

GEOCOMmunicatie 4: over een ontmaskerd gidsfossiel, bacteriën uit de diepe ondergrond, de tropen tijdens het IJstijdvak, zoogdieren en evolutie, het raadsel van Devils Hole, de herkomst van oceaanwater, en onderzeese vulkanen

A.J. (Tom) van Loon*

INLEIDING

Ook na mijn derde bijdrage blijken nog niet alle lezers van 'Afzettingen' genoeg te hebben van deze rubriek met korte informatie over nieuwe geologische 'ontdekkingen'. Integendeel, nog steeds krijg ik reacties met het verzoek om door te gaan. Zolang de redactie daartegen geen bezwaar heeft, wil ik dat met veel plezier doen. Vooruit dus maar weer!

GIDSFOSSIEL VOOR BEGIN PLEISTOCEEN BLIJKT SLECHTE GIDS

Het begin van het Pleistoceen was een gevolg van afnemende temperaturen in de lucht, dus ook op het land. Dat uitte zich in verschuivingen van de leefgebieden van veel planten- en diersoorten. Die verschuivingen van de continentale milieus maken het in het algemeen moeilijk om op basis van fossielen vast te stellen waar in een op land gevormd afzettingsspakket de ondergrens ligt van het Pleistoceen. In zee ligt dat anders, vooral in de wat diepere zones waar de invloed van de luchttemperatuur pas langzaam doorwerkt. Dat maakt restanten van dieper in zee levende organismen het meest geschikt om een dergelijke grens te definiëren.

Tot nu toe werd aangenomen dat de ondergrens van het Pleistoceen het beste kon worden gelegd waar in mariene sedimenten voor het eerst de foraminifeer *Globorotalia truncatulinoides* opduikt; deze soort ontstond door evolutie uit de soort *G. crassaformis*, en alle deskundigen veronderstelden dat de nieuwe soort min of meer gelijktijdig in alle oceanen opdook. Dat blijkt na een onderzoek van Amerikaanse en Zwitserse onderzoekers echter niet het geval te zijn geweest. Integendeel, zijn eerste verschijning blijkt op sterk uiteenlopende momenten te zijn opgetreden: terwijl de evolutie in het zuidwesten van de Stille Oceaan plaatsvond tussen 2,8 en 2,3 miljoen jaar geleden, werden de Indische en de Atlantische Oceaan pas tussen 2,2 en 1,9 miljoen jaar geleden door *G. truncatulinoides* veroverd. Dat gebeurde overigens niet door een latere evolutie, maar door de verspreiding van de soort (overigens in de vorm van afwijkende morfotypes) vanuit de Stille Oceaan.

Dat de verspreiding van de foraminifeer *G. truncatulinoides* zo lang duurde, wijten de onderzoekers aan het optreden van barrières voor deze relatief diep levende soort, doordat het zeeniveau vele tientallen meters was gedaald onder invloed van de inmiddels op het noordelijk halfrond begonnen vergletsjeringen. Pas toen omstreeks 2,3 miljoen jaar geleden een (tijdelijk) iets warmere fase optrad, kon de nieuwe soort deze barrières via de wateren bij Indonesië passeren en zich in de twee andere oceanen vestigen. Dat niet alleen de zeespiegelstand maar ook de temperaturen van het oppervlaktewater in de oceanen bij de verspreiding (of het gebrek daaraan) een rol zouden hebben gespeeld, achten de onderzoekers onwaarschijnlijk; de genoemde soorten leefden daarvoor te diep.

Dat *G. truncatulinoides* in de diverse oceanen op sterk uiteenlopende tijdstippen verscheen, betekent een slag voor het onderzoek naar de ontwikkelingen van het Pleistoceen. Een tot nu toe als in de tijd vaststaand referentiepunt is immers onbruikbaar gebleken; er zal dus naar een nieuw (en betrouwbaarder) gidsfossiel voor de basis van het IJstijdvak moeten worden gezocht.

Referentie: 9

THERMOFIELE BACTERIËN UIT DIEPE ONDERGROND

Op diverse plaatsen op aarde zijn in de laatste jaren bacteriën aangetroffen in de diepe ondergrond. 'Diep' wil hierbij zeggen dat er geen enkele invloed meer is van processen aan het aardoppervlak; in praktijk betekent dat enkele duizenden meters diep. Bacteriën afkomstig van een dergelijke diepte vertonen uiteraard andere kenmerken dan bacteriën die aan of nabij het aardoppervlak wonen. Veelal ontleen zij hun energie aan processen die samenhangen met de reductie van amorf (driewaardig)ijzer-oxyhydroxide. Dergelijke bacteriën komen ook (en meestal) nabij het aardoppervlak voor, in koude milieus. Onderzoekers van enkele Amerikaanse onderzoeksinstituten beschreven niet zo lang geleden echter vormen die onder geheel andere omstandigheden leven.

Op één van de twee onderzochte locaties (het Taylorsville-Bekken in Virginia) troffen ze in gesteenten uit de Trias dergelijke bacteriën aan op een diepte van 2652-2798 m, bij temperaturen van 65-85 °C en een druk van 30-35 MPa. Op de andere locatie (het Piceance-Bekken in California) was de diepte van gesteenten uit het Krijt (135-65 miljoen jaar geleden) 856-2096 m en de temperatuur 42-85 °C. De desbetreffende locaties moeten al vele miljoenen (waarschijnlijk tientallen miljoenen) jaren volledig geologisch en hydrologisch geïsoleerd zijn geweest.

Vanaf deze (boor)locaties werden monsters genomen en de uit die monsters geprepareerde bacteriën werden in een cultuur vermenigvuldigd. Binnen 1-2 weken leidden die culturen op een voedingsbodem met amorf Fe(III)-oxyhydroxide onder toevoeging van waterstof bij een temperatuur van 60 °C tot neerslag van magnetiet (kristalletjes van 10-300 nm). Dit bleek bij volgende proeven plaats te vinden in het hele temperatuurbereik van 45-75 °C. Toevoeging van zuurstof bleek de vorming van magnetiet door de bacteriën te verhinderen, een bewijs voor hun anaerobe karakter.

Moleculaire analyse, op basis van RNA uit de ribosomen (rRNA), werd uitgevoerd om de verwantschap met andere thermofiele bacteriën vast te stellen. De aangetroffen soorten (met de toepasselijke namen *Thermoterrabacterium ferrireducens*, *Bacillus infernus*, *Geobacter metallireducens*, *Desulfuromonas acetoxidans*, *Shewanella alga* en *S. putrefaciens*) bleken deels een duidelijke verwantschap te vertonen met de recente soort *Thermoanaerobacter ethanolicus*, maar daar deels ook zo van te verschillen dat het gerechtvaardigd is hen in een nieuwe groep te plaatsen.

De onderzoekers wijzen erop dat hun bevindingen een nieuw licht werpen op de evolutie van dit soort bacteriën, die waarschijnlijk geologisch al zeer vroeg voorkwamen en die vrijwel zeker een rol hebben gespeeld bij de vorming van enkele beroemde geologische formaties (banded-iron formation). Daarnaast vormen de omstandigheden waaronder ze levend zijn aangetroffen een aanwijzing dat ze zich ook kunnen hebben ontwikkeld onder omstandigheden zoals die bijvoorbeeld vroeger op Mars hebben geheerst.

Referentie: 7

DE TROPEN TIJDENS HET IJSTIJDVAK

Uiteraard kenden de tropen, behalve in het hooggebergte, tijdens het Pleistoceen geen bedekking met landijs. Toch moet de invloed van het zich uitbreidende en weer terugtrekkende landijs op hogere breedten het gevolg zijn geweest van klimaatfactoren die ook in de tropen hun sporen moeten hebben achtergelaten. Maar hoe? In de tropen vond tijdens het Pleistoceen een afwisseling plaats van regenrijke en regenarme perioden. Maar stemmen die chronologisch overeen met de afzonderlijke ijstijden op meer gematigde breedten? Nog steeds stellen de tropen paleoklimatologen voor tal van onopgeloste raadsels. Onderzoek door een aantal Amerikaanse onderzoekers heeft echter interessante nieuwe gegevens opgeleverd die een eind lijken te maken aan eerdere, onderling tegenstrijdige analyses.

Zo leidde onderzoek naar planktonische foraminiferen tijdens het CLIMAP-project in de zeventiger jaren ertoe dat de meeste paleoklimatologen ervan overtuigd raakten dat het water in de tropische oceanen tijdens de ijstijden niet meer dan 1 °C kouder was dan thans. Onderzoek dat enkele jaren geleden werd uitgevoerd aan koralen wees echter, op basis van Sr/Ca-verhoudingen, eerder op een afkoeling van 5 °C; eenzelfde temperatuurdaling voor landmassa's en eilanden in de tropen werd later vastgesteld aan de hand van veranderingen van de sneeuwgrens in gebergten en de concentratie van edelgassen in grondwater. Analyse van de $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -verhouding wees weer op een tussenliggende temperatuurdaling: 3 °C.

In het nu uitgevoerde onderzoek is de samenstelling bepaald van het poriënwater in de bovenste 60 m van diepzeesediment uit de tropen. Daarbij werd ook de verhouding van de zuurstof-isotopen geanalyseerd. Op grond daarvan kwamen de onderzoekers tot de conclusie dat de temperatuur van het dieptewater ongeveer 4 °C lager moet zijn geweest dan thans. Deze waarde zegt veel meer dan een even grote temperatuurdaling van het oppervlaktewater: het bodemwater heeft nu namelijk een temperatuur van 4 °C (bij die temperatuur is de massa - soortelijk gewicht - van het water het grootst, dus water van deze temperatuur zakt het diepste weg), wat impliceert dat de temperatuur tijdens de ijstijden tegen het vriespunt aan moet hebben gezeten. Dat er geen bevroering optrad is overigens goed verklaarbaar: de watermassa is zo groot dat, in combinatie met de grote warmtecapaciteit van water, daarvoor geen 'negatieve warmte' genoeg kon worden aangevoerd.

De zeer lage temperatuur van het dieptewater leidde tot een afwijkende verhouding van de zuurstof-isotopen in de enorme watermassa. Bovendien werd de grens tussen het Antarctisch Bodemwater en het Noordatlantisch Dieptewater (die ook nu een verschil vertonen in de zuurstof-isotopenverhouding) verschoven. Deze combinatie van factoren leidde ertoe dat ook in hogere watermassa's deze verhouding werd beïnvloed. De nogal afwijkende temperatuurdaling die door de CLIMAP-onderzoekers werd vastgesteld, kan hierdoor worden verklaard als een secundair effect.

Referenties: 2, 8

AANTAL BESTAANDE SOORTEN BEPAALT EVOLUTIE ZOOGDIEREN

Het lijkt voor de hand te liggen dat evolutionaire ontwikkelingen op z'n minst mede het gevolg zijn van klimaatschommelingen: daardoor veranderen immers de leefmilieus, wat voor individuen leidt tot de noodzaak om naar een gunstig milieu elders om te zien, en wat voor een soort aanleiding kan zijn om zich aan de veranderende omstandigheden aan te passen. Onderzoek naar de evolutie van zoogdieren over de afgelopen 80 miljoen jaar heeft

echter aangetoond dat de uit het geologische verleden bekende schommelingen van het klimaat bijna geen enkele overeenkomst vertonen met de bloei van de zoogdieren als taxonomische groep.

Een onderzoeker van het befaamde *Smithsonian Institution's National Museum of Natural History* bracht deze bevinding ter sprake op een bijeenkomst van de *American Geophysical Union*; hij was naar een dergelijk verband tussen klimaat en evolutie op zoek, maar vond dat het aantal bestaande soorten in veel sterkere mate bepaalde hoeveel nieuwe soorten zoogdieren zich binnen een bepaald tijdsbestek ontwikkelden: er kwamen minder soorten bij naarmate er al meer soorten zoogdieren bestonden. Zijn conclusie is gebaseerd op een uitgebreide literatuurstudie, die meer dan 4000 lijsten omvatte met de namen van zoogdieren die gedurende de laatste 80 miljoen jaar in Noord-Amerika leefden, alsook het geologische tijdsinterval waarin die soorten bestonden. Dat leverde - uiteraard - een chaotisch beeld op, waarin hij ordening aanbracht door het betrokken tijdsinterval in te delen in eenheden van elk een miljoen jaar lang. Bovendien bracht hij een correctie aan om tijdseenheden waarin geologen veel naar fossiele zoogdieren hebben gezocht (bijv. in het kader van speciale studies) niet te 'bevoordelen' boven tijdseenheden waarvoor minder interesse van geologische zijde werd getoond.

De onderzoeker merkte op dat er uit de periode van 80-65 miljoen jaar geleden slechts zeer weinig fossiele zoogdieren bekend zijn. Toen 65 miljoen jaar geleden (aan het eind van het Krijt) een grote meteoriet-inslag plaatsvond en een groot deel van de levensvormen op aarde verdween, daalde ook het aantal soorten zoogdieren zeer sterk. Gedurende de daarop volgende 10 miljoen jaar nam hun aantal echter zeer sterk toe, waarna dat aantal gedurende zo'n 50 miljoen jaar redelijk constant bleef. Dat is opvallend, want gedurende dat lange tijdsinterval kende de aarde een groot aantal sterke klimaatschommelingen (net als nu bestonden ook toen sterke klimaatschommelingen onder invloed van astronomische oorzaken; de bekendste hebben een cycliciteit van zo'n 20.000, 40.000 en 100.000 jaar). Die bleken echter nauwelijks of geheel niet van invloed op de diversiteit binnen de zoogdieren. De onderzoeker vermoedt dat zoogdieren in feite al vroeg in hun ontwikkeling gewend waren aan een veranderend klimaat, en zich relatief gemakkelijk aan klimaatschommelingen konden aanpassen.

Toch kan de invloed van het klimaat op de evolutie niet geheel verwaarloosd worden. De onderzoeker vond drie relatief korte tijdsintervallen (omstreeks 55, 34 en 6 miljoen jaar geleden), waarin sterke klimaatschommelingen samenvielen met een aanzienlijke toename van de diversiteit van zoogdieren.

Referentie: 6

DEVILS HOLE GEEFT GEHEIM PRIJS

Devils Hole (Nevada) heeft de geologen die zich bezighouden met de datering van de Pleistocene ijstijden lange tijd voor een schijnbaar onoplosbaar raadsel gesteld. De carbonaten die er zijn afgezet, vertonen eenzelfde ritme als de Pleistocene zeespiegelfluctuaties. Met radiometrische methoden kon bovendien de ouderdom van diverse niveaus worden bepaald, zodat het leek of met deze afzettingen de afwisseling van ijstijden en interglacialen kon worden gedateerd.

De dateringen waren echter verrassend, want het laatste interglaciaal (Eemien) zou omstreeks 134.000 jaar geleden moeten zijn begonnen, terwijl men algemeen aanneemt dat het landijs van de voorafgaande vergletsjering pas omstreeks 128.000 jaar geleden begon af te smelten. Deze laatste datering berust op de fameuze 'curve van Milankovitch', die de hoeveelheid invallende zonnestraling op een bepaalde breedtegraad op aarde weergeeft; de

fluctuaties hierin zijn een gevolg van astronomische oorzaken. Dateringen van diepzeekernen komen hiermee zo goed overeen dat er al decennia lang nauwelijks meer enige twijfel bestaat aan de relatie tussen de Pleistocene ijstijden en de hoeveelheid zonneinstraling.

Een verschil van 6000 jaar lijkt misschien niet veel vanuit geologisch perspectief, maar het was toch genoeg om een gevoel van onbehagen bij de deskundigen te wekken. Er moest ergens een fout zijn gemaakt, of iets niet goed begrepen zijn; maar wat was er mis? Omdat er nauwelijks getwijfeld kon worden aan de astronomische theorie van Milankovitch, was het algemene idee dat de radiometrische ouderdomsbepalingen van Devils Hole onjuist moesten zijn. Maar bij herhaalde dateringen werd dezelfde ouderdom gevonden als daarvoor. Was radiometrische ouderdomsbepaling dan toch niet zo accuraat als men aannam? Bekend is dat dateringen met radioactieve koolstof veel 'correcties' vereisen (doordat in de atmosfeer voortdurend - maar niet in een constante mate - nieuw C-14 ontstaat door de inwerking van kosmische straling). Zouden er bij de voor Devils Hole gebruikte dateringsmethoden die uitgaan van het radioactieve verval van uranium en thorium ook dergelijke correcties nodig zijn? En op welke fysische basis zou zo'n correctie dan moeten berusten?

Een groep Amerikaanse onderzoekers heeft een overtuigende oplossing voor dit probleem aangedragen, door gebruik te maken van een nieuwe analytische techniek. In het geval van Devils Hole waren namelijk alle dateringen gebaseerd op de aanwezige verhouding tussen thorium-230 en uranium-234 (doordat beide een verschillende halfwaardetijd hebben, verandert hun verhouding met de tijd). De onderzoekers vermoedden dat een van beide isotopen misschien relatief was verarmd door oplossing, of juist relatief verrijkt door een ander proces. Ze onderzochten in de sedimenten van Devils Hole daarom ook de verhouding tussen protactinium-231 en uranium-235 (waarvan Pa-231 een dochterproduct is). Deze bepaling werd pas voldoende accuraat mogelijk door de introductie van een nieuwe techniek waarmee de aanwezige Pa-atomen kunnen worden geteld. Met deze zeer geavanceerde technologie werd zo een ouderdom bepaald, en een identieke analyse werd uitgevoerd bij koraalmonsters, afkomstig van Barbados, waarvan de geologische context duidelijk aangeeft dat ze aan het begin van het Eemien werden gevormd; dit laatste onderzoek gaf aan dat de ouderdom van de koralen bij Barbados precies gelijk was aan wat op grond van de astronomische theorie mocht worden verwacht. Dat is dus (weer) een bevestiging van deze theorie. Tevens werd echter vastgesteld dat de eerdere dateringen van de carbonaten uit Devils Hole ook correct waren. Ook de dateringsmethode op basis van de verhouding tussen Th-230 en U-234 blijkt dus betrouwbaar.

Voor de afwijkende ouderdom van de kalken uit Devils Hole opperen de onderzoekers dat het gedateerde niveau mogelijk niet precies correleerbaar is met het begin van het Eemien. Ze houden het echter voor waarschijnlijker dat er in het warme Nevada tijdens het Pleistoceen een regionaal klimaat heeft geheerst dat niet precies alle mondiale klimaatsveranderingen volgde.

Referenties: 3, 5

OCEAANWATER KOMT NIET VAN KOMETEN MAAR VAN STEEN-METEORIETEN

Over de oorsprong van het water op aarde bestaan verschillende theorieën. Volgens een van de belangrijkste is veel van het water op aarde gevallen in de vorm van uit (voornamelijk) ijs bestaande kometen. Zulke kometen komen regelmatig binnen de

aantrekkingskracht van onze planeet, waar ze verdampen; uiteindelijk valt hun massa in de vorm van neerslag op de aarde.

Op een bijeenkomst in Blois (Frankrijk) hebben Amerikaanse astronomen van het *Institute for Astronomy* van de Universiteit van Hawaï de theorie, dat kometen een belangrijke bijdrage zouden leveren aan de massa van het water op aarde, een belangrijke slag toegebracht. Ze hebben de verhouding gemeten tussen de 'gewone' waterstofatomen en de atomen van deuterium ('zwaar' waterstof) in de komeet Hale-Bopp, toen die eerder dit jaar de aarde passeerde. Uit hun metingen bleek dat het deuterium in Hale-Bopp ca. 0,03% uitmaakte van alle waterstof, wat ongeveer het dubbele is van het percentage in zeewater. En het gaat niet om toeval: dezelfde waarde was (bij benadering) vastgesteld door andere onderzoekers voor de komeet Hyakutake, die vorig jaar de aarde passeerde, en voor de komeet Halley die dat tien jaar geleden deed. Er blijkt in kometen dus een opmerkelijk constante verhouding tussen de twee isotopen te bestaan; en die is anders dan op aarde.

Astronomen op de bijeenkomst kwamen vrijwel unaniem tot de conclusie dat de theorie van 'komeetwater' niet langer houdbaar is, al kan natuurlijk nooit worden uitgesloten dat de aarde in het verre geologische verleden is getroffen door een 'regen' van kometen met een andere verhouding tussen de waterstofisotopen.

Het merkwaardige is dat de kometen die de aarde treffen, ook in ons zonnestelsel zijn ontstaan; hoe kan dan de isotopenverhouding verschillen? Volgens de astronomen is er bij het samenballen van materie in het begin van het ontstaan van ons zonnestelsel plaatselijk verrijking van het gehalte aan deuterium opgetreden, en elders verarming. De aarde zou dus in ieder geval in een ander gedeelte van de wolk materie moeten zijn ontstaan dan de kometen.

Volgens een onderzoeker van het *Musée d'Histoire Naturelle* in Parijs zou het water op aarde niet van kometen afkomstig zijn maar van koolstofhoudende chondrieten (steenmeteorieten, die ook - zeer geringe - hoeveelheden water bevatten). Onderzoekers van zijn instituut hebben sterk wisselende verhoudingen tussen beide waterstofisotopen gemeten, maar het gemiddelde kwam aardig in de buurt van de verhouding in zeewater.

Referentie: 4

ONDERZEESE VULKANEN RONDOM HAWAII BLIJKEN ANDERS DAN ELDERS

Toen de aardkorst zo'n 70-130 miljoen jaar geleden via grote 'scheuren' uiteenbrak - waarna de continentverschuiving zorgde voor het ontstaan van oceanen tussen de gevormde continenten - ontstonden in die oceanen talrijke vulkanen. Dat was het gevolg van magma dat opsteeg langs de breukzones. Veel onderzeese vulkanen (seamounts) vormen dan ook patronen die de positie van dergelijke scheuren weerspiegelen. De omgeving van Hawaï is daarvan een klassiek voorbeeld.

Recent onderzoek met het sonar-systeem GLORIA naar de eigenschappen van de seamounts in de 'economische zone' rondom Hawaï heeft nieuwe inzichten opgeleverd. Het blijkt dat de seamounts sterk in grootte variëren, met diameters tot 57 km en dat er per miljoen km² gemiddeld 182 seamounts met een diameter van minimaal 1 km voorkomen. Verder blijkt dat er een duidelijke relatie bestaat tussen de grootte van seamounts en hun frequentie: zoals te verwachten valt, neemt de frequentie min of meer exponentieel toe met afnemende grootte. Dat gaat echter niet op bij de 'kleine' seamounts: in de diameter-categorie 2-4 km komen er juist iets minder voor dan in de categorie 4-6 km. Nog opvallender is dat seamounts met een diameter kleiner dan 2 km slechts 6% van het totaal vormen. De onderzoeker heeft daarvoor geen goede verklaring. Van de door

hem genoemde mogelijkheden lijkt de hypothese dat 'kleine' seamounts in de loop van de geologische tijd bedekt zijn geraakt door sediment nog de minst onwaarschijnlijke. Een sedimentatiesnelheid van 2 km per (maximaal) 130 miljoen jaar is - voor een diepzee - echter zo extreem dat ook deze verklaring onwaarschijnlijk geacht moet worden, zeker gezien de uitgestrektheid (2,38 miljoen km²) van het onderzochte gebied. Het lijkt waarschijnlijker dat de gebruikte sonar-apparatuur door een nog niet onderkend verschijnsel zodanig wordt beïnvloed dat 'kleine' objecten op grote diepte (de zee is ter plaatse 4000-5600 m diep) vaak worden 'gemist'. Als dat het geval zou zijn, dan zou bij afnemende diepte het aantal 'missers' weliswaar (waarschijnlijk exponentieel) afnemen, maar het zou tevens een verklaring kunnen vormen waarom schepen soms op rotsen lopen in gebieden waar die niet op de zeekaart staan aangegeven, ondanks uitgevoerd sonar-onderzoek.

Een bijzondere eigenschap van de seamounts rondom Hawaï lijkt hun verhouding tussen hoogte en diameter. Die is voor karakteristieke exemplaren in de orde van 0,01, wat tienmaal zo weinig is als gemiddeld voor de Stille Zuidzee, en ook nog altijd driemaal zo laag als het minimum dat van elders is beschreven. Dat is overigens niet het enige opvallende: ook de frequentie van voorkomen is een factor 5-22 lager dan uit vergelijkbare gebieden is gerapporteerd.

Referentie: 1

GERAADPLEEGDE LITERATUUR

- ¹Bridges, N.T., 1997. Characteristics of seamounts near Hawaii as viewed by *GLORIA*. - Marine Geology, 138: 273-301.
- ²Broecker, W., 1996. Glacial climate in the tropics. - Science, 272: 1902-1903.
- ³Edwards, R.L., H. Cheng, M.T. Murrell & S.J. Goldstein, 1997. Protactinium-231 dating of carbonates by thermal ionization spectrometry: implications for Quaternary climate change. - Science, 276: 782-785.
- ⁴Goldsmith, D., 1997. Comet origin of oceans all wet? - Science, 277: 318.
- ⁵Kerr, R.A., 1997. Second clock supports orbital pacing of the ice ages. - Science, 276: 680-681.
- ⁶Kerr, R.A., 1997. Climate-evolution link weakens. - Science, 276: 1968.
- ⁷Liu, S.V., J. Zhou, C. Zhang, D.R. Cole, M. Gajdarziska-Josifovska & T.J. Phelps, 1997. Thermophilic FE(III)-reducing bacteria from the deep subsurface: the evolutionary implications. - Science, 277: 1106-1109.
- ⁸Schrag, D.P., G. Hampt & D.W. Murray, 1996. Pore fluid constraints on the temperature and oxygen isotopic composition of the glacial ocean. - Science, 272: 1930-1932.
- ⁹Spencer-Cervato, C. & H.R. Thierstein, 1997. First appearance of *Globorotalia truncatulinoides*: cladogenesis and immigration. - Marine Micropaleontology, 30: 267-291.

*Adres van de auteur:

Geocom B.V., Benedendorpsweg 61, 6862 WC Oosterbeek; tel. 026-3390908, fax 026-3390783.