

När himlen faller ner över våra huvuden

– kosmiska nedslag under jordens historia

av Jens Ormö

Och de sju änglarna, som bade de sju basunerna, gjorde sig redo att stöta i sina basuner.

Och den förste stötte i sin basun. Då kom bagel och eld, blandat med blod, och det kastades ned på jorden; och tredjedelen av jorden brändes upp, och tredjedelen av träden brändes upp, och allt grönt gräs brändes upp.

Och den andre ängeln stötte i sin basun. Då var det som om ett stort brinnande berg hade blivit kastat i havet; och tredjedelen av havet blev blod.

Och tredjedelen av de levande varelser som funnos i havet omkom ...

Johannes uppenbarelse 8:6–9

Ett brinnande berg som kastas i havet – eld som kastas ned på jorden – kanske blir det så som världen en dag går under. Säkert är att vid minst ett tillfälle under jordens historia har livet varit nära att totalt utplånas på ett likartat sätt. Ovanstående text skulle, med möjligt undantag för änglarnas inflytande på skeendet, väl kunna beskriva det öde som drabbade invånarna på vårt jordklot en dag i slutet av krita-perioden för nästan 65 miljoner år sedan. Då korsades jordbanan av en av solsystemets övriga himlakroppar, troligen en småplanet med en diameter på runt 10 kilometer. Kollisionshastigheten kan beräknas till omkring 20 km/s. Det är minst 20 gånger så fort som en gevärskula. Den rörelseenergi som frigjordes vid nedslaget skapade en explosion som inom några minuter öppnade upp ett 100 km brett och 30 km djupt hål i jordskorpan – tillräckligt stort för att man skulle kunna kasta i en hel drös med Mount Everest om det varit möjligt! Hålet kollapsade nästan omedelbart och blev på så sätt grundare men också betydligt vidare. Diametern på den slutliga kratern blev minst 180 km.

Det hela skedde vid en tid då jorden myllrade av liv både i havet och på land. Paradiset omvandlades dock blixtnabbt till ett inferno. Från nedslagsplatsen i det grunda hav som täckte området vid vad som idag är Yucatanhalvön i södra Mexico spred sig död och förintelse i form av chockvågor som får de värsta nutida jordbävningar att blekna i jämförelse, kubikkilometer av utkastat bergmaterial, heta smälta-fragment, och väldiga flodvågor som kom att drabba kusterna runt om världshaven. Enorma mängder upphettat stoft och förgasat material kastades uppåt med sådan hastighet att atmosfären inte förmådde hålla det tillbaka. Mycket av materialet nådde ut i rymden och började gå i omloppsbanan runt jorden och fick på så vis global spridning. Vid återinträdet i atmosfären hettades partiklarna upp igen, vilket orsakade en global temperaturchock i atmosfären som kan ha medverkat till att vegetationen på land antändes. Globala sotlager tyder på omfattande bränder över hela jordytan. Stoftet och gaserna kan ha förstört ozonlagret som skyddar jorden mot skadliga doser av ultraviolett strålning. Samtidigt kan stoftet ha orsakat en långvarig ”atomvinter” som slog ut fotosyntetiserande växter och alger både på land och i haven. Näringskedjorna kom på så sätt också att slås ut. Efterföljande temperaturfluktuationer, möjligen på grund av gasernas växthuseffekt, lade ytterligare stress på det biologiska systemet. Det har uppskattats att minst 70 % av jordens växt- och djurarter dog ut inom kort tid efter nedslaget.

Jorden hade mött något som de som forskar på konsekvenser av kosmiska nedslag kallar *global killer*. Det är ett nedslag av sådan magnitud att dess konsekvenser blir förödande på global nivå.

→

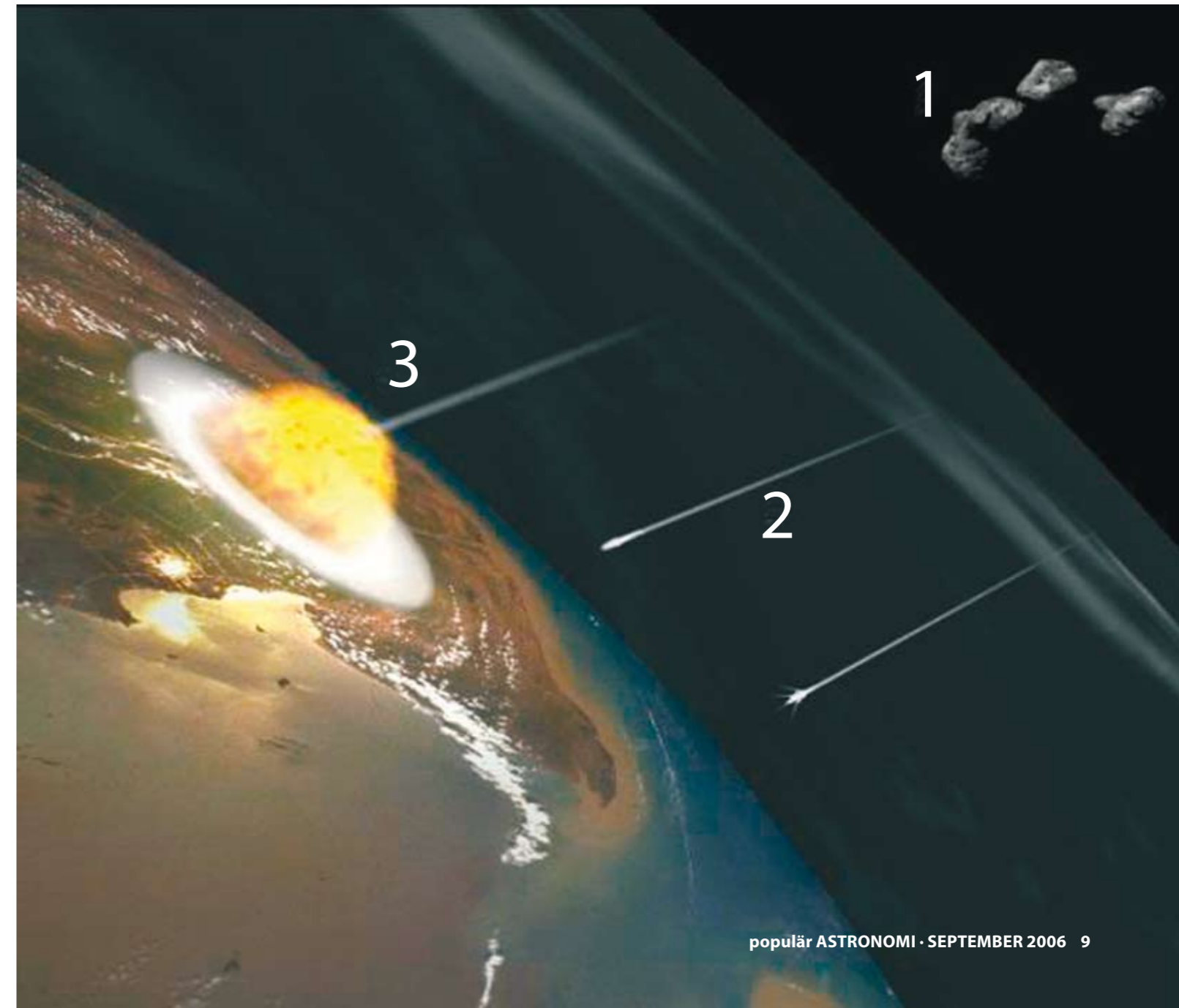
Vi är vana vid att se bilder från ärrade himlakroppar i vår omgivning i solsystemet. Månen, Mars och Merkurius är kända för sina kraterlandskap. Men även jorden har varit utsatt för ett meteoritbombardemang liknande våra grannars. Spåren är dock inte så tydliga, men de finns.

Ett nedslag av typ global killer sker på jorden:

1. En asteroid bestående av löst sammanhållna fragment, en s.k. rubble pile asteroid har dragits isär till en rad kilometerstora klumpar vid en tidigare passage av någon av de inre planeterna. Den största klumpen är kanske något tiotal km tvärsöver. Raden av asteroidklumpar närmar sig nu jorden.

2. Delarna passerar atmosfären som jättelika eldklot.

3. Den största klumpen träffar en av jordens kontinenter. En chockvåg breder omedelbart ut sig i alla riktningar. Över nedslagsplatsen reser sig en plym av förgasat berg och asteroidmaterial. Expansionen av plymen är så kraftig att atmosfären ovanför nedslaget blåses bort och det smälta materialet sprider sig runt hela jorden. Förödelsen på denna del av jorden är i det närmaste total och efterhand får nedslaget globala konsekvenser. Teckning: Javier Sanchez.



Ruta 1. Varför studerar man nedslagskratrar

Förutom det som kratrar kan lära oss om nedslagsprocessen och de konsekvenser som den kan medföra för livet på jorden, så kan också kratrar utgöra ett verktyg för att återskapa den miljö som rådde vid tiden för nedslaget samt ge information om målmaterialets beskaffenhet på platser där man är hänvisad till information från fjärranalys (t.ex. avlägsna platser i solsystemet). Detta möjliggörs genom att nedslagsprocessen, till skillnad från de flesta andra geologiska processer, är i det närmaste momentan samt möjlig att beräkna. Med hjälp av avancerade datorprogram kan man analysera hur kraterformen påverkas vid olika målmaterial: En krater som bildas i ett mål där ett lager av is täcker en vattenmassa kommer se annorlunda ut än om den bildats i enbart is. Det kan ge information om tjockleken på den is som täcker Jupiters måne Europa, vars dolda vattenmassor

kan härbärgera utomjordiska livsformer. Nedslag i grunda hav kan nå ända ner till havsbotten. Den krater som då uppstår i havsbotten kommer att skilja sig från en krater av motsvarande storlek bildad på land. Vattendjupet avgör hur stora skillnaderna kan vara. Den informationen har t.ex. använts för att bestämma vattendjupet i det hav som täckte platsen för Locknekratern i Jämtland vid tiden för nedslaget (se ruta 3). Dessa kunskaper kan sedan projiceras på kratrar på Mars, och man kan kanske bestämma vattendjupet i de hav som en gång täckte planetens yta. Stora kosmiska nedslag kan även mer än släcka liv – de kan skapa miljöer där olika livsformer kan finna både en skyddad plats (t.ex. sprickor) och energi (t.ex. näringsämnen i hydrotermalsystem drivna av värmen från av nedslaget smält berg). De är därför av stort intresse inom astrobiologisk forskning.

Vad är det då som krockar med jorden och hur ofta händer det?

Solsystemets utveckling är en lång historia av kosmiska krockar. Efter det att solen uppstått i mitten av det stora gas- och stoftmoln man kallar *solnebulosan* började molnets stoftpartiklar falla ihop till det som man kallar *protoplanetära skivan* under inverkan av gravitation och molnets rotation. Stoftpartiklar kom snart att samlas till allt större objekt som fortsatte att kollidera med varandra. Efter kanske något tiotusental år hade kilometerstora objekt bildats i en process där de hela tiden antingen växte eller sprängdes sönder. Under ett enormt bombardemang kom allt större objekt att bildas som man kallar *protoplaneter*. När dessa i sin tur kolliderade med varandra måste det ha varit ett fantastiskt kosmiskt fyrverkeri! I en av dessa krockar bildades vår måne genom att en protoplanet stor som Mars kraschade in i vad vi kan kalla "protojorden". Det material som kom att bilda jorden drog snabbt ihop sig under inverkan från gravitationen och fortsatt bombardemang. Det utkastade material som hamnat i omloppsbanan runt jorden föll antingen ned på jorden igen eller krockade inbördes tills månen uppstått på liknande sätt som protoplaneterna en gång gjorde. Vartefter som solsystemet rensades upp på mindre bråte avtog bombardemang. Dock hade en stor mängd material hamnat i ett område mellan Mars och Jupiter där gravitationen från Jupiter inte tillät att någon större planet kunde bildas. Istället fortsatte klumparna i sina banor runt solen. Något hände dock just när bombardemang av de inre planeterna verkade ha avtagit. Data från månens kratrar och stenar som hämtats hem av Apolloastronauterna visar att en kraftig ökning i bombardemang skedde för drygt 3,9 miljarder år sedan. Kanske har det att göra med att Jupiter, liksom andra planeter i solsystemet, ännu inte var helt låst i sin bana. Dragningskraften från olika närliggande objekt fick planeterna att flytta sig något i sina avstånd till solen. Ändringen i Jupiterbanan kan ha orsakat kaos i asteroidbältet med en ökad nedslagsfrekvens i solsystemets inre delar

som följd. Än idag skapar Jupiters gravitation en resonans i asteroidbältet som ibland gör att krockar uppstår eller att asteroider ändrar sina banor. De kan då få nya banor som korsar någon av de inre planeternas banor, däribland jordens.

Längre ute i solsystemet lurar ännu en fara: kometerna. De rör sig i enormt utsträckta omloppsbanor runt solen och är så många att de tillsammans bildar ett stort moln, Oorts kometmoln (efter den nederländske astronomen Jan Oort, 1900–1992), som anses sträcka sig något ljusår ut från solen. Vissa av dessa kometer kan få sina banor ändrade genom gravitationell påverkan från avlägsna stjärnor och komma att krascha in i någon av planeterna. Hur stor andel av nedslagen på jorden som orsakas av kometer är under ständig debatt. Klart är att småplaneternas andel är relativt mycket större i solsystemets inre delar, dvs. innanför asteroidbältet, än i de yttre delarna där kometnedslagen dominerar. Sedan det sista stora bombardemang upphört för ca 3,9 miljarder år sedan har nedslagsfrekvensen på jorden hållit sig på en någorlunda jämn nivå. Fluktuationer verkar dock förekomma, men deras orsak är inte helt känd. Vissa forskare menar att fluktuationer i de massutdöenden som skett under jordens historia är cykliska och att de kan relateras till motsvarande fluktuationer i åldersfördelningen bland jordens kratrar, kanske som ett resultat av pendelrörelser hos solsystemet på dess väg genom Vintergatan eller återkommande kontakter med en avlägsen stjärna. Den svaga gravitationen från dessa objekt kan vara tillräckliga för att påverka banorna hos små himlakroppar i solsystemet.

En "fördel" med asteroider är att man, med ett visst mått av tålmod och envishet, kan kartlägga banorna hos åtminstone dem som skulle kunna orsaka regional och global förödelse. Det kan ge tillräcklig förvarning för att man ska kunna sätta in någon åtgärd för att få asteroiden att ändra sin bana något så att den missar jorden. Kometerna däremot kan komma fram ur tomma intet. Deras relativt höga hastighet, kanske två eller tre gånger så hög

som en asteroiders kollisionshastighet, gör att även relativt små objekt bär på en enorm rörelseenergi. Det gör dem svåra att upptäcka i tid för motåtgärder samt att deras nedslag får relativt stora konsekvenser.

Jordiska vittnesmål

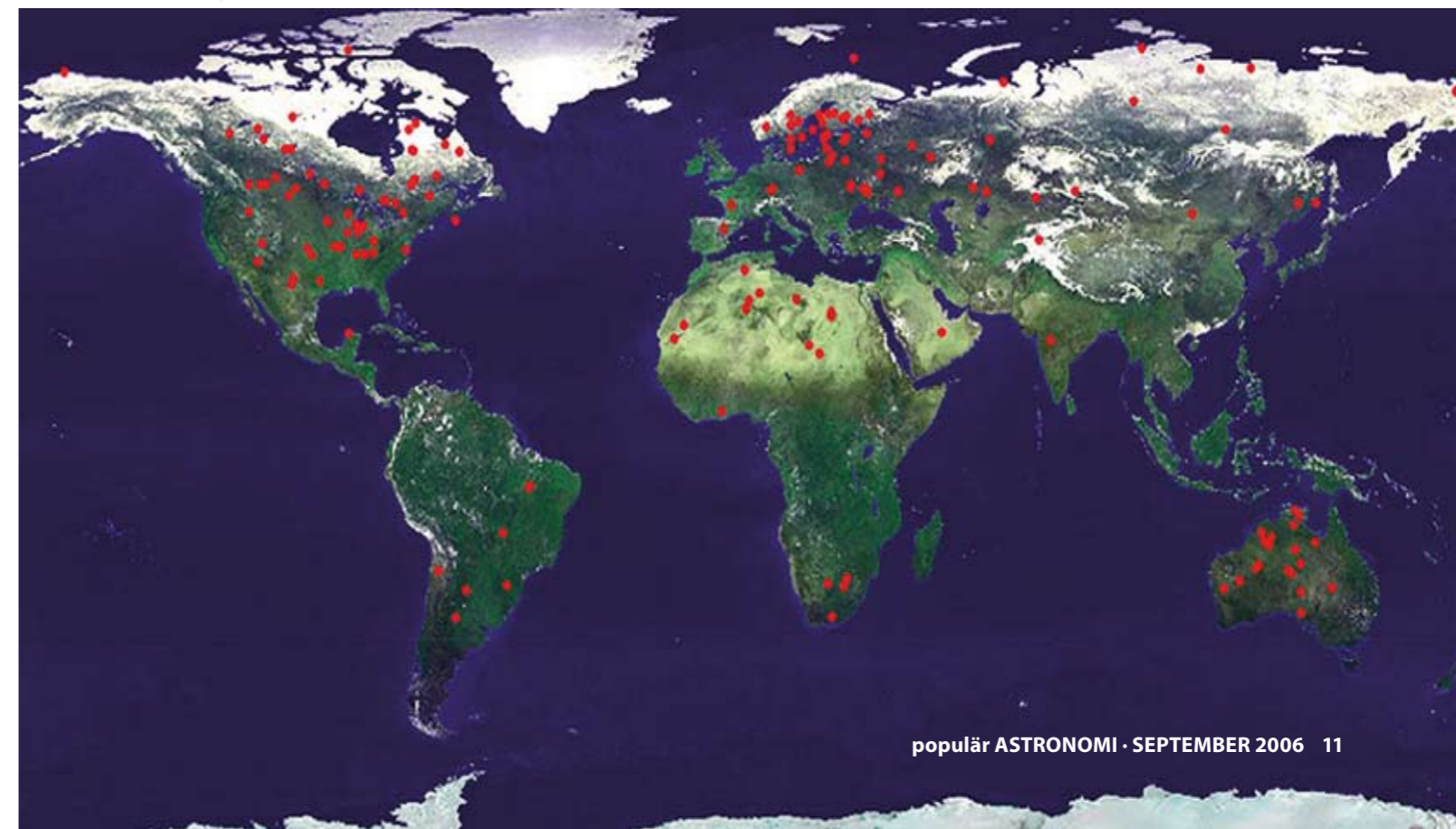
Mycket få människor har någonsin blivit vittne till ett kraterbildande kosmiskt nedslag. Tillförlitliga historiska källor sträcker sig bara något århundrade tillbaka i tiden. Det är ögonvittnesskildringar av relativt små händelser som den vid Sichote Alin 1947 när en asteroid bröts upp i atmosfären och fragmenten bildade ett kraterfält med kratrar som inte var större än något tiotal meter. Kanske har större händelser bevitnats längre tillbaka i människans historia, men bevarats i legenden som är för otydliga för att kunna tolkas. Faktum är dock att kosmiska nedslag är den viktigaste geologiska processen för omskapande av ytorna på solsystemets fasta himlakroppar, från små objekt i asteroidbältet till planeter. Det är bara att vi människor har levt på jorden under ett så kort ögonblick av den geologiska tidsskalan. Och den tid vi på ett vetenskapligt sätt dokumenterat det vi sett är ännu så mycket kortare. En påminnelse om att nedslagsprocessen fortfarande är i högsta grad aktiv i solsystemet kom 1994 när kometen Shoemaker–Levy 9 bildade en rad av enorma nedslag på Jupiter efter att gravitationellt ha brutits sönder till ett antal mindre kroppar under en föregående passage av planeten.

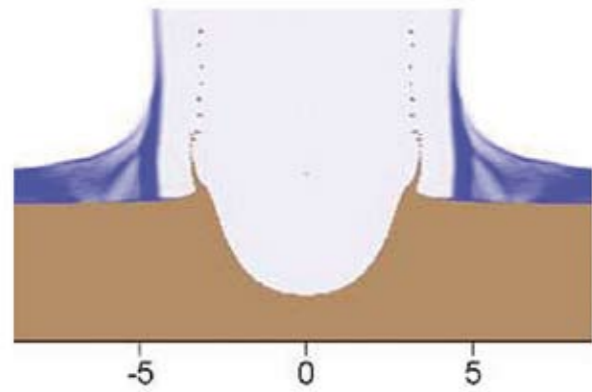
Generellt gäller att ju större nedslag, desto mer sällan sker de, helt enkelt av det skälet att det finns fler små kroppar än stora bland dem som kan tänkas slå ned. Nedslag av Sichote Alin-storlek har beräknats ske någon

Nedan: Jordens kända nedslagskratrar enligt Lunar and Planetary Laboratory i Arizona i USA.

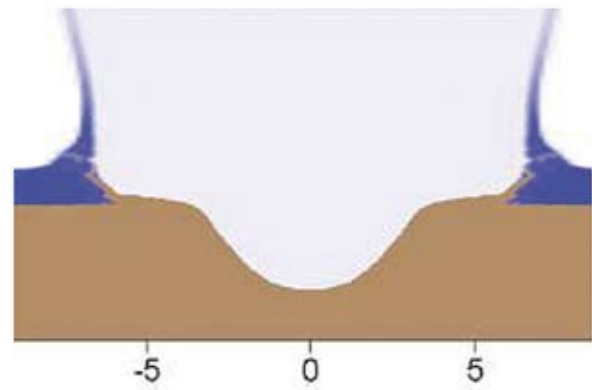


Ovan: Tre nedslag på tre olika kroppar. Överst ses Jupiter i infrarött ljus med nedslagen från Shoemaker–Levys komet 1994 som ljusa fläckar. I mitten ses kratern Puyuy, 26 km i diameter på Jupiters månen Europa. Nedtill den kända Barringerkratern i Arizona, drygt 1 km i diameter.





Tvådimensionell datorsimulering av nedslaget som skapade Locknekratern i Jämtland. Området täcktes vid tiden för nedslaget av ett grunt hav (blå färg).



I den övre figuren har nedslaget just skett och en krater växer sig allt större. Eftersom vattenmassan utgör ett svagare material än berggrunden växer vattenkratern snabbare. En koncentrisk krater uppstår.

I den nedre figuren ser man hur det utkastade materialet från den inre kratern hinner ikapp vattenkraterns kant när vattenkratern slutar växa. I detta skede kollapsar vattenkratern och ett mycket kraftigt återsvall störtar tillbaka in mot kraterns mitt. Den flodvågen är hundratals meter hög och har en hastighet av många tiotal meter per sekund. Oscillationer i vattenmassan kommer att skapa vågrörelser som rör sig ut över havet från nedslagsplatsen. När dessa vågor närmar sig en kust kan väldiga tsunamier bildas. Beroende på faktorer som kraterns storlek, havets djup, och kustens form kan dessa flodvågor utgöra ett allvarligt hot mot kustnära regioner. Illustration av Ormö/Shuvalov/Lindström.

Ruta 2. Vredefortkratern i Sydafrika – världens äldsta och största nedslagskrater.

Kratern är idag tydligast synlig som en cirkulär upphöjning med 40 km diameter i mitten av Witwatersrandbassängen välkänd för sina rika guld- och mineraltillgångar. Strukturen har varit en misstänkt nedslagskrater sedan slagkäglor (geologiska strukturer som uppstår av chockvågor) kunde påvisas på 1960-talet. Dock tog det ända till mitten av 1990-talet innan man förstod att upphöjningen bara var en del av en mycket större krater med en ursprunglig diameter av 300 km. Kraterns ålder har kunnat bestämmas till nästan precis 2 miljarder år. Vid den tiden fanns inga högre stående livsformer på jorden, men haven kan ändå ha myllrat av både encelliga alger, bakterier och enklare flercelliga organismer. Det har föreslagits att Vredefortkratern är tillräckligt stor och har ett utseende som gör den till en möjlig analogi till de s.k. flerringade bassänger som förekommer på månen och andra platser i solsystemet. Det är kratrar som är så stora att den ursprungliga kratern kom att kollapsa under inverkan av gravitationen till en grundare struktur av koncentrisk ringberg, ungefär som ringarna på vattnet när man kastat i en sten. Vredefortkratern står nu på UNESCO:s världsarvslista som ett geologiskt minnesmärke av exceptionellt värde för mänskligheten.



Karta över området kring Vredefortkratern, på engelska Vredefort Dome. Kraterbildningen syns tydligt.

gång per århundrade någonstans på jordytan. De har kapacitet att förinta delar av en stad. En av världens yngsta och bäst bevarade kratrar, och därigenom en av de mest kända, är Barringerkratern i Arizona (USA). Den är en relativt liten krater med "bara" en kilometers diameter som uppstod för ca 50 000 år sedan. Nedslag av den storleken sker någon gång per några tusental år. Dess konsekvenser på omgivningarna motsvarar dem hos 40 megaton trotyl; en "domedagsbomb", alltså. En annan av världens bäst bevarade och bäst studerade kratrar är den 25 km stora Nördlinger Ries i södra Tyskland. Den bildades för ca 15 miljoner år sedan. Kratrar av den storleken bildas någon gång per några miljoner år. Ett sådant nedslag skulle döda allt liv ovan markytan på ett område stort som Götaland. För att ett nedslag ska vara av kategorin *global källa* så bör det motsvara en krater med minst 100–150 km i diameter. Dess konsekvenser beror dock på fler faktorer såsom målberggrundens sammansättning (vissa bergarter bildar giftiga ämnen när de förgasas) och om världens biotoper är extra känsliga vid nedslagstillfället, t.ex. genom någon annan klimatmässig stressfaktor (t.ex. kontinenternas inbördes läge eller kraftiga och långvariga vulkanutbrott). Nedslaget vid Yucatan skedde vid en tid då redan många djurgrupper börjat dö ut i stor omfattning. Ibland kan det räcka med ett mindre nedslag om livet är i ett känsligt läge, ibland kanske inte ens ett väldigt stort ger märkbara konsekvenser. En kombination av flera stora nedslag kan få livet att gå ned för räkning likaledes som ett enskilt mycket stort nedslag. *Global källers* av den storlek som skedde vid Yucatanhalvön (den s.k. Chicxulubkratern) beräknas ske någon gång per 50–100 miljoner år – kanske snart dags igen alltså!

Varför är jordytan inte översållad av kratrar?

Med en så pass hög nedslagsfrekvens kan man tycka att jordens yta borde se ut som månens. Här är det dock andra faktorer som avgör: Jorden har en atmosfär som skyddar oss från de minsta, men samtidigt mest frekventa nedslagen. De flesta projektiler som skulle ha bildat kratrar av upp till kilometerstorlek om de nått ned till markytan exploderar istället redan vid passagen genom atmosfären. Den höga hastigheten gör att projektilen kommer att utsättas för enorma friktionskrafter. Om den är liten och relativt svag (t.ex. stenmeteoroid) slits den sönder i en explosion. Om den däremot är större kan den hinna passera ned till marken intakt eller som en svärm av fragment innan chockvågen som bildas vid magplasket i atmosfären hunnit passera genom hela projektilen och fått den att förintas. Av de projektiler som ändå når ner till markytan kommer 70 % att slå ned i haven. Det är helt enkelt så stor andel av jordytan som täcks av hav. Stora delar av dessa hav har ett medeldjup som uppgår till ca 4 km. För att en projektil ska kunna orsaka en bestående krater av påvisbar storlek på havs-

Ruta 3. Nedslagskratrar i Sverige

Sverige har en geologiskt sett gammal och stabil berggrund jämfört med många andra delar av jordens kontinenter. Det har lett till att ett relativt stort antal kratrar under årmiljonerna har samlats på berggrundsytan samt att många av dessa undgått att förstöras av tektoniska processer. Tyvärr är olika erosionsprocesser ständigt aktiva, och om berggrunden är exponerad en längre tid försvinner efterhand ärren efter det kosmiska bombardemanget. Bäst chanser att bevaras har därför kratrar som snabbt kommit att täckas av yngre avlagringar som sedan skyddar kratern från erosion. Det sker t.ex. vid nedslag i grunda hav där sedimentationen i havet fortsätter efter att kratern bildats. I Sverige finns det sex geologiska strukturer som anses vara bevisade nedslagskratrar. De är Mien (Småland, se omslagsbilden), Granby (Östergötland), Tvären (Södermanland), Siljan (Dalarna), Dellen (Hälsingland) och Lockne (Jämtland, se s. 38). Därutöver finns ett tjugotal föreslagna strukturer som ännu inte kunnat bevisas vara nedslagskratrar. Flera av de bevisade och föreslagna kraterstrukturerna har bildats vid ungefär samma tid i mitten av ordovicium (ca 460 miljoner år sedan) i jordens historia. Från denna tid finns också ett stort antal fossila meteoriter bevarade. Det har föreslagits att jorden under ett antal miljoner år kom att utsättas för ett ökat bombardemang från rymden – kanske en kollision i asteroidbältet som fått en mängd asteroidfragment att hamna i banor som kom att korsa jordens. De många välbevarade kratrarna och meteoritfragmenten från denna tid har gett Sverige en världsunik möjlighet att studera ett kosmiskt förlopp som kan ha stor betydelse för vår framtid på planeten jorden.

botten, låt säga ca 1 km i diameter, så behöver projektilen vara minst 1,5 km i diameter. På land skulle en sådan projektil orsaka en krater av Nördlinger Ries-storlek och är alltså rätt sällsynta händelser. Läger man till detta att oceanbotten är relativt unga (yngre än 220 miljoner år) på grund av ständiga förändringar av oceanskorpan, så är det mycket få kratrar att förvänta på större delen av jordens yta. Även den tredjedel av jordytan som är landmassa är kraftigt påverkad av plattetektonik och andra geologiska processer. Genom inverkan från vår atmosfär och hydrosfär har vi också en mycket snabbare erosion än månen och många andra av solsystemets himlakroppar. Trots detta finns det i nuläget ca 170 bekräftade nedslagskratrar på jorden samt ytterligare några hundra kandidater – och med tiden kommer det att bildas nya ...

JENS ORMÖ är forskare i planetär geologi vid Centrum för astrobiologi utanför Madrid i Spanien.