

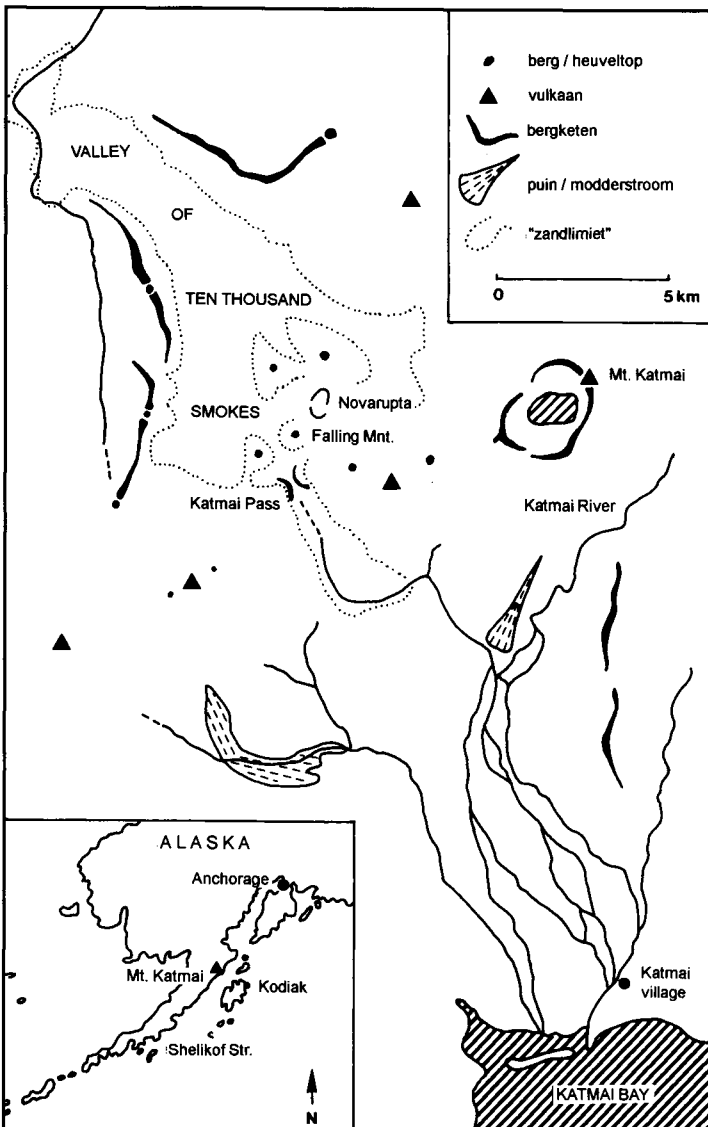
Inhoud:

Mount Katmai (Alaska) en de "Valley of Ten Thousand Smokes" 77
 GEOCOMpositie's 84, 102
 Mineralen en gassen, deel II: de rol van pyriet 85
 Fossiele algen, stromatolieten 89

Amethyst, citrien en ametrien 99
 Carbonatiet-magnetisme 104
 Op losse schijven of vissen op 't net? 107
 "Op zoek naar de aarde" op CD-ROM 109
 Boekbesprekingen 110
 Het verzamelen van zand 111

Mount Katmai (Alaska) en de "Valley of Ten Thousand Smokes"

door Jan Verhofstad



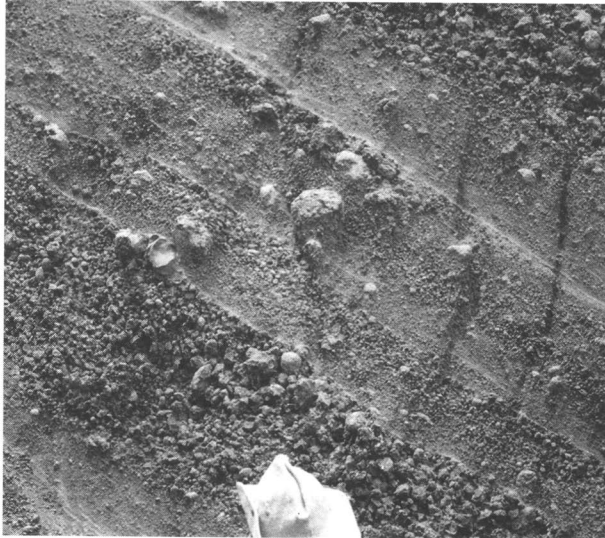
De uitbarsting van Mount Katmai in 1912

Mount Katmai bevindt zich in een van de langste vulkaan-ketens-op aarde, die zich in dit geval uitstrekt van het vasteland-van zuidwest Alaska over het hele Alaska Schiereiland en- vervolgens alle Aleoeten-eilanden omvat. Het is een smalle-keten van bijna 2500 km lengte, die 50 à 60 benoemde vulkanen draagt, met daarnaast nog vele kleinere zonder naam.

Een enkele vulkaan haalt een hoogte van even boven 3000 m. Vele hebben een perfect kegelmodel, opgebouwd met het uitgeworpen materiaal van talrijke erupties van gewoonlijk niet al te explosief karakter. De vulkaan Augustine, niet ver van Katmai en door kapitein Cook nog vermeld als van een perfecte conische vorm, verloor bij een flinke uitbarsting in 1883 zijn top en draagt nu een scheve krater met ruwe omranding. Ook Mt. Katmai heeft een dergelijke afwijkende vorm gekregen na de catastrofale uitbarsting waarover we thans berichten. Van Katmai was nauwelijks vroegere activiteit bekend.

De streek rond Katmai is uitermate afgelegen en bovendien uit het zicht door een barrière van bergen langs de kust, waardoor de meeste mensen die last hadden van de uitbarsting geen idee hadden welke vulkaan verantwoordelijk was voor de verschijnselen die op de 6e juni 1912 om 1 uur 's middags begonnen. Kapitein McMullen van de stoomboot Dora was de enige die de schuldige direct kon waarnemen, toen hij, varende in Straat Shelikof, op weg was naar de districthoofdplaats Kodiak. Hij zag een donkere rookpluim die hij, door middel van peilingen, wist te localiseren op Mt. Katmai. De rook verplaatste zich met een snelheid van 30 km/uur in de richting van het schip. Afb. 1.

Afb. 1. Locatiekaart van het berggebied rondom Mount Katmai. De hoofdketen verloopt in NO - ZW-richting midden over de kaart. Naar topografische kaarten in R.F.Griggs, 1922.



Afb. 2. Ritmische gelaagdheid in een as/slakken-vulkaan, Costa Rica. Iedere laag begint hier met fijne vulkanische as en graadeert dan via lapilli (van 2 tot 64 mm grootte) naar slakken. Elke laag representeert één uitstoot die vanuit de atmosfeer is neergedwarfeld.

Kodiak, in zuidwest Alaska, was in 1912 een plaats van 400 inwoners, gelegen aan de Pacifische zijde van Kodiak Eiland. Dit eiland wordt door Straat Shelikof van het vasteland en van het Alaska Schiereiland gescheiden. Enige aardbevingen, die vanaf de 4e juni optraden, waren in Kodiak op 150 km van Katmai niet gevoeld. Het enige voorteken was een hevig onweer, een fenomeen dat in deze streken nooit voorkomt en dus het gesprek van de dag werd. De bliksem had het radiostation getroffen, dat meteen was uitgebrand. Op de bewuste middag verspreidde zich plotseling zoveel vulkanische as over Kodiak-Eiland dat de duisternis inviel, terwijl op deze breedte in de zomer normaliter 24 uur daglicht heerst. Op Kodiak-Eiland staan geen vulkanen, de bewoners verkeerden geheel in het ongewisse van wat er aan de hand was. Een gedetailleerd relaas van die angstige dagen is te danken aan kapitein Perry van de kolenboot die in de haven van Kodiak lag. De asregen van de eerste dag was grof van korrel en vormde een grijze laag over huizen en landschap. Afb. 2. De tweede dag, na een pauze, werd de asregen fijner van korrel en vlokiger en kreeg ze een meer gele kleur, voorzover er althans in de duisternis van kleur sprake kon zijn. Zwavelige geuren waarden soms rond en lamplicht was nauwelijks op twee meter waar te nemen. Men hoorde voortdurend lawines van as in de nabije heuvels neerstorten. Deze tweede aslaag behield een terracotta kleur. Toen de derde dag de zonsopkomst niet te zien was oordeelde kapitein Perry dat de kroegen dicht moesten, waar de mannen zich maar zaten te bedrinken; hij meende dat men onder deze omstandigheden sober diende te blijven. De kapitein nam daarna een geweldig risico door 500 mensen aan boord te nemen, waar hoogstens ruimte was voor 100. Hij meerde aan op een eilandje voor de haven, het schip kon met deze belasting geen zee kiezen. Na de laatste fijne asregen klaarde de lucht op de 9e op en vanaf de 10e kon men naar Kodiak terugkeren. Er waren geen slachtoffers te betreuren, maar het stadje was een puinhoop, bedolven onder een dikke laag vulkanische as.

Nadat hij uitgevaren was om in naburige plaatsjes hulp te verlenen, slaagde kapitein Perry er pas op de 12e juni in de buitenwereld te berichten dat Mt. Katmai was uitgebarsten. "Onmogelijk", verklaarden enige kranten in de V.S. een week later, want zij vonden geen berg van die naam op hun kaarten. Eerst drie jaren later bereikte de eerste expeditie van de National Geographic Society de plek des onheils en toen raakten ook de inwoners van Kodiak eindelijk overtuigd van de ware identiteit van de uitgebarsten vulkaan die hen zoveel ellende bezorgd had. Een wanhopige brief van iemand uit een dorpje op slechts 50 km afstand van Katmai getuigt van nog erger asregens, die langer duurden dan in Kodiak. Tevens maakt de brief duidelijk, dat alleen door vallende as geen mens levend begraven zal worden. Op de heldere ochtend van de 9e juni werd van verschillende veraf gelegen plaatsen een fraaie trechtervormige wolk waargenomen, die recht omhoog rees en zich bij gebrek aan wind maar lang-

zaam verspreidde. Nog wekenlang duurden de erupties voort, maar ze werden geleidelijk zwakker.

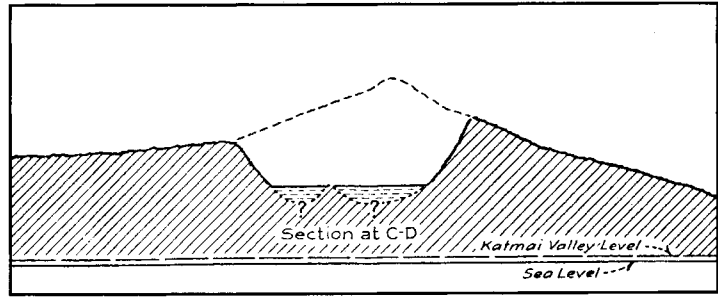
In de volgende jaren werden verslagen verzameld en mogelijke ooggetuigen gezocht in gehuchten en vissersdorpjes dicht bij de vulkaan. In Katmai-dorp waren de meeste inwoners uit vissen in de dagen voor de 6e juni 1912; zes achterblijvers waren door aardbevingen op 4 juni zo bang geworden dat ook zij het dorp hadden verlaten. Deze mensen rapporteerden dat asdeeltjes van rijstkorrelgrootte en vallend heet gesteente en puimsteen hen omringde. Ook aan de noordzijde van Katmai hadden "vuur" en vallende hete stenen de mensen uit hun berghutten verdreven naar veiliger plaatsen. Belangrijk is dat iemand gezien heeft dat de top van Mt. Katmai werd opgeblazen. Een dorpsheer moet de aanzwellende "zandlawine" gezien hebben, maar was niet in staat er een begrijpelijke beschrijving van te geven. Dit is heel jammer, daar later werd beredeneerd dat dit unieke verschijnsel nog vóór de grote uitbarsting moet hebben plaatsgevonden: een enorme vurige zandlawine is het NW gerichte dal ingestroomd, het dal dat wereldberoemdheid verwierf door haar vele "rookpluimen". Dit laatste werd de grote, totaal onverwachte ontdekking; een verschijnsel dat in die omvang nog nergens door mensen was waargenomen.

Op grotere afstand zijn vooral drie hevige explosies gehoord, die qua moment overeenkwamen met het begin van elk van de drie verschillende asregens op Kodiak. De knallen waren tot in Juneau op 1200 km te horen. Merkwaardig is dat in Kodiak niets gehoord werd of ook maar iets anders gezien dan de alles insluitende duistere mist van vulkanische as. Een soortgelijk fenomeen is van de uitbarsting van Krakatau (in 1883) gerapporteerd, waarvan de explosies op 5000 km afstand gehoord zijn; deze knallen waren in de directe nabijheid van de vulkaan niet te horen, mogelijk werd het geluid geheel gedempt door de met vaste materie bezwangerde lucht in de onderste lagen van de atmosfeer rondom de vulkaan. Onder de verdere effecten op grote afstand was ook een wijdverbreide zure regen die op plaatsen meer dan 500 km ver de plantengroei aantastte, of het messing op een stoomboot deed verkleuren, 15 minuten nadat dit gepoetst was. De dichtstbijzijnde meer bevolkte streek is het gebied rond Vancouver in Canada en Puget Sound in de staat Washington (het noordwesten van de V.S.). Een sluier van as vulde de atmosfeer rond de 10e juni. Het messing aan auto's werd door het zwavelzuur gecorrodeerd. 12 juni was de maandagse wasdag in Vancouver en vooral wit linnen dat buiten hing werd behoorlijk aangetast door zuur; bij het strijken verkrumelde het geheel.

Naarmate er meer bekend werd omtrent de omvang van de asregens en daarmee over de grootte van de uitbarsting werd het duidelijk dat dit een van de tien allergrootste erupties in historische tijd geweest moest zijn. Uit de op vele plaatsen gemeten dikte van de gevallen as een contourenkaart samengesteld, die o.a. laat zien dat de oppervlakte bedekt met minstens 60 cm vulkanische as ongeveer 6400 km² besloeg. Ter vergelijking: met Amersfoort als eruptiepoint zou een dergelijke asdikte in een kring tot voorbij Amsterdam en Arnhem gereikt hebben; terwijl tot in de uiterste hoeken van Nederland nog altijd 2,5 cm as neergekomen zou zijn. Heel Nederland zou voor drie dagen in volledige duisternis gedompeld zijn. De berekening van het totale volume uitgeworpen materiaal, inclusief de dikke zandlawine, komt op circa 15 km³. Zulke berekeningen zijn erg lastig en berusten voor afgelegen streken op schattingen.

De National Geographic Society van de V.S. belastte al spoedig professor Robert F. Griggs met de opdracht een wetenschappelijke expeditie uit te rusten om de effecten van de uitbarsting te

Afb. 3. Dwarsdoorsnede (NW - ZO) door Mount Katmai met krater en reconstructie van het oorspronkelijke profiel. Uit: Griggs, 1922.

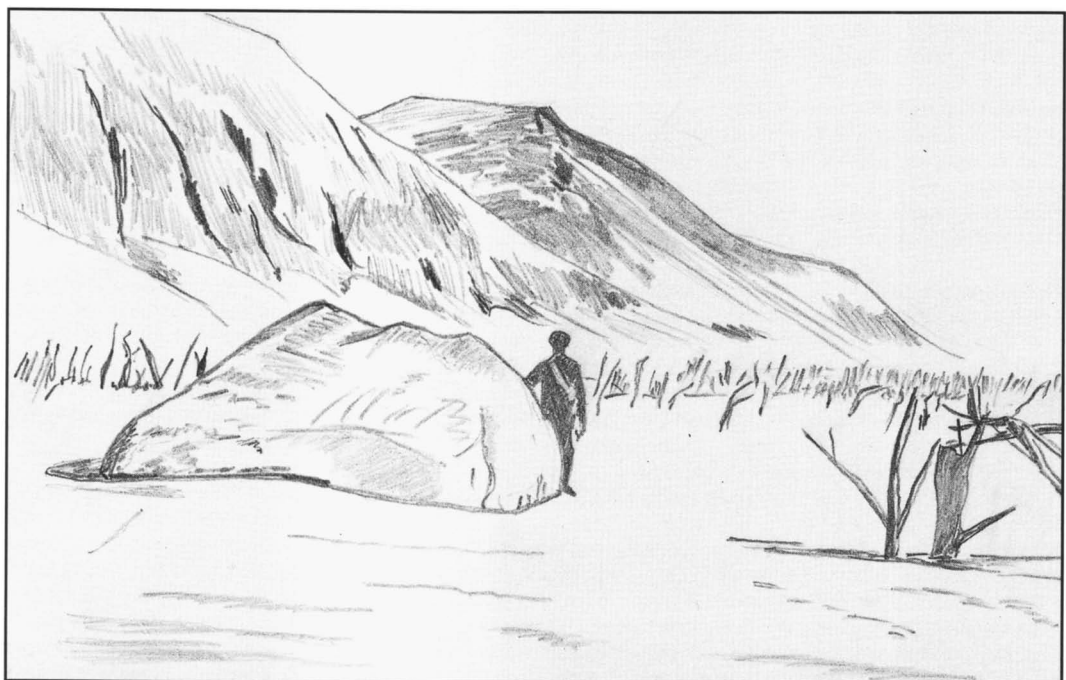


bestuderen en om te oordelen over de tijd die de vegetatie nodig zou hebben om zich te vernieuwen. De expeditie liep tenslotte uit op vijf achtereenvolgende zomers in de jaren 1915 tot 1919. Het gebied is zo afgelegen, onbewoond en ontoegankelijk, dat alle materialen, proviand en instrumenten dienden te worden aangevoerd van over zee en op locatie met mankracht verplaatst. Locale bewoners bleken niet bereid aan de expeditie deel te nemen.

De eerste zomers kwam men niet veel verder dan een verkenning van de toegang via Katmai Baai, de vestiging van voorraakkampjes en het testen van de benodigde uitrusting voor de grotere tochten die in 1917 en 1919 plaatsvonden. Onder de expeditieleden in 1919 bevonden zich de geoloog-expeditieleider Griggs, botanici, chemici, een zoöloog, een petroloog, een topograaf, een filmer en een "kleurenfotograaf", studenten, assistenten en enige dragers. 1918 stelde president Woodrow Wilson het Katmai National Monument in, teneinde een ruim gebied rondom de vulkaan te kunnen beschermen. Het bergland is erg ruw, met gletsjers, steile bergen en plateaus, met canyonachtige zowel als brede U-vormige dalen. Het werd tevoren hoogstens door berenjagers bezocht. Het vulkanisme is door vrijwel horizontaal liggende formaties van Jura-ouderdom heengebroken; deze laatste zijn voornamelijk zandsteen en schalies.

De expedities van 1915 tot 1919

Bij aankomst van Griggs en twee begeleiders in 1915 lagen de baaien en riviermondingen vol met drijvend puimsteen. Dit was op meer plaatsen jaren blijven drijven en er was niet doorheen te varen. Het brede dal van de Katmai-rivier lag tot aan de dalwanden bedekt met een zachte modder, die aan het schoeisel bleef plakken. Aslawines en afglijdingen vormden puinwaaiers van 300 m hoogte met maximale hellingshoek; op zulk scheef terrein en in het losse zand van kiezelzuurrijke deeltjes sletten de nagels van de expeditieleden snel tot op het vlees. Bomen waren geheel kaal, alleen de bodemplanten bloeiden en groeiden in de zomer van 1915 al weer door de modder heen. Een voortdurende stofmist onttrok het hogere terrein volledig aan het oog, terwijl een storm die de eerste dag opstak erg veel ongemak veroorzaakte door het scherpe opwaaiende stof. Het spoor van een beer leidde de groep naar de kop van de eerste vallei. Speciaal gevaarlijk bleken plaatsen waar resten sneeuw met een aslaag bedekt waren; na het smelten waren holen en tunnels ontstaan, terwijl het dak van as over enige afstand intact gebleven was. Eén conclusie was in elk geval dat de as dicht bij de vulkaan geheel afgekoeld op de grond was neergedaald. Ook het snel opkomende



Afb. 4. Een meer dan 100 ton boulder in het sediment van deloedgolf, die tevens alle geboomte tot op 1 m hoogte heeft vernietigd. Naar een foto in Griggs, 1922.

gras en de kruiden toonden aan dat wortelstelsels niet door een hoge temperatuur beschadigd waren. Overigens vormden de snelstromende riviertjes, verwilderd waar de dalbodem vlak is, nog de grootste handicap voor de mensen in hun pogingen om Mt. Katmai te bereiken. In 1915 klaarde de atmosfeer eerst na dagen op, zodat Mt. Katmai pas laat in zicht kwam. Maar toen dit eindelijk lukte bleek het aanzien van de vulkaan totaal veranderd. Afb. 3. De driepiekige top van vroeger, die een hoogte bezat van 2300 m, was geheel verdwenen en een enorme krater gaapte op 1500 m; het hoogste punt van de ongelijke kraterrand kwam tot 2100 m. Ofschoon verschillende nieuwbenoemde vulkanen in de omgeving tijdens de jaren van de expedities steeds stoom zijn blijven afgeven, was de top van geen van deze zo gehavend als die van Katmai. Het was duidelijk dat de vreselijke gebeurtenissen van 1912 de omringende vulkanen nauwelijks beroerd hadden. Geen van de naburige had blijkbaar ooit zo'n uitbarsting ondergaan. Voorts bleken de omringende vulkanen in hoofdzaak uit lava's opgebouwd, meest van basische andesiet of basalt. As- en slakkenerupties leken weinig aan hun bouw te hebben bijgedragen, zeker niet zulke met een zo hoog kiezelzuurgehalte als de zure rhyolieten van Katmai. Wel werd een oudere lavastroom, afkomstig van Katmai, herkend, die op een door gletsjers geschuurd oppervlak was uitgestroomd: Katmai is dus in Pleistocene tijd ooit wel actief geweest.

Een uiterst dynamisch landschap

Vulkanische verschijnselen waren bepaald niet de enige bijzonderheden waarop men stuitte. Erosiefenomenen, welbekend van soortgelijke terreinen elders, kwamen hier vooral in ongewone gedaante of afmetingen voor. Grote verplaatsingen van los materiaal zijn een algemeen verschijnsel in berggebieden met huidige



Afb. 5. Aan de rand van de extreem steile Katmai-krater. Naar een foto in Griggs, 1922.

of vroegere gletsjers. Met de toevoeging van die enorme hoeveelheden as en vulkanische brokken was dit hier natuurlijk nog sterker het geval en het leek of het totale oppervlak voortdurend in beweging was. Puinstromen varieerden van modder- tot blokkenstromen. Het puingehalte grof en fijn is daarbij vaak groter dan de hoeveelheid water, het soortelijk gewicht van de stroom is verhoogd, waardoor ze in staat is grote boulders mee te sleuren. Toch blijft het een fluïde brei of een stroom, die respectievelijk langzaam, dan wel snel de reeds bestaande dalen volgt en op vlak terrein een keer tot stilstand komt. Waarna het water eruit verdwijnt en de riviertjes ergens, vaak zijwaarts, een nieuwe loop insnijden.

Aan het hoofdeinde van Katmai-dal en aan de voet van de vulkaan bleek zich een lange canyon te bevinden, waardoorheen een modderlawine was uitgevloeid. Enorme steenmassa's waren over de aslagen uitgestort; het oppervlak stond bol en het front was steil, gelijk een gletsjer maar dan van een bruine kleur. In 1915 werd Katmai van de zuidoost-zijde benaderd. Langs de modderstroom worstelde de expeditie zich over rivierbeddingen waar alle boompjes en struikgewas kort boven de grond waren afgerukt, als het ware afgeschoren. Afb. 4. Groepen jonge bomen waren stroomafwaarts omgebogen. Beide effecten waren duidelijk niet het gevolg van as- of stenenregens die, naar de ervaring inmiddels had geleerd, altijd vrij rustig sedimenteerden, daarbij de bomen ontbladerend en een kale stam achterlatend. Men begon zich te realiseren dat een desastreuze vloedgolf gepasseerd moest zijn, beladen met keien en grind. Boulders van over de 100 ton trof men langs het pad van de vloedgolf, die niet alleen een enorme transportkracht had, maar die in 1916 nog maar kort tevoren had plaatsgevonden! Men voelde het gevaar dat het ook tijdens de expeditie had kunnen gebeuren. Eerst toen de lange canyon overwonnen was, kwam de verklaring in zicht: een deel van een dalwand was onderuit gezakt en doorgestoten naar de tegenoverliggende wand; de ontwatering van het dal werd door een dam van puin geblokkeerd. Het gestuwde regen- en gletsjerwater was door dit losse puin heengesiepeld en had langzaam maar zeker de dam zó verzwaakt, dat het stuwmeer zich in één keer moet hebben leeggestort. Daarbij ruimde het de blokkade tot op de dalbodem op, maar liet zijwaarts loodrechte wanden van nog altijd nastortend puin achter als getuigen van de doorbraak. Benedenstreams, in de grote rivierlakte voor de monding van Katmai-Baai, zorgde de vloedgolf voor een ophoging van de 10 km brede vlakte, waar moeilijk passeerbare rivieren en velden van drijfzand zich uitstrekten. Katmai-dorp was gelukkig al in 1912 verlaten, de houten Russisch-orthodoxe kerk was met grond en al afgedreven en stond intact op een modderbank. Een vloedlijn gaf aan hoe hoog het water gereikt had.

In 1917 nam men een meer westelijke route omhoog, waar een blokkenstroom werd aangetroffen van zulke spectaculaire afmetingen, dat hij zich qua massa goed laat vergelijken met de grootste *landslides* ter wereld. Het allergrootste meegesleurde blok meet 1500 m³. Toch moet de verplaatsing, mogelijk alleen bovenop de stroom, niet al te onrustig verlopen zijn, want sommige blokken droegen een ongestoorde vegetatie bovenop na een transport van circa 3 km. Ongewoon ook waren kegelvormige heuveltjes uit losse brokstukken van eenzelfde gesteente; waarschijnlijk waren dit rotsblokken die bij zware botsingen tijdens transport geheel opgebroken waren. Bij het tot rust komen van de puinstroom zijn ze tot een symmetrische kegel uiteengevallen. De conclusie was, dat er binnenin deze *landslide* waarschijnlijk weinig dooreenwoeling was, maar dat er zeer grote krachten door blokken op elkaar werden uitgeoefend, geduwd als ze werden door de totale massa van de stroom.

In één van de vrij hoog gelegen kampjes was nachtrust vrijwel onmogelijk, daar elke vijf minuten het rommelende geluid van nieuwe steenlawines gehoord werd. Met zoveel los materiaal, in één keer op het landschap afgezet, is het geen wonder dat het landoppervlak aan versterkte erosie blootstond en overal grote instabiliteit vertoonde. Afspoeling van as en puimsteen, waardoor wankele grote stenen komen bloot te liggen, stortbeken en riviertjes die voortdurend hun loop verleggen, afbrokkelende oevers, puin dat verzadigd met regenwater uit zichzelf weer opnieuw gaat schuiven, begraven sneeuw die wegsmeelt en bovenliggende aslagen doet instorten: alles bijeen een werkelijk dynamisch landschap! Een dynamiek die enorme gevaren en risico's voor zulke eerste expedities met zich meebracht.

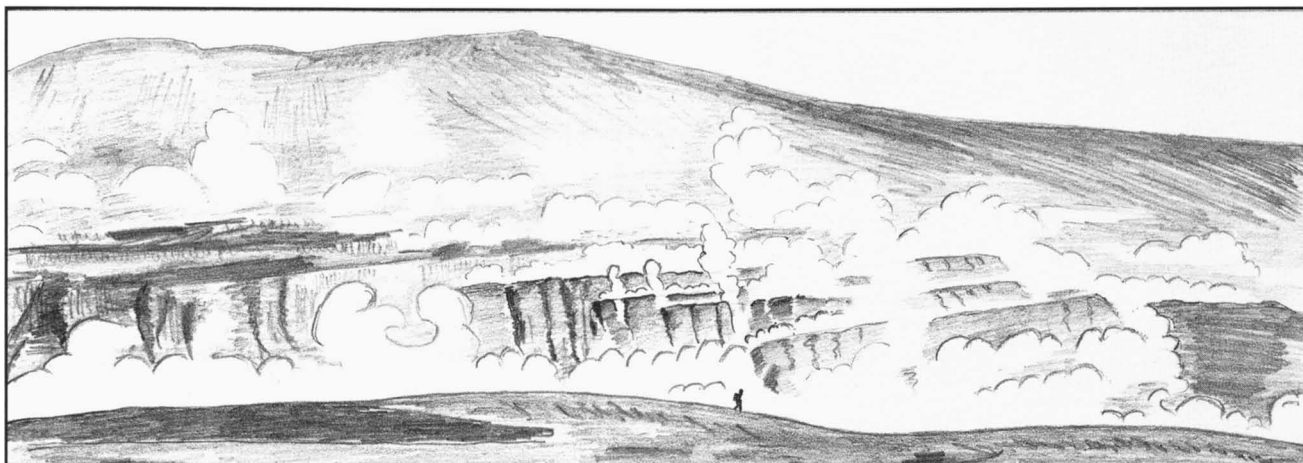
Op alle tochten werd overal de dikte van de gevallen as gemeten. Hoe dichter bij Katmai des te dikker werd het asdek; ook werd de as iets grover van korrel en konden er steeds meer laagjes onderscheiden worden. Drie hoofdstrata, een bruine tussen twee grijze, net als in Kodiak, bleven ten zuidoosten van Katmai overal herkenbaar. Zie afb. 2. Vanaf Katmai-dal was ook een vierde, bovenste laag van gelige kleur steeds beter ontwikkeld. Waarschijnlijk was deze het gevolg van een laatste uitbarsting, zwakker dan de voorafgaande.

Wat betreft de regeneratie van de plantengroei kwam men tot de overtuiging dat vooral de oude begraven planten zich verjongden met nieuwe scheuten. Nieuw inwaaierende zaden kregen niet overal een goede kans door de beweeglijkheid van de grond en door gebrek aan voedsel in de steriele puimsteen. Pas vanaf het vierde jaar na de calamiteit zette de begroeiing weer goed in. De sterke wind die in deze streken veel heerst zal bijgedragen hebben aan een continue aanvoer van zaden van ver weg. Op een glad asoppervlak kregen zaden echter weinig houvast, alleen de sporen van een beer waren begroeid met geïsoleerde pollen gras. De beste pionierplant bleek lupine te zijn.

Katmai-krater

De hellingen van vulkanen zijn meestal niet bijzonder steil, de klim naar de krater van Mt. Katmai was alleen erg lang. De modderige vulkanische as, die overal elders op enige hoogte gewoonlijk droog en hard werd, was hier weer helemaal zacht en plakkerig, wat de voortgang sterk bemoeilijkte. Het was een heldere dag, alleen boven de krater hingen nevels, waarschijnlijk door activiteit in de krater zelf.

Eén opzet van de expeditie werd eindelijk bereikt toen de krater-rand op 1500 m betreden werd. Afb. 5. Deze was aan de binnenkant gevaarlijk steil. Het was een krater van ongelooftelijke afmetingen en vooral van grote diepte; een stomend, melkig blauw kratermeer bevond zich ruim 500 m onder dit punt. In het midden lag een hoefijzervormig eilandje, de top van een kleine slakkenkegel, gevormd bij de laatste stuiprekkings van de eruptie. Stoom siste uit spleten rondom het meer, hogerop vormde deze een nevel alsmede de wolken die boven de krater hingen. Aan de



Afb. 6. Stomende parallelle spleten bij Novarupta (met verticale drainagegeultjes). Persoon in midden voorgrond voor grootteverhoudingen. Naar een foto in Griggs, 1922.

tegenovergestelde wand, die wel tot 1100 m boven het meer reikte, ontwaarde men gele plekken van zwavel. Enkele gletsjers waren duidelijk onthoofd, de afgebroken kant strekte zich kilometers langs de kraterrand uit. Het overgebleven deel van de gletsjers maakte niet de indruk veel hinder van de uitbarsting gehad te hebben, mogelijk doordat de eruptie in hoofdzaak omhoog gericht was geweest.

De messcherpte van de kraterrand werd veroorzaakt door talloze verticale afschuivingen aan de binnenkant, recht onder de bezoekers. Ze werden gescheiden door openstaande spleten evenwijdig aan de wand. De nieuwe as lag nog in keurige laagjes in de wanden herkenbaar, nu echter 15 meter dik in totaal, drie keer zo dik als aan de voet van Katmai. De as was, vreemd genoeg, weinig grover dan beneden. De diameter van de krater is 4,8 km, die van het meer 1,8 km. Het is op papier niet moeilijk om uit de topografie van de vulkaan de hellingen te reconstrueren naar de positie van de oorspronkelijke top (2300 m). Zie afb. 3. Dan kan berekend worden hoeveel er van deze berg verdwenen is, namelijk 8,5 km³. Een klein deel hiervan zal door afglijdingen (*slumping*) in het kratermeer zijn terechtgekomen; de diepte van het meer is niet bekend. Aangezien de totale hoeveelheid uitgeworpen materiaal eerder was geschat op 15 km³, kunnen we stellen dat het nieuw omhooggebrachte magma in hoeveelheid ongeveer gelijk was aan de massa van de weggeblazen top van Katmai. Dit over de hoeveelheden materiaal. Wanneer u dan bedenkt dat dit vloeibare magma bij de explosie tot kleine druppeltjes is uiteengespat, de druppels immers die in de lucht tot askorrels stonden, dan kunt u zich misschien een voorstelling maken van de hoeveelheid gas die uit het magma ontsnapt is en van de krachten die dit gas heeft bij de uitbarsting uitgeoefend heeft.

Het Dal van de Tienduizend Rookpluimen

De keten van grote vulkanen zet zich vanaf Mt. Katmai in zuidwestelijke richting voort; nog drie andere vulkanen bevinden zich binnen het geplande expeditiegebied. Uit alle drie steeg gedurende de jaren van onderzoek onveranderlijk stoom op, uit de een meer dan de ander. Tussen de eerste en tweede bevindt zich op 760 m hoogte Katmai-pas, op de aangewezen route naar de noordzijde van de keten. In het begin was een verkenning noordwaarts nog lang niet aan de orde. Wel was het opgefallen, dat zich achter Katmai-pas ook een bron van stoom moest bevinden. In 1916, op een heldere dag, maar in de verwachting van spoedige weersverslechtering, was Griggs met twee man op weg naar de pas. Eén werd onderweg misselijk en bleef met de rugzakken zitten, de beide anderen zetten hun route voort om even de noordzijde te inspecteren en de zoveelste stomende top te localiseren. Net toen Griggs wilde voorstellen het voor gezien te houden zag hij wat stoom ontsnappen uit een minivulkaantje precies

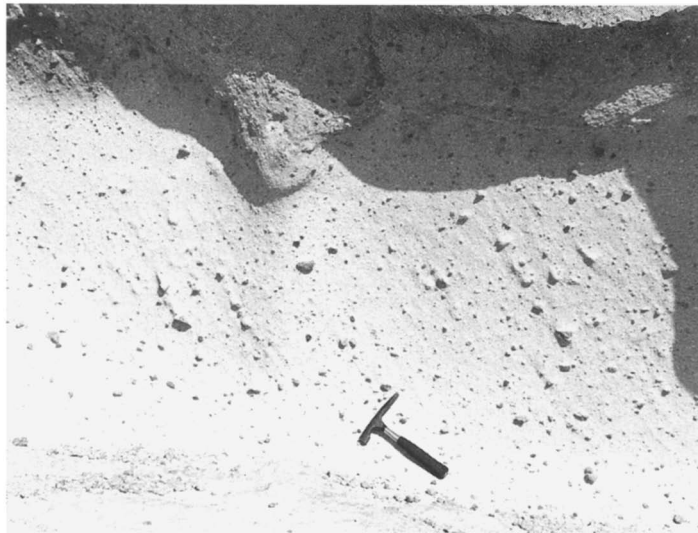
op de pas. De afwezigheid van secundaire activiteit, zoals warme bronnen, fumarolen en moddervulkaantjes was de expeditieleden al in het hele gebied opgefallen. Bij het bereiken van de pas bleek de bodem doorsneden door spleten waaruit een tiental fumarolen (stoomspuiters) ontsprongen. De eigenlijke openingen van waaruit de stoom met brommend geluid omhoog schoot waren minder dan een decimeter groot. Je kon heerlijk je handen warmen hoger in de damp. Zwavel en zwavelwaterstofgas gaven de stoom een rottende geur en een gekleurde korst had zich rond de openingen gevormd.

Nog even keek Griggs langs een heuveltje op de pashoogte voordat ze nodig terug moesten. En wat ze toen zagen was nog nooit door een mensenoog aanschouwd. Zover de blik reikte was het noordwestelijke dal gevuld met honderden, nee duizenden - letterlijk dus tienduizenden - rookkolommen, die uit de gebarsten bodem opstegen. Afb. 6. De vallei was tot 20 km ver te volgen voordat deze naar rechts uit het zicht boog achter een blauwe berg en tot aan het zichtbare einde bleef de situatie hetzelfde. Zeker duizend kolommen reikten tot meer dan 200 meter hoog. Sommige stonden fraai op een rij, ontsnappend uit een gemeenschappelijke spleet; andere stonden apart. De grootste was op 5 km afstand duidelijk zichtbaar temidden van een nest van kleinere spuiters. Getuige de kleurige korsten zonder stoom waren er al vele uitgedoofd. Over de naamgeving van de vallei was iedereen het onmiddellijk eens. De grond was vaak heet, ook op plaatsen waar geen stoom opsteeg. De geuren waren ook niet mis, behalve zwavelwaterstof hing er een geur van organische rotting. Men paste op boven de wind te blijven, maar van giftige gassen bleek geen sprake. De geoloog Griggs meende allereerst dat de vallei misschien een ondiepe zetel van magma herbergde, maar realiseerde zich tevens dat de richting van de vallei dwars staat op de algemene ondergrondse toevoergangen. Deze laatste zijn met de vulkanen, juist in een NO-ZW richting geordend.

Novarupta

Het lukte in 1916 niet meer om nog een keer terug te komen naar de vallei. In 1917 waren weer eerst weken vereist om de nodige voorraad in de kampjes te krijgen, vóór een geconcentreerde aanpak met meer personeel ondernomen kon worden. De grote angst van Griggs was dat alles na een jaar zou zijn uitgedoofd, maar dit werd absoluut niet bewaarheid. De situatie en de aanblik van de vallei waren onveranderd. Er was hier geen brandhout te vinden, maar eten koken op een niet te grote fumarole ging uitstekend.

Er waren in 1919 nog veel observaties en metingen te doen om de geologische raadsels ooit tot een oplossing te brengen. De activiteit van de fumarolen werd niet beïnvloed door dagelijkse, noch door seizoensvariëaties in regenval of gletsjerwater. In het droge voorjaar (1 juni was de vroegste datum van aankomst in al die jaren) zagen ze er precies zo uit als in de late zomer, wanneer veel smeltwater beschikbaar is. Veel rivierwater verdween door infiltratie en verdamping, maar een zichtbare toename van de



Afb. 7. In een ignimbrietuff is geen gelaagdheid te bekennen. De snel bewegende gloedwolk heeft zijn hele lading aan gesteentebrokken, puimsteen en nog vloeibare asdeeltjes vrij plotseling afgezet. De tuffen in de Valley of Ten Thousand Smokes zullen een soortgelijk structuurloos uiterlijk vertonen als deze uit West-Turkije.

fumarolenactiviteit werd er niet door veroorzaakt. De hoeveelheid stoom en gasen kon geheel als juveniel (uit de aardkorst) beschouwd worden, onafhankelijk van meteorisch water (uit de atmosfeer). Wel werden in 1919 lagere temperaturen in de fumarolen gemeten, terwijl sommige verdwenen waren of veranderd in warme bronnen. Toch waren er die meer dan 400 °C aanwezig op de meetapparatuur en die zink konden doen smelten; de heetste was 645 °C, overigens een kleine met een opening van slechts 5 cm.

De vallei zelf bestaat niet uit vulkanisch gesteente, in de wanden komen Jurassische zandsteen en schalies aan de dag. De spleten langs de randen van het dal treden op in groepen en evenwijdig aan elkaar; die in het midden lopen in alle richtingen. De as, die over de hele vallei gevallen was, overbrugde soms flinke spleten en kon daar mensen dragen. De chemische bestanddelen, die anders aan het oppervlak de gekleurde korsten vormden, hadden in zulk een tunnel de asdeeltjes verkit. Alleen na regen stortte het dak wel eens in, de opening werd dan direct weer een fumarole. Een andere gedaante of andere aantallen rookkolommen was geen teken van verminderende activiteit, maar steeds slechts een verplaatsing van ontsnappingspunten van de in de ondergrond alom tegenwoordige gasen en waterdamp. Op enkele plaatsen in de vallei komen een soort explosiekraters voor, met vlakke bodem en verhoogde rand, niet meer dan een kilometer lang. Soms staan deze op een rij, hier en daar elkaar rakend of overlappend. Blijkbaar staan ook deze minivulkanen op een ondergrondse spleet. Hete bronnen of hete opborrelende modderpoelen zijn nauwelijks gevonden, waarschijnlijk vanwege de hoge temperatuur van de stoom. Eén plek hoog in de vallei, dus niet ver van Katmai-pas, was heel bijzonder door een lava-koepel van 250 m diameter, binnen een kraterrand van 1,25 km. Deze nieuwe vulkaan kreeg onder de naam **Novarupta** wereldbekendheid. Toentertijd was het een stomende koepel (dome) van 70 m hoogte, met lavabrokken van lichtgrijze rhyoliet, vol met minuscule gasbelletjes. Insluitsels in de lava zijn van basische andesiet (immers de gemelde samenstelling van alle omringende vulkanen!) en van de sedimentaire gesteenten uit de buurt. Deze kleine krater is de presentatie van het allerlaatste magma dat hier werd opgeperst, terwijl de kraterrand bestaat uit het losse materiaal dat nog in de explosieve fase werd uitgeworpen. De rhyoliet vertoont een sterke gebandheid, waarbij de insluitels in aparte banden geconcentreerd zijn, die banden concentrisch met de omtrek van de koepel verlopen. De blokken lava moeten nog na het breken plastisch geweest zijn, daar de rhyolietlaagjes iets uitgestulpt zijn t.o.v. de lagen met insluitels. Dit is dus blijkbaar de enige lava die men van deze eruptie heeft leren kennen. Naast Novarupta staat een flinke heuvel die men **Falling Mountain** doopte. Deze was de oorsprong van frequente steenlawines. Een hol litteken aan de naar Novarupta toegekeerde zijde is ontstaan door een grote *landslide*. Vreemd was echter dat van deze

steenstorting het gevallen puin beneden ontbrak. Integendeel, juist op de plaats waar deze puinaccumulatie te verwachten zou zijn, bevindt zich de nieuwe krater. Het puin was klaarblijkelijk ouder dan de eruptieproducten van Novarupta en mogelijk werd het bij de eruptie meegevoerd de lucht in.

Chemisme van de fumarolen

Er viel voor de chemici veel interessants te ruiken in de vallei, maar meestal was identificatie pas mogelijk vlakbij de fumarolen. Onder de uitgestoten gasen werden chloorwaterstof (HCl) en zwaveldioxide (SO₂) vastgesteld, tezamen met de eerder geconstateerde zwavelwaterstof (H₂S) en waterdamp. Voorlopige analyses leverden ook CO₂, NO₂, HF, soms moerasgas (CH₄), heel weinig was er van O₂, CO, argon en ammoniakgas (NH₃). Uit het laatste, samen met HCl, condenseert pure salmiak, dat als een witte korst op de grond lag. Ondanks variaties bleef dit beeld van het chemisme geldig voor de gehele valleibodem; hetzelfde gold voor de temperatuursvariaties. Dit in tegenstelling tot een centrale vulkaan of een kleine krater, waarin gewoonlijk allerlei activiteit vermindert van het centrum naar de periferie. Griggs voelde zich in zijn opvatting gesterkt dat in de directe ondergrond een uitgebreid magmareservoir aanwezig was.

Een flink percentage fluor was wel lastig voor de apparatuur waarmee de gasen verzameld werden. Zwavel zet zich als korsten of in barsten af, soms in fraai naaldvormige kristalletjes. Arseen was er in associatie met zwavel als "King's yellow" (As₂O₃) en een enkele keer als rode realgar (As₂S₂). Korund (Al₂O₃) zat in kleine kristalletjes in de korsten; het grootste aandeel in de bodemkorsten had (K)-aluin (waterhoudend K-Al-sulfaat). IJzer was natuurlijk overal aanwezig en dit zorgde voor de mooiste kleuren. Pyriet (FeS₂), hematiet (Fe₂O₃ "Venetian red") en gesublimeerd Fe₃O₄ werden hier en daar aangetroffen. Zeer raadselachtig leek de associatie met methaan en organische verbindingen zoals deze in petroleum voorkomen. Dichtbij Novarupta, speciaal samen met salmiakkosten, werd een soort koolteer of wat daar op leek gevonden, waarin aromatische koolwaterstoffen konden worden aangetoond. De herkomst hiervan bleef een speculatie, want ze zouden ook uit de naburige Jurassische zandsteenformaties gefiltreerd kunnen zijn. Niet alleen de overkorstingen bezaten rijke kleurschakeringen, maar ook de modder in het overige veld, waar stoom immers alom doordrong, had allerlei fraaie tinten, van blauw (ijzersulfide) tot rood (ijzeroxide) tot okerkleurig. Om het kleurspectrum helemaal volledig te maken was er op veel plaatsen het groen van algen groei.

De "gloeiende zandlawine" in de Valley of 10.000 Smokes

Min of meer ter ere van de ontdekkingsreizigers uit het begin van de eeuw, i.c. Griggs c.s., hebben we de term "gloeiende zandlawine" gehandhaafd. Afb. 7. Het zal blijken dat de beschrijving hiervan overeenkomt met wat enige decennia later tot "ignimbriet" werd bestempeld. Deze nieuwe benaming en een geheel nieuwe interpretatie van oudere vulkanische formaties van grote afmetingen, zoals van vele plaatsen op aarde reeds lang bekend, kwam eerst na 1930 tot stand. De geologische wereld begon zich toen namelijk de bijzondere wijze van uitbarsten van zo'n ignimbriet te realiseren en daaraan heeft voortgaande studie van onze Valley zeer veel bijgedragen. In het volgende zullen we de termen zand/aslawine en zand/asstroom door elkaar gebruiken en de afzetting zonder meer als "tuf" aanduiden.

Afb. 8. Het egale oppervlak van de "gloeïende zandstroom", met een steile oever naar de rivier die rechts het beeld verlaat. De tuf is van de voorgrond weggespoeld door erosie, die daarbij veel verkoalde boomstammen heeft blootgelegd. Het bos links bleef onberoerd door de passerende zandstroom. Naar foto's in Griggs, 1922.



Het nieuwgevormde bodemoppervlak van de vallei is extreem vlak, als je de spleten met fumarolen weet te vermijden zou je er kilometers kunnen fietsen. De dikte van de tuf wordt in het midden op minstens 150 meter geschat, maar nog nergens is een rivierloop tot op de oorspronkelijke dalbodem ingesneden. De oppervlakte van de tuf is berekend op 127 km²; de massa, bij een gemiddelde dikte van 30 m, op 4 à 5 km³. De afzetting is erg fijnkorrelig, maar er zitten talrijke stukjes grovere puimsteen in. Er is geen gelaagdheid te bekennen. Op 60 tot 100 m boven het tufoppervlak is in de wanden een "hoogwater te vervolgen, die de grijze, asbedekte hellingen scheidt van de chocoladebruine tuf. De expeditie noemde deze lijn de "zandlimiet". Blijkbaar heeft de lawine op volle sterkte tot dit niveau gereikt, maar is ze na uitstroming en tot rust komen ingezakt. De vele rekspleten getuigen ook van een aanzienlijke krimp in de massa. Er bestaan allerlei aanwijzingen, dat de tuf is gedeponneerd vóór de alles overdekkende, gelaagde as van Mt. Katmai; één van deze aanwijzingen is de waarneembare afzettingsvolgorde.

De wijze van depositie van de tuf kon nog het beste afgelezen worden in de nabijheid van het ondereinde van de stroom. Afb. 8. Resten bos stonden daar intact naast een veld met verkooldestompjes, waar ter plaatse de tuf door erosie was weggespoeld. De lawine moet zich als een dikke vloeistof met scherpe begrenzingen hebben voortbewogen. Op deze vrij laag gelegen plek was de stroom niet meer dan enkele meters dik; de lawine heeft bomen overreden, verbogen en verbrand, terwijl bomen direct naast de stroom ongemoeid zijn gelaten. De massa is vrij en gemakkelijk rond of over obstakels als morenewallen gevloeid, terwijl het brute geweld van de eerder beschreven vloedgolf of puinstromen hier totaal afwezig was. Alle bomen die de lawine overspoelde zijn veranderd in houtskool. Daarentegen moet de hitte van de zandlawine hogerop, rondom het hoofd van de vallei, veel intenser zijn geweest: daar werden geen resten van bosjes of bomen gevonden, aan verkoalde wortelstelsels kon men zien waar en wat voor vegetatie er vóór de uitbarsting stond. De zandlimiet was rond de oorsprong van de vallei alom continu aanwezig, wat tevens aangaf dat de eruptiepunten zich volledig begraven onder de tuf moeten bevinden. Het bleek niet mogelijk eruptiepunten aan te wijzen, het kunnen er vele geweest zijn.

Alle waarnemingen leidden tot de conclusie dat de uitbarsting van de aslawine van een tot dan onbekend type was. Ze was in geen opzicht te vergelijken met lavavulkanen, noch met as/slakkenvulkanen, waarvan Mt. Katmai in de begeleidende eruptie een voorbeeld was. De meeste overeenkomst bestond nog met de "gloedwolk" (*nuée ardente*) van Montagne Pelée, die in 1902 in één klap de stad St. Pierre op Martinique verwoestte. De hoeveelheid uitgeworpen materiaal over dit Caraïbische eiland stelde echter niets voor vergeleken met de afgezette vulkanische massa in de Valley. Voorts is merkwaardig dat de massale extrusie van de as-

lawine de druk nog niet volledig van de magmaketel had afgenomen. Integendeel, de direct er op volgende eruptie van Katmai werd er niet door voorkomen, mogelijk echter wel door ingeleid. Qua gesteentesamenstelling komen beide erupties geheel overeen. Als we dan constateren dat de aslawine uit minstens zo fijne deeltjes bestaat als de as van Katmai, dan veronderstellen we een vergelijkbare hoeveelheid en idem kracht van de gasfase in beide. En toch, de as van Katmai rees zo hoog de atmosfeer in, dat ze over de hele aarde verspreid kon worden, terwijl de as van de Valley niet boven de zandlimiet getild werd. De uitbarsting rond Novarupta was absoluut uniek!

Conclusie: de aard van de aslawine

Bij afwezigheid van getuigenissen van de uitbarsting in de Valley of Ten Thousand Smokes waagt Griggs zich aan een reconstructie en volgorde van de gebeurtenissen op basis van de bevindingen van de expeditie. Volledigheidshalve zullen we hem enigszins aanvullen met modernere inzichten. De nogal afwijkende resultaten van nieuwe onderzoeken ter plaatse zullen echter voorlopig onbesproken blijven.

Mogelijk ten gevolge van een hevige aardschok is als eerste een grote *landslide* van Falling Mountain, tegenover Novarupta, omlaaggekomen. Hierna moet de eruptie rondom (en uit?) Novarupta vanuit een veelheid van spleten in volle hevigheid op gang zijn gekomen. Uit de studie van vergelijkbare tufafzettingen en van de schaarse soortgelijke, maar veel kleinere uitbarstingen, zoals die sindsdien elders herkend zijn, kunnen we aannemen dat een zwaarbeladen wolk van gloeiende asdeeltjes, puimsteen en gesteentebrokken, alle gesuspendeerd in de hete gassen, omhoogwilde; laag over de grond spoelde deze wolk het noordwestelijke dal in. De suspensie is te vergelijken met een beweeglijke schuimige massa, als van overkokende melk. Gedreven door de zwaartekracht liep deze wolk uit tot 24 km in het dal, voor ze geheel tot stilstand kwam. Een enorme, veel luchtiger wolk van gassen en as rees uit de gloeiende wolk over zijn volle lengte omhoog en verspreidde zich in de atmosfeer. De hitte bleef in de suspensie nog lang bewaard, waardoor de half vloeibare en plastische asdeeltjes aaneensmolten en stolden tot een min of meer samenhangende massa. Het inzakken van de wolk was toen al begonnen. Grote hoeveelheden gassen ontsnapten via krimp-scheuren naar de atmosfeer en nog heel lang bleven stoom en gassen, vrijkomend uit minuscule gas en in stollende asdeeltjes en puimsteen, de fumarolen voeden.

In tegenstelling tot Griggs' idee van een magmareservoir onder de vallei, kwamen alle verschijnselen voort uit de vurige wolk die in één keer in de vallei gedumpt werd. Daar waar ijs, sneeuw of een meer door de gloedwolk overreden werden, werd het water plotseling tot koken verhit en ontstonden met explosief geweld kleine kraters in de stroom.

Mount Katmai moet intussen nog enige dagen rustig gebleven zijn, maar het is duidelijk dat het magma daar voorbereid was voor de grote klappen. Toch openbaarden zich die op een totaal andere wijze, namelijk zoals normale asvulkanen dat plegen te doen. Hoe nu de relatie tussen beide gebeurtenissen in elkaar steekt bleef na deze expedities nog geheel onduidelijk. Net zo onbekend als alle "voorbereidingen" in die geheimzinnige en voor ons ontoegankelijke magmakamer beneden, waar het langzame verloop van afkoeling en van andere fysische en chemische processen nog slechts in algemene trekken door petrologen verklaard zijn.

De attractieve fumarolen in de Valley of Ten Thousand Smokes waren omstreeks 1930 vrijwel uitgedoofd. De voorspelling van een tweede Yellowstone Park werd niet bewaarheid. Theorieën over dit nieuwe vulkanische product, de ignimbriet, gloedwolk- of aslawine-afzetting, werden eerst later ontwikkeld en daarna over de hele wereld getoetst. In toekomstige artikelen zal nader worden ingegaan op jongere onderzoekingen in het Katmai National Monument en het begrip ignimbriet zal daarbij uitgebreid aan de orde komen.

Literatuur

Griggs, Robert F., 1922. The Valley of Ten Thousand Smokes. The National Geographic Society, Washington, 341 pp.

GEOCOMpositie 3

Ediacara-fauna in Ierland anders dan elders

De Ediacara-fauna (zo genoemd naar de Ediacara Hills in Australië) is een van de oudste leefgemeenschappen die fossiel zijn teruggevonden. De fauna dateert uit het late Precambrium en bestaat uit een aantal nog niet goed begrepen diergroepen zonder harde schaal of skelet. De fauna, die inmiddels van tal van plaatsen in de wereld bekend is, leefde kennelijk op een zandige, ondiepe zeebodem. Bij de overgang van het Precambrium naar het Cambrium stierven de taxa van deze fauna uit, naar werd aangenomen. Zowel het leefmilieu als het uitsterven is echter twijfelachtig geworden na publicatie van de gegevens over een nieuwe vindplaats van deze fauna in Ierland.

De vindplaats in Ierland (county Wexford) bestaat uit een gesteentepakket dat zo'n 510 miljoen jaar geleden (dus op de grens van het Cambrium en het Ordovicium!) werd opgebouwd door troebelingsstromen. Dat zijn turbulente massa's water waarin een relatief grote hoeveelheid zand en slib is opgenomen, en die door hun relatief hoge gewicht van een helling (bijv. de helling van het continentaal plat of de helling voor een aflopende kust) omlaagstromen. Zulke troebelingsstromen ontstaan onder meer wanneer op een helling zoveel sediment wordt afgezet (bijv. aangevoerd door een rivier) dat die helling met waterverzadigd sediment een kritische waarde overschrijdt (minder dan een halve graad!) en gaat 'schuiven'. Door vermenging met het omringende water kan dan een troebelingsstroom ontstaan, die pas weer tot rust komt als de bodem zo vlak wordt dat de wrijving met bodem en omringend water te groot wordt voor verdere voortgang. Het meegevoerde zand en het slib bezinken dan uit de suspensie en vormen een naar boven fijnkorreliger wordende laag (turbidiet). De in Wexford aangetroffen turbidieten moeten zijn afgezet in diep water. De vraag blijft daarbij nog of de gevonden fossielen ook in dat diepe water hebben geleefd (en daar bedekt zijn door de opeenvolgende turbidieten) of dat ze zijn meegevoerd vanaf de ondiepere bodem waar de troebelingsstroom mogelijk begon. Dat laatste lijkt onwaarschijnlijk: de Ediacara-fauna bestaat vooral uit kwalachtige dieren (maar waarschijnlijk niet verwant aan de recente kwallen!) en zeeveren (ylum Cnidaria). Het ligt niet direct voor de hand dat deze schaallose dieren een transport per troebelingsstroom ongeschonden zouden overleven.

Toch zijn er twijfels, gezien de wijze waarop de kwalachtigen van Wexford zijn gefossiliseerd: net als de 'kwallen' van andere Ediacara-fauna's vertonen ze vrijwel altijd de typische halfbolle vorm van veel recente kwallen, en zijn ze zelden sterk afgeplat (wat bij fossielen vaak het geval is doordat vocht wordt uitgerst

en zacht weefsel samengedrukt onder invloed van het gewicht van het bovenliggende sediment; zelfs schelpen worden meestal in meer of mindere mate afgeplat gefossiliseerd). Kennelijk konden ze tegen een stootje. Misschien was hun weefselstructuur totaal verschillend van tegenwoordige dierlijke levensvormen en leek die meer op die van de met cellulose versterkte stengels van fossiele planten. Voor deze hypothese zijn echter geen fossiele aanwijzingen voorhanden.

Uit evolutionair oogpunt zou het interessant zijn als er ook Ediacara-fauna's zouden hebben bestaan in diep water. Dat ligt immers in een nog zo vroege fase van de evolutie niet voor de hand: de levensomstandigheden in ondiep water zijn immers gunstiger (meer licht, en meestal ook meer zuurstof, warmte en voedsel). De overgang van ondiep naar diep water moet daarom worden beschouwd als een gevolg van het zoeken naar leefruimte door een fauna die niet (meer) kan opboksen tegen de kwaliteiten en/of de overmacht van andere, concurrerende, levensvormen in hetzelfde gebied.

Eveneens interessant is dat de Ediacara-fauna kennelijk niet de evolutionair doodlopende richting was die tot nu toe werd aangenomen. Dat de grens tussen Precambrium en Cambrium - gekenmerkt door een explosieve ontwikkeling van veelcellige organismen met een kalkschaal - werd overleefd, bevestigt eerdere ideeën dat de fauna niet zo vroeg uitstierf als vaak werd aangenomen: in Namibië is in 1995 een Ediacara-fauna aangetroffen met een geringere ouderdom dan die van alle voorgaande vondsten, op die van Wexford na; bij de Namibische fauna gaat het echter nog altijd om het jongste deel van het Precambrium, zodat de vondst in Wexford pas echt een doorbraak in de tijd betekent.

Palmer, D., 1996. Ediacarans in deep water. Nature 379, p. 114.

A.J. van Loon