

met tuberkels afgewisseld worden door ribben zonder stekels, terwijl ook op de zijanten duidelijk laterale tuberkels optreden. We hebben dan een exemplaar van *Idiohamites spiniger* gevonden, dat we ook *Idiohamites tuberculatus* kunnen noemen, want het verschil tussen beide soorten is zelfs volgens Spath niet vast te stellen.

Zelfs moeten er volgens hem aan de Engelse kant verscheidene soorten van dit genus voorkomen en een nader onderzoek daarnaar zou ook in Wissant interessant zijn, maar heel moeilijk, want ze komen niet frequent voor. Dat geldt ook voor de baculietachtige *Lechites* (waarvan slechts één exemplaar in mijn verzameling voorkomt). Exemplaren hiervan vertonen bijna geen ribben en worden daarom wellicht door veel amateurs als afgesleten hamieten terzijde gelegd.

Dankbetuiging

De auteur betuigt zijn dank voor adviezen bij de uitwerking van deze publicatie aan onze adviseur dr. P.J. Hoedemaeker en voor

diverse hints bij de bespreking van dit onderzoek door enkele leden van de Werkgroep Ammonieten van de NGV.

Literatuur

L.F. Spath, "A Monograph of the Ammonoidea of the Gault", Palaeontogr. Soc., parts I - XVI, p. I - X, 1-787, 1923 - 1941.

R. Casey, Palaeontology of the Gault in "Geology of the Country around Canterbury and Folkestone", Mem. Geol. Surv. of G.B., sheets 289, 305, 306, new series, 102, 1966.

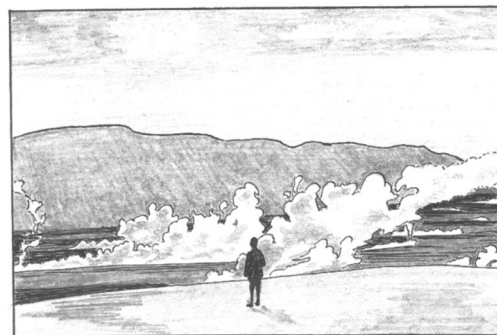
H.G. Owen, "Proc. of the Geol. Assoc", **86**, 475, 1975.

F. Amédéo, Cretaceous Research, **2**, 261, 9.

F. Robaszynski and F. Amédéo, "Proc. of the Geol. Assoc.", **97**, Part 2, 170, 1986.

Novarupta (Alaska) en de "Valley of Ten Thousand Smokes"

door Jan Verhofstad



Het relaas van de geoloog Robert Griggs, zoals gecompileerd in *Gea*, september 1997, betref de onderzoeken tijdens vijf zomerexpeditie van 1915 tot 1919 in het gebied van Mount Katmai, Alaska. Afb. 1. Op 6 juni 1912 om 13.00 uur was daar een enorme vulkanische uitbarsting begonnen die 60 uren duurde. Griggs' rapportage was accuraat en tijdig, maar werd beperkt door de slechte toegankelijkheid van het afgelegen gebied en door de primitieve hulpmiddelen van die tijd. De ontdekking van de Valley of Ten Thousand Smokes bezorgde deze eruptie wereldbekendheid. De conclusie dat dit een van de grootste uitbarstingen in de geschiedenis en bovendien een bijzondere in zijn soort was, staat nog steeds overeind. De nieuwsgierigheid van de wetenschappelijke wereld was

gewekt; bij verdere onderzoeken in de loop van deze eeuw kwamen veel nieuwe feiten naar boven, waarbij diverse conclusies van Griggs niet meer houdbaar bleken, sommige werden zelfs geheel op z'n kop gezet.

Het meest opzienbarende was wel, dat in werkelijkheid Mount Katmai helemaal niet uitbarstte was!! Alle uitgeworpen materiaal bleek afkomstig van de nieuw ontdekte krater Novarupta. Mt. Katmai was alleen maar ingestort, wat de vorming van een caldera veroorzaakte. Nauwkeurige karteringen van het dikteverloop van de aslagen en van de grootteverdeling van uitgeworpen brokstukken en de uit deze beide resulterende contourkaarten wezen onmiskenbaar Novarupta aan als het centrale eruptiepunt van alle aslagen. Het magma onder Mt. Katmai moet ondergronds eerst naar Novarupta zijn gevloeid, alvorens via de nieuwe krater uit te barsten. Voorts waren de fumarolen in de Valley of Ten Thousand Smokes en de door de stoom meegevoerde mineralen geheel afkomstig uit het materiaal van de "zandlawine", daar hoefde geen batholiet voor gepostuleerd te worden.



In de loop van deze eeuw is dit jong-magmatische systeem terdege in studie genomen. Behalve het fenomeen van de aslawine is het gebied vulkanologisch en petrologisch uitermate interessant gebleken. Het betrof een geheel nieuwe, éénmalige eruptie van korte duur; de afzettingen zijn niet gecompliceerd door de producten van vroegere erupties, waarvan de volgorde eerst nog uitgezocht moet worden.

Afb. 1. Eten koken op een van de fumarolen in de Valley of Ten Thousand Smokes. Naar een foto in Griggs, 1922.

Intrusies en toevoergangen bevinden zich in een simpele stratigrafie van ongeveer horizontale, niet geplooid sedimentgesteenten. Nergens ter wereld kunnen alle eruptieparameters zo goed bestudeerd worden, daar zowel de kraters als de volumineuze eruptieproducten (op het land!) goed zijn geconserveerd en nauwelijks begroeid. Ook zijn de tijdsduur en volgorde van deel-uitbarstingen, van aardschokken en explosies redelijk goed vastgesteld.

Terminologie

Tefra omvat alle grootteorden van klastische vulkanische eruptieproducten, dus zowel fijne as tot zandkorrelgrootte fragmentjes, lapilli (2-64 mm) en vulkanische bommen. Aslaag of tefralaag is het losse sediment dat na verspreiding in de atmosfeer in de omtrek van de krater neergedaald is.

Het begrip **ignimbriet** of **aslawineafzetting** is eerst na 1928 geconcipeerd. Het werd direct door allerlei onderzoekers op veel plaatsen benut en toegepast, verder gedetailleerd en aangepast. Haast vanzelfsprekend is er enige begripsverwarring ontstaan uit de neiging steeds nieuwe benamingen toe te voegen of oudere locaal te herdefiniëren. In het voorgaande artikel, waarin ik in hoofdzaak Griggs (1922) heb gevolgd, is de oorspronkelijke terminologie van Griggs gehandhaafd: het begrip "zandstroom" ontstond uit de observatie van korreligheid van de afzetting en het besef dat alle materiaal in een laag-over-de-grond scherende wolk, de gloedwolk, moest zijn getransporteerd. De term zandstroom is gelukkig spoedig verlaten (tefralawine zou meer correct geweest zijn), maar als aslawine (*ash flow*) is het verschijnsel de literatuur ingegaan.

De magma- en/of gesteentesamenstellingen die bij de te bespreken afzettingen betrokken zijn, beperken zich tot rhyoliet met 77% SiO₂, daciet met 64,5-66% SiO₂ en andesiet variërend tussen 58,5-61,5% SiO₂. De drie gesteenten, ook hun puimsteen, zijn macroscopisch steeds goed herkenbaar in het gebied van Katmai en te onderscheiden aan hun kleur, fenokristgehalte en het soort fenokristen. De rhyoliet bevat 1 à 2% fenokristen van kwarts, plagioklaas en donkere mineralen; terwijl fenokristen van plagioklaas, pyroxeen en Fe-Ti-oxiden 30 à 40% van de daciet en andesiet uitmaken.

Puimsteen is een structuurterm: het is het lichte gesteente dat met behoud van zijn gasbelletjes gestold is tot een sponsachtige structuur. Het is een belangrijk bestanddeel van aslawineafzettingen. De gasbellen zijn gescheiden door dunne wandjes van vulkanisch glas met hier en daar een fenokrist.

Tefra-lagen en aslawine

Curtis (1968) heeft na zorgvuldige karteringen een aantal aslagen kunnen onderscheiden die hij aanduidde met de letters A tot H. Identificatie van iedere laag vormt de grondslag van zo'n kartering, het kenmerkende dikteverloop van elke laag was in dit geval helaas erg chaotisch. De verspreiding van as in de atmosfeer is namelijk afhankelijk van de heersende wind. Deze was in hogere luchtlagen ten tijde van de eruptie blijkbaar tegengesteld aan de NW-wind die de onderste aswolken naar Kodiak dreef. De wind veranderde ook flink van richting tijdens de drie dagen van de uitbarsting.

De uitstroombichting uit de krater kan wel eens scheef geweest zijn, wat op zich al een onregelmatige dikteverdeling rondom de krater zal veroorzaken. Voorts zullen tussen de erupties en daarna dikwijls modder- en puinstromen zich gemengd hebben in de stratigrafie van de droge as; het materiaal is dan wel hetzelfde, maar de afzettingsstructuur en de ruimtelijke spreiding verschillen sterk en dit laatste beïnvloedt weer het dikteverloop van de laag. De grootte en het gewicht van de brokstukken, tezamen met de uitstotende kracht, bepalen de afstand van de krater tot het neerkomen op de grond. Door het formaat van de tefra steeds in de metingen te betrekken (bijvoorbeeld, de grootste of een gemiddelde per ontsluiting), kan een contourkaart worden geconstrueerd. Deze bleek nauwkeuriger het eruptiepunt aan te wijzen dan de kaarten van het dikteverloop van de aslagen.

De unieke aslawineafzetting staat geheel op zichzelf en beperkt zich tot het noordwestelijke dal, met een uitloper door Katmai Pass naar het zuiden. Een ongeveer gelijktijdige eruptie van aslawine en tefralaag A kan geconcludeerd worden uit hun veldrelaties en hun overeenkomstige samenstelling, die verschilt van alle volgende aslagen. Tefra-eruptie A is eerder begonnen dan de aslawine. Beide bevatten in hoofdzaak materiaal van rhyoliet-samenstelling, maar in hogere delen van beide vondt bijmenging plaats van daciet en andesiet: tijdens deze eerste grote uitbarsting is de samenstelling van het uitgeworpen materiaal voorgoed gewijzigd. Alle latere tefra-regens bevatten merendeels dacietpuimsteen, in mindere mate andesiet en ook onvolledig gemengd puimsteen met scherp begrensde banden van contrasterende samenstelling.

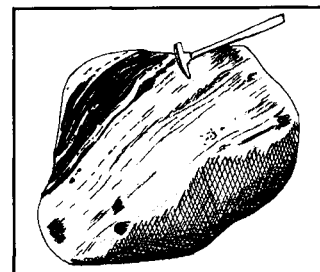
Afb. 2.

Over de massa- en volumeberekeningen is men het langzaam eens geworden (Hildreth, 1987). Er is in totaal ca. 15 km³ magma uitgeworpen, die uitzette tot 20 km³ losse tefra en 11 à 15 km³ aslawine. Laatstgenoemde hoeveelheid behoudt een wat onzekere waarde doordat de ondergrond van de aslawineafzetting niet zichtbaar is en de dikte op de meeste plaatsen slechts geschat kan worden. Met deze hoeveelheden is het de meest volumineuze uitbarsting van de eeuw en tevens de grootste rhyoliet-eruptie in bijna 2000 jaar.

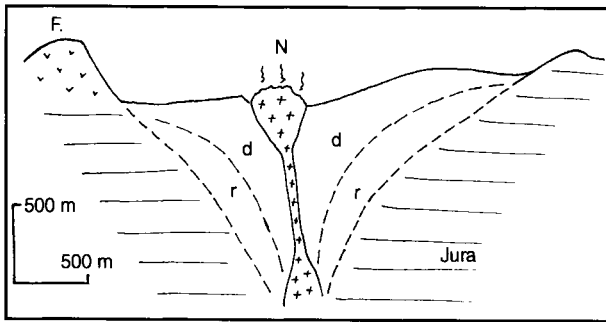
Tefralaag A, zowel als de gecombineerde lagen C-D en F-G zijn gevormd door verspreiding en neerdalen van de tefra dat via een "Plinische" eruptiekolom uitgestoten is. Het was telkens een zeer hoge kolom (geschat op 20-25 km hoogte) van tefra, gassen en stoom, vergelijkbaar met de door Plinius beschreven uitbarsting van Vesuvius in 79 AD, waarbij Pompeï en Herculaneum bedolven werden. Drie grote uitbarstingen van Novarupta komen overeen met de drie golven van as en ellende die op de inwoners van Kodiak op 170 km afstand neerkwamen. Tussen de grotere afzettingen en bovenop de laatste treffen we dunne laagjes E, respectievelijk H, die bestaan uit zeer fijnkorrelige as die naardwarrelde gedurende pauzes in de erupties.

De aslawine-afzetting of ignimbriet

De ignimbriet in de Valley blijkt te zijn opgebouwd uit één grote en een aantal kleine stromen, die in snelle successie elkaar zijn opgevolgd, met tussenpozen van minuten of uren. Nadere detaillering van afzonderlijke stromen, hun individuele samenstelling en volume blijkt moeilijk door de beperkte insnijding van riviertjes en dus beperkte ontsluiting (overigens is de geringe erosie in het gebied sinds de eruptie juist een voordeel!). Aanvankelijk waren de stromen vrijwel geheel van rhyoliet-samenstelling; allengs werd de toevoeging van daciet en andesiet sterker, de laatste stroom is bepaald rhyoliet-arm te noemen. Dit beeld verschilt van de meer exclusief rhyolitische tefralaag A, die alleen aan zijn top genoemde bijmenging vertoont. Het gedetailleerd uitwerken van volgorde en zo mogelijk van de relatieve duur van elk onderdeel is van belang voor beschouwingen over de mechanica van de eruptiekolom en van het moment van scheiden van losse as en ignimbriet-as uit deze kolom. Nog verder terug redenerend kunnen we mogelijk herkomst en condities in de magmakamer(s) concluderen. Een groot probleem blijft het contrast in stijl van afzetting van enerzijds de losse as uit de krachtige Plinische kolom en anderzijds van de betrekkelijk energiearme gloedwolk, die laag uit de krater golfde en nauwelijks de kracht bezat om tegen nabije hellingen op te kruipen.



Afb. 2. Boulder van gebande andesiet en rhyoliet aan de basis van de Novarupta-lavaprop. Hamer voor grootte. Naar een foto in Curtis, 1968.



Afb. 3. Dwarsdoorsnede door de vermoedelijke structuur onder Novarupta-caldera. F. = Falling Mtn., N. = Novarupta-rhyolietlava, r = rhyoliet-tefra, d = daciettefra. Naar Eichelberger & Hildreth, 1986 en Papike & Eichelberger, 1992.

Hoe zijn deze twee aparte verschijnselen uit één eruptiepoint te verklaren, als ze ook nog gelijktijdig plaatsvonden?

Novarupta: krater en caldera

Het percentage lithische fragmenten uit de omringende Jura-formaties is niet groot in de aslagen en ignimbriet-fragmenten uit nog dieper liggende formaties ontbreken geheel. Daar de Jura hier ca. 1500 m dik is, mag aangenomen worden dat de trechtervormige onderbouw van de krater niet dieper reikt dan 1500 m. Op minder dan deze diepte heeft de decompressie, de gasontlading van het magma, plaatsgevonden en kwamen dus ook de explosies voor die de kracht leverden voor het fragmenteren van het magma en het uitdrijven van alle pyroklastische materiaal naar de atmosfeer. De trechter is thans geheel gevuld met het laatste materiaal dat van de krachteloos geworden eruptiekolom is teruggevallen. Men vermoedt dat een wijde trechter van ruim 2 km doorsnee met rhyoliet is gevuld, terwijl een kleine centrale trechter het latere dacitische materiaal bevat; aan het oppervlak vindt men slechts daciet, zie Afb. 3.

Aan het einde van de gehele eruptiecyclus werd rhyolietlava in de krater van Novarupta opgestuwd. Deze kwam niet tot uitvloeien maar is als een stomende prop van 60 m hoogte in de krater blijven steken. Afb. 4.

De prop zit excentrisch binnen een ringvormige wal van ejecta. Binnen zowel als buiten deze ringwal begeleiden radiale en concentrische breukjes de, overigens bescheiden, inzinking van het eruptiegebied. Afb. 5A en B. Zie ook Afb. 6, Gea september 1997, p. 81.

De krater en zijn directe omgeving kan een caldera genoemd worden, de getrapte *slumping* (afschuiving) is veroorzaakt door klink en verdere ontgassing van alle in de trechter teruggevallen tefra. Dit gebiedje vertoonde het langst en het hevigst de fumarolenactiviteit; thans vindt men er de laatste fumarolen van de Valley met een temperatuur van 90 °C.

De naburige vulkanen

Vijf grote, oudere stratovulkanen en twee kleine vulkaankoepels staan in de onmiddellijke omgeving van Novarupta. Afb. 6. Aan ieder van de vijf stratovulkanen is een millennia-lange opbouw-fase werkzaam geweest. Ter vergelijking: het volume van een van deze is gelijk aan het totale volume dat door Novarupta tijdens drie dagen in 1912 werd uitgeworpen! Bijna alle bezitten meer dan één eruptiepoint. Het meest nabij Novarupta ligt Trident met drie onderscheiden pieken, waaronder West-Trident. De stratovulkanen staan in een rechte lijn, slechts Mt. Griggs en

Afb. 4. Uitzicht op Novarupta-caldera vanaf top West-Trident naar NW. Rhyolietlavaprop in het midden, 400 m in doorsnede, excentrisch binnen tefraringwal. Steile gedeelten calderarand midden achter ringwal en direct ervoor. Naar een foto in Hildreth, 1983.

Novarupta vallen daarbuiten, respectievelijk op 11 en 5 km afstand van de N65E gerichte hoofdketen. In deze noordoostelijke richting zet zich de vulkaanketen nog 400 km voort op het Alaska Schiereiland, terwijl in westelijke richting de Aleoetenboog zich nog 2000 km uitstrekt. In het groot gezien hebben we hier de situatie van een oceanische plaat (de Pacificische oceaانبodem) die noordwaarts schuift en onder het continent van Noord-Amerika wegduikt. Op ca. 250 km van deze plaatgrens veroorzaakt de naar de aardmantel duikende en tegelijk opwarmende plaat het vulkanisme, dat zich parallel aan de plaatgrens ontwikkelt.

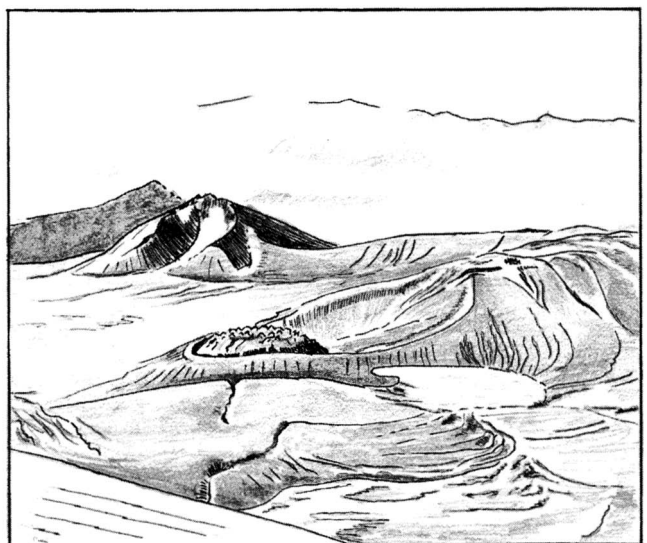
Alle nabuurvulkanen van Novarupta zijn uit daciet- en andesietlava's opgebouwd. Alle zijn tot in het jong-Kwartair actief geweest; ze vertonen nabij hun top steeds flinke fumarolenactiviteit. In de jaren 1953-1968 is een nieuw eruptiepoint op de flank van Trident geopend, waaruit andesietlava vloeide. Dit nieuwe eruptiepoint ligt op één lijn met West-Trident en Novarupta, de lijn die tevens samenvalt met een spleet van 1 km, die vanuit Novarupta over de ejecta-ringwal tot halverwege West-Trident te vervolgen is. Deze lijn staat loodrecht op de hoofdketen en zou een gang van stollingsgesteenten en van aanvoer uit de diepte kunnen herbergen, zoals andere onderzoekers elders in de Aleoetenketen aangetroffen hebben. Dit opent de mogelijkheid van een voedende gang van magma vanuit Trident regelrecht naar Novarupta.

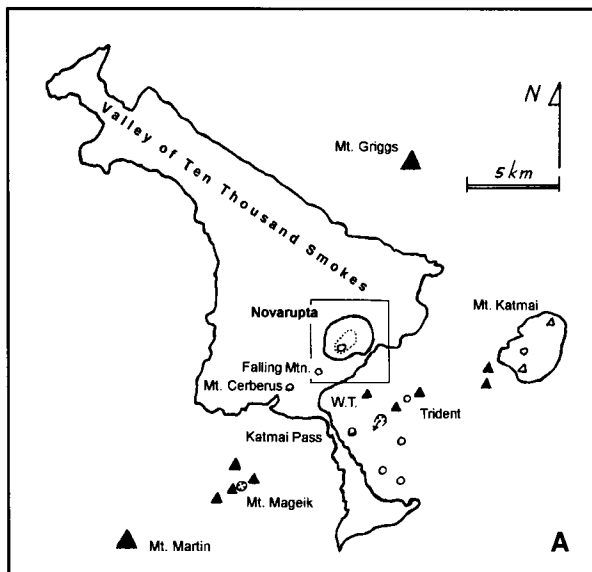
Katmai en Trident lijken topografisch verbonden door een reeks van kleinere eruptiepunten in de hoofdketen. De toevoerkanalen zullen ten dele gemeenschappelijk zijn. De gelijktijdigheid van de instorting van Katmai en de uitbarsting van Novarupta betekent op zichzelf al dat er een ondergrondse connectie moet bestaan, of althans op het moment van uitbarsten tot stand kwam. De extractie van daciet-andesietmagma uit Trident en het wegvloeien naar Novarupta kon blijkbaar gecompenseerd worden door aanvoer vanuit het reservoir onder Katmai; de laatste leegloop daarvan was aanleiding tot de instorting van de 5 km³ grote Katmaicaldera. Dit bijzondere aanvoertraject kan slechts het daciet- en andesietmagma van de hoofdketen geleid hebben, het verklaart weinig over de herkomst van het rhyolietmagma.

Veel wijst in de richting van gescheiden magmakamers onder iedere vulkaan, mogelijk zelfs naar een apart reservoir onder de Novarupta - Falling Mtn. - Mt. Cerberus-groep. Een andere mogelijkheid is het bestaan van vele kleine reservoirs, een soort netwerk van gangen en sills, gescheiden door dunne septa van vast gesteente, die ten tijde van een krachtige eruptie hydraulisch verbonden raken door het breken van de septa.

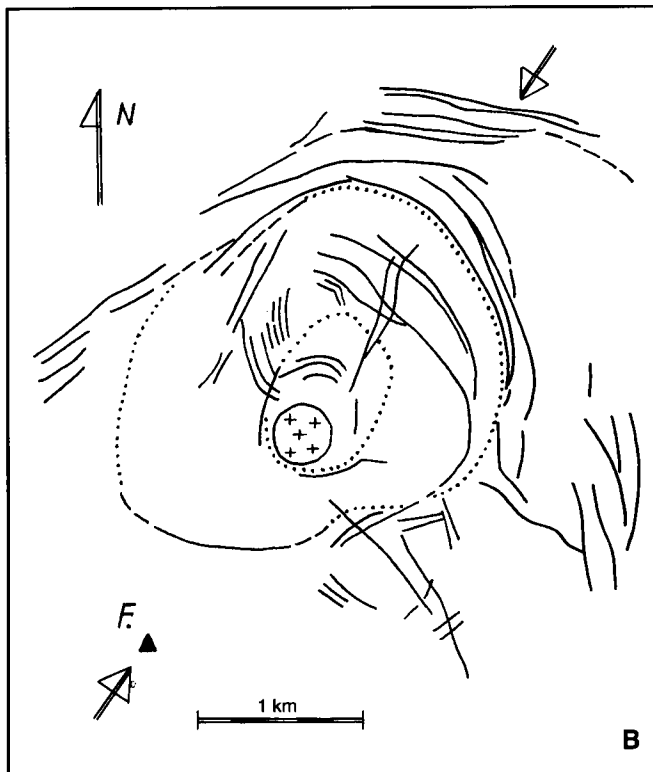
Een rhyolietprobleem

Argumenten omtrent de evolutie van magma's worden ondersteund, zo niet geheel geleverd, door nauwkeurige analyses van





Afb. 5A. Schetskaart van de Katmai-cluster van vulkanen. W.T.: West-Trident. Vierkant kader: Afb. 5B. Gesloten grenslijnen: aslawineafzetting, Novarupta-caldera en Katmai-caldera. o o: lavakoepels; open driehoeken: verdwenen eruptiepunten Katmai; krater met pijl: lavauitvloeijing Trident van 1953-1968. Naar Hildreth, 1991.



Afb. 5B. Schetskaart van Novarupta-caldera met diaklazen, spleten en verzakkingen. + +: Novarupta-rhyolietlavaprop, F: Falling Mtn., binnenste stippellijn: tefringwal, buitenste stippellijn: calderarand, pijlen: richting dwarsdoorsnede. Naar Hildreth, 1983.

samenstelling tussen 66% en 77% SiO_2 ? Het schijnt dat een dergelijk groot samenstellingshiat nergens ter wereld wordt geëvenaard, in welke gedocumenteerde seriële uitbarsting ook.

hoofdelementen (in het hele gesteente of in geselecteerde mineralen), van specifieke sporelementen en van isotopenverhoudingen. Radiogene ouderdomsbepalingen zijn ook heel belangrijk, maar hier nauwelijks voorhanden. De geochemische analyses, voorzover thans beschikbaar, bieden echter nog geenszins een oplossing voor de problematische magmarelaties of voor de genese van zoveel rhyoliet, ze geven hoogstens tegenstrijdige aanwijzingen. Sr-isotopenstudies laten zien dat van contaminatie met de omgevende Jura-gesteenten weinig sprake kan zijn, noch met het oudere, dieperliggende grondgebirge.

Vermeldenswaard is de gemeten evenwichtstemperatuur van Fe-Ti-oxiden, die een continue thermale variatie te zien geven: voor rhyoliet is dit 805-850 °C, voor daciet 855-955 °C en voor andesiet 955-990 °C. Dit zou op een horizontaal gelaagd magmareservoir kunnen wijzen, dat door verschillende vulkanen op onderscheiden diepten wordt aangetapt. Het separaat te voorschijn komen en het contrasterende chemisme van rhyoliet, daciet en andesiet bij de eruptie van Novarupta bevestigen dat deze drie als aparte deel magma's bestonden (de menging die de gebande puimsteen vertoont - vergelijk Afb. 2 - kan slechts het resultaat zijn van kortstondig contact in een toevoerkanaal; de banden zijn zelfs op microschaal nauwelijks gehomogeniseerd en behouden hun scherpe grenzen).

Het grootste probleem blijft: waar komt zoveel kiezelzuurrijk rhyolietmagma vandaan? Geen van de Kwartaire lava-extrusies, noch die van Trident in de periode 1953-1968, bevat een spoor van rhyoliet. Ook niet de meest nabije lavakoepels van Falling Mtn. en Mt. Cerberus, waarvan de eerste vrijwel deel uitmaakt van de caldera van Novarupta. In de hele Aleoetenketen is rhyoliet een zeldzaam gesteente. Op een of andere manier moet de vorming van 8 km³ rhyoliet van 1912 binnen de Katmai-cluster hebben plaatsgevonden.

Bovendien, indien rhyoliet en daciet uit een gemeenschappelijk intermediair moedermagma op grotere diepte gedifferentieerd zouden zijn, waar is dan de rhyodaciet van de ontbrekende

In de jaren '80 is in het Katmaidistrict veel onderzoek gedaan, in het veld met ondersteuning van helikopters. Er resteren genoeg interessante vraagstukken voor voortgaande studies, zowel in Katmai als in het laboratorium. Een tegenschot vormt het laatste nieuws (van 1995), dat verkenningsboringen ter opheldering van onopgeloste vragen, na uitgebreid overleg met de commissie die het Katmai National Park beheert, niet werden toegestaan. De kwetsbaarheid en het trage regeneratievermogen van de natuur op deze noordelijke breedten waren voor deze negatieve beslissing doorslaggevend.

Literatuur

- Curtis, G.H., 1968. The stratigraphy of the ejecta from the 1912 eruption of Mt. Katmai and Novarupta, Alaska. *Geol. Soc. of America, Memoir* 116, 153-210.
- Eichelberger, J.C. et al., 1991. The Katmai scientific drilling project, investigation of an exceptional igneous system. *Geophys. Res. Lett.*, 18, no. 8, 1513-1572.
- Griggs, R., 1922. The Valley of Ten Thousand Smokes. *Nat. Geogr. Soc., Washington*, 341 pp.
- Hildreth, W. 1987. New perspectives on the eruption of 1912 in the Valley of Ten Thousand Smokes, Alaska. *Bull. Volcanol.* 49, 680-693.
- New Scientist*, June 1995. So whose side are the angels on? 48-49.
- Papike, J. & Eichelberger, J.C., 1992. Under the volcano. *New Scientist*, 10 July, 34-37.
- Verhofstad, J. 1997. Mount Katmai (Alaska) en de "Valley of Ten Thousand Smokes". *Gea* 30, nr. 3, 77-84.

Errata

- In J. Verhofstad: Mount Katmai (Alaska) en de "Valley of Ten Thousand Smokes", sep. 1997, zijn de volgende fouten geslopen:
- Afb. 1. schaalstok: 5 km — moet zijn: 5 mijl;
p. 83 linker kolom, 10e regel: "hoogwater — moet zijn: "hoogwaterlijn";
p. 83 rechter kolom, 8e regel van onder moet luiden: "gassen, vrijkomend uit minuscule gasbellen in stollende asdeeltjes"