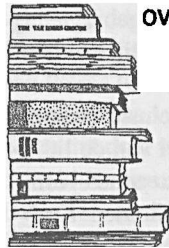


GEOCOMMunicatie 18



over de oeratmosfeer, een
missing link, vaak onverwachte
verschijnselen die samenhangen
met continentverschuiving,
en zwerfsteensponzen

A.J. (Tom) van Loon*

Inleiding

Het is weer de tijd dat alle geologen het veld ingaan, en dus wel andere (en leukere) dingen aan hun hoofd hebben dan het lezen van artikeltjes. Hoewel... *Afzettingen* blijft toch altijd weer heerlijk - geestelijk - smullen. Daarom waag ik het ook nu weer om een aantal onderwerpen in deze rubriek aan te kaarten. Het is ditmaal een potpourri van de meest uiteenlopende onderwerpen, van oud naar jong, zodat iedere lezer er toch wel iets van zijn gading in zal kunnen vinden. Enkele bijdragen hebben echter een - veelal onverwacht - verband met continentverschuiving; dat onderwerp blijft altijd weer verrassingen in de literatuur opleveren.

Kortom: ik hoop (en verwacht) voor iedereen veel leesplezier, maar zorg dat het niet ten koste gaat van het veldwerk, want dat vormt nu eenmaal nog altijd de basis voor publicaties. En zonder die publicaties kunnen we geen goed veldwerk doen. Het een kan dus niet zonder het ander, en dat moeten we ook maar zo houden.



Atmosfeer bevatte 2,5 miljard jaar geleden nauwelijks zuurstof

De analyse van een bodem die is gedateerd op 2,6-2,45 miljard jaar oud, geeft aan dat de atmosfeer toen nog nauwelijks zuurstof bevatte. Dat er in de begintijd van de aarde een zuurstofloze (of beter: zeer zuurstofarme) atmosfeer was, is reeds lang bekend, maar het moment waarop er - geologisch gezien zeer plotseling - een zuurstofrijke atmosfeer ontstond, is nog niet goed bekend. Dat is een gevolg van het feit dat oude gesteenten de atmosferische omstandigheden tijdens hun vorming alleen redelijk kunnen weerspiegelen indien ze gedurende betrekkelijk lange tijd aan de lucht zijn blootgesteld. In zo'n situatie ontwikkelt zich een bodem, waarin mineralen worden omgezet onder invloed van bodemvormende processen. In de loop van de geologische geschiedenis zijn de vroegste gesteenten echter voor een zeer groot gedeelte door erosie verdwenen, of onder invloed van bewegende lithosfeerschollen tot in de aardmantel weggedrukt en omgesmolten. Uit de toch nog overgebleven restanten zijn slechts weinig oude bodems bekend. En van dat betrekke-

lijk geringe aantal bodems is een groot deel in de loop der geologische geschiedenis weer sterk veranderd, onder meer door blootstelling aan de later zuurstofrijke atmosfeer. Bovendien zijn de oude bodems niet altijd goed te dateren. Al die omstandigheden maken het moeilijk om de omslag van de zuurstofarme naar de zuurstofrijke atmosfeer te dateren.

Japanse onderzoekers van de Universiteit van Tokyo hebben, samen met een medewerker van de Geologische Dienst van Canada, nu echter een goed gedateerde bodem onderzocht. Die bodem had zich ontwikkeld op een oude graniet (bij de Pronto-mijn in Canada). In die bodem vormde zich als gevolg van bodemvormende processen een cerium-rijke (en tevens lanthaan en neodymium bevattende) variant van het zeldzaam voorkomende mineraal rhabdofaan, dat het veel algemenere mineraal apatiet verving. Het rhabdofaan kon gedurende de 2,5 miljard jaar na zijn vorming in de bodem blijven bestaan omdat het nauwelijks oplosbaar is en tevens goed bestendig is tegen hitte (wat van belang is bij diepe begraving onder jongere gesteenten).

Zowel in het graniet als in het mineraal rhabdofaan bleek het (in minieme hoeveelheden) in oplossing voorkomende cerium voor te komen als driewaardige ionen. Dat is typerend voor niet-oxidatieve omstandigheden, want in jongere bodems vormt cerium direct vierwaardige ionen en verbindt zich met zuurstof tot CeO_2 (het mineraal cerianiet). Zo'n 2,5 miljard jaar geleden moet de bodem dus nog blootgesteld zijn geweest aan een (vrijwel) zuurstofloze atmosfeer. Uit andere gegevens wordt het waarschijnlijk dat de omslag van zuurstofarm naar zuurstofrijk minimaal 2,2 miljard jaar geleden plaatsvond. De onderzoekers menen dat meer structureel onderzoek naar de valentie van cerium in oude gesteenten een goede mogelijkheid biedt om de overgang naar een zuurstofrijke atmosfeer in kaart te brengen.

Referentie: 2



'Missing link' uit evolutie van vogels gevonden

Talrijke recente vondsten, vooral uit China, leveren steeds meer aanwijzingen voor een evolutie van de vogels vanuit dinosauriërs. Het bleef echter steeds een raadsel hoe de ontwikkeling van de moderne vogels vanuit hun voorgangers heeft plaatsgevonden. Dankzij de vondst van een soort 'missing link' is daarin nu verandering gekomen. Twee Amerikaanse geologen beschrijven namelijk een nieuwe soort die gedurende het Laat-Krijt, omstreeks 80 miljoen jaar geleden, in Mongolië leefde, en die buitengewoon goed gefossiliseerd blijkt. Daardoor kunnen talrijke details worden onderscheiden. Paleontologen zijn van mening dat de vondst van uitzonderlijk belang is voor een goed begrip van het ontstaan van de moderne vogels, mede omdat de vroege ontwikkeling aanzienlijk gecompliceerder moet zijn geweest dan eerder

werd aangenomen.

De huidige vogels, die behoren tot de Ornithurae, stammen af van de Enantiornithes, een groep die gedurende het begin van het Krijt (140 miljoen jaar geleden) ontstond, die een langdurige bloeitijd meemaakte voordat ze zo'n 70 miljoen jaar geleden uitstierven, en waarvan diverse fossiele restanten (maar geen complete skeletten) bewaard zijn gebleven. Van de vroege Ornithurae zijn twee complete skeletten bekend, die beide in de negentiende eeuw werden gevonden. Het gaat daarbij om twee verschillende geslachten.

Het nu ontdekte fossiel, *Apсарavis ukhaana* (de soortnaam is afgeleid van de vindplaats, Ukhaa Tolgod), vertegenwoordigt een derde geslacht (en dus ook een nieuwe soort). Waar de twee eerder ontdekte soorten in de loop van de geologische geschiedenis waren platgedrukt, is het nu gevonden fossiel door een speling van het lot vrijwel ongeschonden in zijn originele 3-dimensionale vorm bewaard gebleven (al liggen niet alle botjes nog precies op hun plaats). Dit maakt een analyse van zijn diverse karakteristieken uiteraard veel beter mogelijk.

De ontdekkers beschrijven 27 kenmerken die typisch zijn voor de Ornithurae (onder meer de tien vergroeide wervels van het heiligbeen, maar ook 12 kenmerken die juist karakteristiek zijn voor de fossielen die tot nu toe bij de Enantiornithes zijn ingedeeld. Daarmee lijkt de nieuwe soort een typische overgangsvorm te vertegenwoordigen. Een probleem is hierbij nog wel dat de bekende fossielen van Enantiornithes zo fragmentarisch zijn, dat paleontologen niet met zekerheid durven te stellen dat de diverse kenmerken die aan hen worden toegeschreven ook diagnostisch voor die groep zijn. Mocht dat niet het geval zijn, dan wordt de ontwikkeling van de vogels echter nog veel ingewikkelder dan hij nu lijkt.

Referentie: 3, 8



Gebergten beïnvloedden continentverschuiving

Toen het vroegere supercontinent 'Gondwanaland' zo'n kleine 200 miljoen jaar geleden geleidelijk in een aantal continenten uiteen begon te vallen, gebeurde dat op een wijze die sterk medebepaald lijkt door de positie van de toen bestaande gebergteketens en grote slenk-systemen. De aardwetenschappers M. Krabbendam (Monash Universiteit in Melbourne) en T.D. Barr (AFEX International, Houston) komen tot de conclusie dat van de ca. 25.000 km lange kustzone van de uiteengedreven delen van Gondwanaland ongeveer 45% evenwijdig ligt aan oude plooingsgebergten in het supercontinent, dat ongeveer 46% daar een hoek mee maakt, en dat dat bij ongeveer 9% van de totale lengte niet duidelijk is. Omdat plooingsgebergten een relatief geringe oppervlakte beslaan, is het feit dat zoveel van de nieuwe kustlijnen evenwijdig met die gebergten lopen, niet met toeval te verklaren. Kennelijk is er dus een relatie tussen de ligging van

die gebergten en de vorm van de uiteendrijvende continenten. Daar staat echter weer tegenover dat er in het oude supercontinent ongeveer 20.000 km plooingsgebergte lag dat geen enkele relatie met het uiteenvallen lijkt te hebben.

De onderzoekers komen dan ook tot de conclusie dat sommige gebergteketens een relatief sterk deel van de lithosfeer uitmaakten, terwijl andere juist zwaktezones vormden. Dat laatste lijkt dus het meeste voor te komen. Krabbendam en Barr verklaren dat op basis van een mechanisme dat een rol moet hebben gespeeld (en waarschijnlijk ook nu nog speelt) bij het ontstaan van plooingsgebergten en bij continentverschuiving. Dat onderliggende mechanisme is de verwijdering van materiaal uit het bovenste gedeelte van de aardmantel (de zogeheten thermische grenslaag van de lithosfeer) door de convectiestromen in de aardmantel. Op basis van thermische modellen stellen de onderzoekers vast dat de vorming van relatief kleine plooingsgebergten (d.w.z. gebergten waarin de plooing voor een verdikking van het betrokken gesteentepakket zorgt van minder dan 50%) niet of nauwelijks gepaard gaat met verwijdering van materiaal uit de thermische grenslaag; dergelijke gebergten vormen, door de toegenomen dikte van de aardkorst, dus juist sterke zones. Grote plooingsgebergten vormen echter juist zwaktezones, meestal omdat er veel materiaal uit de thermische grenslaag verwijderd wordt, maar ook als dat niet het geval is. Van de oude gebergten uit het supercontinent Gondwanaland is zo weinig over dat het moeilijk is om vast te stellen of dit thermische model een juiste verklaring geeft voor de relatie tussen de ligging van de gebergten en de opdeling in continenten. Het model opent echter wel de mogelijkheid om daarnaar nu systematisch onderzoek te gaan uitvoeren.

Referentie: 1



Zware aardbeving op Kreta van 365 n.Chr. gevolg van tijdelijk versnelde beweging van Afrika

De opdeling van supercontinenten in uiteendrijvende continenten hangt, zoals hierboven aangegeven, samen met de positie van gebergten. Aan de andere kant weten we dat botsende continenten gebergten doen vormen. Zo zette de noordwaartse beweging van Afrika, leidend tot een botsing met Europa, de vorming van onder meer de Alpen in gang. Maar de beweging van Afrika heeft nog meer gevolgen voor Europa. Op 21 juli 365 werd Kreta getroffen door een zware aardbeving, in grootte vergelijkbaar met de aardbeving die Alaska in 1964 trof en die daar een verwoestend spoor achterliet dat gemakkelijk in de afzettingen uit die tijd is terug te vinden. Voor de aardbeving op Kreta geldt ongeveer hetzelfde: bijna alle steden op het eiland werden (evenals veel steden in het Midden-Oosten) verwoest, en er ontstond een seismische vloedgolf die de Nijldelta overspoelde. Deze aardbeving blijft

nu in een geologisch kader te kunnen worden geplaatst. Het was verreweg de zwaarste aardbeving in het gebied van de Middellandse Zee die bekend is uit historische tijd. Stathis Stiros, een aardwetenschapper van de Universiteit van Patras (Griekenland) geeft aan dat de aardbeving een van de eerste vormde in een serie aardbevingen die het oostelijk deel van de Middellandse Zee teisterden tussen het midden van de vierde en het midden van de zesde eeuw. Dit interval duidt hij aan als het 'Vroeg-Byzantijnse Tectonische Paroxisme'. Voor een deel zijn de bevingen bekend uit historische bronnen, voor een ander deel uit nagelaten geologische sporen. Daartoe behoren goed gedateerde schijnbare dalingen van de zeespiegel (een gevolg van opheffingen van de kustgebieden). Omstreeks het midden van de vierde eeuw moet het westen van Kreta tot 9 m zijn opgeheven en is een groot blok uit de lithosfeer (van minimaal 100 km lang) scheefgesteld.

De concentratie van aardbevingen in dit gebied gedurende twee eeuwen heeft nooit veel aandacht gekregen, mogelijk omdat de oorzaak altijd als raadselachtig is beschouwd. Stiros is daar dieper op in gegaan, waarbij hij ook gebruik heeft gemaakt van archeologische en geschreven bronnen. Hij komt daarbij onder meer tot de conclusie dat de door sommige historici en archeologen aangehangen hypothese dat er geen sprake was van een zeer zware aardbeving in 365 (maar dat die in de overlevering is 'ontstaan' door de samenvoeging van een aantal kleinere bevingen) niet te handhaven is. Op geologische gronden (onder meer verstoringen van gesteentepakketten) kan de zware aardbeving worden vastgesteld, maar dat de invloed daarvan in de vorm van schade verder zou hebben gereikt dan Lybië in het oosten en Tunesië in het westen acht Stiros niet waarschijnlijk.

De talrijke bronnen (onder meer uit Constantinopel en Antiochië) bevestigen dat er twee eeuwen lang veel meer seismische onrust optrad dan ervoor en daarna. De aardbevingen blijken te zijn opgetreden langs de randen van de lithosfeerschollen, ter plaatse van de Dode-Zee-slenk, de Aegeïsche Eilanden, de zogeheten Cyprus-boog, de Noord-Anatolische boog en westelijk Griekenland. Dat impliceert mogelijk dat de noordwaartse beweging van de Afrikaanse lithosfeerschol tegen Europa aan tijdelijk moet zijn verhevigd.

Referentie: 7



Sonar van bodem Noordelijke IJszee wijst op extreem grote ijskappen in geologisch verleden

Inmiddels weten we dat continentverschuiving ook invloed heeft op het klimaat: de Pleistocene ijstijden zijn mede een gevolg van de isolatie van de polen (het continent Antarctica juist op de Zuidpool, omgeven door water; de Noordpool een zeegebied omringd door continenten); daarnaast speelt het patroon van (warme en koude) zeestromen een rol, vanwege het warmtetransport; de

noordwaartse verschuiving van Australië die zo'n vijf miljoen jaar geleden begon heeft bijvoorbeeld de aanvoer van warm water uit de Stille Zuidzee naar de Indische Oceaan sterk verminderd. Toch kunnen niet alle klimaatfluctuaties - en daarmee de uitgestrektheid van de landijskappen - op die manier worden verklaard.

Enorme ijskappen moeten zich in het geologische verleden vanuit Alaska en Siberië hebben uitgestrekt tot ver in de huidige Noordelijke IJszee. Dit gebied rondom de Noordpool is nu bedekt met zee-ijs; een zogeheten ijs-shelf, bestaande uit een ijsmassa die vanaf het land in zee uitmondt en zich daarin voortzet, is er nu niet aanwezig omdat het land (Siberië, Canada, Groenland) daarvoor te ver verwijderd is. IJs dat van een landijsmassa in zee uitmondt - zoals nu onder meer bij Antarctica op grote schaal gebeurt - desintegreert in het algemeen vrij gemakkelijk; daardoor raken massa's los die als ijsbergen wegdrijven. Die desintegratie heeft zich in het geologische verleden kennelijk niet altijd zo gemakkelijk voltrokken als thans. Amerikaanse en Zweedse onderzoekers hebben namelijk vastgesteld dat een ijs-shelf ooit tot meer dan 1000 km uit de kust van Siberië en Canada moet hebben uitgestrekt (Nature, 22 maart, blz. 453). Zij komen tot die conclusie op basis van acoustische opnames die ter plaatse vanuit een onderzeeër zijn gemaakt. Die opnames tonen zeer duidelijk erosieverschijnselen op een aantal relatief ondiepe plaatsen in de Noordelijke IJszee. Die ondiepe plaatsen bestaan uit ruggen die ver boven de zeebodem ter plaatse uitsteken. Het gaat daarbij het Chukchi Plateau dat zo'n 500 m onder zeeniveau ligt, bijna 1000 km uit de kust van Alaska, en de Lomonosov Rug, die meer dan 1000 km uit de kust van de ondiepe Barents Zee ligt en waarin de verschijnselen tot dieptes van meer dan 900 m zijn waargenomen.

De erosieverschijnselen op de ruggen bestaan uit groeven van maximaal 100 m breed en tot 30 m diep, die willekeurige richtingen lijken te hebben. Enkele geïsoleerd liggende groeven zijn tot 700 m breed, en kunnen zich over een lengte van meer dan 10 km voortzetten. Dergelijke groeven zijn zeer goed bekend van de huidige (maar betrekkelijk kustnabije) ondiepe zeeën waarin landijsmassa's uitmonden. De sporen zijn daar uitgesleten tijdens de laatste ijstijd toen het ijs zich daar ter plaatse verder dan momenteel in zee uitstreckte. Bekend uit de omgeving van Antarctica en Groenland zijn dergelijke sporen tot dieptes van 500-550 m, met een uitzonderlijk diepe insnijding van zo'n 850 m in het Yermak Plateau. Die diepte is dus goed vergelijkbaar met die van de Lomonosov Rug.

In diepe zeeën zijn de waterbewegingen zeer langzaam. Uitschuring van betrekkelijk nauwe geulen van tientallen meters diepte door waterstromen is dan ook uitgesloten. Er zijn evenmin andere processen bekend die dergelijke geulen kunnen doen ontstaan. Mede vanwege de gelijkenis met de geulen bij Antarctica en Groenland, waarvan de oorsprong is vast te stellen, kunnen de onderzoekers dan ook slechts concluderen dat de geulen op het Chukchi Plateau en de Lomonosov Rug door een ijs-shelf moeten

zijn veroorzaakt. Wanneer dat gebeurd moet zijn is nog onbekend, al moet het wel gedurende de laatste 2 miljoen jaar zijn gebeurd. Maar zeker niet tijdens de koudste periode van de laatste ijstijd (het zogeheten Laat-Glaciale Maximum), want daarvan is bekend dat de ijsuitbreiding veel minder groot was. Vooralsnog blijven de omstandigheden waaronder het landijs zo opmerkelijk ver in zee is doorgedrongen, dan ook nog een raadsel.

Referentie: 4, 6



Fossiele sponzen in Nederland geven deel van geheimen prijs

Het is niet mijn gewoonte om in deze rubriek publicaties van andere Nederlandse geologische verenigingen te verwerken. In dit geval wil ik daarvoor echter een uitzondering maken, want de Nederlandse Geologische Vereniging heeft een boekwerk uitgebracht (zowel als tijdschriftnummer van Grondboor en Hamer als in de vorm van nummer 9 in de onregelmatige serie Staringia) dat ook voor de leden van de WTKG van belang lijkt. Het gaat immers om fossielen uit Pleistocene afzettingen, zij het dat het glaciaal omgewerkt ouder materiaal betreft.

De herkomst van de ongeveer 20.000 inmiddels gevonden fossiele sponzen in Nederland is nog steeds met veel raadsels omgeven. De meeste stammen uit het Laat-Ordovicium (460-438 miljoen jaar geleden), en ze zijn waarschijnlijk allemaal aangevoerd via landijs. Niet echter door het landijs dat Nederland in de voorlaatste ijstijd half bedekte, maar tijdens een eerdere. Ze moeten zijn aangevoerd door een rivierstelsel van smeltwater dat ons land vanuit het Oosten benaderde, maar de precieze plaats van herkomst is onduidelijk gebleven: de gesteenten waaruit ze moeten zijn vrijgekomen worden zelden aangetroffen.

Sponzen vormen een moeilijk te determineren groep; de vorm wordt namelijk grotendeels bepaald door de toevalige karakteristieken van het leefmilieu, en veel minder door de onderlinge taxonomische relaties. Moderne sponzen worden vooral gedetermineerd op onderdelen die in gefossiliseerde exemplaren niet of nauwelijks bewaard zijn gebleven. Het onderzoek en determineren van fossiele sponzen is daardoor zeer lastig, en slechts weinig paleontologen hebben zich daaraan in de laatste decennia gewaagd. Met als gevolg dat het meeste werk is gedaan door amateurs, waaronder veel Nederlanders.

Dat werk heeft nu geresulteerd in een prachtig verzorgde atlas 'Ordovicische zwerfsteensponzen', uitgegeven door de Nederlandse Geologische Vereniging. De eerste exemplaren werden uitgereikt op de jaarlijks contactdag van deze vereniging (3 maart), waarbij gelijk duidelijk werd dat het een werk van zeer professioneel niveau is, dat ook internationaal de aandacht zal trekken.

De samenstellers, Freek Rhebergen, Ruud Eggink, Tom Koops en Berend Rhebergen, zijn erin geslaagd om de huidige inzichten in de biologisch merkwaardige groep

van sponzen (het gaat om dieren zonder echte weefsels of organen) ook voor niet-deskundigen inzichtelijk samen te vatten. Ze besteden ook aandacht aan de ecologie, aan de verspreiding van de sponzen tijdens het Ordovicium en aan de huidige vindplaatsen van de fossielen. Uitgebreid gaan ze in op de in Nederland gevonden soorten, waarvan een aantal nieuw is voor Europa. In dit kader is het van groot belang dat ze veel soorten hebben geïdentificeerd die tevoren alleen uit Amerika bekend waren. Dit is overigens begrijpelijk, gezien de andere configuratie van de landmassa's tijdens het Ordovicium. Met deze vergelijking tussen Amerika en Europa is een belangrijke stap gezet naar een beter inzicht in de Ordovicische sponzenfauna, en komt mogelijk ook een beter begrip naderbij van het precieze herkomstgebied van de Nederlandse sponzen, alsook van de stromingsrichting die de landijsmassa's en smeltwaterstromen tijdens een van de grote vergletsjeringen uit het Vroeg- of Midden-Pleistoceen moeten hebben gehad.

Referentie: 5

Geraadpleegde literatuur

- 1 Krabbendam, M. & Barr, T.D., 2000. Proterozoic orogens and the break-up of Gondwana: why did some orogens not rift? *Journal of African Earth Sciences* 31, p. 35-49.
- 2 Murakami, T., Utsunomiya, S., Imazu, Y. & Prasad, N., 2001. Direct evidence of late Archean to early Proterozoic anoxic atmosphere from a product of 2.5 Ga old weathering. *Earth and Planetary Science Letters* 148, p. 523-528.
- 3 Norell, M.A. & Clarke, J.A., 2001. Fossil that fills a critical gap in avian evolution. *Nature* 409, p. 181-184.
- 4 Polyak, L., Edwards, M.H., Coakley, B.J. & Jakobsson, M., 2001. Ice shelves in the Pleistocene Arctic Ocean inferred from glaciogenic deep-sea bedforms. *Nature* 410, p. 453-457.
- 5 Rhebergen, F. (red.), Eggink, R., Koops, T. & Rhebergen, B., 2001. Ordovicische zwerfsteensponzen. *Grondboor en Hamer* 55, p. 1-144 / *Staringia* 9, 144 pp.
- 6 Spielhagen, R., 2001. Enigmatic Arctic ice sheets. *Nature* 401, p. 427-428.
- 7 Stiros, S.C., 2001. The AD 365 Crete earthquake and possible seismic clustering during the fourth to sixth centuries AD in the eastern Mediterranean: a review of historical and archaeological data. *Journal of Structural Geology* 23, p. 545-562.
- 8 Stokstad, E., 2001. New fossil fills gap in bird evolution. *Science* 291, p. 225.

**Tom van Loon, Geocom B.V., Benedendorpsweg 61, 6862 WC Oosterbeek, tel. 026-3390908, fax 026-3390783, e-mail tom.van.loon@wxs.nl*