur Evrópu er hlýrra en á samsvarandi breiddargráðum í Norður Ameríku og Rússlandi. Þegar hlýr, saltur Atlantssjórinn nær inn á heimskautasvæðin, kólnar hann og þéttist og sigur niður á meira dýpi. Þetta gerist hægt og bitandi, en á hverjum vetri sökkva nokkrar milljónir rúmmetra af sjó, blandast sjávarlögum sem dýpra liggja og streyma í suður við botn Atlantshafsins. Þetta er “færiband úthafanna” - hitahringrás sjávar – sem miðlar varma um jarðkringluna.

Sjórinn iðar af lífi

Samhengi og breytileiki umhverfispáttá (ís, berg, sand- og leðjulög, hiti, selta, straumar, næring, ljós) ákvarða líffræði kerfisins.

Strendurnar. Árósar og óshólmar með söltum flæðilöndum og leðjuflákum, sand- og klettastrendur, vikur, vogar, firðir og sæhamrar eru línuverðir lands og sjávar – með sinn fótinn í hvoru ríki. Brattar stendur og flatir óshólmar eru ákjósanlegir staðir til að afla fæðu og ala upp afkvæmi. Og fuglarnir bera órækt vitni um auðlegð sjávarins. Þeir flykkjast norður til stuttrar sumardvalar, mörg þúsund kílómetra leið frá tempruðu beltunum og hitabeltislöndunum, jafnvel allt til suðurskaupsins eins og krian gerir – árleg 32 þúsund kílómetra reisa fram og til baka.

Í leirmýrum og á sandströndum er kraðak vaðfugla sem kroppa og krafsa eftir litlum krabbadýrum, lindýrum, ornum og smáfiskum. Vaðfuglar (lóuprælar, rauðbrystingar, stelkar og sendlingar) verpa nánast eingöngu á heimskautasvæðunum. Sumir kunna líka vel að notfæra sér votlendi túndrunnar og stofnar nokkurra tegunda telja allt að 3,5 milljónir fugla Kriur verpa saman í stórum hópum og kafa eftir smáfiski við ströndina. Í háum hömrum eða holum í grastóum verpir mergð fugla, stundum nokkur hundruð þúsund í einu innan sama varplendis. Þar eru teistur og langvíur, álkur, svölur, skarfar og lundar. Þessir fuglar veiða loðnu, sandsili, þors og aðrar fisktegundir og verða gjarna fyrir árasum kjóa og máfa. Fugladritið er úrvals áburður fyrir fagurgrænar grastorfurnar í klettunum sem á sumrum bergmála af óstöðvandi gargi ábuendanna, en á vetrum ríkir þögnin ein.

Landgrunn, sjór og úthaf. Grunnsvæðið við ströndina er heimkynni fjölskrúðugs lífríkis krabbadýra, lindýra, svampa, orma, sæfífla og krossfiska auk ýmissa tegunda smáfiska. Þessi dýr lifa á þörungum og svifi eða rotnandi úrgangsefnum og eru fæða stærri fiska, fugla og spendýra, eins og t.d. rostunga og sela. Á grunnsvævi eru líka hrygningarstöðvar loðnu, þorsks og fleiri fisktegunda í mars og apríl. Í hverri loðnutorfu geta verið mörg hundruð tonn af fiski sem eftir hrygningu syndir út á haf allt að ísröndinni til að nærast á svifi og verður um leið bráð sjófugla og stærri fiska og dýra eins og þorsks, sela og hvala.

Ís gegnir mikilvægu hlutverki í vistkerfi hafsins. Á vetrum teygist ísinn langt til suðurs og nær mestri útbreiðslu í mars. Á sumrin dregst hann saman, en Íshafið er ávallt þakið breiðu af samþjöppuðum ís, sem er þrír metrar á þykkt eða meir og myndar hrauka bæði yfir og undir yfirborði. En jafnvel í þjöppuðum ísnum eru vakir (*polynyas*), meira að segja að vetrarlagi, en þær stafa af hreyfingu íss og öldugangi og uppstreymi hlýrri sjávar. Á sumrin eru opnar vakir u.þ.b. 10% af ísbreiðunni.

Næringarefni sem berast með ám og fljótum, vegna uppstreymis sjávar eða falla til úr andrúmsloftinu eru efnafræðilegur grunnur þörungagróðurs. Þörungar vaxa á yfirborðinu, í og undir ísnum og í opnum sjó. Þeir hafa aðlagast lágum hita, en þrífast líka vel þar sem hiti er hærri vegna áhrifa “Færibands jarðkringlunnar”. Einnig geta þeir vaxið í daufri skímunni af þeirri dagsbirtu sem nær gegnum ísinn. Þessir þörungar eru grunnframleiðendur - lykillinn að framleiðslu fæðukeðjunnar í inn- og úthöfum heimskautalandanna.

Ísbrúnin, einkum á grunnsvævi, einkennist af mikilli framleiðslu. Þar hefur þróast flókið fæðukerfi sem nær allt frá dýrum sem nærast á þörungum gegnum millistig hinna ýmsu rándýra

allt til ísbjarnarins og heimskautarefsins sem flakka langt út á ísinn í fæðuleit. Í **opnum sjó** eru flotþörungar, eða plöntusvif, uppspretta fæðu fyrir stór og smá krabbadýr (áta) sem eru svo aftur étin af sild, loðnu og hinum ýmsu tegundum skiðishvala – sem nærast með því að sía þau úr sjónum.

RÁNDÝRIÐ SEM TRÓNIR Á TOPPNUM

Fæðukerfin sem þegar hefur verið greint frá eru grófleg einföldun á raunveruleikanum. Margar aðrar tegundir tengjast þessu. Tegundir breyta um lífshætti og heimkynni eftir þroskastigum á æviskeiði sínu og staðháttum mismunandi svæða í norðrinu. Sannferðugri mynd fæst með því að skoða fæðukerfi Inúíta og Cree þjóðflokksins við Hudson Bay. Hér eru nán tengsl milli lífsmynstra í sjó, fersku vatni og á landi, allt frá plöntunum sem mynda grunn fæðukeðjunnar í ytra hring, gegnum grasbíti og rándýr í tveimur næstu hringjum til Inúíta og Cree í miðjunni. Tengslin eru marvísleg, með skörum milli mismunandi þrepa og fæðan er breytileg frá einni árstíð til annarrar.

Staða mannsins sem æðsta rándýrsins í fæðukerfinu hefur óæskilegar afleiðingar í för með sér, sér í lagi fyrir frumbyggja. Mikilvægur þáttur í aðlögun margra dýra á heimskautasvæðunum er söfnun fitu sem varaförða og til verndar gegn kulda. Þetta atriði ásamt því hve varanleg lífræn mengunarefni leysast auðveldlega upp í fitu veldur því að þessi aðskotaefni safnast upp í fæðukeðjunni, enda þótt aðeins örlítið magn þeirra sé fyrir hendi í umhverfinu. Þannig eru þessi efni komin inn í líkamsvefi frumbyggja í umtalsverðu magni.

Frumbyggjar hafa nýtt auðlindir umhverfisins í þúsundir ára. Á síðustu öldum hafa hvalfangarar, veiðimenn og fiskimenn úr suðri fært sér auðlindir heimskautasvæðanna í nyt í sívaxandi mæli. Þetta hefur haft bein áhrif í þeim skilningi að veiðidýrum hefur fækkað verulega, t.d. vegna ofveiði á fiskistofnum. Áhrifin hafa einnig verið óbein, svo sem þegar rándýr snýr sér að annari tegund, vegna þess að búið er að ofveiða hina hefðbundnu bráð þess. Miklar sveiflur eru í stofnum dýra og fiska. Öldum saman hafa verið stundaðar veiðar á þorski, sild og loðnu. Einkum hafa þorskveiðar haft veruleg áhrif á efnahag og menningu margra þjóða. En jafnvel þessi einstaklega framleiðni stofn, sem er bæði ránfiskur og mikilvæg bráð annarra tegunda, er nú aðeins orðinn eins og skugginn af sjálfum sér vegna ágengni rándýrsins sem trónir á toppnum, þ.e. mannsins sjálfs!

HELSTU HEIMILDIR

AMAP (1997). Arctic Pollution Issues (Mengunarvandamál á heimskautasvæðunum). Skýrsla um umhverfisáhrif í heimskautalöndunum. 188 bls.

Mjög vel skrifað yfirlit um kerfi heimskautasvæða, náttúruleg ferli, vistfræði og íbúa (fyrstu 70 bls.) Síðan er útskýrt hvernig mismunandi spilliefni komast inn í kerfið, flytjast til innan þess og hver áhrif þeirra eru á menn og umhverfi. Helsta heimild um margar tölfræðilegar upplýsingar (Einnig til á rússnesku?).

Callaghan, T. & Nuttall, M. (útg.) (2000). The Arctic Environment, People, Policy (Heimskautasvæðin, fólk og framtíðarstefna) Harwood Academic Publishers, Amsterdam. 647 bls.

Yfirgrípsmikið yfirlit um náttúrulegt umhverfi; lífríki á landi í ferskvatni og sjó, þ.m.t. heilsufar manna; félagsleg og pólitísk viðhorf; áhrif mannsins á náttúrufar heimskautasvæðanna og hvert stefnir í þeim málum. Kaflarnir 22 eru skrifaðir af 35 sérfræðingum frá 8 mismunandi löndum. Þeir fjalla um efnið á ítarlegan, vandaðan og hlutlausan hátt. Dýrt rit, en hefur að geyma mikilvægar upplýsingar

Chernov, Yu. I. (1980). Zhizn' tundry. Izdatel'stvo. Mysl.
Ensk þýðing eftir D. Love (1985). **The living tundra.** (líferki túndrunnar) Cambridge University Press. 213 bls.

Vönduð og yfirveguð innsýn í líffræði norðurslóða, þar sem ítarlega er fjallað um vistkerfi hinna margvíslegu tegunda, hvernig þær tengjast hver annarri og með hvaða hætti þær aðlagast umhverfi sínu. Sérlega góðar lýsingar á náttúrufari og orkubúskap jarðvegsins. Mjög aðgengilegt rit eftir einn af sérfræðingum heimskautasvæðanna (til sem pappírskilja)

Chapin et al (1992). Arctic Ecosystems in a Changing Climate (Vistkerfi heimskautasvæða í breytilegu loftslagi): Sameinar vistfræðileg og líffræðileg viðhorf. Academic Press. 467 bls.

Fyrir þá sem eru tæknilega sinnaðir. Meðal bestu ritraða sem enn hafa verið skrifaðar um hvernig lífverur á heimskautasvæðum bregðast við loftslagsbreytingum. Hefst með góðri almennri kynningu á umhverfi og náttúrufari heimskautalanda; þá er fjallað um orkubúskap kolefnis, vatns og næringarefna; síðan víxlverkanir; að lokum yfirlit. Samtengd röð ritgerða sem mynda djúpstæða og ihugula heild.

Fogg, G.E. (1998). The Biology of Polar Habitats (Líffræði heimskautasvæða). Oxford University Press, Oxford. 263 bls.

Traustur, vísindalegur samanburður á aðstæðum og vistkerfum norður- og suðurskautsins. Geoffrey Fogg fjallar um heimkynni helstu tegunda af eigin reynslu og þekkingu. Einnig er að finna í bók hans stutt yfirlit um þau áhrif sem afskipti manna hafa haft á heimskautasvæðin. Ekki auðveld aflestrar, en áreynslunnar virði.

Kurlanski, M. (1997). Cod. A Biography of the Fish that Changed the World. (Ævisaga þorsksins.)

Þessi bók takmarkast ekki við heimskautasvæðin, en segir frá því á hrifandi hátt hvernig ýmsar þjóðir nýttu þorskinn; hvernig hann breytti efnahagslífi þeirra, olli styrjöldum og breytti menningarheimum. Óþrjótandi auðlind sem hélt uppi vistkerfi sjávar og heilla þjóða – og hrundi að lokum. Kaflar bókarinnar tengja saman mismunandi staði og tímabil og byggja þannig upp heillandi mósaík. Frábær kennsla í (ó)sjálfbærri nýtingu.