

nr 47

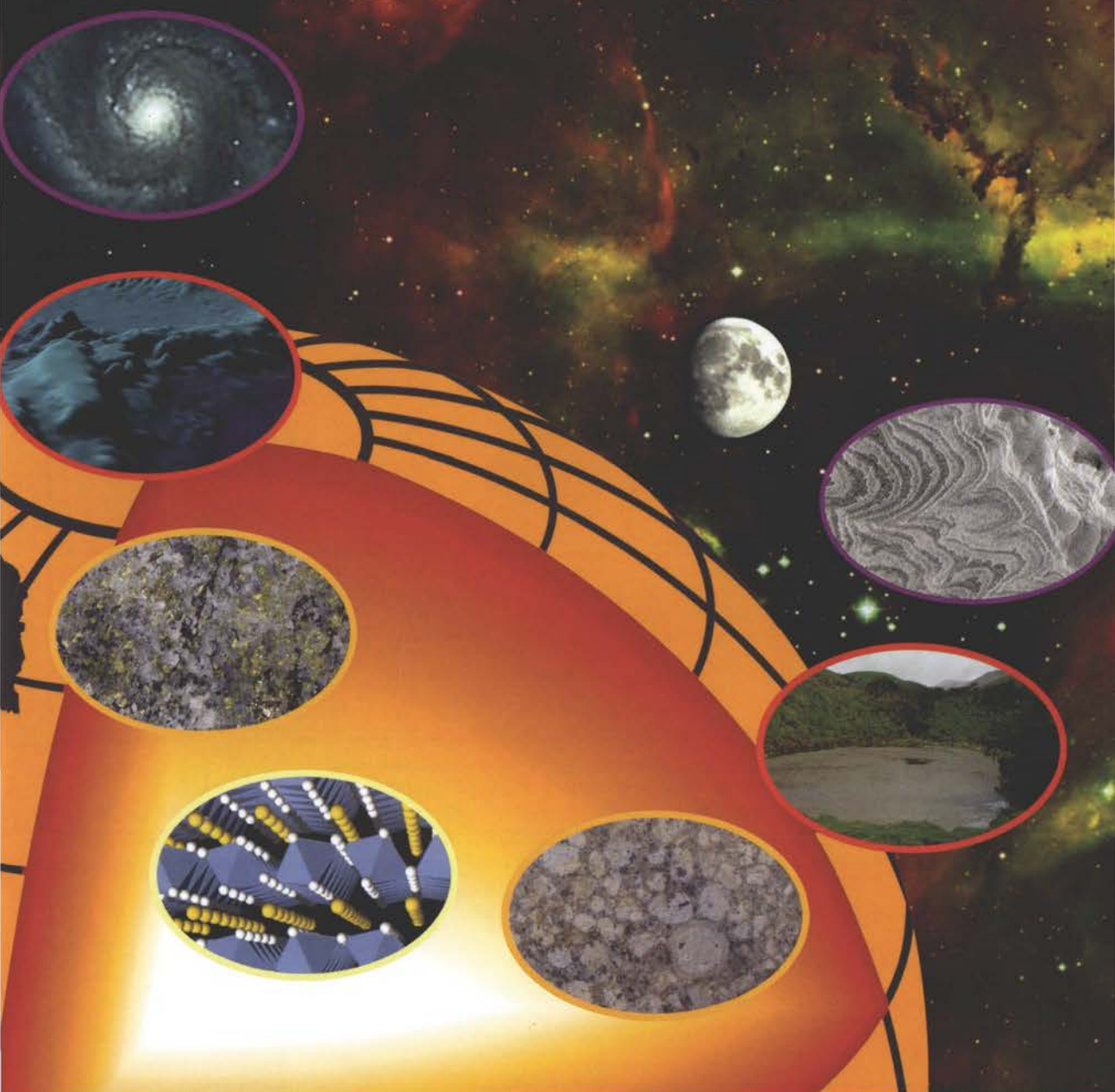
september 2005

årgång 12

Geologiskt forum

Sveriges enda geologiska populärvetenskapliga tidskrift

Geologins dag 2005



2550

2540

2530

4600 miljoner år på 144 sidor

2550

2540

2530

Den stora kunskapsluckan

Geologins Dag är inne på sitt femte år, och i år räknar vi med att minst 20 000 personer kommer att se aktiviteterna som anordnas runt om i Sverige. Vi hoppas att många skolor tar chansen att besöka arrangemangen på fredag, eftersom det kanske är elevernas enda möjlighet att komma i kontakt med geovetenskapen. Det är ju nämligen så att geovetenskapen har en mycket liten plats i skolan. Lyckligt lottade elever får kanske några timmars undervisning om den senaste inlandsisens avsmältning eller om dinosaurier och andra fossil. Ytterligare en liten minoritet kanske har en geointresserad, kanske till och med geologutbildad, lärare och får på det sättet lära sig de mest grundläggande begreppen rörande mineral, bergarter, fossil, jordarter, inlandsisar och klimatets orsaker.

Den nästan fullständiga avsaknaden av geovetenskaplig utbildning i skolan märks naturligtvis hos den vuxna befolkningen. I nästan alla världens länder räknar man med fyra naturvetenskaper: biologi, fysik, geologi och kemi, men i Sverige verkar det bara finnas tre. Även grundläggande geovetenskapliga termer bemöts oftast med uttrycksfyllt frågande ansikten, eller till och med av ett roat fnitter på grund av ordets ofta fullständigt främmande klang. Ett ord som tsunami var i stort sett okänt för allmänheten till för omkring nio månader sedan. I många andra länder har man fått lära sig detta, och även andra begrepp som t.ex. pyroklastiska flöden, slamströmmar; begrepp som, om man känner till dem, faktiskt kan rädda liv. Nu kanske det inte behöver vara så dramatiskt varje gång, men geologisk kunskap kan visa sig vara nyttig även i mer vardagliga sammanhang.

Sverige blev en gång stort på grund av malmen som togs ur vårt urberg. Vi lever fortfarande gott på våra naturtillgångar, även om det nu rör sig om skogen och vattnet. Dessa tillgångar finns där på grund av Sveriges klimat, jordmån och geografi, dvs fält som i högsta grad tillhör geovetenskapen. Geologi borde därför vara något som gemene man känner till, men vi vet ju hur det egentligen är. Hur många vet till exempel att Sverige just nu upplever en guldgruva? Det är nya aktörer, ofta med utländska gruvbolag i bakgrunden, som både bildligt och bokstavligen har hittat guldgruvor. Varför känner så få till detta, och varför krävdes det utländska aktörer för att något skulle hända? Kan det bero på att geologi är ett så pass okänt ämne? Geovetenskap är dessutom inte bara berg och jord. Många av nutidens viktigaste och hetaste debattämnen har även de geovetenskapliga anknytning. Hit hör bland annat klimatfrågan.

Geologins Dag är Sveriges geologers försök att få ut information om geovetenskapens existens till allmänheten. Vi har hävdat i många år att geovetenskap borde vara ett skolämne på högstadiet och gymnasiet, men vi geovetare är helt enkelt alltför få, och geovetenskapen alltför okänd för den övriga befolkningen för att vi ska höras. De svenska myndigheterna fick utstå hård kritik efter katastrofen i Sydostasien, men en i högsta grad angelägen fråga hördes aldrig från de svenska folket, nämligen: "Varför har vi aldrig fått lära oss vad en tsunami är?"

Joakim Mansfeld



GEOLOGISKA FÖRENINGENS STYRELSE 2005

Barbara Wohlfarth, ordf., Inst. f. naturgeografi och kvartärgeologi, Stockholms universitet, 106 91 Stockholm, tel. 08-16 48 83; barbara.geo.su.se

Mats Rundgren, sekr., Geol. inst., Kvartärgeol. avd., Lunds universitet, Sölveg. 12, 223 62 Lund, tel. 046-222 78 56; mats.rundgren@geol.lu.se

Katarina Persson-Nilsson, skattm., Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala, tel. 018-17 93 58; katarina.persson@sgu.se

Joakim Mansfeld, redaktör, Institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet, 106 91 Stockholm, tel. 08-674 77 27; gff@geo.su.se

Dan Holtstam, ledamot, Vetenskapsrådet, 103 78 Stockholm, tel. 08-546 44 152; dan.holtstam@vr.se

Pär Weihed, ledamot, Luleå tekniska universitet, 971 87 Luleå, tel. 0920-49 13 71; par.weihed@sb.luth.se

Linda Wickström, ledamot, Sveriges geologiska undersökning, Box 670, 751 28 Uppsala, tel. 018-17 93 13; linda.wickstrom@sgu.se



Geologiskt forum utges av Geologiska Föreningen (Sveriges riksförening för geologi), i samarbete med Föreningen för Geologins Dag, och med ekonomiskt stöd från Sveriges geologiska undersökning.

SGU

Sveriges geologiska undersökning

Ansvarig utgivare, redigering och layout: Joakim Mansfeld

Foto och illustrationer (om inte annat anges): Joakim Mansfeld

Redaktionens adress:

GF:s redaktion, institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet, 106 91 Stockholm, tel. 08-6747727, fax 08-164424;

gff@geo.su.se; www.geologiskaforeningen.se

Geologiskt forum trycks helt i fyrfärg i ca 1500 ex. av Alfa Print AB, Sundbyberg

Distribution, prenumerationsärenden, adressändring och köp av tidigare nummer:

Swedish Science Press, Box 118, 751 04 Uppsala, postgiro 4897850-6, bankgiro 914-460 1, tel. 018-365566, fax 018-365277; info@ssp.nu

ISSN 1104-4721

Geologiskt forum (startår 1994) publicerar populärvetenskapliga artiklar inom geologins alla områden. Den informerar om litteratur, händelser och personer med geologisk anknytning, och är ett forum för åsikter och debatt.

Redaktionsråd:

Jan Bergström, Holger Buentke, Christer Carlberg (Hallands Geologiklubb), Ingemar Cato, Rolf Frankenberg (Upplands Geologiska Sällskap), Emil Gregori (Tunabygdens Geologiska Förening), Dan Holtstam, Antti Hulterström (Västerbottens Amatörgeologer), Mikael Jansson (Bergslagens Geologiska Sällskap), Erik Mofjell (Göteborgs Geologiska Förening).

Tidskriften ingår i det ordinarie medlemskapet i Geologiska Föreningen.





Annonser mottages gärna. Kontakta redaktören för uppgifter om digitala format, storlekar och priser.



Ordinarie lösnummerpris: 50 kr.

Rymdens Dag 2005



Vid en första åtanke kan geologi tyckas handla mest om mycket jordnära ämnen, mangår i naturen, mäter och samlar i för att sedan analysera. Vi rör oss mest i två dimensioner, den tredje dimensionen, rymden, tänker vi kanske inte så mycket på. Utan jordens heta inre och världsrymden utanför skulle vi inte ha mycket att analysera. Jorden påverkas i hög grad av vår omvärldsrymd. Några saker kan vara värda att nämna:

-  Meteoriter från yttre rymden både utplånar liv och tillför nytt material till jordskorpan. Kanske kom de första livsalstrande bakterierna till jorden med en meteorit?
-  Inom astrobiologin studeras möjligheter till liv på andra planeter med hjälp av geologisk kunskap. Denna nya vetenskap kan i framtiden kanske ge oss svar på hur livet en gång uppstod på jorden.
-  Satelliter roterar i rymden för att vi ska kunna övervaka jorden och bedriva geovetenskaplig forskning över stora områden.
-  Jordens elliptiska bana kring solen varierar, liksom jordaxelns lutning samt åt vilket håll jordaxeln lutar. Dessa s.k. Milankovich-cykler, som har periodiciteter mellan 21 000 och 100 000 år påverkar jordens klimat och anses vara huvudorsak till att vi har återkommande istider.

-  Månens och solens gravitation inte bara påverkar vattnet utan även marken, och kallas då *tidjord*. Marken rör sig vertikalt med upp till 25 cm två gånger per dygn p.g.a. jordens elasticitet.
-  Kompassen som vi använder för att orientera oss påverkas av de magnetiska strömmarna som alstras längst inne i jordens kärna.

Rymddimensionen och geologin är också den röda tråden i årets temanummer av *Geologiskt forum*; jordytan ingår i något större som vi inte kan uppfatta från våra platser här på jorden.

Något betydligt mer "bergnära" är Öppen Tåkt som firas av Sveriges Bergmaterialindustri och deras medlemsföretag i år. Minst 18 berg- och grustäkter har öppet hus för skolor och allmänhet för att de ska kunna lära sig mer om vad Sveriges vägar, hus, broar och samhällen byggs av.

Femårsjubileet av Geologins Dag inleds med att Jehanders Sand & Grus spränger en bit urberg i Rikstens berg- och grustäkt strax söder om Stockholm under fredagen den 9 september!

Väl mött i vår fantastiska geologiska rymd!

Erik Huss, *Geologins Dag 2005*; erik.huss@nrm.se



Vi stödjer Geologins Dag 2005

SGU

Sveriges Geologiska Undersökning



Naturhistoriska
riksmuseet



Svensk Kärnbränslehantering AB



Övriga sponsorer

LKAB
Nordkalk
ESRI Sweden
Lundin Mining
Naturvetareförbundet
Sveriges Bergmaterialindustri
Geocentrum/Uppsala universitet
Geosektionen/Stockholms universitet

I DETTA NUMMER

| | | |
|---|---------------------------|----|
| Den stora kunskapsluckan | J. Mansfeld | 2 |
| Rymdens Dag 2005 | E. Huss | 3 |
| Meteoriter – budbärare från den tredje dimensionen | J. Mansfeld | 4 |
| Jorden – stjärnornas barn | G. Gahrn | 6 |
| Geologi hos våra grannar: Solsystemets uppkomst och planetärgeologisk forskning | J. Örmö | 10 |
| Sjöarnas hemlighet | B. Wohlfarth | 18 |
| Under jordens mössa – en titt på det lilla djuphavet runt Nordpolen | J. Backman & M. Jakobsson | 24 |
| Graniter – jordens anonyma massa? | U.B. Andersson | 30 |
| Guldådror, guldfeber och guldålder | P. Weihed | 36 |
| Mineralen i jordens inre – Hur ser de ut och hur vet vi det? | P. Lazor | 42 |

Budbärare från den tredje dimensionen

Detta temanummer av Geologiskt forum går på djupet. Vi presenterar den tredje dimensionen av vår värld, samtidigt som vi söker svaren på de mest grundläggande frågorna; hur bildades solsystemet och jorden, hur har jordens yta ändrats med tiden och hur har klimatet ändrats under jordens historia.

AV JOAKIM MANSFELD OCH ILKA VON DALWIGK

Genom direkta observationer av jorden kommer vi bara åt det absolut översta skiktet av jordskorpan. Våldsamma vulkanutbrott har ytterligare hjälpt oss att få upp bergarter från några hundratals kilometer. Det är 6378 kilometer till jordens mitt, så den absolut största delen av jorden kommer vi helt enkelt inte åt.

En av de viktigaste ledtrådarna till jordens uppkomst får vi istället uppiifrån, från rymden. Meteoriter utgörs av fasta kroppar, större än 1 gram men mindre än 100 ton, som fallit ned från rymden. De består alltså av material från en annan himlakropp än jorden. För oss är detta en självklarhet, men det är faktiskt knappt 200 år sedan som det accepterades vetenskapligt att stenar kunde ramla ner från skyn. Fram till 1969 var meteoriterna också det enda icke-jordiska material som var tillgängligt för studier.

Meteoriter kan delas upp i två generella grupper, järn- respektive stenmeteoriter. Stenmeteoriterna kan i sin tur delas upp i akondriter som har ett magmatiskt ursprung, och kondriter som inte härrör från smältor. En tredje meteoritgrupp, stjärnmeteoriter, består, som namnet antyder, av både järn och sten.

Järnmeteoriter är lätta att känna igen eftersom metalliskt järn är extremt ovanligt på jorden. Sten-



Kondrit (H5) med smältskorpa, från Hässlefallat 1869. Notera meteoritens ljusa inre där smältskorpan skadats. Meteoriten är omkring 10 cm lång. Naturhistoriska riksmuseets samlingar.

meteoriter, särskilt akondriter, kan däremot vara mycket svåra att skilja från vanliga bergarter. Nyfallna meteoriter får dock en smältkrusta som uppstår genom atmosfärens friktion mot meteoriten (se ovan).

Genom både geokemiska och kristallografiska studier har man kunnat visa att meteoriterna kan delas upp i relativt väl definierade klasser (se tabellen nedan). Detta antyder att meteoriterna ursprungligen härrör från ett begränsat antal mindre himlakroppar

Meteoritsystematik

| | | |
|----------------------------|--|--|
| järnmeteoriter | oktaedriter hexaedriter* ataxiter** | Widmannstätten-textur lågt nickelinnehåll høgt nickelinnehåll |
| järn- / stenmeteoriter | pallasiter* mesosideriter* | oktaedritnätverk av olivin och sällsynt pyroxen silikater och finfördelat nickeljärn |
| stenmeteoriter kondriter | enstatit-kondriter** vanliga kondriter rumuruti-kondriter*** kolhaltiga kondriter* | E-gruppen H-, L-, LL-gruppen R-gruppen C-gruppen |
| akondriter | angriter*** aubriter** ureleiter*** HED-gruppen* PAC-gruppen*** Marsgruppen eller SNC-gruppen*** månggruppen*** | howardit, eukrit, diogenit lodranit, brachinit, acapulcoit, winonait Marsbasalter och -lherzoliter (Shergottit), -klinopyroxenit och wherlit (Nakhlit), -dunit (Chassignit) och ortopyroxenit månbasalter, gabbro och anortositer |

Förkortningar: H – high iron, L – low iron, LL – low, iron low metal, C – kol eller kolvätehaltig; PAC – primitiva akondriter.

* – sällsynt, ** – mycket sällsynt, *** – enbart kända i få exemplar och i mycket små mängder.

som disintegrerats i samband med kollisioner med andra himlakroppar.

Kondriterna bildades ur solsystemets ursprungliga stoftskiva (urnebulosan) och består därför av ursprungligt material. De olika typerna av kondriter representerar därför i vilken del, och därmed vid vilken temperatur, de bildades. Kondriterna innehåller ofta glasiga eller kristalliserade sfäriska inneslutningar, kondruler. Just kondrulerna anser man vara de absolut första fasta makroskopiska faserna som bildades ur den heta solnebulosan.

Akondriterna består av material som har differentierats geokemiskt (fraktionerats) genom att lättare, litofila ("stenälskande") element har separerats ut i form av en silikatsmälta, och tyngre siderofila ("järn-älskande") element har separerats ut i form av en järnsmälta. Silikatsmältan kan i sin tur ha fraktionerats ytterligare och till exempel gett upphov till vulkaniskt bildade basalter. Detta säger oss att akondriterna och järnmeteoriterna måste härröra från kroppar som



Sten-järnmeteorit s.k. pallasit, hittad i norska Finnmarken. Den består av stora brungula olivinkrystaller i en järn-nickelmatrix. Skivan är ca 11 cm lång. Naturhistoriska riksmuseets samlingar.

(delvis) måste ha haft temperaturer över silikaters smältpunkt (runt 1000°C) och att de varit stora nog för att ha en märkbar gravitation. I vissa fall har man till och med lyckats härleda akondriternas ursprung till en unik himlakropp. Det finns till exempel flera akondriter som härrör från månen eller Mars. En annan föreslagen ursprungskropp är asteoriden Vesta. Det råder överhuvud taget en relativt stor överensstämmelse mellan olika typerna av asteoridtyper och meteoritklasser, vilket antyder att de flesta meteoriterna har sitt ursprung från asteoriderna. Varför vissa meteoriter (asteorider) utvecklats magmatiskt medan andra i stort sett bevarats opåverkade genom hela solsystemets



Akondrit (klassen howarditer) som föll i Luotolax i Finland 1813. Bergarten består huvudsakligen av pyroxen och plagioklas. Meteoriten är ca 5 cm lång. Naturhistoriska riksmuseets samlingar.

historia är inte helt klarlagt. Det kan vara så enkelt som att de som utvecklade magmatism befann sig närmare solen och blev uppvärmda av den nybildade solens solvind. Oavsett om de utvecklade magmatism eller inte så har de en sak gemensamt, de processer som skapade dem skedde i solsystemets absolut yngsta barndom, inom de första tiotals miljoner åren. Långvarigare magmatiska processer får vi bara på himlakroppar som är stora nog att behålla en inre värmekälla under en lång tid, dvs planeterna eller de största månarna.

Just det faktum att de flesta meteoriter bevarat en historia från solsystemets absolut första tid gör dem så värdefulla för förståelsen av vår egen planets bildning. Det var faktiskt meteoriterna som för nästan 50 år sedan gav oss den första riktigt pålitliga åldern på jorden, 4550 miljoner år, en åldersbestämning som står sig än idag.

Meteoriterna utgör inte bara ett fönster ut mot rymden utan även ett fönster mot solsystemets äldsta tid. Faktum är att utan meteoriterna skulle vi veta betydligt mindre om solsystemets och planeternas (inklusive jorden) uppkomst och äldsta historia.

Litteratur

Lewis, J.S., 1995: *Physics and chemistry of the solar system*. Academic Press. 556 sidor.

Joakim Mansfeld är redaktör för Geologiskt forum samt forskare vid Institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet; joakim.mansfeld@geo.su.se.

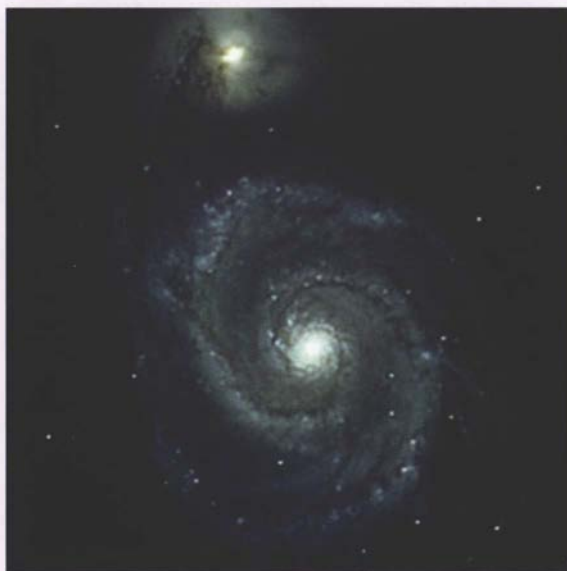
Ilka von Dalwigk är doktorand vid samma institution; ilka@geo.su.se.

Jorden – stjärnornas barn

När Vintergatan bildades för omkring 10 miljarder år sedan fanns det betydligt mindre av tyngre grundämnen än vad det gör idag. Genom exploderande stjärnor har vår galax anrikats på grundämnen tyngre än helium. Utan detta skulle varken jorden eller vi existera.

AV GÖSTA GAHM

När Columbus skulle fara till Indien upptäckte han Amerika i stället. Vi söker. Ibland finner vi vad vi sökt. Andra gånger väntar överraskningar. När Tycho Brahe på sitt Stjärneborg på Ven upptäckte en ljus stjärna i stjärnbilden Cassiopeja, kallade han den nova, som betyder ny. I själva verket skådade han en åldrad stjärna som exploderat efter att bränsleförråden tömts.



Galaxen Messier 51 ligger långt bortom stjärnorna på bilden, som tillhör Vintergatan. Liksom vår galax Vintergatan har Messier 51 spiralformade stråk av stjärnor och interstellära moln (de mörka konturerna). De blå stråken på bilden är det samlade ljuset från miljontals heta stjärnor. På detta avstånd kan inte enskilda stjärnor i galaxen urskiljas på bilden, som är tagen av Magnus Gålfalk med Stockholms Observatoriums teleskop.

Solen och planeterna bildades en gång ur ett moln av rök och gas. Sådana interstellära moln ansamlas ständigt i vår galax Vintergatan. Nya stjärnor bildas, molnen skingras, stjärnorna lever sina liv och de tyngsta exploderar till slut. I varje explosion kastas mängder av gas ut, som är anrikad på nyproducerade tyngre grundämnen. Dessa produkter injiceras i den interstellära omgivningen, ur vilken nästa generation stjärnor bildas o.s.v. Galaxen blir därmed gradvis rikare på tyngre grundämnen, och idag, 10 miljarder år efter Vintergatans tillkomst, är 2% av galaxens atomära massa uppbyggd av ämnen tyngre än helium. I början fanns det just ingenting av t ex metaller.

Men det fanns en tid före galaxerna. Kosmologerna utgår ifrån att kosmos bildades för kanske 14 miljarder år sedan ur ett extremt tätt och hett tillstånd, "the Big Bang". Då, under den första sekunden i Universums historia, bildades spontant elementarpartiklarna och ur dessa byggdes väte, deuterium och helium.

I begynnelsen var det ljus, hett och tätt.

I begynnelsen fanns väte och helium.

Så lyder vår moderna skapelseberättelse.

Jordens plats i tid och rum

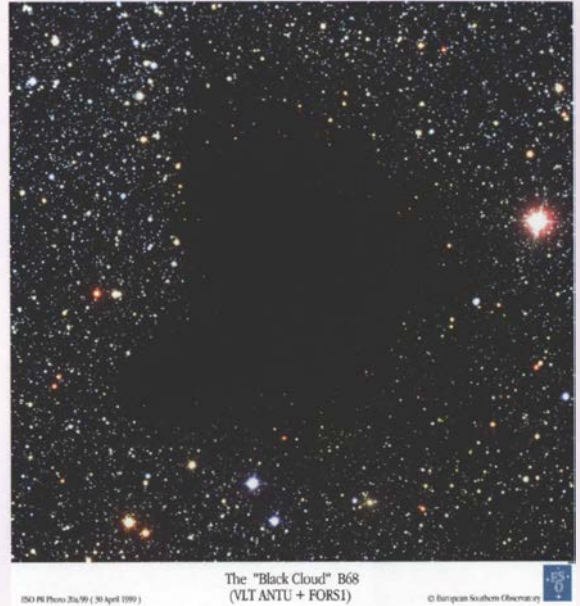
När universum glesnat och svalnat formades de första galaxerna, gigantiska vätgasbubblor som drog sig samman och fragmenterades i molnklumpar. De första stjärnorna såg dagens ljus – eller snarare började lysa själva. Det dröjde innan solen, jorden och solsystemets andra kroppar klev fram på scenen. Vårt solsystem är 4,6 miljarder år gammalt. Ändå har "vi" hunnit gå 20 varv runt galaxens centrum – 20 kosmiska år. Vi bor i utkanterna av en ganska stor galax som roterar, och om man far till orter söder om ekvatorn kan man skåda in mot galaxens skimrande centrum. Det finns i

riktning Skyttens (Sagittarius) stjärnbild. Avståndet dit är så stort, 26 000 ljusår, att vi inte kan urskilja enstaka stjärnor. Den lysande bubblan i Skytten är det samlade ljuset från miljarder stjärnor nära centrum. Här finns bara mycket gamla stjärnor, t.ex. röda jättestjärnor, som är kvarlevor av lågmassiva stjärnor som bildades i Vintergatans barndom. De massiva stjärnorna är sedan länge borta. De levde ett intensivt men kort liv före de sprängdes. Det måste ha varit ett praktfullt fyrverkeri kring galaxens centrum under den första miljarden år!

Solen är en dvärgstjärna av låg massa och ljusstyrka. Det kryllar av stjärnor av solens typ i galaxen. Under senaste decenniet har åtskilliga planeter i omlopp kring andra solar upptäckts. I själva verket tycks bildandet av solsystem vara en normal och utbredd process i vår galax, och sannolikt över hela det synliga universum. Vi är sannolikt inte ensamma, och flera kommande rymdexperiment är designade för att upptäcka liv kring andra stjärnor. En säker signatur på att en exoplanet hyser liv är förekomsten av molekyllärt syre och vatten i planetens atmosfär. Syret i vår atmosfär har sitt ursprung i fotosyntesen och gör jorden unik i vårt planetsystem. Tekniken finns nu att spektroskopiskt detektera olika ämnen i enskilda exoplaneters atmosfärer. Nyligen upptäcktes atomärt syre och natriumånga i atmosfären hos en planet som periodiskt passerar framför sin stjärna. Atmosfären syns då i absorption mot den bakomliggande stjärnan. Tekniken finns också att uppfatta om en planet därute skulle ha avancerat från blågröna alger och enkla varelser till radiosändande civilisationer. Hittills har det varit tyst. Inga extraterrestra signaler har ännu uppfångats. Men, det kan vara en tidsfråga tills vi upptäcker TV- och radiotrafiken på en fjärran planet.

Solsystemets födelse

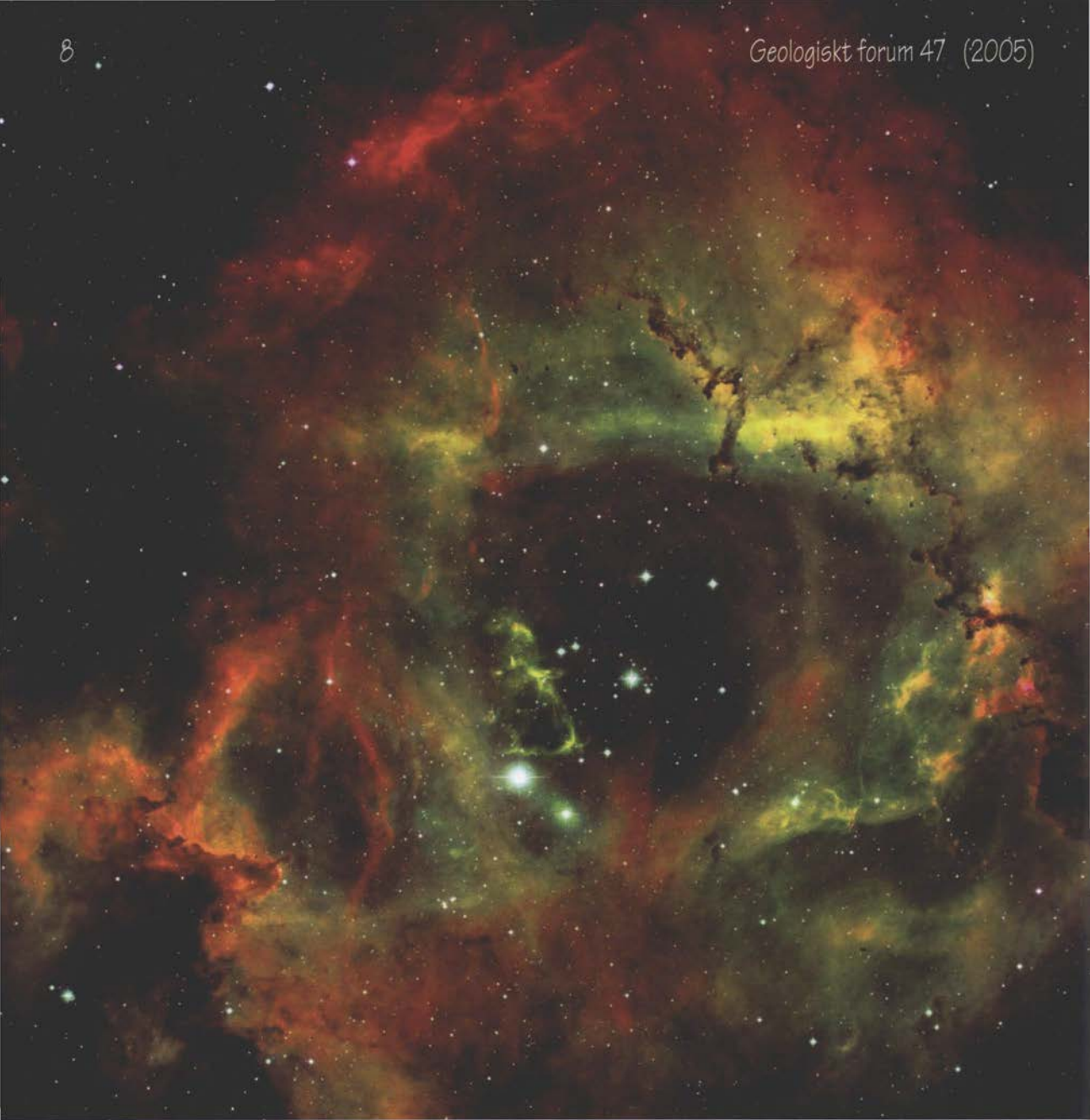
Så är då jorden – och vi – en produkt av stjärnstoff. Att solsystemet kunde ha bildats ur ett svagt roterande interstellärt moln föreslogs redan på 1700-talet, och filosofen Emanuel Kant föreställde sig att kollapsen av urnebulosan skedde främst utefter rotationsaxeln. Systemet plattas då till, eftersom centrifugalkrafter motverkar sammandragning kring "midjan". Planeterna bildas i den platta skivan, och därför är solsystemet än idag platt. Detaljerna i detta scenario blev efterhand fler, och det verkade rimligt att jätteplaneterna bildades långt från solen, där det var gasrikt, kallt och relativt lugnt. Närmare solen blåste tidigt en kraftig solvind av laddade partiklar, och strålningen från solen var till och med intensivare och mer energirik än idag. Det inre området tömdes därmed på lätta grundämnen



Mot bakgrunden av stjärnor i Vintergatan avtecknas i silhuett ett relativt närbeläget isolerat, kallt moln bestående av gas och rök. Bilden är tagen med världens största teleskop, VLT, vid Europeiska sydobservatoriet (ESO), och omfattar en liten ruta på himlen. Molnet mäter endast 0,3 ljusår i diameter och väger endast några solmassor. Sannolikt kommer detta moln dra sig samman under sin egen tyngd, och bilda en stjärna, eller två, och planeter.

som väte och helium. Istället växte stoftpartiklar i omlopp kring den unga solen, och de slog sig samman till stenar, block, planetembryon. Det räcker om ett sådant embryo blir en smula större än de andra, för att omgivande material skall fångas in. En planet, bestående mest av tyngre grundämnen, växer då fram. Merkurius, Venus, jorden och Mars bildades således ur grus. Jätteplaneterna däremot kom att bestå mest av väte och helium, precis som solen.

Men så inträffar det som vi antytt kan vända upp och ned på gängse begrepp. Den första exoplaneten som upptäcktes visade sig vara massivare än Jupiter, men placerad extremt nära sin moderstjärna, t.o.m. innanför Merkuriusbanan om vi relaterar till solsystemet. Nu är fler än 130 exoplaneter kända, och åtskilliga har just dessa egenskaper. De kallas "heta Jupiterobjekt". Frågan blev: Hur kunde sådana bjässar ha bildats så nära sin sol? Teorin för solsystemens (pluralis!) uppkomst måste generaliseras och förklara varför vissa system hyser heta Jupiterobjekt, och varför solsystemet inte gör det. På nya frågor finns det alltid



Här, i Enhörningens stjärnbild, finns ett av galaxens jättemolekylmoln. Tusentals stjärnor bildas just nu i molnet, och i mitten av bilden har redan en stjärnhop med ljusa, blå och massiva stjärnor bildats. UV-ljuset från dessa, och även stjärnvindar, aktiverar omgivningen och får den att lysa. En nebulosa har tänts, och denna varma bubbla expanderar utåt och föser kallt material med sig. Märkliga formationer bildas, med avlånga mörka stråk, som kallas elefantsnablar. Detta vackra objekt, som är 100 ljusår i diameter, kallas för Rosettnebulosan (bilden är tagen vid Kitt Peak National Observatory).

många svar. Beräkningar visar att under vissa förutsättningar kan Jupiterlikande planeter bildas långt ut, men sen migrerar de inåt på grund av störande krafter från skivan och andra planeter.

Knappt hade dessa teorier utvecklats förrän under senaste året nya sensationella upptäckter gjordes. Denna gång handlar det om vad som kan vara Jupiterlikande objekt på extremt stora avstånd från



stjärnan, betydligt längre ut än Pluto är relativt solen. De första exoplaneterna upptäcktes med indirekta metoder, där man observerar planetens inverkan på stjärnan, som vaggar periodiskt i rörelse. Sedan kom upptäckten av att vissa planeter passerar framför stjärnan och fördunklar den en aning. Nu har de första direkta bilderna av exoplaneter kommit. Problemet med direkt avbildning är att planeterna är extremt ljussvaga relativt stjärnan, och drunknar i stjärnans ljus. Objektet, som nu fångats på bilder, ligger således en bit ut från stjärnan.

Åter ett nytt frågetecken. Hur kan Jupiterliknande objekt bildas på så stora avstånd från stjärnan, där skivan är tunn och ansamling osannolik? Jag är säker på att teoretikerna snabbt kommer att formulera nya teorier även för uppkomsten av dessa "kalla Jupiter-objekt". Dock, vi kan ännu inte med största säkerhet påstå att ljusfläckarna, som registrerats, är planeter. Observationerna måste följas upp med annan teknik, t.ex. spektroskopi.

Vi lever i en tid då galaxens reserver av interstellära molnbörjar sina. Redan har 90% av galaxens ursprungliga gas omvandlats till stjärnor och stjärnaska. Om ett antal miljarder år tar gasen slut. Inga nya stjärnor bildas. Stjärnorna dör ut. Himlens lampor släcks.

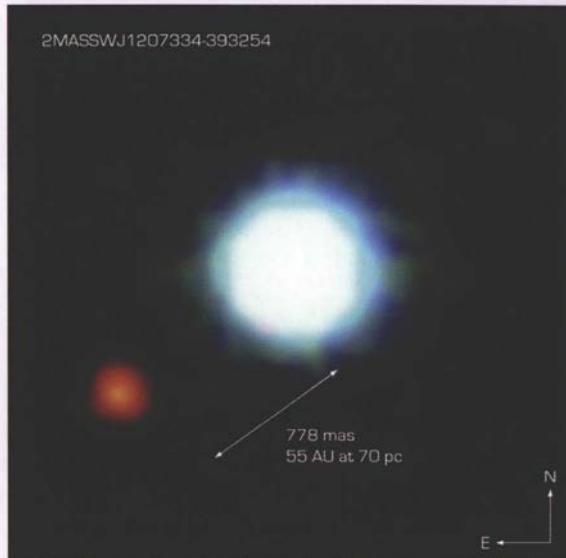
Om det var ljust och hett i begynnelsen, så blir slutet mörkt och kallt.

Men det är mycket lång tid tills dess, om nu alls vår uppfattning om kosmos är korrekt beträffande framtiden. Geologer och astronomer är vana vid att röra sig med årmiljoner och årmiljarder. Men vi är

Med Hubble Space Telescope kan mycket små områden avbildas skarpt. Här ser vi en skiva av kall rök och gas från kanten mot en ljus bakgrund. En inbäddad stjärna lyser upp baksidan på skivan, men det är så tjockt av skymmande rökpartiklar i synlinjen att själva stjärnan inte syns.



Här ser vi en nybildad stjärna omgiven av sin "urnebulosa", en skiva i vilken sannolikt planeter just nu bildas. Avståndet från centrum till kanten av skivan motsvarar 17 gånger avståndet solen – Pluto.



The Brown Dwarf 2M1207 and its Planetary Companion (VLT/NACO)

ESO PR Photo 14a/05 (30 April 2005)



En av de första direkta bilderna, tagen vid ESO, av vad som kan vara en exoplanet i omlopp kring sin moderstjärna. Planeten är minst 55 gånger längre ut än jordens avstånd från solen, vilket på detta avstånd motsvarar en vinkel på endast 0,8 bågsekunder. Stjärnan ifråga är mycket mindre än solen, en så kallad brun dvärg.

nog alla i samma båt när det gäller att känslomässigt omfatta och begripa de enorma tidsrymderna och de hisnande djupen i kosmos. Kanske fångas detta dilemma i historien om gumman i Dalarna, som åhört ett föredrag om solens födelse, liv och död.

- När sade amanuensen att solen kommer att slockna?
- Om 5 miljarder år.
- Åh Gud ske lov, jag tyckte han sade 5 miljoner!

Gösta Gahm är professor i astronomi vid Stockholms universitet och hans forskning rör stjärnornas och planetsystemens uppkomst. Gahm arbetar också med popularisering av naturkunskap, bl.a. genom Svenska astronomiska sällskapet, som ger ut tidskriften *Populär Astronom* (www.popast.nu) och projektet Sweden Solar System, världens största modell av planetsystemet (www.astro.su.se/swesolsyst).

Geologi hos våra grannar: Solsystemets uppkomst och planetärgeologisk forskning

Planetärgeologi fyller ett utrymme mellan geovetenskap och astronomi, och bygger mycket på att kombinera kunskap från båda dessa ämnen. Målsättningen är att förstå vårt solsystems uppkomst, och dess utveckling fram till nu och i framtiden. Den kunskap vi hittills har samlat visar att liv med stor sannolikhet inte är unikt för jorden. Att hitta liv på en annan himlakropp skulle revolutionera vår förståelse för livets uppkomst och vår roll i universum.

AV JENS ORMÖ

De landvinningar som gjorts i rymdforskningen under de senaste åren har sin bakgrund i den rymdforskning som byggdes upp under det kalla krigets tävlan mellan Sovjetunionen och USA. Detta är kanske mer tydligt inom den planetärgeologiska forskningen än inom andra ämnesområden såsom astronomi och rymdfysik. Europa har traditionellt varit starkt inom de sistnämnda grenarna men det var, och är, USA som dominerar inom planetärgeologin. Orsaken är Apolloprojektet. Efter att Sovjet chockat USA genom att vara först med ett antal milstolpar inom rymdforskningen som t ex Sputnik och den förstabemannade rymdfärden, beslöt USA att återta initiativet. Apolloprojektet var dock mycket mer än att sätta en människa på månen. Det var ett långsiktigt och ambitiöst forskningsprogram inom vilket ett flertal stora forskningsinstitut kom att skapas. Till projektet knöts också andra centra och universitetsinstitutioner. Ett flertal efterföljande planetära projekt, av vilka Viking-projektet till Mars kanske är det mest välkända, kom att säkra institutens fortlevnad och fortsatta expansion.

Redan innan murens fall fanns ett betydande samarbete mellan amerikanska och ryska planetärgeologer och det samarbetet har fortsatt i ökad omfattning. Även europeiska forskare har bidragit men det är tack vare Europas första riktigt planetologiska rymdprojekt Mars Express som situationen har kommit att förändras märkbart. Flera institut och universitet har under en lång tid arbetat med att definiera de vetenskapliga mål som lett fram till projektets genomförande samt utvecklat de nödvändiga instrumenten. I vetenskap om att stora datamängder skulle komma

att sändas tillbaka till jorden för att sedan behandlas och tolkas har nya specialiserade planetärgeologiska institut och avdelningar skapats. Ett sådant exempel är International Research School of Planetary Science i Italien. Omfattningen är dock blygsam jämfört med de institut som skapades i USA.

Mycket av kalla krigets tävlan har nu övergått till samarbete. Dock är tävlan en stark drivkraft, speciellt när pengar ska investeras. En ny motivation behövdes för den fortsatta rymdforskningen. Under senare år har stora framsteg gjorts inom astronomin i sökandet efter andra solsystem med planeter som kan tänkas tillåta förekomsten av liv. Sammantaget med den ökade kunskapen om vårt eget solsystem och om livets uppkomst på jorden har detta lett till att vi kan misstänka att liv inte är något unikt för vår egen planet. Den nya långsiktiga visionen för NASA:s och andra rymdstyrelsers verksamhet har därmed blivit sökandet efter liv på andra platser i universum; en definition för vad liv är; och hur det kan utvecklas och överleva i väldigt olika miljöer, vilket bland annat är ämnat till att utöka vår kunskap om vårt eget ursprung och hur vår planet fungerar. Denna nya inriktning har lett till ett kraftigt uppsving för ämnet astrobiologi. Ämnet är tvärvetenskapligt och förenar många olika ämnesområden under samma paraply. Nyckeln är samarbete och ett antal nätverk har skapats mellan olika institut och universitet. I USA skapades NASA Astrobiology Institute (NAI) som samarbetar med det spanska institutet Centro de Astrobiología (CAB) där jag är verksam. Vid CAB sker planetärgeologisk forskning under samma tak som molekylärbiologi,



Hubble Space Telescope-foto av en skiva (protoplanetary disc) runt en nybildad stjärna i Orion-nebulosan. På detta sätt skapades även vårt solsystems planeter. Stjärnan i mitten syns som en röd punkt och är inte mer än en miljon år gammal (Jmf solen som idag är ca 4,6 miljarder år). Foto: Mark McCaughrean (Max Planck-institutet för astronomi, C. Robert O'dell (Rice University) och NASA.

astronomi, fysik, och instrumentutveckling. Min egen forskning fokuserar på kratrar från kosmiska impakter på jorden och andra platser i solsystemet och hur dessa kratrars geologi kan berätta om den miljö i vilken de bildades. Denna kan ha varit helt annorlunda än den vi kan se idag, vilket kan ge oss en inblick i en planets klimatutveckling. Kosmiska impakter är solsystemets viktigaste geologiska process och har varit inblandad i allt från planeternas och vår månens bildning; planeters och naturliga satelliters landskapsutveckling; bildandet av miljöer som främjat livets utveckling, men också varit orsaken till massutdöenden både tidigt och sent i jordens historia. Impaktkratrar är också ett viktigt redskap för relativa åldersbestämningar för platser i vårt solsystem där vi inte har stratigrafisk eller radiometrisk information och det gäller, förutom jorden och några få platser på månen (månprover från Apolloprojektet), större delen av solsystemet. Jag har därför valt att ha dessa gigantiska explosioner som en röd tråd genom denna mycket korta beskrivning av vårt solsystems geologi.

Solsystemets uppkomst

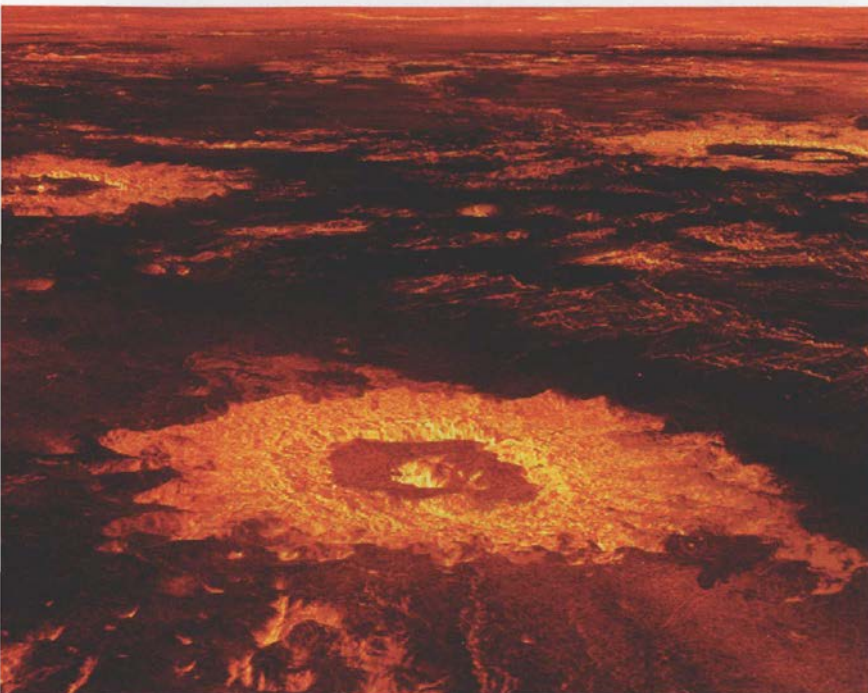
Efter "Big Bang" tog det många miljarder år innan vårt solsystem började skapas. För ungefär 4,6 miljarder år sedan hade materia ansamlats till ett stort roterande moln. Materien i detta moln ("Solar nebula") var främst i form av damm och gaser av vilka väte och helium var vanligast. Dessa återfinns idag främst i solen. Solen bildades när de inre delarna av molnet

kondenserade. Molnet fortsatte dock att rotera runt den nybildade stjärnan i dess centrum. Rotationen gjorde att de mesta av materialet samlades i en roterande skiva ("Protoplanetary disc") istället för att dras till stjärnan i dess mitt. Vartefter som material föll in mot skivan hettades det upp så mycket av sin egen gravitationsenergi att det smälte och förgasades. Upphettningen avtog allt eftersom skivan bildades och stabiliserades, varvid kondensation kunde ske av gaserna så att vätskedroppar och partiklar kunde bildas. Dessa var nu betydligt större än de ursprungliga dammkorn som hade smält upp. De första material som kondenserade var olika metaller och olika silikat-mineral. Därefter följde svavelföreningar och kol- och vattenrika silikater. Den nybildade stjärnan gjorde att temperaturen stabiliserades i skivans inre delar medan den fortsatte falla i dess yttre delar. En bit ut i skivan föll temperaturen så att vatten och is kunde bildas från kondensation av syre och väte. Ännu längre ut bildades annan is, t ex frusen metan. Denna nedkylning av skivan och differentierade kondensation av olika ämnen återspeglas ännu idag i planeternas olika sammansättning på olika avstånd från solen.

Efterhand gjorde gravitationskrafterna mellan olika fragment och partiklar i skivan att de började klumpa ihop sig. De olika partiklarna kunde krascha in i varandra med mycket stor hastighet. Här börjar det bombardemang bli allt tydligare som skulle skapa de planeter och andra himlakroppar vi ser idag. Klumparna växte till kilometerstora objekt. Dessa fortsatte att braka in i varandra och inom några hundra tusen år hade ett stort antal objekt bildats av ungefär månens storlek, *protoplaneter*. Under ett väldigt bombardemang som varade ytterligare några hundratusen år bildade dessa objekt de inre s.k. terrestriska planeterna i vårt solsystem. Dessa karakteriserades av ett metallrikt inre och silikatrikt yttre vartefter deras heta inandömen gjorde att de differentierade. Längre ut från solen där klumparna bestod av både silikater och is kom de att bilda ännu större objekt än de terrestra planeterna. De kunde ha 20 gånger så stor massa som jorden. Dessa kom att utgöra kärnorna till de gigantiska planeterna längre ut i solsystemet, de s.k. joviska planeterna.

Planeter, månen, asteroider och kometer

Planetkärnorna i den yttre delen av solsystemet blev till slut så massiva att de kunde dra till sig mycket av den gas som fortfarande fanns kvar i rymden mellan dem. Processen var mer effektiv för Jupiter och Saturnus än Uranus och Neptunus. Återigen skapade denna kon-



Vy över tre kratrar på Venus. Kratrarna befinner sig i ett område som kallas Lavinia Planitia. Bilden är baserad på radardata från rymdsonden Magellan. I radarbilder blir skrovlig terräng ljusare än slät terräng. Färgerna är baserade på färgfoton tagna av sovjetiska Venerasonder. Foto: NASA/JPL.

traktion av materia en gravitativ upphettning. I solen hade denna lett till startandet av den kärnreaktion som fortfarande pågår. Dock krävs mer än 70 gånger Jupiters massa för att skapa de temperaturer och tryck som behövs för att en stjärna ska bildas. Efter några tusen år började jätteplaneterna att svalna av till sitt nuvarande tillstånd. Sammantaget kan man säga att de joviska planeterna Jupiter, Saturnus, Uranus, och Neptunus består av mycket massiva kärnor av mestadels is av olika sammansättning samt mycket kalla vätskor och gaser i sina yttre delar. Någon fast skorpa att stå på, liknande den vi har på jorden, finns inte.

I solsystemets inre delar gick det dock ännu vildare till vid samma tid. Ett hundratal månstora objekt och ett oräkneligt antal mindre brakade av och till ihop med varandra i gigantiska kollisioner. Ibland ledde det till bildandet av större objekt, ibland splittrades stora objekt upp i mindre. Efterhand som planeterna började växa sig mycket större på de mindre objektens bekostnad avtog risken för totala uppsplittringar. Mycket material försvann också ut från solsystemets inre delar genom gravitativ acceleration från större objekt (som när man slungar iväg en sten). Planeternas differentiering i kärna, mantel och skorpa kunde fortsätta i en något lugnare miljö. Efter detta första, mycket dramatiska bombardemang fortsatte likväl klumpar att dimpa ned på planeterna i ett förhållandevis högt tempo. I detta bombardemang, som slutgiltigt avtog för ungefär

3,8 miljarder år sedan, var det allt möjligt överblivet material från solsystemets all hörn som brakade ned. Materialet innehöll även is och organiska föreningar som hade kondenserat i solsystemets yttre delar. Detta är en förklaring till förekomsten av vatten och andra byggstenar för liv även på de flesta av de terrestriska planeterna, vilka innefattar Merkurius, Venus, jorden och Mars. Dock brukar även månen räknas till gruppen terrestriska himlakroppar. Förekomsten av vatten och organiska föreningar varierar dock kraftigt mellan de terrestriska planeterna. Det har sin förklaring i hur de fortsatt sin utveckling, deras storlek och avståndet till solen.

Fortfarande finns det mycket överblivet material kvar på olika platser i vårt solsystem. Mellan de terrestriska och de joviska planeterna finns asteroidbältet. Det innehåller resterna av små protoplaneter som blev så störda i sina banor att de kom att krascha in i varandra med så hög hastighet att de hela tiden splittrades istället för att kunna samla ihop sig till en planet. Förekomsten av järn-nickel meteoriter, stenjärn meteoriter, och stenmeteoriter visar dock att viss differentiering i kärna, mantel och skorpa hann ske i dessa protoplaneter.

Långt ute i solsystemets utkanter förekommer kometerna. De består av en blandning av is och dammpartiklar. Någon myntade uttrycket "smutsig snöboll" vilket är en bra beskrivning av deras sammansättning.

2200

2190

2180

första globala nedisningen ("Snowball Earth")

albitdiabaser norr om Kiruna

2200

2190

2180

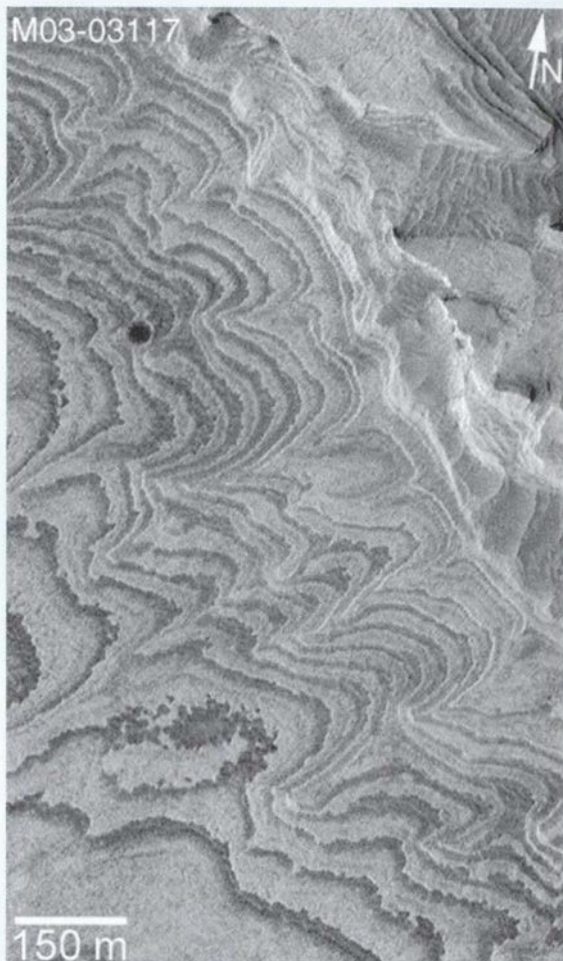
Dock är det inte troligt att kometerna bildades så långt ut från solen. Det är mer troligt att de en gång bildades i ett mycket tätt moln av kometmaterial någonstans där de stora gasplaneterna idag finns samt i det så kallade Kuiperbältet utanför Neptunus. Vartefter de stora gasjättarna växte så blev området gravitativt instabilt och kometerna slungades ut i banor längre från solen.

Utanför Neptunus finns också den yttersta planeten i vårt solsystem: Pluto. Man vet väldigt lite om denna lilla planet (Pluto är mycket mindre än månen). Den tillhör varken de terrestiska planeterna eller de joviska. Många forskare anser inte ens att den bör räknas till planeterna. Troligen bildades Pluto genom hopklumpning av objekt i Kuiperbältet och blev stor nog att differentiera, troligen med en metall-stenkärna och en tjock skorpa av mestadels vatten och is. Temperaturen på ytan är nära absoluta nollpunkten ($-273,15^{\circ}\text{C}$).

Även bland våra närmaste grannar, de terrestiska planeterna, finns det udda figurer. Genom att de terrestiska planeterna bildats från samma material i solsystemets inre delar borde de också ha liknande sammansättning, d v s förhållanden mellan metallisk kärna (främst järn och nickel) och silikatmaterial i mantel och skorpa. Så är dock inte fallet med Merkurius och månen.

Problemet med Merkurius är dess mycket stora metalliska kärna i förhållande till sin storlek (ca hälften av jordens diameter). För månen gäller det omvända: den har en mycket låg andel metaller i sin sammansättning. Den motsvaras närmast av sammansättningen i övre mantel och skorpa i en nybildad planet. Kortfattat ligger förklaringen i de enorma kosmiska kollisionerna av protoplaneter jag beskrev ovan. Någon gång efter det att de tidiga protoplaneterna hunnit differentiera i metallisk kärna och silikatrik mantel och skorpa skedde ett par gigantiska kollisioner. Ett stort objekt kolliderade med en proto-Merkurius och slungade iväg mycket av dess yttre delar. Vad dessa delar tog vägen vet vi inte. Kvar blev dagens Merkurius med sin stora metallkärna och tunna skorpa.

Under samma tid i Solsystemets historia skedde en liknade kollision med ett objekt vi kan kalla proto-jorden. Man har beräknat att det var en himlakropp av ungefär Mars storlek som kraschade in i denna protojord. Båda planeterna hade differentierat. Mycket av planeternas mantel och skorpa slungades ut i omlopp kring en central del som i större utsträckning bestod av planeternas inre metallrika delar. Resterna började var för sig återigen differentiera i kärna, mantel och skorpa. Av de kolliderande objekten skapades ett större, jorden, och ett mindre, månen. Även andra planeter i solsystemet har månar men de har i allmänhet bildats



Lagrade sediment i kratern Becquerel på Mars. Foto: NASA/JPL/Malin Space Science Systems.

genom separering av material i en roterande skiva runt sin moderplanet på samma sätt som planeterna en gång bildades runt solen.

Merkurius är idag en planet som växlar mellan extrema temperaturer. Den nästan totala avsaknaden av en atmosfär gör att det inte finns något som jämnar ut skillnaden mellan natt och dag. Närheten till solen gör att temperaturen på dagen stiger till ca 450°C vartefter den sjunker till -170°C på natten. Planetens yta liknar månens; den är översållad med kratrar och det finns stora områden som täckts med lava. Precis som månen har Merkurius några kratrar i evig skugga vid sina poler. I dessa kratrar på månen har man indikationer på att det kan finnas vatten eller is bevarat. Teoretiskt

är detta möjligt även för Merkurius polkratrar trots den höga dagstemperaturen på resten av planeten.

En lustig sak med Merkurius är att planeten verkar ha krympt efter det att det mesta av bombardemanget avtagit. Man ser detta i kompressionsryggar som löper över planetens yta och som skär äldre kratrar. Man tror att det tidigt i planetens historia skedde en expansion av kärnan som skapade stora sprickor i skorpan ur vilka lava från planetens inre kunde välla upp. Sedan krympte planetens inre, sprickorna slöts och ryggarna trycktes upp. Orsaken till detta vet man fortfarande inte säkert.

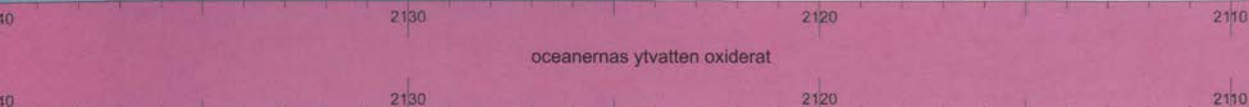
Något längre ut från solen finner vi Venus. Där kan vi verkligen studera effekten av en atmosfär och vad som populärt kallas "växthuseffekt". Venus har ett mycket tjockt molntäcke och en mycket tät atmosfär bestående mestadels av koldioxid och svavelsyra. Man har med hjälp av isotopsammansättning i prover från Venus atmosfär konstaterat att förhållandena till en början var mycket lika de på jorden. Det bör t ex ha funnits hav på Venus yta. Sedan gick något snett. Venus drabbades av en skenande växthuseffekt där halten koldioxid i atmosfären hela tiden ökade, vilket ledde till ökad temperatur vid markytan. Idag är det varmare på Venus yta än det är under dagen på Merkurius, trots att Venus ligger mycket längre från solen. Den tjocka atmosfären gör att temperaturen håller sig

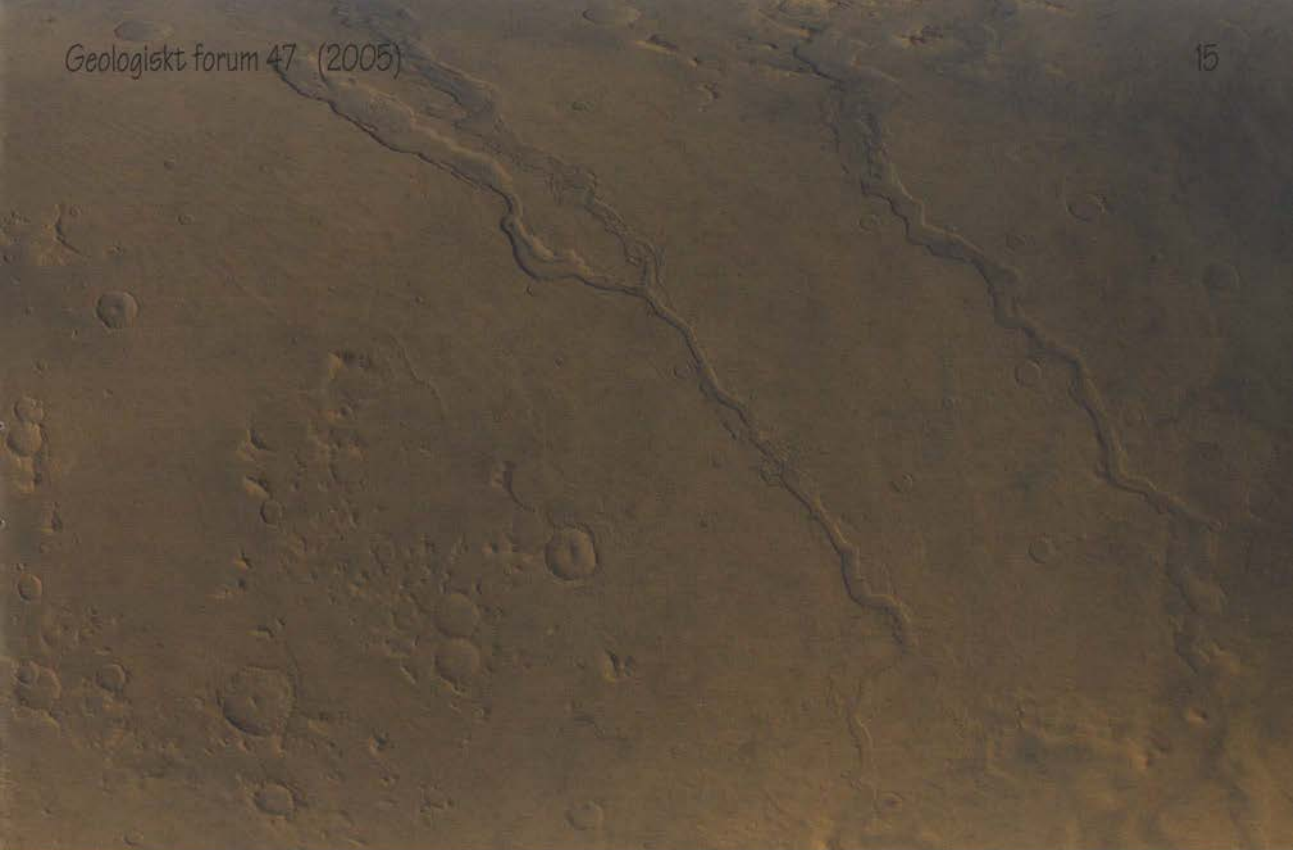
på en relativt jämn nivå. De hav som en gång fanns avdunstade vartefter vattnets väteatomer försvann ut i rymden. På grund av ett mycket tjockt molntäcke kan man inte se Venus yta. Dock finns både bilder och mätdata från markytan från de sovjetiska sonder som lyckades landa där på 70-talet. Några satelliter kunde även ta bilder av planetens yta med hjälp av radar. 1990 kunde den amerikanska Magellan-sonden göra en global radarkarta med 100 meters upplösning, och som visade en mycket märklig markyta med mycket få bevarade kratrar och stora lavaflöden. Vi vet från Venus densitet att den har ungefär samma sammansättning och inre uppbyggnad som jorden. Sönderna har visat att ytan mest består av basalt. En tidvis mycket aktiv vulkanism har förstört alla äldre kratrar. De få kratrar som idag kan beskådas har ofta ett mycket märkligt mönster av utkastat material. Materialet kan sträcka sig i långa flöden bort från kratern. Orsaken till detta vet man inte helt, men möjligen kan det bero på uppblandning av utkastat material och den täta atmosfären. Materialet har då kunnat flyta som ett gravitationsdrivet flöde (t ex en slamström). Liksom jorden har Venus konvektion i manteln som kan driva vissa sidorörelser av skorpan. Ny skorpa kan bildas över vissa zoner där mantelmateriel rör sig uppåt och äldre skorpa ansamlas där mantelmateriel rör sig nedåt. Dock sker ingen subduktion av skorpan liknande plattetektoniken på vår egen planet. Det är genom denna ständiga, globala plattetektonik som jorden, till skillnad från våra grannar i solsystemet, har fortsatt att differentiera och vi har fått de lättare mineral som bygger upp våra kontinentalplattor. Fortfarande täcks dock större delen av jordytan av plattor med basaltisk sammansättning. Jorden har heller inte (ännu?) drabbats av någon skenande växthuseffekt och vi har kunnat behålla mycket av våra hav. En kontinuerlig förekomst av vatten har möjliggjort den fortsatta utvecklingen av det liv som uppstod redan under det tidiga bombardemanget. Det är detta liv som genom fotosyntes skapat vår syrerika (oxiderande) atmosfär. Förekomsten av oxiderande atmosfär och rikligt med vatten har dock gjort att jordytan ständigt eroderas. Landskapet är i ständig förändring. Man kan se detta i skillnaden i antal nedslagskratrar på jorden och månen, vilka utsetts för ungefär samma antal större nedslag per tidsenhet. Det är sant att vår atmosfär, till skillnad från den atmosfärlösa månen, skyddar oss från en del nedslag, men bara från de som skulle ha gett kratrar mindre än ca en kilometer i diameter (och en del sådana kan fortfarande bildas av hållfasta järnmeteoriter). Månens yta är översållad med stora impaktkratrar av vilka många bildades redan under det tidiga bombardemanget. På jorden har de flesta äldre kratrar eroderats bort. Trots detta har

Faktaruta

Datering med hjälp av kratteräkning

Av given anledning är det ännu omöjligt att använda sig av biostratigrafisk datering av olika enheter på andra himlakroppar i vårt solsystem. Likaledes är radiometrisk datering begränsad till material från månen och någon enskilda meteorit från Mars. Istället har man utvecklat en metod för relativ datering med hjälp av kratrar. Om man vet den frekvens med vilka kratrar av olika storlek bildas på olika ställen i solsystemet kan man räkna ut en enhets ålder genom att räkna antalet kratrar på dess yta. Kraterfrekvensen från månen vet man genom att jämföra radiometrisk datering av stora basaltiska lavaflöden med antalet kratrar på deras ytor. Detta kan sedan korreleras med beräkningar av det antal potentiella projektiler (asteroider och kometer) som finns i solsystemet idag. Målobjektets gravitation och position i solsystemet måste sedan också tas med i beräkningarna. Exempelvis jorden drar till sig något fler projektiler än den lättare månen och i solsystemets yttre delar är nedslag från kometer vanligare än i dess inre delar.



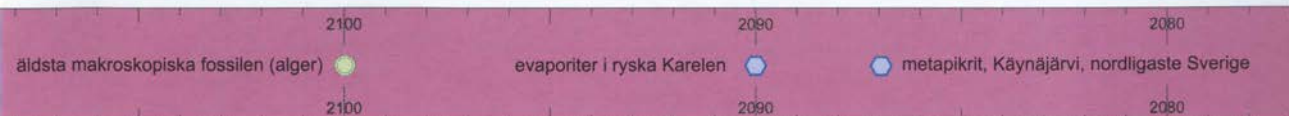


Vy över Dao, Niger, och Harmakhis Valles på Mars. Ett katastrofalt utflöde har börjat med kollaps av terrängen vid strömfåroras övre ändrar (bildens övre del) och sedan runnit ned mot bildens högra kant. Strömfårorarna är ca 1 km djupa, och mellan 1 och 4 mil breda. Bilden är ca 80 mil bred. Norr är mot vänster i bilden. Foto: NASA/JPL/Malin Space Science Systems.

vi idag minst 170 bevarade impaktkratar av storlekar från några tiotals meter upp till några tiotals mil.

En planet vars yta har likheter med både jordens och månens är Mars. Mars är betydligt mindre än jorden och har troligen bara haft begränsad plattetektonik tidigt under sin historia. Det kan spåras i svaga, parallella band med skiftande magnetisk polaritet på vissa platser på Marsskorpan. Liknande band förekommer på jorden i den basaltiska skorpa som bildats vid de mittoceaniska ryggarna och reflekterar hur magnetfältet varierat under tiden som skorpan stelnat. Mars har dock haft en kraftig vulkanisk aktivitet som skapat gigantiska vulkaner och senaste rön pekar mot att denna vulkanism fortfarande tidvis kan uppstå. Bergarterna är mestadels magmatiska med basaltisk sammansättning men i vissa områden förekommer tjocka lager av sedimentära bergarter. Man har länge vetat att Mars har en tunn atmosfär bestående till största delen av koldioxid och att svaga vindar har kunnat skapa både vinderosion och vinddeposition, men de är inte tillräckliga för att skapa de

mäktiga sedimentlagren. Detaljerade satellitfoton av Mars yta har visat en stor mängd av strukturer som liknar uttorkade flodbäddar. Dessa varierar i storlek från små rännor på bergssluttningar till gigantiska strömfåror som sträcker sig över områden stora som hela Nordamerika. Flera av de allra största strömfårorarna verkar ha sitt ursprung i uppbruten terräng på flankerna av en gigantisk vulkanisk dom, populärt kallad *The Tharsis Bulge*. På denna finns solsystemets största vulkan, Olympus Mons. Strömfårorarna leder ner mot lågområden på Mars norra halvklot. Dessa lågländer utgör ca en tredjedel av Mars yta och skiljer sig markant från högländerna i söder. Mest tydlig är skillnaden i antalet kratar. Precis som i övriga delar av solsystemet betyder ett stort antal kratar på en yta att den är äldre än en yta med få kratar. Helt enkelt, mer kratar har hunnit ackumuleras. Högländerna är helt täckta av kratar, precis som månen, medan de norra lågländerna har ett mycket litet antal kratar. Det tyder på en ålder av lågländerna från efter slutet av det kraftiga bombardemanget. Någoting har endera helt





Ovan: diagenetiskt bildade hematitkonkretioner har vittrat fram ur röda sandstenar i Utah. I detta fall är de runda konkretionerna ca 3 cm i diameter, men de förekommer även i samma storlek som de mm-stora hematitbollar ("blåbär") som fotograferats av Opportunityroboten i Meridiani Planum på Mars (fotot till höger). Den ljusa, runda ytan i bildens mitt är från ett instrument som borstat rent innan ytan analyserades. Foto från Utah: Marjorie Chan, foto från Mars: NASA/JPL.

Faktaruta

Kortfattat om de terrestriska himlakropparnas geologiska utveckling

Förenklat kan man säga att Merkurius, Venus, jorden, månen, och Mars genomgår en rad specifika stadier:

1. Hopklumpning, upphettning och differentiering.
2. Bildande av solid skorpa under kraftigt kosmiskt bombardemang.
3. Omfattande basaltiska lavaflöden.
4. Minskad vulkanism men möjlighet till olika grad av plattetektonik (mer desto större planet).
5. Solidifiering av manteln och därmed slut på tektonisk aktivitet.
6. Avkylt inre och slut på all endogen aktivitet.

Ju mindre planet, desto snabbare passeras de olika stadierna. Jorden och Venus har nått stadium 4, Mars och Merkurius stadium 5, och månen stadium 6.

omskapat den delen av Mars yta eller också täckt över en äldre, kratertäckt yta. I gränsen mellan lågländerna och högländerna finns landformer som påminner om en strandlinje. Detta tillsammans med flodfårorna gjorde att de flesta forskare var övertygade om att det funnits hav och rinnande vatten på Marsyta. Men man kunde inte vara helt säker.

Mars är idag en mycket kall ökenplanet. Det finns en ytterst liten del vatten i Mars atmosfär. Koldioxid dominerar, både som gas och som is. Därför föreslog en del forskare att det var flytande koldioxid som skapat strömfårorna och floddalarna. Genom landningen av de två små robotar som i skrivande stund är aktiva på Mars yta föll dock en viktig pusselbit på plats. De fann speciella sulfatmineral och järnoxider som bara kan ha bildats i en miljö som har tillgång på vatten. Det verkar som om tider av vulkanisk aktivitet i Tharsis har lett till uppvärmning av ett tjockt permafrostlager. Detta orsakade en kollaps av övre delen av skorpan i dessa områden och stora mängder vatten kunde strömma ut i katastrofala utflöden. Vattnet forsnade

2070

Bushveld-intrusionen, Sydafrika

2080

Keivitsa-gabbbron,
guld-platinamalm i Finland

2050

Rhyak
Orosir

2070

2080

2050



ner mot lågländerna som för en tid kunde komma att täckas av hav. Det stora utsläppet av vatten och koldioxid som tidigare hållit sig i frusen form skapade en tjockare atmosfär. Genom växthuseffekten kunde temperaturen stiga och rinnande vatten kunde tränga fram även på andra platser. Dock är Mars gravitation för låg för att permanent kunna hålla en tillräckligt tät atmosfär. Atmosfären tunnades ut, haven frös till is, och vattnet återgick långsamt till en djup permafrost. Detta förlopp verkar ha upprepats ett antal gånger, till viss del även relativt nyligen i Mars historia. Teoretiskt bör dock flytande vatten ha funnits tillgängligt i Mars skorpa ända sedan tiden då liv uppstod i haven på jorden. Det finns inga direkta skillnader i Mars sammansättning som skulle utesluta att liv uppstått även där. Om det bildades liv på Mars kan detta tidvis ha förekommit i vattensamlingar på markytan i tider av varmt klimat, och djupt nere i skorpan vid kalla perioder som den som råder idag.

Med de två robotarna Spirit och Opportunity hoppades man hitta indikationer på att liv existerat någon gång i Mars historia och kanske idag. Spirit landade i kratern Gusev där det finns en möjlighet att rester av biologisk aktivitet (tex speciella mineralstrukturer) kan finnas i de sediment som avsatts av en flod som passerat kratern. Opportunity landade i ett område där man från satellit detekterat stora mängder av mineralet hematit. Förekomsten av detta mineral är en stark indikation på att flytande vatten har förekommit i det området. Dessutom är det vanligt på jorden att bakterier får sin energi från att endera reducera eller oxidera järn beroende på i vilken miljö de lever. Om inte annat, kan ett hårt, finkristallint cement som hematit medverka till att bakteriestrukturer skyddas från erosion under långa tider. Innan landningen av Opportunity hade mina kollegor och jag, baserat på hematitförekomster i Utah, USA, föreslagit att hematitförekomsterna på Mars består av konketioner som bil-

dats diagenetiskt (då det lösa sedimentet ombildas till en sedimentär bergart) i sediment och sedan anrikats på markytan genom erosion av omgivande sediment. Vi blev givetvis överlyckliga när Opportunity började sända hem bilder som var i det närmaste identiska med det material vi studerat från Utah. Hematiten på Mars förekom mestadels i små runda bollar i sedimentet vilket föranledde ledaren för landarprojektet, Steve Squyres, att kalla dem "blueberries in a muffin". Det lär dock troligen dröja tills vi kan plocka hem ett antal av dessa blåbär till ett laboratorium på jorden innan vi kan säga om de innehåller några bakteriestrukturer.

Det är också andra himlakroppar än planeter som just nu drar till sig astrobiologiskt intresse. Landaren Huygens har nyligen med stor framgång sänt hem analysresultat från atmosfären och ytan på Saturnus måne Titan. De visar på en kemisk miljö som liknar den som rådde på jorden just vid den tid livet uppstod. Det kan lära oss mer om jordens och livets tidiga utveckling. Kanske har det uppstått liv även på Titan?

Det närmaste man har kommit Jupiters måne Europa är några förbiflygningar av satelliter, främst Galileo. Trots detta vet man att det troligen är en vattenvärld med en yta av mycket kall is av olika sammansättning. Beräkningar visar att istäcket är många kilometer tjockt och kan täcka ett kanske mer än 15 mil djupt hav. Kraftig tidvattenpåverkan från Jupiter och mycket hög salthalt i vattnet kan vara en förklaring till varför havet inte bottenfrusit i den extremt kalla miljön. Även på Europa finns troligen de beståndsdelar som krävs för att liv ska kunna uppstå. Till skillnad från Mars skulle detta liv inte vara begränsat till porutrymmen i berggrunden. Det skulle kunna utnyttja den närmast ändlösa volymen av vattenmassan. Ingen vet vad som kan vänta oss den dag vi lyckas få ned en sond genom Europas istäcke!

Litteratur

- Morrison, D. Wolff & Fraknoi, A., 1995: *Exploration of the universe*, sjunde upplagan. Saunders College Publishing, Orlando. 682 s.
- Beatty, J.K., Petersen, C.C. & Chaikin, A. (red.), 1999: *The New Solar System*. Sky Publishing Co., Cambridge. 421 s.
- Ormö, J., Komatsu, G., Chan, M.A., Beitler, B. & Parry, W.T., 2004: Geological features indicative of processes related to the hematite formation in Meridiani Planum and Aram Chaos, Mars: a comparison with diagenetic hematite deposits in southern Utah, USA. *Icarus* 171, 295–316.

Jens Ormö är fil. dr och forskare vid Centro de Astrobiología (CSIC/INTA) i Madrid, Spanien; ormo@inta.es

Sjöarnas hemlighet

På sommaren badar vi i dem och kanske ligger vi då på en luftmadrass och tittar på molnen. Under sensommaren fiskar vi kräftor där. I gryningen och i skymningen är många av våra sjöar utmärkta fisketillhåll. Älgar och andra skygga djur kan ses släcka sin törst där. I sommar-Sverige är sjön en viktig tillflyktsort. Sjöarna ruvar på många hemligheter, en del är synliga för blotta ögat, andra kräver lite mer arbete att få fram...

AV BARBARA WOHLFARTH

Hur bildas sjöar?

I ett gammalt landskap är de flesta sjöar igenvuxna: området är sjöfattigt. Ett ungt landskap, t ex ett som i likhet med Sverige nyligen varit nedisat, är däremot rikt på sjöar. Sjöar kan bildas på flera olika sätt: genom tektoniska processer (d v s rörelser i jordskorpan), vulkaniska händelser, inlandsisens och glaciärers framfart, sprickbildning i jordskorpanns övre lager m m. När det väl har blivit en försänkning krävs det stora mängder vatten genom nederbörd eller inflöde. Vattenmängden som tillkommer måste vara större än den mängd som avdunstar och rinner ut.

Sveriges sjöar

Mängden sjöar varierar mycket på olika platser på jorden. I Sverige finns många sjöar, cirka 4 400 som är större än 1 km² och cirka 90 000 som är större än 1

ha. Totalt är Sveriges sjöareal cirka 40 000 km², vilket blir cirka 9% av landytan. Den stora mängden sjöar här beror till stor del på inlandsisens inverkan. När inlandsisen rörde sig över Sverige eroderades landytan och sänkorna fylldes med vatten och sjöar uppstod.

Andra sjöar har bildats genom att s k dödis har legat kvar då den aktiva iskanten har förflyttat sig norrut. Dödisen smälte mycket långsamt och de omkringliggande sänkorna fylldes upp med grus, silt och sand. När dödisen sedan smälte av bildades sänkor i vilka sjöar kunde uppstå.

Längs Sveriges kuster bildades sjöar genom att havsfjordar och vikar långsamt blev isolerade från havet och Östersjön genom landhöjningen.

Sveriges största sjöar, Vänern och Vättern formades i en så kallad förkastningszon. Karakteristiskt för dessa zoner är att de består av en mängd mindre brottytor i berggrunden.

Vänern är Sveriges största sjö med sina 5 650 km². Sjön har en volym på 153 km³, ett medeldjup på 27 m och ett största djup på 106 m. Vänern eroderades ut när isen drog fram, men till en början var sjön en havsvik. För cirka 10 000 år sedan var landhöjningen så stor att havsviken Vänern snödes av från havet och blev en sjö. Den unga insjön var mycket större än nuvarande Vänern. Landhöjningen pågår fortfarande med i genomsnitt cirka tre mm per år.



Sjöar kan också bildas genom meteoritnedslag och det leder oftast till stora, runda sjöar. I Sverige är Siljan ett utmärkt exempel.

Sjöar i världen

Stora delar av jorden har inte varit nedisad, och där bildas sjöar på andra sätt. Flera av världens större sjöar har uppkommit genom tektoniska processer. En vanlig process är den som uppstår vid förkastningszoner. Jordens fasta yttre jordskorpa, litosfären, glider isär och därmed skapas djupa försänkningar. Exempel på sjöar som har bildats på detta sätt är Bajkalsjön i Ryssland, Tanganyikasjön i Afrika och Döda havet i Israel/Jordanien. Dessa sjöar är ofta mycket gamla och väldigt djupa.

En annan vanlig tektonisk process är att landytan höjts kring en bassäng (t ex Victoriasjön i Afrika) eller att en jordbävning har skapat sänkor i ytan. Sjöar som har bildats på detta sätt är ofta grunda.

Det är också vanligt att sjöar bildas på vulkaniska områden, här skapas olika typer av sjöar. Ett exempel är så kallade kratersjöar, som uppstår när vulkanens magmakammare töms på sitt innehåll och vulkanen kollapsar. Dessa sjöar är oftast mer än fem km vida och liknar närmast amfiteater i formen. Sådana sjöar finns t ex på Azorerna, Island, i Italien och Frankrike. Andra sjöar kan bildas i vulkanens explosionskrater, dvs när vulkanen har en kraftig gasexplosion vid markytan, och återfinns i t ex Eifelregionen i Tyskland.



Sjön Siljan i Dalarna bildades för cirka 360 miljoner år sedan när en 2,5 km stor meteorit slog ned. Nedslaget kraft var så enormt att det strax därpå bildades en hel bergskedja av det uppträckta material. I dag vet vi att det var ett av världshistoriens största meteoritnedslag. På grund av kraterns enorma storlek, över 75 km i diameter, blev den ringformad, och inte som normalt skålformad. Trycket gjorde att botten höjde sig och blev nästan lika hög som kraterkanterna. Mellan upphöjningen och kraterkanterna bildades en sänka som från hög höjd ser ut som en ring. I dag befinner sig hela den omkringliggande bygden i själva kratern. Sjön Siljan är en del av sänkan mellan kraterkanterna och platån i mitten av kratern.

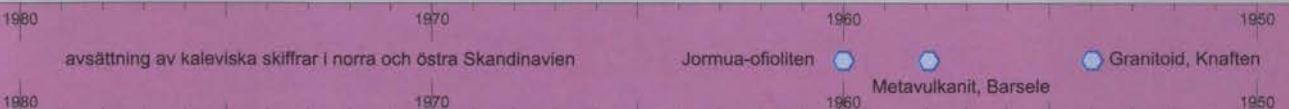
Bajkalsjön ligger i södra Sibirien. Med sin volym på 27 000 km³ är den världens största insjö och även världens djupaste (största uppmätta djup 1 940 m, medeldjup 730 m). I sjön lever bl a Bajkalsälarna. Det är ett mysterium hur sälarna har kommit in i en sjö som ligger flera tusen kilometer från havet.



Vulkanön Pico tillhör Azorerna och dess högsta punkt är 2 351 m. Ön är 42 km lång och 15,2 km bred, totalt är Pico 447 km². På bilden ses en av Picos kratersjöar.



Victoriasjön är cirka 69 800 km². Den gränsar till Uganda, Kenya och Tanzania och är Afrikas största sjö samt världens till ytan näst största sötvattenssjö. Sjöns volym är ca 2 700 km³, men största djupet är endast 92 m. Runt sjön bor cirka 30 miljoner människor.



En helt annan typ av sjöar bildas längs stora floder. De har fått sitt namn, korvsjöar, efter sin karakteristiska form. En korvsjö bildas genom att en flodarm har avsnörts/isolerats från huvudfloden, och de är vanligast där floden rinner över en flack landyta. Dessa sjöar har ofta en mycket rik flora och fauna (t ex Donauflodens korvsjöar).

Även djur (t ex bäver) kan dämna upp vattnet och bidra till att en sjö bildas och korallrev kan bilda sjöar på motsvarande vis.

Andra sjöar uppstår genom kemiska processer, karstsjöar. Det är särskilt vanligt i områden som är rika på kalksten. Ämnen som kolsyra och andra syror leder till en underjordisk erosion som i det långa

Den kemiska formeln för upplösandet av kalksten
e.g., $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$

loppet bildar en sjö. Dessa är ganska vanliga i t ex Kroatien.

En annan form av karstsjöar är så kallade termokarst-sjöar. De bildas i permafrostområden (områden med ständig tjäle), där den underliggande tjälen tinar upp och markytan sjunker ihop. Sjöar bildas då i sänkorna. Vi hittar dessa sjöar i t ex Alaska och Sibirien.

Det finns även många antropogena sjöar, dvs sjöar som har bildats eller orsakats av människan. Dessa uppstår i områden där människor har byggt dammar och reservoarer, grävt (stenbrott, grustag) eller genom gruvverksamhet. Många är i dag fina badsjöar.

När en sjö blir en mosse

En sjös vegetationszonering anger det händelseförlopp som utspelar sig när en sjö växer igen, dvs blir en mosse eller ett kärr. Man kan säga att sjön blir äldre med åren då den långsamt fylls med sediment och organiskt material som gör att sjön blir allt grundare. Följaktligen blir strandzonen mer omfångsrik och starrkärrbältet kan successivt växa ut över gyttjebotten. Många av Sveriges sjöar som bildades i slutfasen av sista istiden har redan växt igen och omvandlats till mossar eller kärr.

I förkastningszoner (till exempel Bajkalsjön) sänks landytan mer eller mindre kontinuerligt, men om sedimenttillväxten är lika stor som sänkningen förblir sjöns vattenvolym densamma.

Strandpussel

Sjöarna delas in utifrån sin näringsstatus. De mest näringsrika sjöarna är de eutrofa. Mesotrofa sjöar är måttligt näringsrika och dystrofa sjöar är hyfsat näringsfattiga. De mest näringsfattiga sjöarna benämns oligotrofa. Men varje enskild sjö har sitt alldeles speciella ekosystem som beror på många olika faktorer, t ex kemiska förhållanden, grumlighet, temperaturförhållanden, sjöns flora och fauna m m.

Vid sjöns strandzon (litoralen) finns det normalt sett olika vegetationsbälten. Strandzonen begränsas av den del som är bevuxen av växter. En typisk svensk sjö består av en strandzon (litoralen) innehållande terrestisk (t ex al) och telmatisk (t ex starr) vegetation, en djupvattenszon (profundal) med limnisk (t ex näckros och vass) vegetation. Strandzonen brukar i sin tur delas in beroende på hur vattentäckt den är:

Eutrof sjö



Terrestriskt

Lågstarrbältet

Högstarrbältet

Vassbältet

Telmatiskt

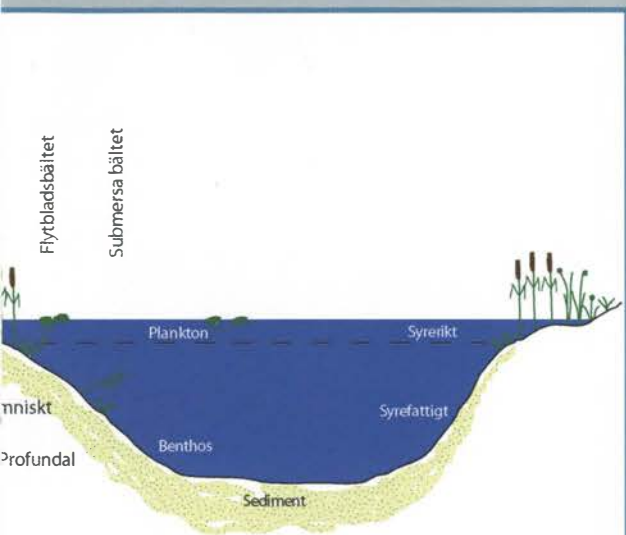
Strandzon

Klimat- och miljöarkiv

Sjöar är på flera sätt utmärkta indikatorer på miljö- och klimatförändringar. I stort kan man säga att sjön avspeglar allt det som sker i det omkringliggande området. Vegetationsrester, som barr, löv och frön, från omgivningen hamnar i sjön genom rinnande vatten eller transporteras dit med vinden och lagras sedan på sjöbotten. Sjöns egna djur- och växtarter samlas också på botten när de dör. Vattentemperaturen förändras på samma sätt som lufttemperaturen och allt liv i sjön är tydliga indikatorer på sjöns temperaturförhållanden, näringsrikedom, pH-förhållande, men även föroreningar och miljögifter.

Det organiska materialet bevaras bäst om avlagringen sker i en syrefattig miljö eller om det går så snabbt att det täcks av ett nytt lager. I annat fall bryts det ned av bakterier eller andra vattenlevande organismer innan det når botten. När avlagringen väl har samlats på botten blir det efterhand en mix av alla avlagringar som är mer eller mindre nedbrutna, och det är det vi kallar för gyttja. Det finns olika typer av gyttja och de skiljs åt genom att de innehåller olika mängder





- 1) *Det terrestra bältet: över normalt högvattenstånd*
- 2) *Det telmatiska bältet: mellan normalt hög- och lågvattenstånd*
- 3) *Det limniska bältet: alltid vattentäckt*

organiskt material och även en hel del minerogent material, vilket tillförts från stränderna och från tillrinnande vatten.

Även människan ger avtryck i sjöns vatten och avlagringar. Särskilt miljögifter märks tydligt genom att i långa loppet bidra till förändringar i sjöns flora och fauna. Miljögifter hamnar i sjön genom vind, nederbörd och/eller avrinning.

Smått visar mått

En sjös algflora utgör en tydlig indikator på sin omgivning. Normalt varierar floran beroende på t ex sjöns temperatur, pH-värde och ljusstillförsel. Men i miljöer som människan har påverkat, t ex genom föroreningar, uppvisar floran mycket tydliga förändringar. I många fall kan denna förändring fungera som varningssignal-er vilka vi bör ta fasta på.

Kiselalger förekommer över hela världen och finns alltid i våra sjöar. Gruppen kiselalger består av mer än

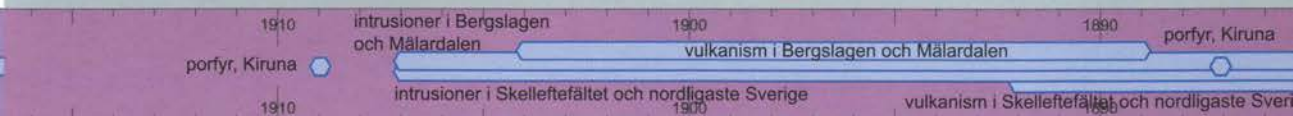
10 000 olika arter. Vilka arter som finns i en sjö beror på vattnets pH-värde. När man vill komma fram till vilket pH en sjö har kan man således studera och artbestämma kiselalger. Det är givetvis enklare att mäta pH-värdet direkt, men eftersom algernas skal samlas på sjöbotten, lager på lager, kan man avgöra sjöns värde i en helt annan tidsepok! Och vi får inte bara information om sjöns ekologi, utan även om den omgivande miljön och dess klimat.

Men det är inte bara genom en sjös algsammansättning som man kan utläsa vad som har hänt i sjön över tiden. Genom att göra analyser av kol, kväve och fosfor, tillsammans med vissa djur- och växtrester kan man t ex upptäcka spår som visar på en sjös eutrofiering. Specifika djurarter och syreisotoper visar temperaturförändringar. Terrestra växtrester och pollen visar hur vegetationen kring sjön förändrades under tiden. Även jordmånsbildning eller erosion kan spåras i sedimenten, liksom tungmetaller och andra miljögifter. Genom att göra kemiska, fysikaliska och biologiska analyser av sjösediment kan vi alltså få kunskap om hur miljön och klimatet har förändrats med tidens gång.

Leriga ledtrådar

I Sverige har det gjorts omfattande analyser i t ex området kring Falu koppargruva som har hjälpt till att spåra miljöförändringar. Det är också vanligt att använda alger för att rekonstruera många sjöars föroreningshistoria. Pollenkorn och djurarter visar på vegetations- och klimatförändringar sedan isavsmältningen. Att hitta äldre avlagringar än så, är däremot svårt i Sverige. Det beror på att de äldre avlagringarna eroderades bort där inlandsisen tog sig fram.

På ställen i t ex Frankrike, Italien, Grekland, Ryssland och Colombia har man hittat fantastiska sjösediment som sträcker sig många hundratusen år tillbaka i tiden. Betydligt yngre, men ändå mycket spännande avlagringar, har man hittat i en del av Sveriges sjöar, särskilt i södra Sverige, där inlandsisen smälte bort redan för cirka 16 000 år sedan. Här visar sedimenten det spännande och dynamiska klimat som resulterade i de dramatiska miljöförändringarna som skedde under övergången från senaste istiden till den nuvarande interglaciala tiden.





Borrkärnan från Hässeldala

En mosse med lång historia är Hässeldala i Blekinge. För cirka 14 600 år sedan blev området isfritt. Då började temperaturerna öka efter en lång, kall och torr istid.

Mossen ligger i Blekinges sprickdalslandskap, där inlandsisen hade grävt ut en liten sänka som snabbt fylldes med vatten eftersom den lerrika moränen i botten dämde upp vattnet. Det omgärdande landskapet bestod av ett stort antal mer eller mindre stora sjöar, moräner, dödis, mycket lösa jordarter och kalt berg. Än så länge hade vegetationen inte haft tid att etablera sig vid den lilla sjön. Därför spolades lösa jordarter ner i bassängen med rinnande vatten. I dag ser vi det tydligt på de minerogena sand- och siltlagren i botten av lagerföljden.

De första gräsarterna och örterna (malört, mållväxter, skräppa m fl) fick snabbt fotfäste på de omkringliggande kullarna. Runt sjön började mossor och gräs att breda ut sig och snart kom dvärgvide och dvärgbjörk in och bildade tillsammans med fjällsippa och andra arktiska växter en arktisk tundra. Klimatet blev både varmare och fuktigare. Vegetationen var än så länge ung och gles, därför spolades mineralrika jordarter in i bassängen. Dessa jordarter syns tydligt på de gråfärgade silt- och lerlagren som avlagrades i sjön mellan 14 500 och 14 200 år före nutid.

Pollenanalysen visar att vegetationen förändrades ganska drastiskt under en period på cirka 200 år och att malört och mållväxter fick en större utbredning. Man hittar även skiskilar från denna tidsperiod, vilket tyder på att en kall och ganska torr period inträffade mellan 14 200 och 14 000 år före nutid. I sedimenten hittar man spännande nog vulkanaska från ett stort

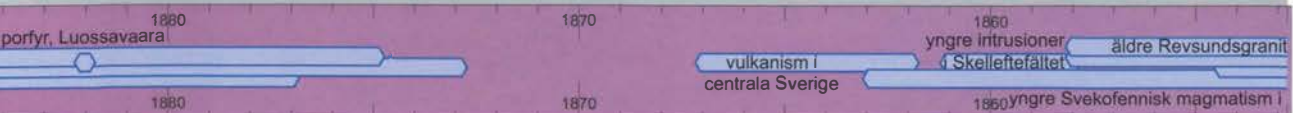
vulkanutbrott på Island. Hässeldala är ett av få ställen där man har hittat denna sk Borrobol-askan.

Tätare vegetation och nya arter

För 14 000 år sedan förändrades avlagringarna i sjön. De tidigare mineralrika jordarterna blev nu mer organiska, vilket tyder på att den akvatiska produktionen i sjön ökade och att de omgivande kullarna fick en tätare vegetation som förhindrade det minerogena materialet att spolats ner i bassängen. Borrkärnan visar på en blandning av gyttja och finkorniga ler- och siltavlagringar. Växtrester och pollenkor i sjöns sediment pekar på att arktiska gräs och örter, olika dvärgvidearter, dvärgbjörk, kråkbär, fjällbjörk och möjligtvis även tall blev vanligare i området. Resterna av skalbaggar och fjädermyggor indikerar, som nämndes ovan, att sommartemperaturen låg på cirka 15°C, men att det fanns korta intervaller när temperaturerna var lägre. Även under denna period hittar man vulkanaska, men denna gång härrör den från ett vulkanutbrott i Eifelområdet i västra Tyskland.

Temperaturförändringar

Omkring 12 800 år före nutid förändrades klimatet drastiskt. Sommartemperaturen sjönk till under 10°C, det blev mycket torrare och vegetationen reagerade snabbt. Återigen bredde en arktisk tundra ut sig i området, med enbart låga buskar, gräs och örter. Att vegetationen blivit mycket glesare, att avrinningen till sjön ökade och att mer mineralrikt material fördes in i bassängen, samt att sjöns akvatiska produktion minskade, syns tydligt på de mineralrika jordarter som bildades under denna tidsperiod (yngre dryas).



Varmare klimat tur och retur

Mossens mest tydliga förändring inträffade för 11 600 år sedan. På cirka 50 år ökade sommartemperaturerna till mer än 17°C och vegetationen följde snabbt efter. Återigen fanns kråkbär, fjällbjörk, tall, dvärgboskar, gräs, örter och en i området. Jordmånen stabiliserades, transporten av mineralrika jordarter till bassängen minskade, den akvatiska produktionen i sjön ökade och sjön omvandlades till en mycket näringsrik sjö. Det kan man se tydligt på de gyttjeavlagringar som började vid 11 600 år före nutid.

Hässeldalaska från Island

Två stora vulkanutbrott måste ha inträffat på Island, precis vid 11 400 och kring 11 000 år före nutid. Ett av dessa utbrott kan relateras till vulkanen Askja, men det är osäkert från vilken vulkan det andra utbrottet kommer. Hittills är asklagret i Hässeldala det enda spår vi har som talar om att det funnits ett vulkanutbrott på Island vid denna tid och eftersom askan först hittades här, kallas det för Hässeldalaska.

Från sjö till mosse på 10 000 år

För cirka 11 000 år sedan tätnade vegetationen ganska snabbt och snart bildade fjällbjörk och tall relativt täta skogar. Då försvann kråkbär och en allt mer från området eftersom de krävde mer ljus och öppna ytor. Den lilla sjön var inte särskilt djup ens från början och



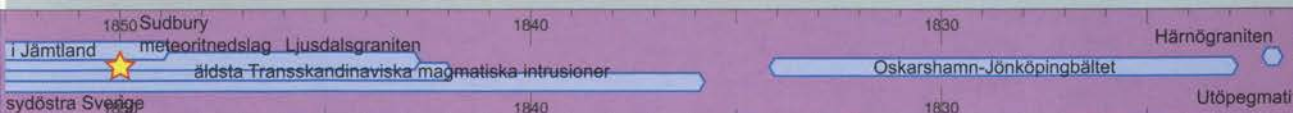
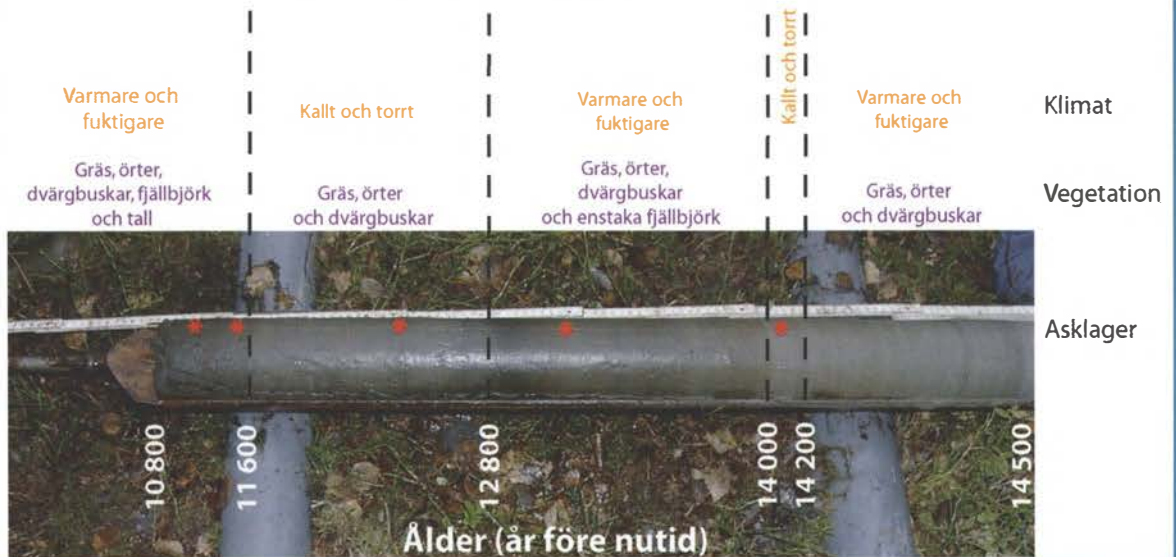
den hade gradvis fyllts upp med sedimentmaterial. Tillsammans med den ökade organiska produktionen bidrog det till att sjöns yta hade minskat kraftigt redan för cirka 10 000 år före nutid. Sjön började då omvandlas till den mosse den är i dag.

Din badsjö kan ha en liknande historia och kanske hittar du något som tyder på det när du ligger och tittar på vattnet mellan bryggans plankor.

Barbara Wohlfarth är professor vid institutionen för naturgeografi och kvartärgeologi, Stockholms universitet; barbara@geo.su.se

red. & layout: Asa Björck

EN BORRKÄRNA FRÅN HÄSSELDALA



Under jordens mössa – en titt på det lilla djuphavet runt Nordpolen



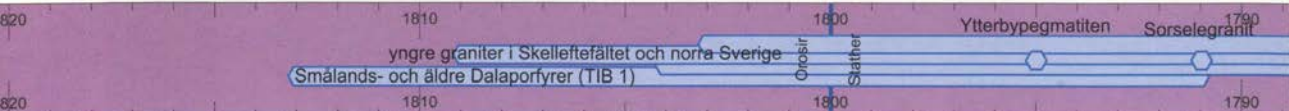
Det sägs ibland att vi vet mer om månens yta än om jordens djuphav. Under de senaste decennierna har dock kunskapen om haven ökat, främst genom internationella djuphavsborrhningar. Arktiska djuphavet är dock fortfarande i stort sett okänd terräng. Här berättas om den pågående forskningen i Arktiska oceanen, och de uppseendeväckande resultat som hittills kommit fram.

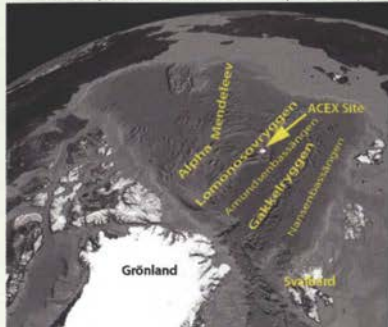
AV JAN BACKMAN OCH MARTIN JAKOBSSON

Arktiska oceanen är ett litet udda djuphav där vattendjupet vid Nordpolen är 4 125 m (se figuren uppe till höger). Denna lilla oceanbassäng utgör enbart 1% av världshavens volym och mindre än 3% av dess yta, där världshavens volym uppskattas till 1 350 miljoner km³ och dess yta till 362 miljoner km². En jämförelse av ytproportionerna hos världshavens och Arktis djupbassänger, shelfområden och ryggar

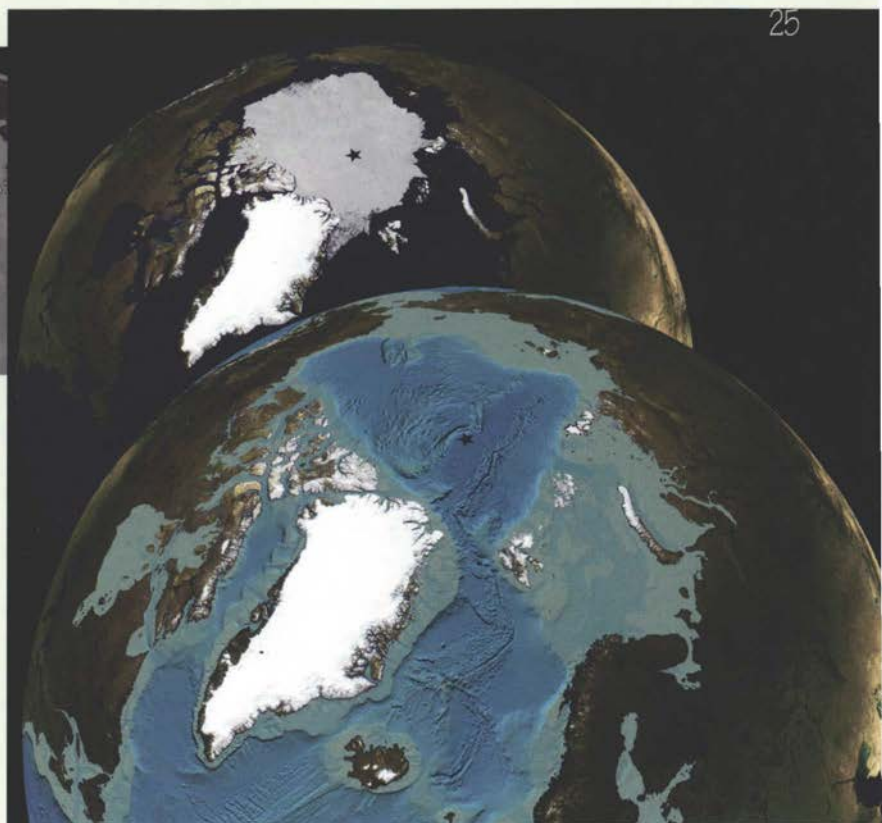
Borrning på Lomonosovryggen i centrala Arktiska oceanen. För att borrhartyget Vidar Viking (närmast) skulle kunna ligga still och borra fick den ryska atomisbrytaren Sovetskiy Soyuz (längst bort) och svenska Oden (i mitten) ligga uppströms i isdriftriktningen och hela tiden krossa ankommande stora isflak. Foto Martin Jakobsson.

förstärker intrycket av Arktis som ett ovanligt hav: Ett kontinentomgärdat hav med små bassängtytor men stora shelf- och ryggytor. Inte i något annat världshav tar kontinentalsshelferna och de submarina bergsryggarna upp så stor del av bottenytan. Under den senaste istidens maximum för 18 000 år sedan, då havsytan var 120 m lägre än idag, torrlades de stora grunda arktiska shelfområdena som inte täcktes av





Arktiska oceanens istäcke "Jordensmössa" har länge effektivt hindrat utforskandet av havsbotten omkring Nordpolen (stjärnan på de båda globerna). Den övre globen visar havsistäckets medelutbredning under de arktiska sommarmånaderna. Lyfter man bort mössan och ser på Arktiska oceanens undervattenstopografi framträder ett kontinentalomgärdat hav med en större proportion upptagen av undervattensryggar och kontinentalskelfer än i resten av världshaven. I lilla figuren uppe till vänster finns namn angivna på de ryggar och bassänger som diskuteras i texten.



inlandsisen och polarhavets yta förminskades med mer än 50%. Shelfområdena har stor betydelse i havet runt Nordpolen.

Den för ögat tydligaste skillnaden mellan Arktis och världshaven är naturligtvis det permanenta havsistäckets som ligger som ett lock över i stort sett hela Arktis (se figuren ovan). Havsisen är stadd i ständig rörelse genom havsströmmar och vind. Under sommartid krymper istäcket till 85–95% över djupbassängerna. Nyisen, den som bildades föregående vintersäsong, är i regel mindre än 2 meter tjock. Havsis som överlevt flera smältsäsonger kallas flerårsis och utgör alltid omkring $\frac{2}{3}$ av den is som befinner sig över djupbassängerna. Flerårsisen är ofta 2–5 m tjock. När man tar sig fram över havsisflaken finner man snart att den är långtifrån slät, eftersom det skapas flera meter höga isryggar när flaken kolliderar (bilden till höger).

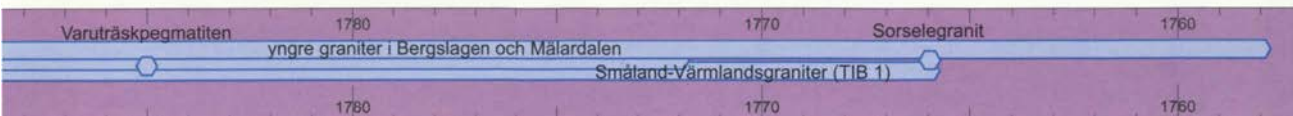
All denna rörliga och för människan svårforcerade havsis har länge effektivt hindrat systematiskt anlagda studier av de inre delarna av Arktis. De få tidiga expeditionerna till jordens topp, eller försöken att nå fram dit som t ex Fridtjof Nansens *Fram*-expedition 1893–96, lyftes fram som heroiska bedrifter, vilket de naturligtvis också var i stor utsträckning.

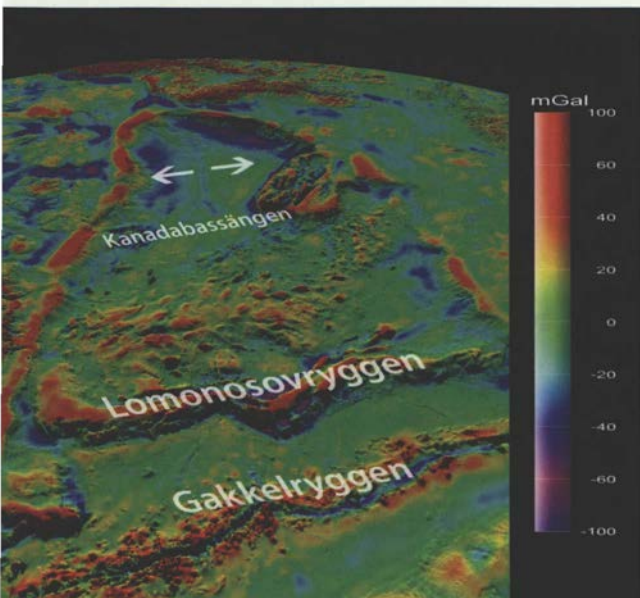
De vetenskapliga provtagningar och datainsamling som gjordes hamnade ibland i skymundan av själva expeditionerna.

Arktisforskningen gick in i ett nytt skede när den då nybyggda svenska isbrytaren *Oden* och det tyska forskningsfartyget *Polarstern* som de två första konventionellt drivna ytfartygen nådde den geografiska



Den ryska atomdrivna isbrytaren Sovetskiy Soyuz framträder med sin siluett i den arktiska dimman bakom en isrygg. Foto Martin Jakobsson.





Gravimetriska mätningar antyder förekomsten av en gammal spridningsrygg under det tjocka sedimenttäcket i den Amerasiska bassängen, även kallad Kanadabassängen. Spridningsryggen, som sedan länge är inaktiv, öppnade och bildade den Amerasiska bassängen för ca 120–130 miljoner år sedan. Pilarna anger spridningsriktningen hos den nu inaktiva spridningsryggen, som kan skönjas mellan pilarna. Gravimetridata kommer från projektet Arctic Gravity Project, ArcGP.

polpunkten den 7 september 1991 kl 10:35. De var ytfartyg nummer fem och sex som nådde den enda punkt i världshaven där alla meridianer möts, endast föregångna av fyra sovjetiska atomisbrytare. Dessa tidigare besök skedde 1977, -87, -90, och -91, den senaste bara fem veckor före *Oden*. Dörren till centrala Arktis öppnades plötsligt, om inte vidöppen så åtminstone klart på glänt, när det bevisligen gick att genomföra isbrytarbaserade forskningsexpeditioner hela vägen till Nordpolen, genom 600–700 sjömil arktisk havsis.

Arktis geologi

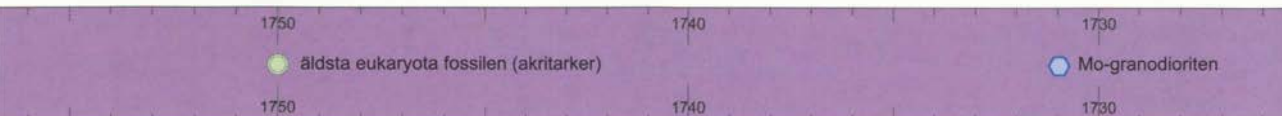
Det geovetenskapliga forskningsintresset för Arktis kommer från vår begränsade kunskap om den Arktiska havsbottentopografin, bassängernas och ryggaras ålder, struktur och sammansättning, samt om sedimentlagrens arkiverade innehåll av det högarktiska klimatets utveckling genom årmiljonerna. Särskilt det senare har fungerat som en drivkraft eftersom de flesta forskare anser att Arktis, genom sitt läge runt

Nordpolen, utövar ett stort inflytande på det globala klimatets tillstånd, dels genom sin mössa av havsis och dels genom sin inverkan på världshavens djupa cirkulation. Eftersom Arktis alltid legat vid Nordpolen gäller detta även i förfluten tid. Kunskapen om klimatutvecklingen i Arktis är bl.a. därför en viktig pusselbit i förståelsen av det globala klimatets utveckling under 10-tals miljoner år.

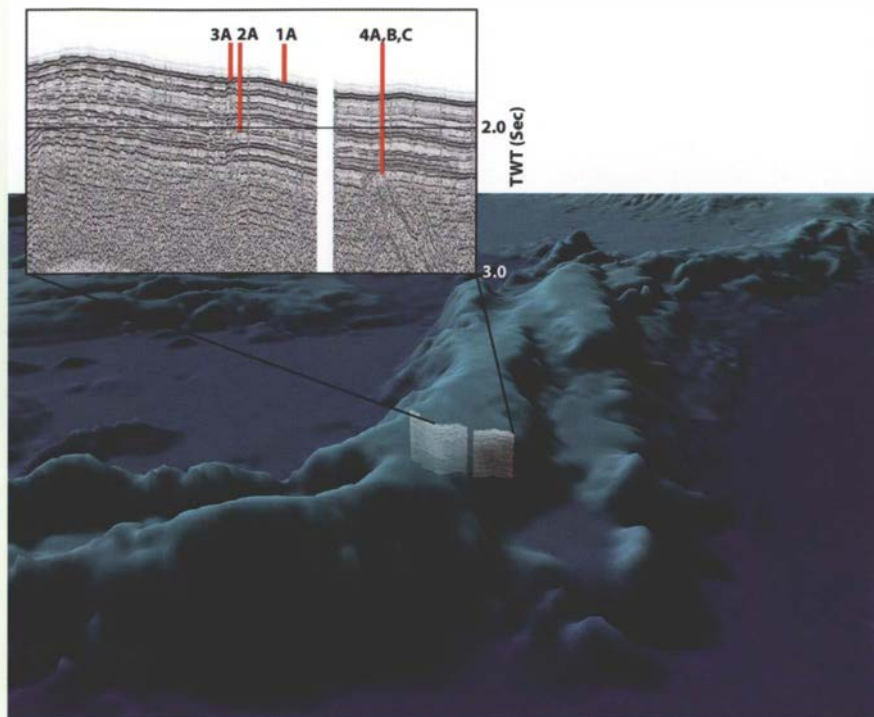
En 1500 km och 3 km hög submarin bergskedja, Lomonosovryggen, skär tvärs igenom Arktisbassängen och delar den i två mindre bassänger. Den äldre och större av denna, den Amerasiska bassängen eller Kanadabassängen, bildades för 120–130 miljoner år sedan, under tidig krititid. Ett för djuphaven ovanligt tjockt sedimenttäckte om ca 6 km vilar på Kanadabassängens oceanskorpa. En granskning av gravimetriska data antyder förekomsten av en sedan länge inaktiv spridningsrygg under det tjocka sedimenttäcket (se figuren till vänster). Den Amerasiska bassängen rymmer också ett mäktigt ryggsystem, Alpha- och Mendeleevryggarna. Ett enstaka basaltprov från Alpharyggen anger ett oceaniskt ursprung för ryggen och att den bildades för ca 82 miljoner år sedan, under sen krititid.

Lomonosovryggen utgjorde Barents- och Karahavens norra shelfkant för ca 55 miljoner år sedan, då den spjälkades av och började driva iväg mot Nordpolen genom tektoniska processer. En spridningsrygg (Gakkelryggen) hade bildats, som pressade ut Lomonosovryggen allt längre från kontinentkanten. Därigenom bildades Eurasiska bassängen mellan Lomonosovryggen och Europas kontinentkant. Bassängen är i sin tur indelad i två sub-bassänger på varsin sida om Gakkelryggen, nämligen Nansenbassängen närmast Europa och Amundsenbassängen närmast Lomonosovryggen. Den äldsta havsbotten i Eurasiska bassängen är följaktligen 55 miljoner år. Eftersom den är 65–75 miljoner år yngre än den Amerasiska bassängen är också sedimentmäktigheterna påtagligt mindre, ca 2,5 km i Amundsenbassängen och drygt 3 km i Nansenbassängen.

Idag täcks de centrala delarna av Lomonosovryggen nära Nordpolen av en drygt 400 m tjock sedimentsekvens som ackumulerats under de 55 miljoner åren som gått sedan ryggen spjälkades av från shelfkanten. Anledningen till att sedimentmäktigheten på Lomonosovryggens krön är drygt sex gånger mindre än i den närliggande Amundsenbassängen är att de djupare bassängerna får en stor del av sina sediment genom sluttningsprocesser, sedimentavlagringar som bildats i form av t.ex. skred från de branta omgärdande kontinentalslutningarna. Sedimenten på Lomonosovryggens krön är skonade från denna typ av processer. De har transporterats av vindar eller



De borrhärlor som togs under ACEX-expeditionen på Lomonosovryggens krön. I seismikprofilen är det markerat med rött hur djupt varje kärna kom ned i sedimentsekvensen. Site 4 (A, B, C) nådde ned till botten av den drygt 400 m tjocka sekvensen av horisontellt lagrade sediment, som var målet för borrhärlingen.



havs is och sakta sjunkit från havsytan. Skallerter från mikrop plankton är en tredje källa för dessa sediment, som utgör ett ostört och unikt arkiv över den Eurasiska bassängens geologiska utveckling samt 55 miljoner år av arktisk miljö- och klimathistoria.

Forskningen i Arktis

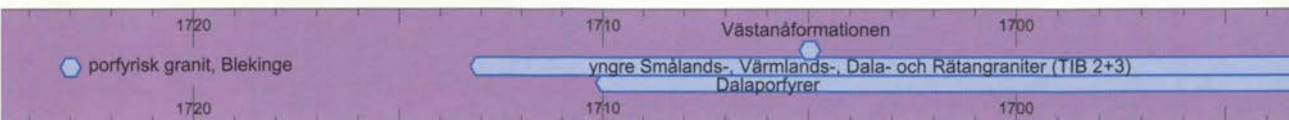
De geofysiska data som samlades under 1991-års expedition visade några uppenbara mål för en djup-havsborrningsexpedition till Lomonosovryggen mellan 87 och 88°N på drygt 1 km vattendjup (Se figuren ovan). Vi vände tillbaka till området 1996 med *Oden*, då ytterligare geofysiska data samlades och fler kolvloidskärnor togs upp. En bit söder om bor-rplatsområdet längs ryggrönet mot Sibirien såg vi då isplagspår i sedimenten som bildats på ett vattendjup som idag är nära en kilometer. Isen som gjorde dessa plöjfaror måste ha varit närmare en kilometer tjock då världshavens nivå under glaciationsmaxima varit mer än 100 meter lägre än idag samt att isen sticker upp ca 10% ovanför havsytan. I början av 1998 skickades en preliminär ansökan in till oceanborrningsprogammet ODP med förslag om att borra på Lomonosovryggen. Vi uppmanades skicka in en fullständig ansökan, vilken

utvecklades vidare via ett antal granskningscykler. År 2000 rankades denna ansökan som nummer ett av alla då behandlade ODP-ansökningar. Intresset från det internationella maringeologiska vetenskapssamhället var starkt eftersom ansökan fokuserade på några väsentliga frågeställningar som bara kan besvaras genom att studera borrhärlor från centrala Arktis.

För att bättre förstå dessa frågeställningar bör man känna till något om temperatur i haven för 50–55 miljoner år sedan och jämföra med nutidens värden:

- Idag är 92% av havsvattnet kallare än 10°C. För 50–55 miljoner år var allt havsvatten varmare än 10°C.
- Skillnaden i ytvattentemperatur mellan pol och ekvator är idag ca 30°C. För 50–55 miljoner år sedan var skillnaden omkring 15–20°C, gradienten var mycket mindre.
- Skillnaden i temperatur mellan ytvatten och botten-vatten vid ekvatorn är idag ca 30°C. För 55 miljoner år sedan var skillnaden omkring 15–20°C, gradienten var mycket mindre.

Det primära logistiska målet för Arctic Coring Expedition (ACEX) var att kontinuerligt ta upp hela den drygt 400 m tjocka sedimentpacken som draperar Lomonosovryggens krön mellan 87° och 88°N, ca 250 km från Nordpolen. Det primära vetenskapliga målet var att använda dessa sediment för att bestämma Ark-



tis roll i den globala klimatutvecklingen 55 miljoner år tillbaka i tiden, från dåtidens växthusliknande värld till nutidens istidsvärld och med nära nog fördubblade temperaturgradienter mellan såväl pol och ekvator som mellan yta och botten. Hur länge har det funnits havsis? När fick vi en permanent havsismössa i Arktis?

ACEX-expeditionen

Expeditionen föregicks av en noggrann planering där det svenska Polarforskningssekretariatet (SPRS, www.polar.se) spelade en nyckelroll med sin gedigna erfarenhet av marina operationer i centrala Arktis. SPRS bidrog även ekonomiskt i form av fartygstid för *Oden*. En internationell arbetsgrupp (Arctic Detailed Planning Group: Backman m.fl. (2001; *JOIDES Journal* 27, 16–27) utarbetade det logistiska ramverket kring



Alla i geofysikteamet samlade kring luftkanonen. I bakgrunden syns borrhartyget Vidar Viking. Foto Jan Backman.



Specialtillverkad depressor för att hålla ner den seismiska luftkanonen under Odens propellerturbulens. Luftkanonen hänger under depressorn i vajrar. Foto Martin Jakobsson.

ACEX i nära samarbete med SPRS. Den flotta som möttes vid iskanten strax väster om Franz Jozefs land i början av augusti 2004 bestod därför av den ryska atomisbrytaren *Sovetskiy Soyuz*, *Oden* och ett svenskt borrhartyg, *Vidar Viking* (se vinjettbilden på sidan 24). *Sovetskiy Soyuz* bröt ner ankommande ("uppströms" i isdriftdriktningen) kilometerstora flak. *Oden* krossade ner dessa flak till bitar om några tiotals meter strax uppströms om borrhartyget. Strategin fungerade utmärkt och borrhartyget kunde hålla sin position inom en 100 m radie, vilket är ett måste så fort borrhsträngen börjar tränga ner i sedimenten, under flera dygn i sträck genom manuell styrning av borrhartyget. En sjömansprestation av yppersta klass.

ACEX-kärnorna berättar att vi haft havsis i Arktis överraskande långt tillbaka i tiden, den äldsta isbergsflottade gnejsbiten låg i ca 45–46 miljoner år gammalt sediment. Detta är det första definitiva spåret av havsis som vi hittat. I eocen tid (55–34 miljoner år sedan) var ytvattnen i Arktis åtminstone vid ett tillfälle närmast utsötade, Arktis var som en stor insjö. Vid paleocen/eocengränsen rådde under några hundra tusen år ytvattentemperaturer om drygt 20°C (idag: drygt -1°C), åtminstone under sommartid. De eocena sedimenten är svarta av höga halter organiskt kol (2–5%) och består ställvis av stora mängder skalrester från diatoméer, kiselflagellater och dinoflagellater. Mikrofossilerna är mycket mer sparsamt förekommande i de miocena och plio-/pleistocena sedimenten, som också berättar att dessa till stor del bildats genom istransport. Sand är vanligt förekommande i de yngre neogena sedimenten, åtminstone 15–16 miljoner år

1690

1680

1670

ögongnejs, Tännäs

1690

1680

1670



Deltagare i ACEX-expeditionen från institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet. Från vänster: Arne Lif, Tom Floden, Jan Backman, Åsa Wallin, Martin Jakobsson. Bilden är tagen på Nordpolen.

tillbaka. Preliminära resultat och borrhärnebeskrivningar kommer att publiceras i november 2005 av IODP (www.iodp.org).

Expeditionen avslutades med geofysiska mätningar vid borrhålen för att kunna knyta de nya geologiska resultaten från ACEX-kärnorna till de reflektionsseismiska profiler som insamlades 1991. Målet för var att skapa ett ruttmönster av reflektionsseismiska profiler rakt över borrhålen för att få en tredimensionell bild av geologin på borrhålets plats. För att åstadkomma detta måste en luftkanon samt en lång slang med hydrofoner släpas i den relativt isfria rännan bakom *Oden*. Detta är inget lätt företag då både luftkanon och hydrofonslang ständigt riskerar att kapas eller krossas av de stora och tunga isblock som, trots att *Oden* lämnar en av de bredaste och mest isfria rännor bakom sig av alla isbrytare, då och då snabbt sluts efter fartyget eller kommer uppskjutande efter att ha glidit längs fartygsskrovet istället för att ha tryckts åt sidan. En specialtillverkad depressor gjord av 15 mm tjockt järn användes för att få ner luftkanonen under den turbulens som skapas av *Odens* två stora propellarar. Att det huvudtaget går att utföra seismiska mätningar i det enorma buller som en isbrytare skapar under isbrytning är tämligen förbryllande. Till stor hjälp var också den ryska atomisbrytaren *Sovetskiy Soyuz* som gick framför *Oden*

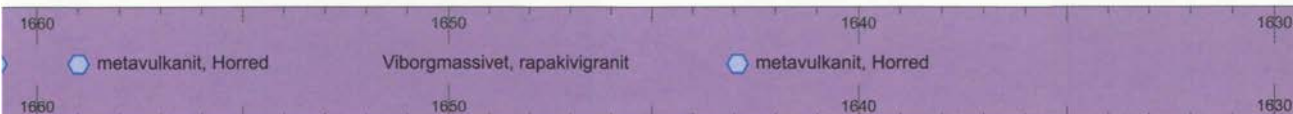
och bröt upp en första ränna längs mätlinjerna. Ett lyckade reflektionsseismiska profiler blev insamlade över borrhålen under tuffa fältförhållanden, som blev avslutningen på ACEXs operativa fas. Sedan återstod en lång transit ut genom packisen via ett besök över polpunkten.

Källor

Figuren på sidan 25 har visualiserats med hjälp av databasen "The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean", IBCAO: (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/arctic/arctic.html>). Landområdena utgörs av en satellitbildsmosaik från NASA, "The Blue Marble": (<http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/BlueMarble/>).

Jan Backman är professor i allmän och historisk geologi vid Institutionen för geologi och geokemi, Stockholms universitet; jan.backman@geo.su.se.

Martin Jakobsson är lektor i maringeologi vid Institutionen för geologi och geokemi; martin.jakobsson@geo.su.se.



Graniter – jordskorpans anonyma massa?

Granit, det har väl alla en föreställning om vad det är för något? Men hur definieras granit egentligen? Vilken utbredning har de? Och vad innehåller de och hur bildas de? Faktum är att det finns inte bara en typ av granit, utan ett flertal typer som skiljer sig mycket åt utseendemässigt och även bildats på olika sätt. Vi ska försöka reda ut begreppen lite i denna artikel.

AV ULF B. ANDERSSON

Vad är en granit?

Granit är en bergart som kristalliserat ur en magma (smält berg ± mineral-kristaller) inuti jordskorpan och domineras av mineralen kvarts (kiseldioxid), kalifältspat (KAlSi_3O_8) och plagioklas (Na-Ca-fältspat) inom vissa proportionella gränser. Halten av de båda fältspaterna bör vara ungefär lika, medan andelen kvarts skall vara $>20\%$ (se figuren nedan). Inom detta sammansättningsområde brukar man tala om egentliga graniter, eller granit *sensu strictu* (s.s.). Ibland används också termen granitoid. Denna innefattar 'granitiska' bergarter, vilket förutom granit (s.s.) också omfattar granodiorit, tonalit och alkalifältspatgranit, d.v.s. de med kvartshalter $>20\%$.

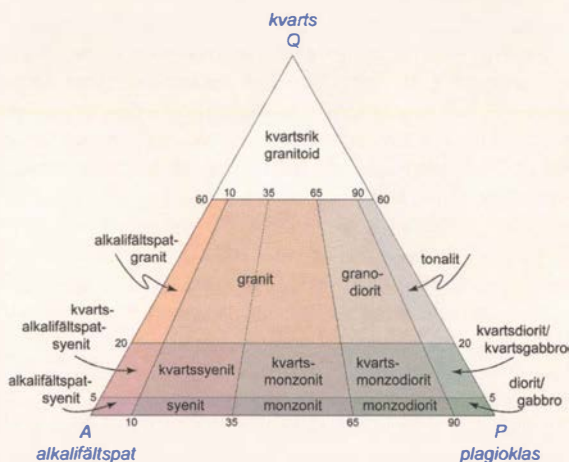
Hur kan de se ut?

Graniter kan ha flera olika färger och texturer, där färgen oftast bestäms av färgen på fältspaterna. De två vanligaste är gråvit och röd. Den röda fältspatfärgen betingas av att fältspaternas lilla järninnehåll befinner sig i oxiderat tillstånd, d.v.s. som järn³⁺, oftast i form av mikroskopiska hämatit-inneslutningar (hämatit, Fe_2O_3). I de graniter där fältspaterna är gråvita är järnet inte oxiderat, utan förekommer mestadels som kristallbundet järn²⁺. Något ovanligare är gröna som ibland övergår mot nästan svarta typer, där orsaken till färgen är relativt dåligt känd, men kan bero på submikroskopiska inneslutningar av t.ex. spineller (spinell, $(\text{Mg,Fe})\text{Al}_2\text{O}_4$), eller andra grönkaktiga mineral.

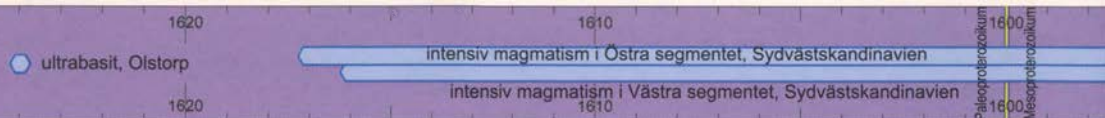
Förutom färgen, varierar ofta också texturen, d.v.s. mineralens storleksfördelning och inbördes förhållande. Man brukar också skilja mellan fin-, medel- och grovkorniga typer, som vanligen definieras: $<1\text{ mm}$ = finkorniga, $1-5\text{ mm}$ = medelkorniga, och $>5\text{ mm}$ = grovkorniga. En vanlig textur är den porfyrisk, eller strökornsförande, som innebär att vanligtvis ett mineral bildar större kristaller än de övriga. I graniter är detta mineral oftast kalifältspat, men kan ibland också vara plagioklas och

kvarts. Sådana strörkorn utgörs oftast av $1-5\text{ cm}$ stora kristaller, men ibland kan de bli $>10\text{ cm}$. De kan vara avrundade (t.ex. Salmigraniten på nästa sida) eller tabulära (se graniten från Skagsudde på nästa sida), d.v.s. med sina kristallformer skarpt utbildade, och innehåller ofta inneslutningar av granitens mindre mineral.

Förutom texturella variationer kan granitoiders utseende variera till följd av olika strukturer, variationer i makroskopisk (större) skala, ofta i form av en genomgående parallellorientering av mineral-korn, s.k. planfoliation eller stänglighet. Sådana strukturer kan uppstå redan i det magmatiska skedet som ett resultat av att tidigt kristalliserade kristaller med avlånga eller tillplattade dimensioner lägger sig i en gemensam riktning i samband med flyttrörelser i magman, s.k. flytfoliation. Detta är relativt vanligt i porfyrisk graniter. Om strukturmönstret utbildas efter kristallisationen, s.k. fastfasdeformation, vid



Klassifikation av djupbergarter baserat på innehållet av kvarts, alkalifältspat och plagioklas (s.k. Streckeisendiagram). Från Le Maitre 2002.





Grötingengranit, Grötingen, Jämtland (1 på kartan), ca 1750 miljoner år gammal. Typiskt röd granit med oxiderat järn i fältspaterna (ovan vänster). Salmigranit, Repomäki, Ryssland (2), ca 1540 milj. år gammal, med runda kalifältspatströkorn (s.k. ovoider), s.k. rapakivgranit (ovan höger). Granit från Skagsudde, Ångermanland (3), med tabulära (fyrkantiga), ljusa (reducerat järn) fältspatögon. Troligen ca 1860 milj. år gammal (nedan vänster). Strömsundsgrenit, Bjäcketjärn, Jämtland (4), troligen ca 1520 milj. år gammal. Denna granit har överskott på Na+K, d.v.s. är peralkalin (nedan höger).

relativt hög temperatur får man först gnejsgraniter (t.ex. Uppsalagraniten på nästa sida). Om processen har varit mer genomgripande talar man om granitisk gnejs, eller om de är porfyriska om ögongnejs (se ögongnejsen på nästa sida). Sådana fastfasdeformerade graniter räknas dock inte längre som magmatiska bergarter, utan metamorfa.

Vad innehåller de?

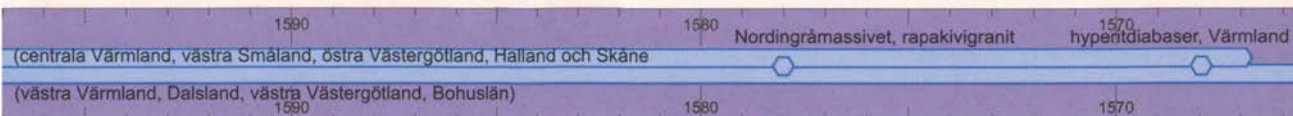
Förutom de bergartsklassificerande mineralen kvarts och fältspater varierar mineralinnehållet en hel del mellan olika granittyper. Bland glimrarna är biotiten den otvetydigt vanligaste, men särskilt i Al-rika granittyper (s.k. peraluminösa) tillkommer ofta betydande mängder muskovit, i vissa fall helt dominerande över biotit. I sådana Al-rika graniter finner man ibland också andra typiska mineral, såsom granat, cordierit, sillimanit eller andalusit (som t.ex. i graniten från Hartungviken på nästa sida). Även turmalin kan förekomma. I mindre Al-rika och mera Ca-Na-K-rika (s.k. metaluminösa, eller kalk-alkalina) typer tillkommer istället amfibol (vanligtvis hornblände) som typiskt mineral, någon gång pyroxen. En speciell typ är de peralkalina graniterna (t.ex. Strömsundsgreniten ovan), som har överskott på kalium+natrium gentemot

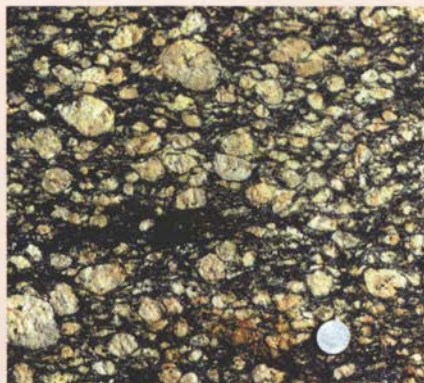
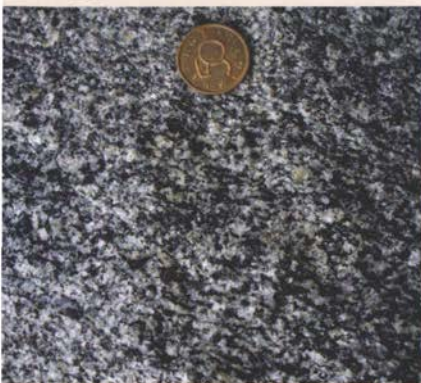
aluminium, och typiskt innehåller alkalirika amfiboler (t.ex. richterit och riebeckit) och/eller pyroxener (t.ex. ägirin). Vissa järnrika graniter kan också innehålla fayalit (järnrik olivin).

Bland de accessoriska (i små mängder) förekommande mineralen finner vi normalt apatit, magnetit, ilmenit och zirkon. I metaluminösa graniter finner man ofta också titanit och allanit, medan man i de peraluminösa bland småmineralen normal bör hitta monazit. De peralkalina graniterna kan innehålla ett flertal mera ovanliga mineral. Typiska omvandlingar av mineralen som man finner i graniter är finkornig muskovit (s.k. sericit) och epidot/zoisit (s.k. saussurit) i fältspaterna. Biotit är ofta omvandlad till klorit och oxidmineral, t.ex. rutil och magnetit.

Kemisk sammansättning?

Bergarters kemiska sammansättning brukar traditionellt anges i oxidform för huvudelementen, d.v.s. de grundämnena som förekommer i halter över 0,1%. Detta eftersom nästan alla bergartsbildande mineral innehåller ett betydande inslag av syre och kan beskrivas genom olika kombinationer av oxider av de ingående katjonerna (element med positiva laddningar). Övriga grundämnena,





Uppsalagranit, Uppsala, Uppland (5) är egentligen inte en granit, utan en tonalit (se klassificeringsfigur sidan 30). Cirka 1890 milj. år gammal (vänster). Ögongnejs (deformerad ögonförande granit) från Loftahammar, Småland (6). Cirka 1850 milj. år gammal (mitten). Den grå, muskovitförande graniten från Hartungviken i Medelpad (7) är ett exempel på en Al.-rik (peraluminös) granit, bildad huvudsakligen genom uppsmältning av sediment. Notera granaten i bildens mitt (mörkt rödsvart). Alder troligen ca 1850 milj. år (höger).

som förekommer i lägre halter, betecknas spårelement och redovisas vanligtvis i ppm (miljondelar av totala vikten, i elementform).

Eftersom definitionen av graniter, och övriga granitoider, kräver en kvartshalt på minst 20% är de typiskt

Tabell med kemiska analyser av tre olika typer av svenska graniter.

| Kemisk typ | Peraluminös | Metaluminös | Peralkalin |
|--------------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Bergartstyp (provnr) | Palingsgranit (R125) | Filipstadsgranit (8827) | Strömsundsgranit (53) |
| Lokalitet | Storholmen, Medelpad | Hagfallet, Östergötland | Bjacketjärnen, Jämtland |
| Koordinater | 691603/159040 | 650896/146006 | 708855/149493 |
| SiO ₂ (vikts%) | 67,9 | 66,2 | 71,5 |
| TiO ₂ | 0,42 | 0,64 | 0,41 |
| Al ₂ O ₃ | 14,6 | 14,9 | 12,5 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,99 | 4,90 | 4,34 |
| MnO | 0,05 | 0,07 | 0,09 |
| MgO | 1,62 | 0,88 | 0,13 |
| CaO | 1,57 | 2,34 | 0,50 |
| Na ₂ O | 2,93 | 3,65 | 4,49 |
| K ₂ O | 3,83 | 4,87 | 5,33 |
| P ₂ O ₅ | 0,12 | 0,18 | 0,04 |
| Ba (ppm) | 539 | 1210 | 18 |
| Rb | 130 | 165 | 85 |
| Sr | 192 | 113 | 9,6 |
| Th | 8,9 | 8,0 | 5,8 |
| U | 4,2 | 3,2 | 1,7 |
| Ga | 19,0 | 23,4 | 35,0 |
| Y | 8,0 | 51,9 | 33,6 |
| Zr | 118 | 417 | 450 |
| Nb | 12 | 30 | 38 |
| Zn | 78 | 67,8 | 153 |
| Sc | 9,6 | 22,8 | 3,2 |
| Cr | 42 | 2 | 1 |
| Cu | 29,9 | 7,0 | 5,7 |
| Ag | 0,2 | 0,2 | 0,7 |
| La | 25 | 47 | 67 |
| Ce | 51 | 101 | 142 |
| Nd | 20 | 56 | 70 |
| Sm | 3,7 | 13,4 | 13,7 |
| Eu | 0,7 | 1,8 | 1,2 |
| Yb | 1,0 | 5,0 | 3,3 |

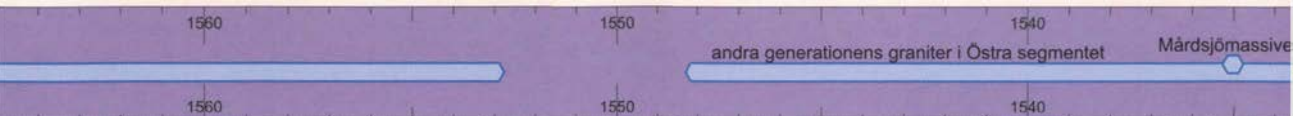
Data från Andersson (1997).

rika på kisel (se tabellen till vänster), med SiO₂-halter vanligtvis över 65%, ofta >70%. Andra huvudelement som är höga är förstas de som ingår i fältspaterna (Al₂O₃ vanligtvis >12%, K₂O 3–5,5%, Na₂O 2–4%). CaO varierar kraftigt beroende på typ; är högst i tonaliter och lägst i alkalifältspatgraniter. Även järnhalterna varierar en del, men är mestadels under 5% FeO. TiO₂ är under 1%, MgO <1,5%, medan MnO och P₂O₅ normalt är mycket låga.

Spårelementens variationer i graniter används ofta för att tolka dessas ursprung och utveckling. Även dessa hyser förkärlek till vissa mineral och kan på så sätt ge information om vilka mineral som varit inblandade i smält-respektive kristallisationsprocesser. Rubidium och barium är knutna till kalifältspat och förekommer ofta i relativt höga halter i graniter, >150 respektive 300–1500 ppm. Det senare elementet kan också vara förhöjt i biotit. Andra typiska element som är relativt höga i graniter är de som är knutna till vissa accessoriska mineral, t.ex.: zirkonium (150–800 ppm i granit) (zirkon), cerium (50–200 ppm) och de övriga sällsynta jordartsmetallerna, uran (2–10 ppm) och torium (5–50 ppm) (i zirkon, monazit och allanit). De senare elementen är, tillsammans med kalium, orsaken till förhöjda strålningsvärden i vissa graniter, p.g.a. deras radioaktivitet.

Hur bildas graniter?

Nu har vi beskrivit hur graniter kan se ut och vad de innehåller – men hur uppstår de egentligen? För detta har det funnits flera olika förklaringsmodeller, men numera råder relativt stor enighet om att i stort sett alla typer av granitoider bildats i magmatiska processer genom antingen partiell uppsmältning av olika typer av källbergarter, eller genom kristallfraktionering ur icke-granitiska modernmagmor. Tidigare hade en skola många anhängare, som hävdade att t.ex. metasediment över stora





Blomskogsgranit, Årjäng, Värmland (8). Tillsammans med Bohusgraniten utgör dessa de yngsta graniterna i Sveriges urberg, ca 920 milj. år gamla (vänster). Ögonförande granit från Filipstad, Värmland (9) tillhörande det transskandinaviska magmatiska bältet. Cirka 1780 milj. år gammal. Hör till de graniter som varken har överskott på Na+K eller Al (metaluminösa) (mitten). Rödögraniten från Rödön, Medelpad (10) är ett exempel på en yngre, icke-orogen granit (i detta fall av rapakivtyp), ca 1500 milj. år gammal (höger).

tonaliter, de vanligaste. När man går framåt längs jordens tidsaxel kan man observera en gradvis förskjutning mot mera kalifältspatrika granitoider (ofta rödare). Detta beror på att jordskorpan hela tiden omarbetas under jordens utveckling så att de äldre mera kalciumrika granitoiderna (ofta grå-vita) delvis smälts upp och bildar nya granitiska smältor. Dessa blir för varje steg något rikare på kalium, som en följd av att kaliumrika mineral ofta smälter lättare (vid lägre temperaturer). Detta är ett exempel på jordens ständigt pågående kemiska utveckling.

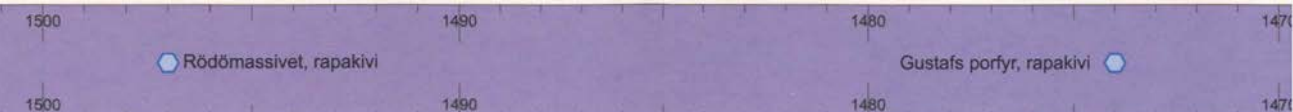
Var finns de – hur vanliga är de i Sverige?

Granitiska bergarter finns spridda och ymnigt företrädda över alla jordens kontinental områden, men i den oceaniska jordskorpan förekommer de sällsynt främst i form av plagioklasrika granitoider tillsammans med de dominerande basaltiska bergartsskensekvenserna.

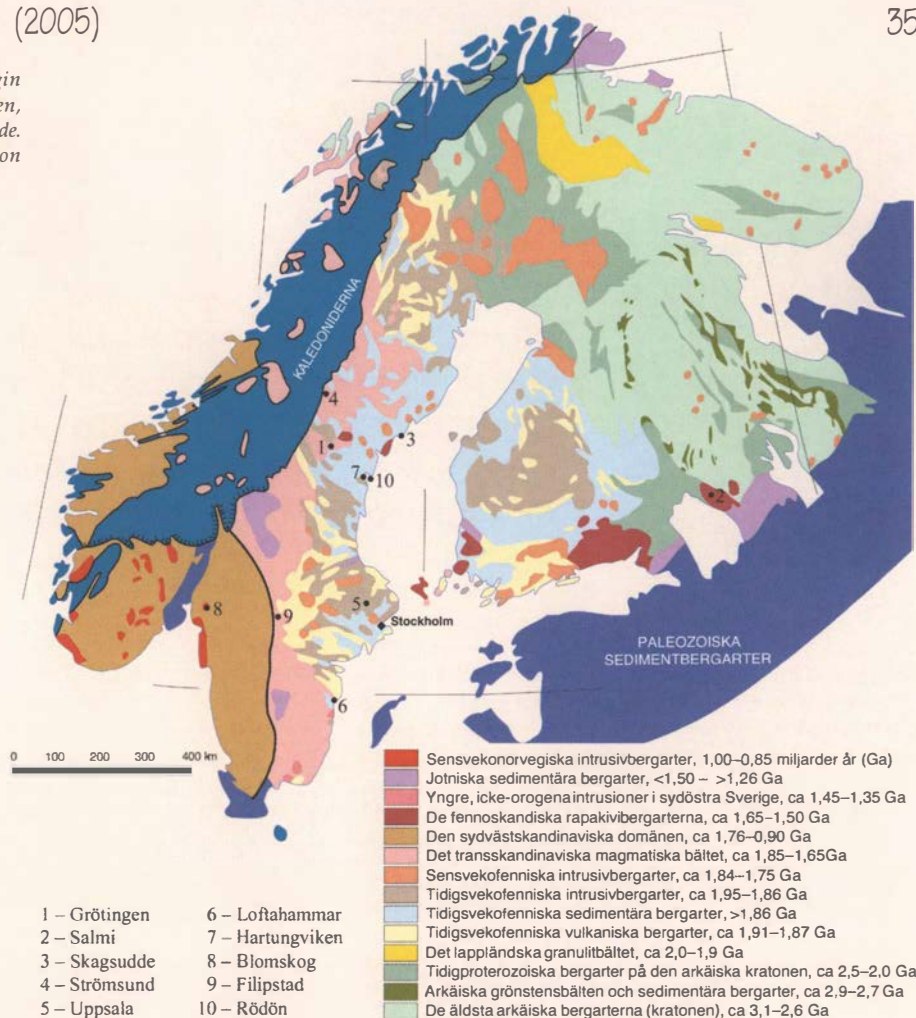
Sverige är ett land uppbyggt av kontinental jordskorpa som bildats huvudsakligen för mellan 2700 och 900 miljoner år sedan. Under hela denna tidsrymd är de granitiska bergarterna de areellt helt dominerande i det erosionssnitt i jordskorpan som dagens Sverige representerar. De utgör inte mindre än ca 70% av Sveriges berggrund (se kartan på nästa sida). De äldsta förekommer i Norrbottens län och har åldrar på upp till 2,83 miljarder år. Dessa bergarter är huvudsakligen tonaliter och granodioriter. De yngsta granitintrusionerna i Sverige är de sen-svekonorvegiska, med åldrar på ca 920 miljoner år. Av dessa är det stora Bohusmassivet i Bohuslän det mest bekanta, men det finns även mindre förekomster av sådana graniter i sydvästra Värmland (t.ex. Blomskogsgraniten ovan). De är ofta röda och jämnkorniga, även om grå och småporfyrisk typer också förekommer.

Emellan dessa ytterligheter dominerar Sveriges berggrund av framför allt två granitiska bildningsepoker. Den tidigare av dessa är den svekofenniska, som omfattar större delen av norra Sverige, söder om de arkaiska områdena och öster om fjällkedjans yngre berggrund, samt östra Svealand ner till östra Östergötland. Granitoider i detta område bildades främst i tidsintervallet för 1,91–1,86 miljarder år sedan, och domineras även de av tonaliter och granodioriter (t.ex. Uppsalagraniten på sidan 32), även om graniter också är relativt vanliga. De anses ha bildats i samband med subduktion och bildning av den första jordskorpan i vulkanska öbågar i dessa delar av Sverige. I åldersspannet för 2,65–1,91 miljarder år sedan bildades ytterst få granitiska bergarter som är blottade i Sverige. Under perioden 1,85–1,65 miljarder år före nutid däremot, bildades ofantliga volymer granitiska bergarter som nu finns blottade i Sverige i det som kallas det transskandinaviska magmatiska bältet. Detta sträcker sig från Blekinge i söder, norrut genom främst Småland, Östergötland, Värmland, Dalarna, Härjedalen och Jämtland och försvinner under fjällkedjan i södra Norrland (se på nästa sida). Graniterna i detta bälte är mestadels röda och relativt grova, ofta för de stora ögon av kalifältspat (t.ex. Filipstadsgniten ovan). Bergarterna i detta bälte anses av de flesta forskare bildade i samband med omarbetning av den tidigare svekofenniskajordskorpan i samband med subduktion längs en kontinentkant, liknande den som pågår i Anderna längs Amerikas västkust.

Förutom dess huvudtyper och regioner finns även en del spridda förekomster av framför allt graniter bildade i åldersspannet för 1,58–1,35 miljarder år sedan, bl.a. i södra Norrland, nordöstra Småland, Skåne-Blekinge och Halland-Västergötland. Dessa är ofta påtagligt röda och kaliumrika, ibland med grovporfyrisk textur (t.ex. Rödögraniten på föregående sida). De anses ha bildats efter det att den huvudsakliga jordskorpan i Sverige stabiliserats, genom att denna utsatts för uttöjningsrörelser



Förenklad karta över geologin i den Fennoskandiska skölden, med granitlokalerna markerade. Modifierad efter Andersson (1997).



lokalt i dessa områden. Rörelser som sedan avbrutits innan jordskorpebitarna hunnit brytas isär och följts av en ny stabilare fas i den svenska jordskorpan. I sydvästra Sverige (Värmland-Västra Götaland) fortsatte jordskorpebildningen även under perioden för 1,65–1,55 miljarder år sedan med utbildning av tonaliter till graniter. Under en sträckningsperiod i slutet av den svekonorvegiska perioden intruderade så slutligen Bohusgraniterna i denna jordskorpa och avslutade därmed den granitiska utvecklingen i landet – hittills!

Litteratur

- Andersson, U.B., 1997: Petrogenesis of some Proterozoic granitoid suites and associated basic rocks in Sweden (Geochemistry and isotope geology). *Sveriges geologiska undersökning, Rapporter och Meddelanden* 91, 216 sidor.
- Bowring, S.A., Williams, I.S. Compston, W. 1989: 3.96 Ga gneisses from the Slave Province Northwest Territories, Canada. *Geology* 17, 971–975.
- Clarke, D.B., 1992: *Granitoid rocks. Topics in the earth sciences* 7. Chapman & Hall, London, 283 sidor.

- Fredén, C., (red.) 1998: *Sveriges Nationalatlas. Berg och jord*. Sveriges Nationalatlas Förlag, andra utgåvan, 208 sidor.
- Hess, P.C., 1989: *Origins of igneous rocks*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 336 sid.
- Högdahl, K., Andersson, U.B. & Eklund, O., (red.) 2004: The Transscandinavian igneous belt in Sweden: a review of its character and evolution. *Geological Survey of Finland, Special Paper* 37, 125 sid.
- LeMaitre, R.W., (red.) 2002: *Igneous rocks. A classification and glossary of terms*. 2nd edition. Cambridge University Press, Cambridge, 236 sidor.
- Lindström, M., Lundqvist, J. & Lundqvist, Th. 2000: *Sveriges geologi från urtid till nutid*. Andra upplagan. Studentlitteratur, Lund, 532 sidor.
- Pitcher, W.S., 1993: *The nature and origin of granite*. Blackie Academic & Professional, London, 321 sidor.

Ulf B. Andersson är fil. dr. och verksam vid Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet samt Laboratoriet för isotopgeologi, Naturhistoriska riksmuseet;
ulf.andersson@geo.uu.se



Guldådror, guldfeber och guldålder



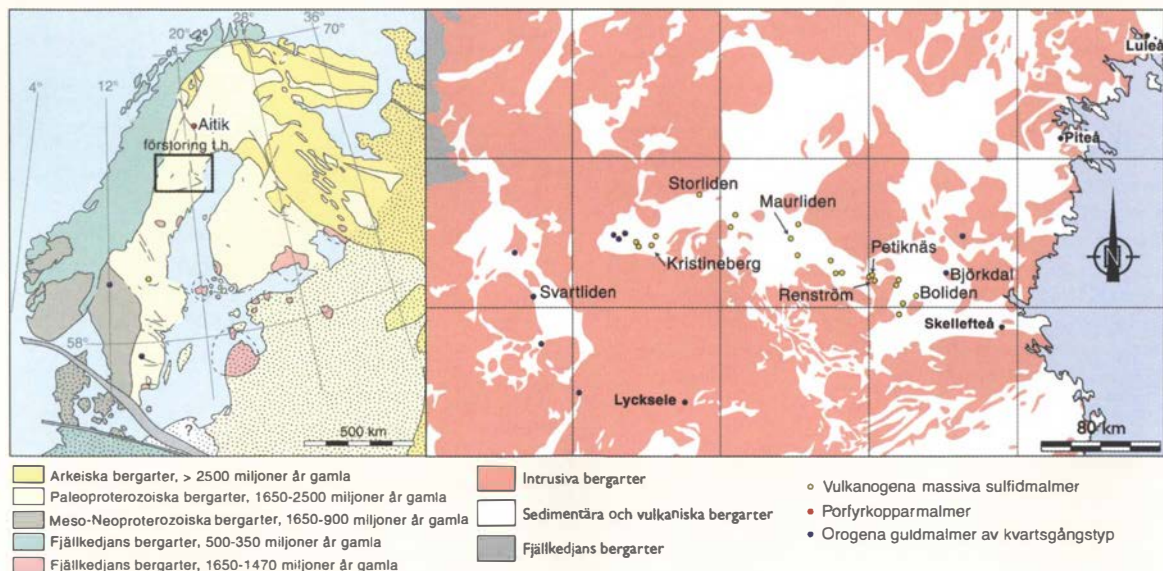
Guld, den kanske mest mytomspunna metallen av alla. Tack vare sina unika egenskaper har guld varit eftertraktat sedan förhistorisk tid. Det är guldets kemiska egenskaper som gör att det även dyker upp i vissa typer av geologiska miljöer. Miljöer som vi finner spår av i norra Sverige, och som gör Sverige till Västeuropas viktigaste guldproducent.

AV PÄR WEIHED

Det är nog inte många som vet att det år 2002 producerades nästan 6 ton guld från svenska gruvor. Värdet på detta guld som hämtats från det svenska urberget är i dagens penningvärde ungefär 580 miljoner svenska kronor, så det är inte så konstigt att många vill vara med i jakten på nya guldådror. Det är nog inte heller så många som vet att Sverige i och med detta är Västeuropas största guldproducent. Den övervägande delen av det guld som bryts i Sverige kommer från

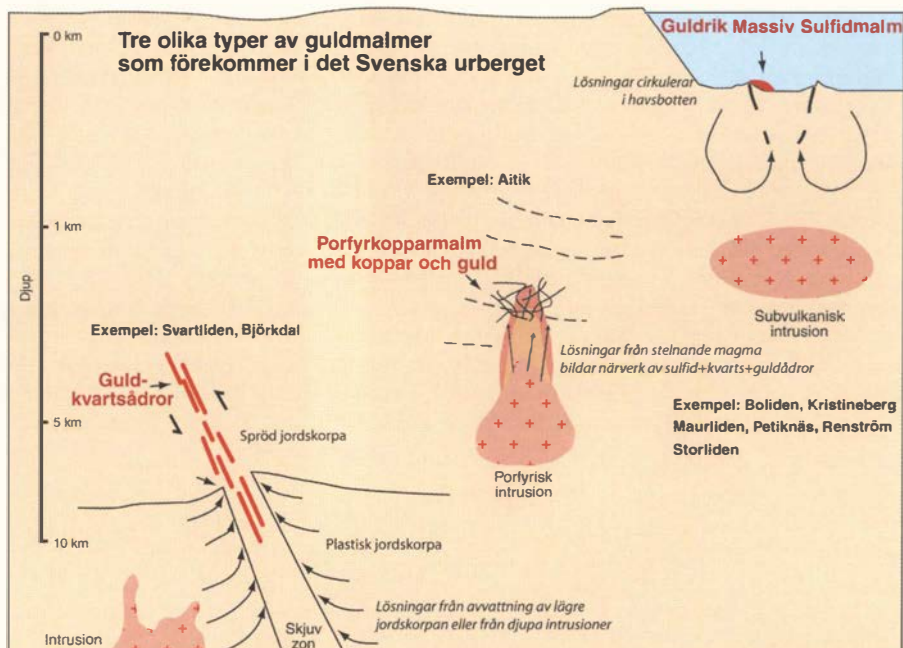
några få gruvor. Aitik, Björkdal, gruvorna i Skelleftefältet och så den nya guldgruvan Svartliden nordväst om Lycksele. Alla dessa gruvor är belägna i norra Sverige (se kartan nedan).

Man kanske vanligen förknippar guldletning med guldvaskning, och visst förekommer guldvaskning i Sverige och visst hittar de inbitna guldvaskarna en del guld, men detta är ingenting jämfört med de mängder som bryts i industriell skala i både dagbrott



Översiktskarta över de större gulförande malmerna i Sverige. De namngivna fyndigheterna är de som idag är i drift med undantag av Bolidenfyndigheten som beskrivs i texten. Den högra kartan över det s.k. Skelleftefältet, är en uppförstoring av det område som definieras av rektangeln i kartan till vänster.

Modell för hur de tre olika typerna av guldmalmer som beskrivs i texten bildats för ungefär 2 miljarder år sedan. Notera den ungefärliga djupskalan till vänster.

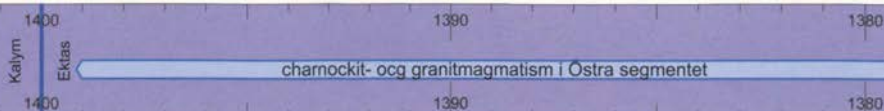


och underjordsgruvor. Halterna av guld som bryts är mycket låga, bara några gram guld per ton berg. Detta innebär att i många av gruvorna kan man inte ens se guldet med blotta ögat utan det måste analyseras fram med kemiska metoder. Den genomsnittliga guldhalt i jordskorpan är mycket låg, ungefär 0,003 gram per ton berg. Om vi räknar med att det är ekonomiskt att bryta en malm som innehåller 3 gram per ton berg, även det som sagt en ofantligt låg halt, så måste alltså guldet koncentreras ungefär 1000 gånger för att vi skall kunna bryta guldet. Guld uppträder på olika sätt i Sveriges urberg och jag skall i denna artikel försöka beskriva var och hur guldet bildas och koncentreras till brytbara mängder.

Den vanligaste typen av guldförekomster är sådana där guldet påträffas i eller i anslutning till kvartsådror, alltså ådror som består av det mycket vanliga mineralet kvarts, SiO_2 . Ådror av kvarts är ju ganska vanliga i det svenska urberget, men det är tyvärr inte så enkelt att när man träffar på en kvartsådra i en berghäll ute i skogen så innehåller den guld. Ett ytterst fåtal av dessa kvartsådror är guldförande. Kvartsådrorna kan man se som tunna streck som löper genom urberget. De kan vara millimetertunna eller flera meter breda och de kan uppträda en och en eller i en svärm. Ådrorna kan vara parallella eller gå i olika riktningar och de kan vara raka eller veckade, alla varianter finns. I Åkerbergsgruvan utanför Skellefteå bröts en guldmalm som bestod av massor av centimetertunna parallella ådror

medan kvartsgångar i den närbelägna Björkdalsgruvan är bredare och har två huvudriktningar. I de allra flesta fall förekommer guldet ihop med så kallade sulfidmineral, d.v.s. mineral där metaller som järn (svavelkis eller magnetkis), koppar (kopparkis), zink (zinkblände), arsenik (arsenikkis) och bly (blyglans) bildar föreningar med svavel. Ofta förekommer dessa mineral i betydligt högre halter än guld, och detta förhållande använder de som letar efter guld sig av. I den berömda Bolidengruvan, som trots att den lades ned 1967 fortfarande är Sveriges genom tiderna största guldgruva, fanns hela 123 ton guld. Det mesta av guldet förekom ihop med arsenikkis. Så under sin livslängd var Bolidengruvan inte bara Europas största guldgruva utan också tidvis världens största arsenikgruva!

Temat på den här volymen av *Geologiskt forum* är ju den tredje dimensionen och var kommer då guldet in i detta sammanhang? Ja, vi vet genom att studera den kemiska sammansättningen hos vissa mineral i urberget att den bergyta som vi idag går på i Sverige för många miljoner år sedan befann sig mer än 10 km ner i jordskorpan. Genom att bestämma åldern på vissa mineral radiometriskt har vi också relativt god uppfattning om när de flesta guldmalmer bildades. Vi kan därför sluta oss till att de flesta guldmalmer som är knutna till kvartsådror bildades på många kilometers djup, ner till 10 km och ännu längre ned i jordskorpan för nästan två miljarder år sedan. På 10 km djup är det naturligtvis väldigt varmt. Vi räknar med att det



blir ungefär 2–3 grader varmare per 100 m och detta innebär att det lågt räknat var åtminstone 200–300 grader varmt i de områden där guldet koncentrerades i kvartsådror i jordskorpan. Detta kan vi också bekräfta genom att studera lösningar som stängts in i kvarts när den kristalliserade. På så sätt vet vi att de flesta guldmalmer bildades i temperaturintervallet 200–400 grader. Vid dessa temperaturer, och vid de höga tryck som råder på dessa djup kan kisel, svavel, metaller och guld vara lösta i fluider som cirkulerar i jordskorpan (se principskissen på föregående sida).

Men, frågar sig väl många, inträffar inte detta överallt? Genom noggranna studier inom de flesta urbergssköldar, t.ex. den Fennoskandiska, i Canada, Australien och Brasilien som alla är rika på guld, har

forskare konstaterat att de flesta guldmalmer som är knutna till kvartsgångar har bildats under kompression när jordskorpan tryckts ihop under bergskedjeveckningar eller, med ett finare ord, under orogeneser. När jordskorpan trycks ihop kommer den att deformeras. Deformationen är ofta lokaliserad till förkastningar och s.k. skjuvzoner. Skjuvzoner är egentligen samma sak som förkastningar men bildas där tryck och temperatur är så höga att berget inte spricker sönder utan deformeras plastiskt. Under bergskedjeveckning gör tryck och temperatur att berggrunden i undre delen av jordskorpan dehydreras (avvattnas). Denna dehydreringsprocess innebär att det vatten som bundits i vissa minerals kristallgitter frigörs och börjar cirkulera i jordskorpan. Eftersom jordskorpan under orogenesen

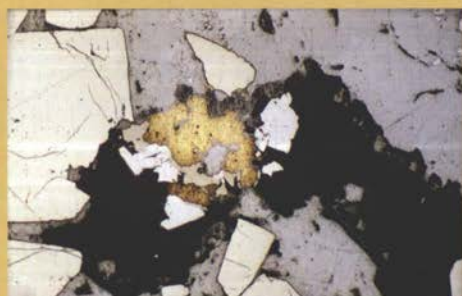
Mikrofoton och närbilder på stuffer och borrhärdar från guldförande malmer i Sverige



Guld som en guldådra i omgivande mineral, mikrofoto från Bolidenmalmen. Området i bilden är under 1 mm i bredd. Foto Jeanette Bergman Weihed.



Guld och sulfosalter som tunna ljusa band i mineralet turmalin, mikrofoto från Bolidenmalmen. Området i bilden är under 1 mm i bredd. Foto Jeanette Bergman Weihed.



Guld (det mörkt gula) tillsammans med svavelkis (FeS_2 ; det ljus gula), mikrofoto från Bolidenmalmen. Området i bilden är under 1 mm i bredd. Foto Jeanette Bergman Weihed.



Del av borrhärd, ungefär 4 cm bred, från Fäboliden. I denna malm uppträder guld ofta ihop med sulfidmineralet arsenikkis (FeAsS) som syns som silvervita steck i den mörka bergarten.

1370

1360
Spinkamålagraniten1350
Vångagraniten

1370

1360

1350

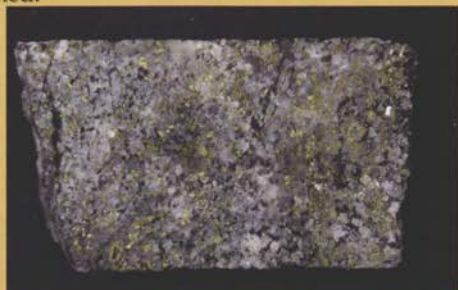
är satt under tryck kommer dessa varma vattenlösningar att fokuseras till skjuvzoner där det kan flöda lättare än i det mer homogena berget. Dessa varma vattenlösningar kallas ofta för hydrotermala (varmt vatten) och utgör transportmediet för guld och det kisel som sedan bildar mineralet kvarts i kvartsådrorna. På modern tackspråk kallas därför ofta dessa guldförande kvartsådror för orogena guldmineraliseringar på grund av att de bildas under slutskedet av en orogenes, bergskedjeveckning. De varma kiselrika lösningar som transporterar guld strävar uppåt och ofta ut från de större skjuvzonerna till mindre skjuvzoner. Det finns flera orsaker till varför guld sedan faller ut. De mest naturliga att tänka sig är att lösningarna när de strävar uppåt helt enkelt svalnar och att även trycket

sänks. Detta medför att kisel och andra element, som t.ex. guld, inte längre kan vara i lösning utan kristalliserar ut som mineral. Andra möjliga orsaker är att lösningarna tillförs svavel så att de sulfider som jag nämnde tidigare kristalliserar tillsammans med guld. Andrakemiska förändringar av lösningarna kan också innebära att guld faller ut.

Sammanfattningsvis bildades alltså de svenska guldmalmerna på stora djup, ofta djupare än 10 km, för nästan två miljarder år sedan under slutskedet av en bergskedjeveckning. Guld fälldes ut från lösningar som dominerades av vatten och kisel när dessa svalnade eller förändrades kemiskt. Mineraliseringarna bildades ofta i anslutning till skjuvzoner där lösningarna lättast trängde fram i jordskorpan.



Stuff från Bolidengruvan. Det blågrå mineralet uppe till höger är arsenikkis som genomfärgats av andra sulfidmineral som svavelkis (FeS_2), magnetkis (FeS) och kopparkis (CuFeS_2). Foto Jeanette Bergman Weihed.



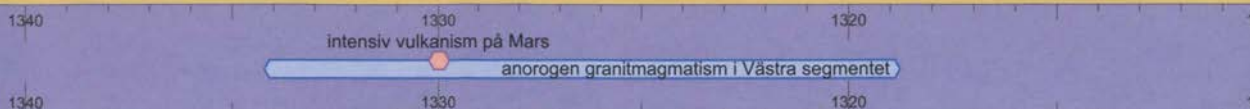
Del av borrhärd, ungefär 4 cm bred, från fyndigheten Vaikijaur utanför Jokkmokk. Denna fyndighet innehåller koppar och guld i en granitisk bergart och utgör således en porfyrokopparmineralisering av samma slag som Aitik.



Magnetkis (brunt) och arsenikkis (silvrefärgat) från mineraliseringen i Stortjärnhobben, en annan av de många guldfyndigheter som undersöks i den s.k. Guldlinjen mellan Lycksele och Storuman i Västerbotten. Ytan som visas på fotot är ungefär 2 cm brett.



Borrhärdar, bredd omkring 4 cm, från underjordsgruvorna Kristineberg i västra Skelleftefältet. Malmen består i huvudsak av koppar- (gula fläckar i borrhärdarna), zink- (rödbruna partier i borrhärdarna) och bly-sulfider som även innehåller en hel del guld. Kristineberg är ett exempel på en guldräk massiv sulfidmalm som är den typ av malm som bryts i gruvorna i Skelleftefältet





Översikt över centrala delarna av Björkdalsgruvan i Västerbotten. Guldet är här knutet till kvartsådror som syns som vita streck i bilden.



Närbild på kvartsådror i Björkdalsgruvan, notera mannen längst ned till höger i bild för skala.



Foto från jordavrymningen av Sveriges senaste guldgruva, Svartliden, utanför Lycksele. Gruvan har under våren 2005 börjat producera guldmalms.



Sveriges största dagbrottsgruva Aitik utanför Gällivare. Dagbrottet är nästan 400 meter djupt.

Under de nästan två miljarder år som gått sedan guldets fälldes ut har över 10 km jordskorpa eroderats bort och blottlagt de malmer som idag bryts.

Det är ju inte meningen att naturens skall vara enkel, så självklart finns det andra typer av guldförekomster också. Den som beskrivits ovan är den typ där endast guld bryts, men i många gruvor bryts guld tillsammans med andra metaller som t.ex. koppar, zink och bly. Jag skall kort beskriva två andra typer av guldförekomster som kan exemplifieras av Bolidengruvan utanför Skellefteå och Aitikgruvan i närheten av Gällivare.

Bolidenmalmen var när den bröts Europas största guldgruva, men man bröt också koppar, zink, bly, silver och arsenik. I detta fall alltså en ganska komplex metallsammansättning där metallerna var knutna till massiva ansamlingar av sulfidmineral (samma som beskrivits ovan), vilket gett malmtypen dess namn på svenska: komplexa sulfidmalmer eller vulkano-

gena massiva sulfidmalmer. Den senare beteckningen antyder också att malmen är kopplade till vulkanism. Detta är fallet med alla de malmer som bryts i det s.k. Skelleftefältet och till skillnad från de guldförande kvartsgångarna så är dessa malmer bildade på havsbotten eller precis under havsbotten av varma, hydrotermala, lösningar. De varma lösningarna som var svavelrika strömmade ut på havsbotten där de snabbt kyldes ner och sulfidmineral, inklusive guld, fälldes ut. Denna typ av malmer bildas idag på havsbotten där tektoniska plattor glider isär eller där s.k. öbågar dras isär av tektoniska krafter. På engelska kallas dessa system för "black smokers" efter det svarta metallhaltiga svavelslamm som pyser ut genom skorstenar på havets botten. Forskare har visat att guldrika typer av dessa "black smokers" idag bildas på havsbotten utanför Indonesien och Nya Guinea, på grund av den mycket komplexa plattetektonik som förekommer där. Vi



Häll i närheten av Fäboliden som är ett gulduppslag inte långt från Svartlidengruvan. Provbrytning har ägt rum och fyndigheten är en av de tänkbara nya guldgruvorna i den s.k. Guldlinjen. I hällen syns rost från sulfidmineral och en ganska kraftig förkislning.



Närbild på häll i Aitikgruvan. På bilden syns cm-tunna kvarts+sulfidådror vilka utgör ett nätverk i liggväggen till malkroppen. Dessa ådror kan möjligen utgöra ett bevis för att malmen bildats som en porfyrokopparmalm enligt modell i figuren på sidan 37 för 1880 miljoner år sedan.

som jobbar med forskning kring de gamla malmerna i Sverige tror att de kan ha bildats i en miljö som liknar sydöstra Asien, fast för två miljarder år sedan.

I Boliden hade malmen i genomsnitt över 15 gram guld per ton berg, alltså fem gånger så mycket som en lönsam guldgruva av kvartsådertyp. Dessutom så gjorde de stora mängderna av andra metaller Bolidengruvan till en mycket lönsam affär.

I Aitik utanför Gällivare bryts en tredje typ av guld-malm. I Aitik förekommer guldet ihop med koppar i en malkropp som är gigantisk, över 1 000 000 000 ton, men som innehåller låga halter av både koppar och guld. En guld-malm knuten till kvartsgångar kan som sagt vara ekonomisk om den innehåller ungefär 3 gram guld per ton berg. I Aitik finns det bara en tiondel av detta, 0,2–0,3 gram guld per ton berg samt även ungefär 0,3% koppar och lite silver. Trots dessa låga halter bryts årligen 1,5–2 ton guld i Aitik. Det förstår man om man åker dit och tittar på dagbrottet som är över 3 kilometer långt och nästan 400 meter djupt!

Aitik utgör alltså en tredje typ av guld-malm, med låga halter men stora tonnage. Bildningsbetingelserna för denna malm har diskuterats mycket och är för närvarande föremål för en doktorsavhandling vid Luleå tekniska universitet. Det mest sannolika är att malmen har bildats i flera stadier för ungefär 1900 till 1750 miljoner år sedan. De forskare som studerar Aitik idag tror att det hela började som en malm som bildades på några kilometers djup i samband med att stora granitiska magmor stelnade på djupet i anslutning till en subduktionszon vid kanten till den dåvarande

kontinenten, kanske i samma miljö som Anderna utgör i dagens Sydamerika. När dessa granitiska magmor stelnar till bergarter kommer fluider, metaller och andra element som inte bildar byggstenar i mineralen i den stelnande bergarten att koncentreras i toppen av magmakammaren. När magman fortsätter att stelna byggs trycket upp i toppen av kammaren till dess att trycket blir så stort att den ovanliggande berggrunden spricker upp. När uppsprickningen äger rum så sker en plötslig kokning av de kvarvarande lösningarna som sprider sig i ett nätverk av ådror i toppen av magmakammaren och i ovanliggande berggrund. Lösningarna svalnar sedan och bildar ett nätverk av kvartsådror och hydrotermalt omvandlat berg. Både kvartsådrorna och det omgivande omvandlade berget kommer att innehålla låga halter av koppar och guld. Denna malmtyp kallas på svenska för porfyrokopparmalm efter den engelska beteckningen "porphyry copper".

Alla de tre beskrivna malmtyperna är mycket eftersökta idag och en aktiv prospektering efter nya malmer bedrivs i stor skala, speciellt i norra Sverige och Finland. Man kan med fog säga att dessa guldådror ger prospektörerna guldfeber och medför kanske en ny guldålder i Sverige.

*Pär Weihed är professor i malmgeologi vid Luleå tekniska universitet;
par.weihed@ltu.se*

1270

1260

1250

avsättningar av jotniska sandstenar samt intrusion av jotniska diabaser (=)

1270

1260

1250

Mineralen i jordens inre —

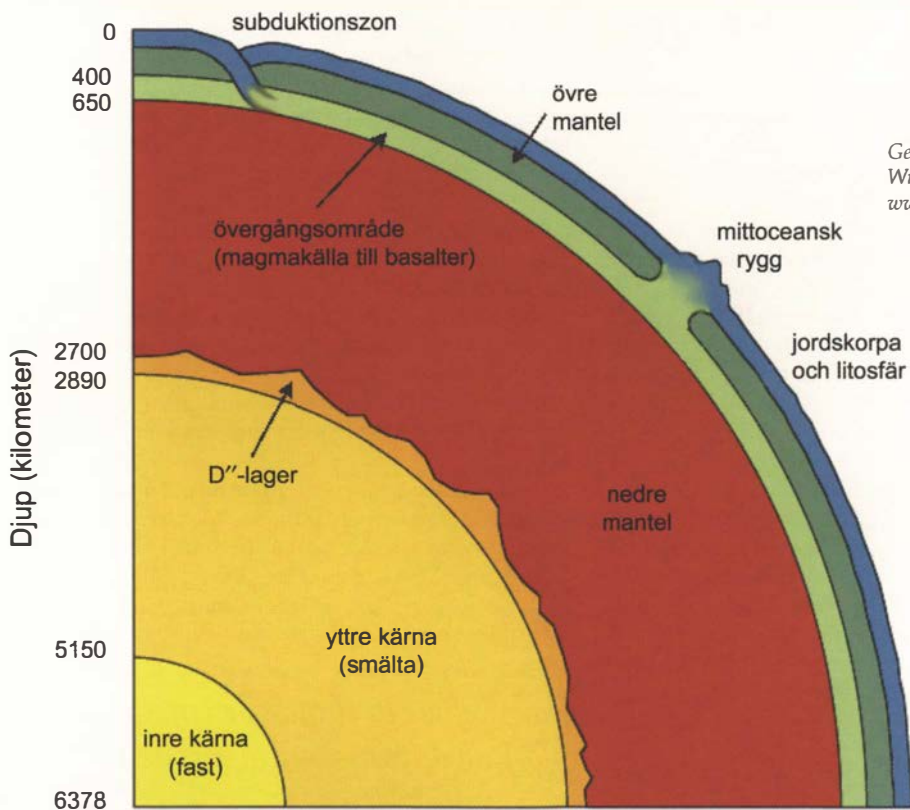
Hur ser de ut och hur vet vi det?

När vi normalt pratar om mineral är det sådana som vi kan finna på jordytan. Större delen av jordens inre består även den av mineral, utsatta för mycket höga tryck och temperaturer, samt otillgängliga för direkta observationer. Vi vet ändå en hel del om dessa mineral trots att de döljer sig hundratals till tusentals kilometer under våra fötter. I artikeln berättas om forskningen kring dessa exotiska mineral.

AV PETER LAZOR

Mineralogin som vetenskap omfattar idag hela jorden, från de förhållanden som råder på jordskorpan ända ned till de tryck och temperaturer man finner i planetens innersta kärna (se figuren nedan). Av de närmare 4 000 mineral som identifierats så utgör

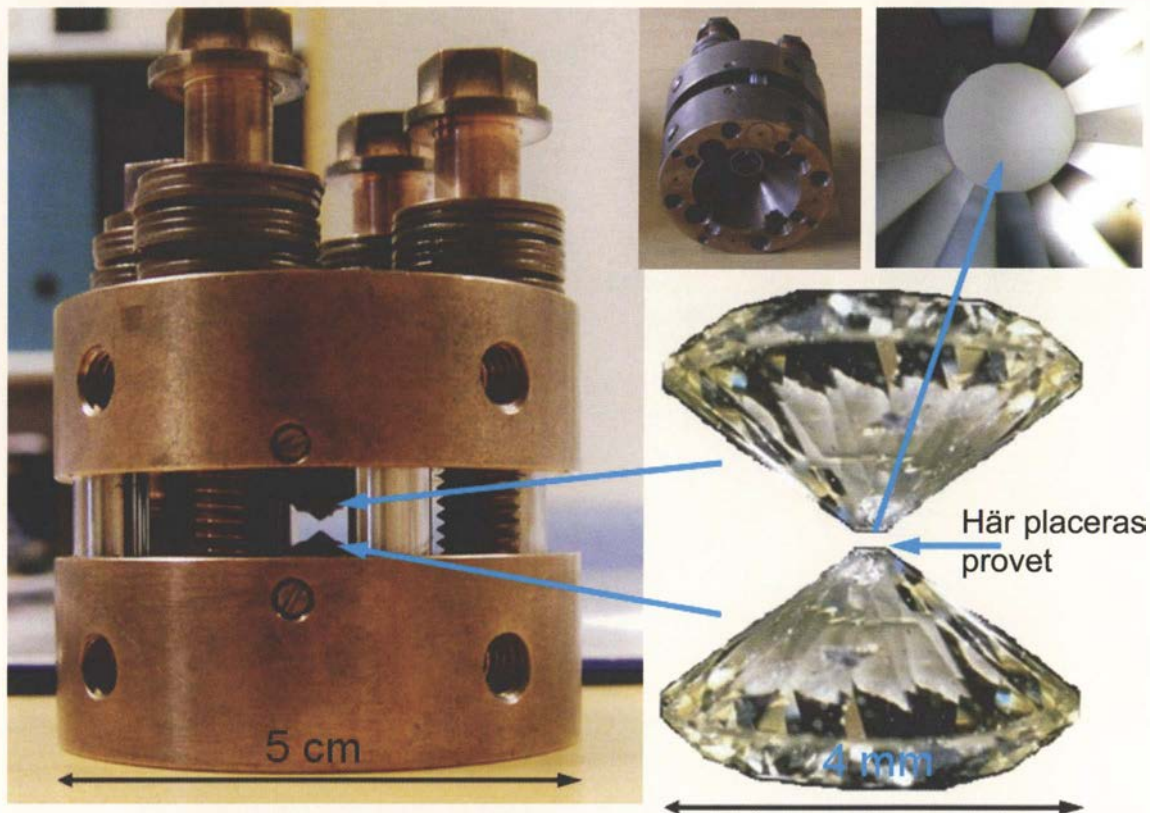
inte fler än några dussin huvuddelen av jordskorpan och klassificeras därför som bergartsbildande. Den volymmässigt största mängden mineral i jorden är emellertid dolda för oss djupt ner i jordens inre. Under de senaste tre decennier har experiment under höga



Genomskärning av jorden (från Windows to the Universe; www.windows.ucar.edu).

avsättningar av jotniska sandstenar samt intrusion av jotniska diabaser (≈)

Vaggerydssyeniten, Smålands Taberg och hyper



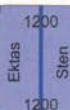
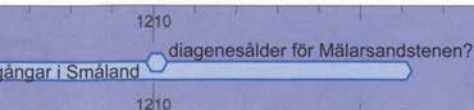
Diamantcell. Två exakt parallellt motsittande diamanter med plana överytor är monterade i mitten av cellen. Den högtrycksgenererande cirkulära arean (culet) i övre högra hörnet har en diameter på 300 μm . Drivande skruvar på toppen av cellen för diamanterna närmare varandra och används för att variera trycket. Cellen på bilden kan uppnå ett tryck på nästan en miljon atmosfärer, vilket motsvarar trycket nära 2000 km under jordytan.

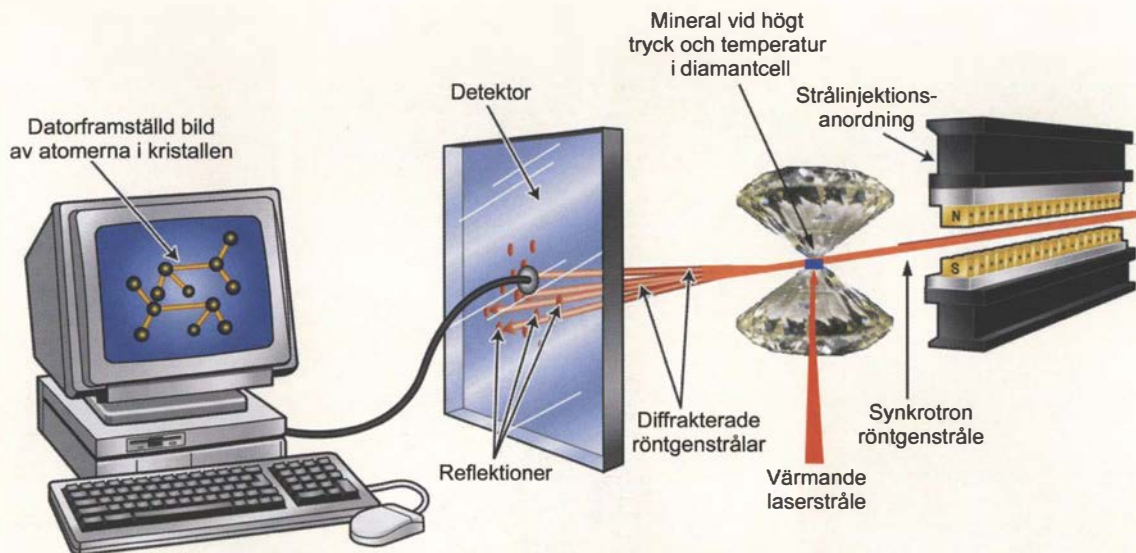
tryck och temperaturer visat att mineral i genomsnitt genomgår tre fasförändringar när trycket ökas från 0 till 300 GPa (miljarder Pascal), och ytterligare tre fasförändringar när temperaturen ökar till 5 000 K (Kelvin). Det rör sig alltså potentiellt om runt ett tiotal gånger fler mineralfaser i jordens inre jämfört med jordytan. Förekomsten av ett stort antal mineraltransformationer förklaras lätt med fysikalkemiska termer: den energi som en förening i jordens inre utsätts för genom uppvärmning och kompression överskrider normalt den energi som binder samman atomerna i ett mineral. Energin räcker således till för en "anpassning" av mineralets struktur och därmed lägsta möjliga bindningsenergi (=stabilaste struktur) till de rådande temperatur- och tryckförhållanden. Det betyder att heta mineral vid höga tryck omvandlas till hårda, tätt packade faser med höga koordinationsnummer (fler atomer runt en given atom) och låga specifika volymer

(= höga specifika vikter, densiteter). Dessa faser brukar ofta ha dramatiskt skilda egenskaper jämfört med de ursprungliga lågtrycksfaserna. Till exempel kan elektriskt isolerande material bli halvledande eller metalliska, medan magnetismen minskar eller försvinner helt. Klara transparenta kristaller kan omvandlas till fullständigt opaka (ogenomskinliga) eller vice versa.

Diamantcellen

Hur gör då geovetare för att studera mineraltransformationer och de tillhörande förändringarna av fysikaliska egenskaper i jorden och andra planeters inre, när dessa avlägsna delar av planeterna inte kan nås för direkta observationer? Det djupaste hålet som människan åstadkommit når knappt 13 kilometer ned i jordskorpan. Detta är en bråkdel av jordens radie på





Skiss som visar hur synkrotron-röntgendiffraktionsexperiment under höga tryck och temperaturer utförs med hjälp av en diamantcell. De relativa positionerna mellan provet, den laserupphettade punkten och röntgenstrålningen är precisa inom några få mikrometer. Den extremt starka röntgenstrålen skapas av elektroner som rör sig nära ljusets hastighet och vars bana böjs av kraftfulla magneter längs cyklotronringen.

6370 kilometer. Vissa mineral kan transporteras upp från flera hundratals kilometers djup i magmor, men dessa mineral är ofta omvandlade av de förändringar i tryck och temperatur de upplevt under transporten till ytan. Det magiska verktyget som "öppnat fönstret" till jordens inre är den så kallade diamantcellen (*diamond anvil cell*, se figuren på föregående sida). Som namnet

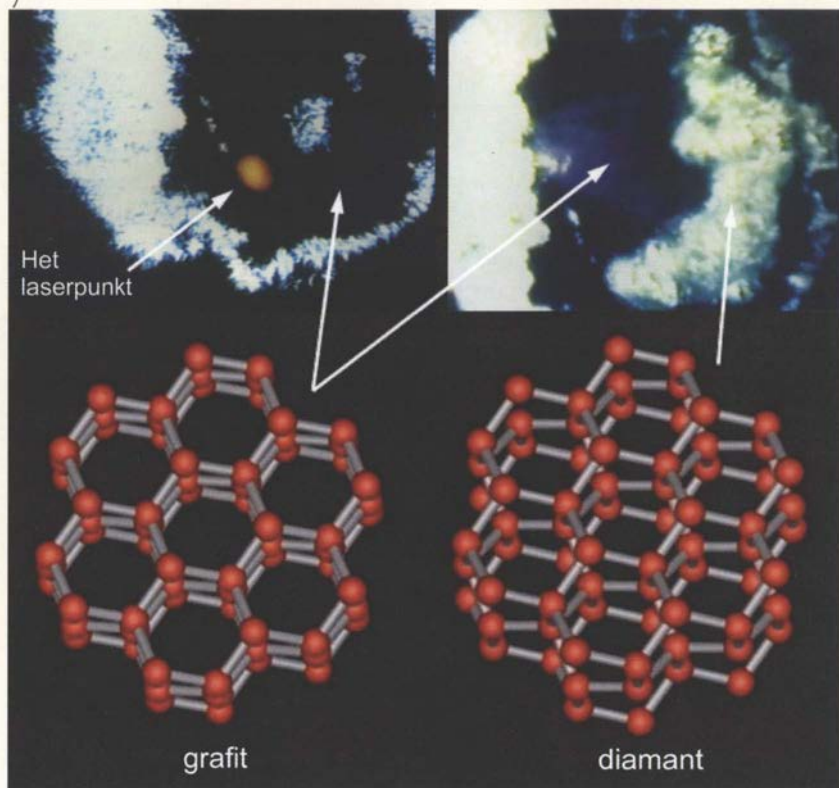


Flygfoto över den tredje generationens synkrotron, European Synchrotron Radiation Facility i Grenoble, Frankrike. Omkretsen på lagringsringen är 844 m. Högtrycks-strålgången är en av 40 strålgångar (inte synliga) som är lokaliserade längs tangenten runt ringen.

antyder använder man det hårdaste mineral man känner till – diamant – för att åstadkomma tryck på flera miljoner atmosfärer, och därmed omfatta hela skalan av tryckförhållanden man finner i jorden. Diamant har den fördelen att den är transparent i ett stort elektromagnetiskt våglängdsintervall, vilket möjliggör en simultan uppvärmning av de sammantryckta mineralen genom användandet av en infraröd laser till temperaturer uppemot 6 000 K. En temperatur som anses vara den övre gränsen för de temperaturer som råder i centrum av jordens kärna. Med andra ord, med en diamantcell kan man i laboratoriet generera hela det tryck- och temperaturintervall som råder i jordens inre. Inte undra på att diamanten är en av högtrycksmineralogens bästa vänner.

Det räcker dock inte med att bara kunna åstadkomma höga tryck och temperaturer för att undersöka jordens inre. Det viktiga är den detaljerade undersökningen och karaktäriseringen av mineralen som utsätts för dessa extrema förhållanden. Det är detta som numera är forskningens stora utmaning. Storleken på de prov som används i ultra-högtrycksexperiment är endast några få tiotals mikrometer, priset man måste betala för att kunna uppnå de extrema trycken. Då provet ligger sammanpressat mellan två plana diamanttytor är det inte direkt tillgängligt för mätningar. Mätningarna i sig får heller inte ta för lång tid

Omvandlingen av grafit till diamant synlig i diamantcell genom en av diamanterna vid ett tryck på 35 GPa. Svart ogenomskinlig grafit omvandlas till en genomskinlig fas (grönaktigt området uppe till höger) när provet hetas upp av en infraröd laser. Raman-spektroskopi visade att fasen var diamant. I grafits kristallstruktur är varje kolatom starkt bundet till tre omgivande kolatomer, alla i samma plan. Bindningen mellan de olika planen är dock mycket svag. Diamants struktur utgörs av ett tredimensionellt nätverk av kolatomer där varje atom är tetraediskt bundet till alla de fyra närliggande atomerna. I jorden bildas naturliga diamanter vid ett djup av 150–200 km i övre manteln där trycket (≈ 5 GPa) och temperaturen ($\approx 1\,500$ K) blir tillräckligt höga för diamantbildning. De flesta diamanter bryts ur vulkaniska utbrottskanaler där de avsatts av djupt nedifrån kommande magmor.



om materialet ska förbli intakt vid undersökningen, särskilt vid höga temperaturer (för att undvika t.ex. diffusion).

Undersökningsmetoder

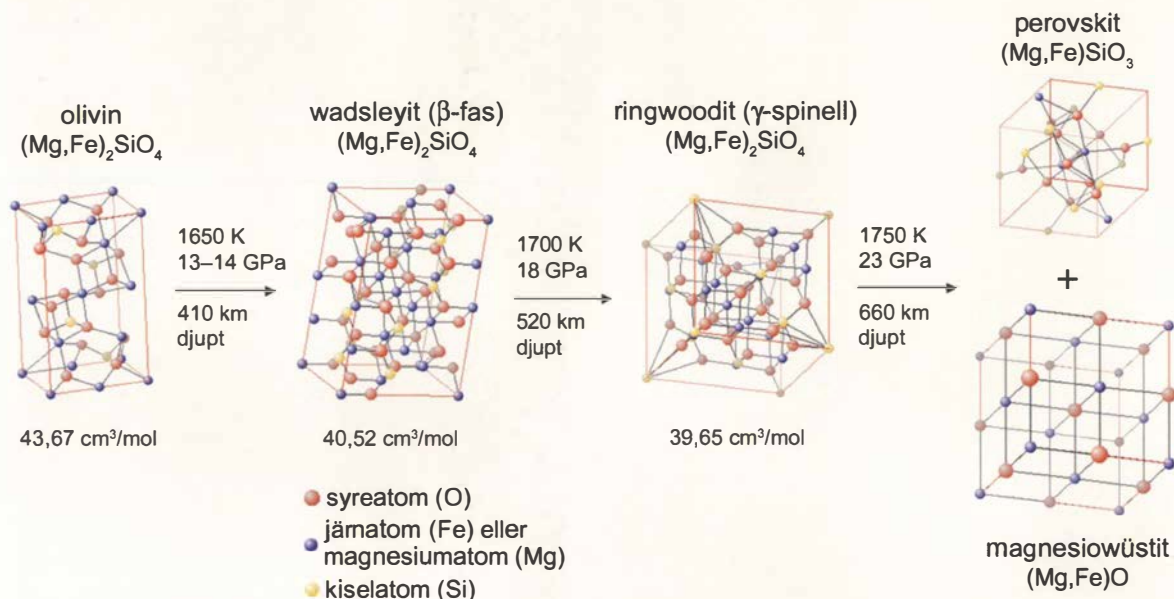
Efter tre decenniers intensivt arbete, nydanande angreppssätt och lösningar har en lång rad olika experimentella tekniker, som från början var avsedda för studier av material under normala tryckförhållanden, anpassats och förbättrats för ultra-höghtrycksstudier i diamantceller. Genom att ta tillvara möjligheter från teknologiska landvinningar inomen rad fält (t.ex. framställandet av kraftfulla stabila lasrar samt snabba och känsliga detektorer) kan geologer numera undersöka egenskaper hos material under extrema förhållanden med en detaljskala och precision som närmar sig det man får vid undersökningar vid normala tryck och temperaturer.

Genom diamantcellens genomskinlighet kan man studera fasövergångar vid direkta *in situ* (på plats) observationer av fasövergångar under olika experimentförhållanden. Ett mineral som värms upp till tusentals grader och samtidigt komprimeras till ett tryck på miljoner atmosfärer genomgår fasövergångar

bokstavligen inför ögonen på forskarna, något som syns som ändringar i färg eller transparens. Diamantcellen är på det sättet verkligen ett "fönster till jordens inre". Förutom direkta optiska observationer av prov så erbjuder diamantcellens kompakta och smidiga design att den kan användas i en rad andra experimentuppställningar, t.ex. vid strukturbestämningar av nya höghtrycksfaser genom röntgendiffraktion (se principskisen på föregående sida), samt en rad andra spektroskopiska tekniker som exempelvis Raman-, infraröds- och Mössbauerspektroskopi. Dessa avancerade höghtrycksexperiment kan avslöja fundamentala egenskaper hos nya faser i mikroskopisk skala, även inkluderande ordning och vibrationsegenskaper hos atomer, kemiska bindningars natur samt geometri och grad av ordning hos elektroners spin (vilket bestämmer materialets magnetiska egenskaper), med mera.

Starkt fokuserad och extremt intensiv synkrotronstrålning utgör det viktigaste experimentella verktyget för en höghtrycksmineralog. Under de senaste tio åren har tillgängligheten på tredje generationens synkrotronkällor (European Synchrotron Radiation Facility i Frankrike (se fotot nedan på föregående sida), Advanced Photon Source i USA och Spring8 i Japan) med särskilda höghtrycksstrålgångar revolutionerat forskningsfältet och genererat en kontinuerlig ström





Fasövergångar hos silikatmineral som representerar huvudfaserna i övergångszonen mellan 410 och 660 km djup. Silikatmineralen är magnesiumrika silikater med kanske 10–15 atomprocent järn. De angivna trycken, temperaturerna och djupen motsvarar jordens geotermiska profil, och de sammanfaller även med experimentellt bestämda fasövergångarna för dessa silikater. Detta är ett starkt stöd för den nuvarande accepterade mineralogiska modellen (sammansättning och struktur) över övergångszonen. Observera minskningen av molvolymerna vid ökat tryck. Detta visar den effektivare packningen av atomer i dessa progressivt tätare kristallstrukturer.

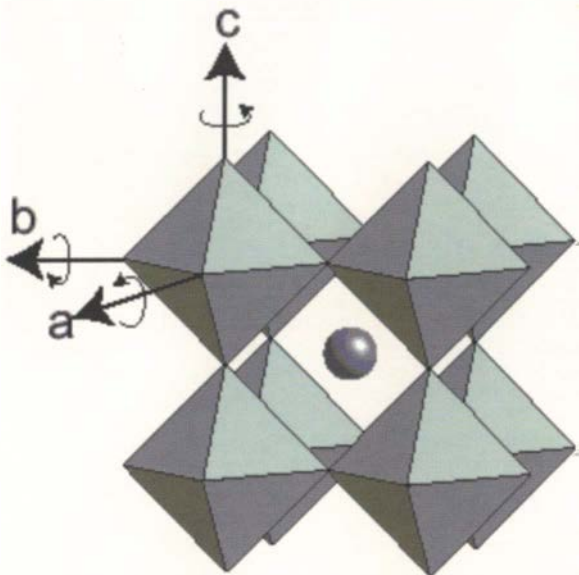
av nya upptäckter rörande jordens inre. Idag kan mikrometerstora prov i diamantceller som utsätts för miljontals atmosfärers tryck och tusentals graders värme undersökas i atomskala under tidsperioder som varar endast sekunder till minuter.

Mineralen i jordens inre

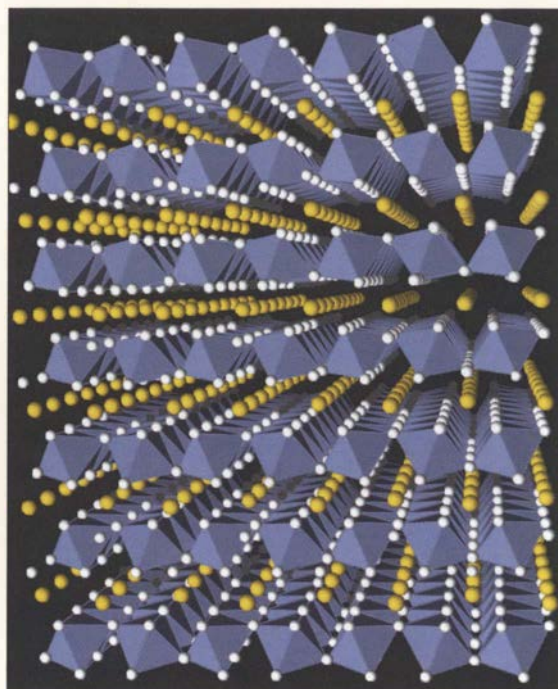
Förmågan att simultant undersöka egenskaper hos mineral som samtidigt utsätts för tryck och temperaturer spelar en stor roll i högtrycksmineralogin. Även om det existerar mineral som behåller sin högtrycksform efter det att trycket avlägsnats (s.k. *quenched* mineral) och därmed kan studeras under normala tryck- och temperaturförhållanden, så gäller att en övervägande majoritet av högtrycksfaserna inte kan överleva i atmosfärstryck. När trycket släpper så övergår dessa högtrycksfaser till de normala lågtryckspolymorferna eller till omvandlade, icke-representativa, varianter av högtrycksfaserna. Övergången grafit–diamant av kol (se figuren på föregående sida) utgör ett välkänt exempel när högtrycksfasen (diamant)

inte går tillbaka till grafit när trycket minskar. Endast intensiv uppvärmning sätter igång omvandlingen av den metastabila polyformen diamant till grafit. MgSiO_3 -perovskit representeras å andra sidan av en högtrycksfas-silikat som inte kan "quenchas" utan övergår till lågtryckspolymorfen enstatit när trycket släpper.

Högtrycksstudier av fasövergångar i mineral är en nyckel för förståelsen av jordens och andra planeters differentierade inre. Jordens mantel uppvisar till exempel två mycket markanta seismiska gränser (diskontinuiteter) vid 410 och 660 kilometers djup (se figuren på sidan 42) där plötsliga förändringar i de seismiska vågornas hastighet har observerats. Genom flera seismiska, petrologiska, geokemiska och mineralogiska studier är det numera allmänt accepterat att dessa diskontinuiteter är resultatet av en serie fasövergångar hos silikatmineral. Fasövergångsserien börjar med omvandlingen av olivin (se figuren ovan), det vanligaste mineralet i jordens övre mantel. Packningsgraden av atomer i isokemiska polymorfer av $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ ökar med djupet, vilket visas genom de progressivt minskande volymerna när övergången går från olivin



Strukturen för MgSiO_3 -perovskit. Magnesiumatomerna sitter i dodekaedrisk positioner mellan distorderade hörndelade SiO_6 -oktaedrar. Syreatomerna vid hörnen och kiselatomerna i centrum av oktaedrarna är inte utritade.



Krystalstrukturen för den nyligen upptäckta post-perovskitfasen av MgSiO_3 . Gula atomer – magnesium, vita atomer vid hörnen av de blå oktaedrarna – syre. Inte synliga är kiselatomerna som sitter centralt inne i oktaedrarna. Bilden från Salt Marsh Image Library.

till wadsleyit till ringwoodit, den senare bryts ytterligare ned till två faser bestående av perovskit och magnesiowüstit. När man beaktar den stora volymen av nedre manteln, som domineras av perovskit, så kan detta mineral betraktas som jordens vanligaste mineral. Genom sin stabilitet och höga densitet trodde man länge att perovskitfasen existerade ända ned till gränsen mellan manteln och kärnan. Emellertid har nyare synkrotronexperiment visat att MgSiO_3 (se figuren ovan) övergår till en ny högtrycksfas vid tryck över 125 GPa och temperaturer över 2500 K, och det sker en densitetsökning med 1 till 1,2%. Denna nya så kallade post-perovskitfas (se figuren ovan till höger) utgör således de understa 200–250 kilometerna av manteln och är därmed det material som har en direkt kemisk kontakt med jordens yttre flytande kärna. Detta erbjuder en länge efterlängtat lösning på orsaken till det seismiskt identifierade D''-lagret närmast kärnan (se figuren på sidan 42). Ytterligare experiment antyder även att post-perovskitstrukturen kan innehålla en ovanligt hög andel järn som befinner sig i ett lågspinn-tillstånd och blir därför till stora delar transparent för infraröd strålning. Dessa tankeväckande resultat kan

ha mycket stor betydelse för värmetransporten från kärnan och rörelsedynamiken hos materialet i denna del av jorden.

Litteratur

- Hemley, R.J. (red.), 1998: *Reviews in Mineralogy 37, Ultrahigh-Pressure Mineralogy: Physics and Chemistry of the Earth's Deep Interior*. Mineralogical Society of America, Washington DC.
- Murakami, M., Hirose, K., Kawamura, K., Sata, N. & Ohishi, Y., 2004: Post-perovskite phase transition in MgSiO_3 , *Science* 304, 855.
- Shim, S.H., Duffy, T.S. & Shen, G., 2001: The post-spinel transformation in Mg_2SiO_4 and its relation to the 660-km discontinuity. *Nature* 411, 571.

Peter Lazor är professor vid Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet; peter.lazor@geo.uu.se

Översatt från engelska av Joakim Mansfeld.

GEONYTT

Under rubriken "Geonytt" uppläser *Geologiskt forum* kostnadsfritt plats för information relevant för föreningens medlemmar eller geointresserad allmänhet.

Har du något du vill upplysa om, sänd informationen till tidningen senast 1/11 (adress, fax och e-post, se sid. 2). Nästa nummer kommer i september.

Geologins dag 2005

Inviqningen av årets *Geologins Dag* kommer bokstavligen att bli explosiv. Riksdagsledamot Karin Pilsäter kommer den 9 september att skjuta en sprängsalva i grustakten i Riksten, Botkyrka. Under de kommande två dagarna kommer sedan geovetare på över 80 platser i Sverige att visa allmänheten vad de sysslar med och vad geologi egentligen är. För mer information om aktiviteter på din hemort se: www.geologinsdag.nu.

Seminarieserie – samhälle och geologi

I samband med årets *Geologins Dag* kommer Naturhistoriska Riksmuseet, *Geologins Dag* och Stockholms universitet att under måndag till torsdag den 5–8 september anordna en seminarieserie som ska ta upp olika aspekter rörande allmänheten och geologin. De teman som tas upp är slutförvar av kärnavfall, naturkatastrofer, klimatfrågan och slutligen naturresurser kontra naturvärden. För mer information se: www.geologinsdag.nu.

Öppen täkt 9–10 september 2005

Varifrån får man allt material som man bygger vägar, järnvägar och betonghus av. Svaret ges under *Geologins Dag* då Sveriges okända storindustri öppnar sina berg- och grustakter för allmänheten. Närmare 20 täkter, från Piteå i norr till Bjärsård i söder, kommer att visas upp 9–10 september. På Svensk bergmaterialindustri:s hemsida www.sbmi.org kan du se vilka täkter som är öppna för allmänheten.

Vad är *Geologins Dag*?

Geologins dag initierades av Nationalkommittén för Geologi, en kommitté inom Vetenskapsakademien. Syftet var att låta vanligt folk komma i kontakt med geovetenskaperna. Den första *Geologins dag* hölls 2001. År 2002 konstituerades Föreningen för *Geologins dag* för att ansvara för den rikstäckande

organisationen av *Geologins dag*. I styrelsen sitter representerar för SGU, geologiska föreningar geovetenskapliga institutioner och företag inom geovetenskap.

Medlemskap i föreningen är öppet för privatpersoner, organisationer och företag. Avgiften är 100 kr/år och betalas till postgiro 39 05 37-9.

En prenumeration

på *Geologiskt forum* 2005 (nr 45–48) kostar 160 kr.

Gör så här: betala 160 kr till **Swedish Science Press** på postgiro 489 7850-6 eller bankgiro 914-4601. Märk inbetalningskortet *Geologiskt forum* 2005.

Ordinarie lösnummerpris *Geologiskt forum* nr 46 är 50 kr.

Information angående äldre volymer av *Geologiskt forum* fås via redaktionen; gff@geo.su.se, eller beställs av Swedish Science Press (se sidan 2 för information).

Geologiska Föreningen

Geologiska Föreningen organiserar främst yrkesverksamma och akademiskt verksamma geovetare inom alla geovetenskapliga discipliner, men välkomnar alla som är intresserade av ämnet. Medlemskapet kostar 400 kr/år och inkluderar prenumeration på *Geologiskt forum* och den engelskspråkiga vetenskapliga tidskriften *GFF*, samt full tillgång till *GFF online*. Studerande betalar dock endast 200 kr/år (under max. 4 år). Medlemskap enbart inkluderande *Geologiskt forum* kostar 250 kr/år. Enbart medlemskap utan prenumerationer kostar 100 kr/år.

Gör så här: betala medlemsavgiften till **Geologiska Föreningen** på postgiro 2108-9. Märk inbetalningskortet Ny medlem (alt. ny studerandemedlem) i Geologiska Föreningen, avgift för 2005.

Skriv tydligt namn och adress på inbetalningskortet, tack!

FÖRENINGEN FÖR GEOLOGINS DAG STYRS AV SVERIGES GEO-ORGANISATIONER

Organisation

Amatörgeologiska föreningar
Byggnadsgeologiska sällskapet (BGS)
Geologiska Föreningen
Geologiska studentföreningar
Gruvindustrin/ Svenska Gruvföreningen
Industriföretag
KVA/Nationalkommittén för Geologi
Naturhistoriska Riksmuseet
Naturvetarförbundet / Geologsektionen
Småföretag
Sveriges Bergmaterialindustri
Universitet och högskolor
Geologins dag

Ordinarie ledamot

Jan Wennerstrand, SAGS (kassör)
Fredrik Bengtsson, Sweco VBB AB
Joakim Mansfeld, Stockholms universitet
Ilka von Dalwigk, Geologklubben vid SU
Annika Wasström, Boliden Mineral AB (v. ordförande.)
Björn Strokirk, SKB
Håkan Sjöström, Uppsala universitet
Christina Franzén-Bengtson, Paleozoologi, NRM
Christer Åkerman, SGU
Gunnar Hultquist, Firma Geojuridik
Lars Hultkvist, SBMI (ordförande)
Elisabeth Däcker, Stockholms universitet
Erik Huss (adjungerad, sekreterare)

Suppleant

Torbjörn Jonsson
Ann Bäckström
Barbara Wohlfarth
Jaana Hode Vuorinen
Kurt Johansson
Linnea Sandvall
Lars Persson
Stefan Claesson
Monica Beckholmen
Leif Carserud
Sven Wallman
Alasdair Skelton



1050

1040

1030

Skantorpegmatiten

Timmerhultpegmatiten

Högsbopegmatiten

1050

1040

1030