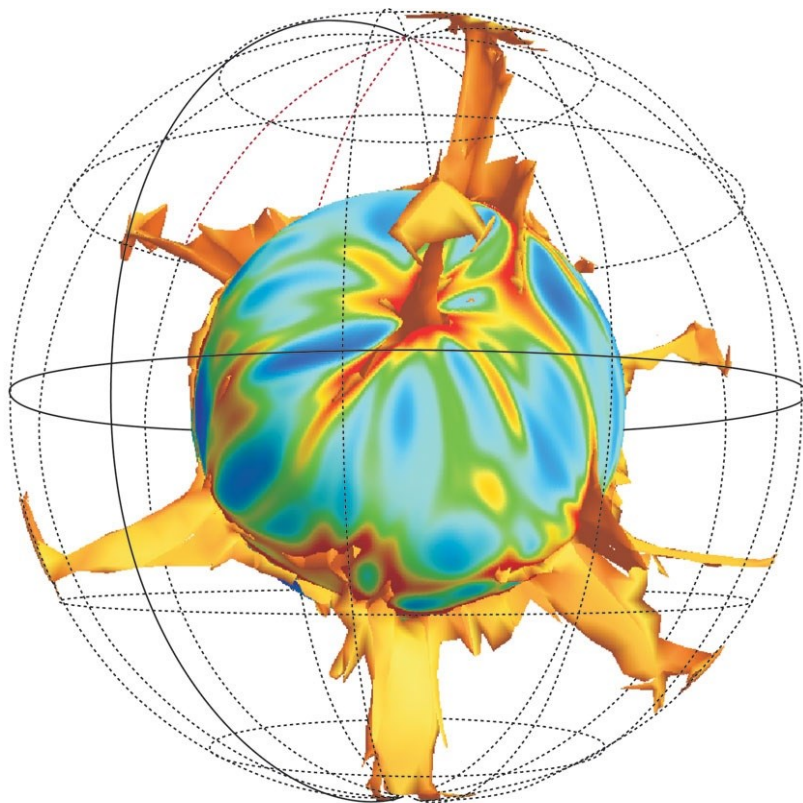


Mantelplymer - Realitet eller *ad hoc*?

Alfred Larsson

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,
kandidatarbete, nr 440
(15 hp/ECTS credits)



Geologiska institutionen
Lunds universitet
2015

Mantelplymer - Realitet eller *ad hoc*?

Kandidatarbete
Alfred Larsson

Geologiska institutionen
Lunds universitet
2015

Innehållsförteckning

1 Ordlista	7
2 Introduktion	7
2.1 Syfte	7
2.2 Problemställning och bakgrund	7
2.3 Mantelplymens uppbyggnad och kännetecken	8
3 Metod	10
4 Resultat	10
4.1 Data för mantelplymhypotesen	10
4.2 Data mot mantelplymhypotesen	13
4.3 Kombinationsmodeller	15
5 Diskussion	16
6 Slutsats	18
7 Mantelplymer i geologiundervisningen - en personlig reflektion	19
8 Tackord.....	19
9 Referenser.....	19

Sammanfattning

ALFRED LARSSON

Larsson, A., 2015: Mantelplymer - Realitet eller *ad hoc*?. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 440, 20 sid. 15 hp.

Sammanfattning: Mantelplymer är ett mycket omdebatterat fenomen inom geologiämnet. Existerar de och var har de i så fall sitt ursprung? Detta kandidatarbete behandlar mantelplymens karaktäristika och de för- och motargument för dess existens som finns i litteraturen. Hypotesen om mantelplymer uttrycktes första gången 1971 av Jason Morgan där det föreslogs att hett mantelmaterial förs från Jordens kärna till ytan där de bildar hotspots. Efterhand har hypotesen utvecklats och allt mer data pekar på att mantelplymer finns och att de gett upphov till majoriteten av magmatismen som sker inom plattor, exempelvis vid Hawaii, Tristan da Cunha och Reunion. I jakten på att försöka påvisa mantelplymer används främst tre typer av analysmetoder: seismik, geokemiska analyser och modelleringar av olika slag. I denna litteraturstudie diskuteras för- och nackdelar med dessa metoder, samt vilka resultat de gett upphov till. Det finns en inte helt oansenlig skara kritiker som anser att den magmatism som anses karaktäristisk för mantelplymer istället beror på uppsmältning i mantelns övre delar som ett resultat av varierande kemisk sammansättning, småskalig mantelkonvektion, tektoniska svaghetszoner och kemisk stratifiering till följd av subduktion. Sammantaget talar en alltför stor mängd bevis för mantelplymhypotesen för att kunna avfärda den. Vissa magmatiska provinser har uppkommit genom mantelplymer medan andra områden kräver alternativa förklaringsmodeller. Flertalet förklaringsmodeller framlagda av skeptiker är mer eller mindre *ad hoc* och ger inga tillfredsställande alternativa förklaringar. Fortsatt forskning bör fokusera på att studera mantelplymerna närmare för att kunna avgöra deras härkomst och bildningsprocesser.

Nyckelord: mantelplym, litosfär, hotspot, seismik, uppsmältning

Handledare: Anders Scherstén

Ämnesinriktning: Berggrundsgeologi

Alfred Larsson, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige.

E-post: alfred.larsson999@gmail.com

Abstract

ALFRED LARSSON

Larsson, A., 2015: Mantle Plumes - Reality or *ad hoc*?. *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 440, 20 pp. 15 hp (15 ECTS credits)

Abstract: Mantle plumes are subject of a great discussion within the field of Geology. Do they really exist, and in that case, from where do they originate? The scope of this Bachelor thesis is to discuss the characteristics of mantle plumes and the arguments in favor of and against their proposed existence. The mantle plume hypothesis was first presented in 1971 by Jason Morgan, suggesting diapirs of hot rock were bringing heat from the Earth's core to form hot spots on the surface of the Earth. The hypothesis has since that time gradually been elaborated and an increasing amount of data confirm that mantle plumes do exist and that they fuel the majority of the intraplate magmatism occurring in e.g. Hawaii, Tristan da Cunha and Reunion. In the attempts to evince the existence of mantle plumes, mainly three methods of analysis are used: seismic, geochemical analysis and different types of modelling. This literature review discusses the benefits and drawbacks of the above mentioned methods and the results they have spawned. Some critics consider the mantle plume characteristic magmatism being a consequence of melting in the shallow mantle as a result of varying chemical composition, small-scale convection, tectonic features and chemical stratification of the mantle due to subduction. Conclusively too much evidence agree with the mantle plume hypothesis for it to be ruled out. Some igneous provinces are results of mantle plumes while others require a different model of explanation. A working majority of the models produced by sceptics are more or less *ad hoc* and does not provide satisfying alternative explanations. Continued research should focus on studying the mantle plumes more closely to determine their origin and forming processes.

Keywords: mantle plume, lithosphere, hotspot, seismic, melting

Supervisor: Anders Scherstén

Subject: Bedrock Geology

Alfred Larsson, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden.

E-mail: alfred.larsson999@gmail.com

1 Ordlista

MOR - Mid Ocean Ridge

LIP - Large Igneous Province

CFB - Continental Flood Basalt

TBL - Thermal Boundary Layer

CBL - Chemical Boundary Layer

CMB - Core Mantle Boundary

OIB - Ocean Island Basalt

Fertil mantel – Mantel rik på mineral med låg smältpunkt, genererar basaltisk magma

Internal heating – Den isolerande effekt som en mäktig kontinental jordskorpa utövar på manteln

2 Introduktion

2.1 Syfte

Detta kandidatarbete syftar till att belysa den kontrovers som förekommer kring begreppet mantelplym i dagens forskardebatt, samt hur denna debatt har förändrats sedan Jason Morgan lanserade sin hypotes i början av 70-talet. Arbetet bygger på tre delar som:

- Beskriver och definierar begreppet mantelplym utifrån dagens klassifikation
- Beskriver de kriterier som kännetecknar en mantelplym
- Diskuterar befintlig argumentation för och emot mantelplymhypotesen

2.2 Problemställning och bakgrund

1971 publicerade Jason Morgan en artikel om mantelplymer där han menade att de hotspots som förekommer på olika platser på jorden (exempelvis Hawaii-Emperor Chain, Tristan da Cunha, Reunion) är ett resultat av uppvällande hett mantelmaterial med ursprung i gränsen mellan manteln och Jordens yttre kärna (Morgan, 1971). Morgan utvecklade sin hypotes efter att ha studerat gravimetriska och topografiska anomalier som förekommer i samband med flera hotspots. Dessa ansågs vara stationära vilket baserades på studier av kontinentalplattornas drift och rörelseriktningar (fig 1).

Morgan (1971) menar att de svampformade konvektionsströmmarna i manteln är bidragande drivkrafter för kontinentaldrift och kontinentuppsprickning. Morgan (1971) baserar sin hypotes om mantelplymer på fem observationer:

- De flesta hotspots förekommer i nära anslutning till spridningsryggar och triple junctions vilket pressar isär plattorna.
- Det finns bevis för att ett flertal hotspots föregår kontinentuppsprickning, d.v.s. att uppsprickningen är ett resultat av hotspotvulkanismen och inte tvärtom.
- De observerade gravitations- och topografianomalier som förekommer vid hotspots är indikation på att det inte är enbart ytlig magmatism.

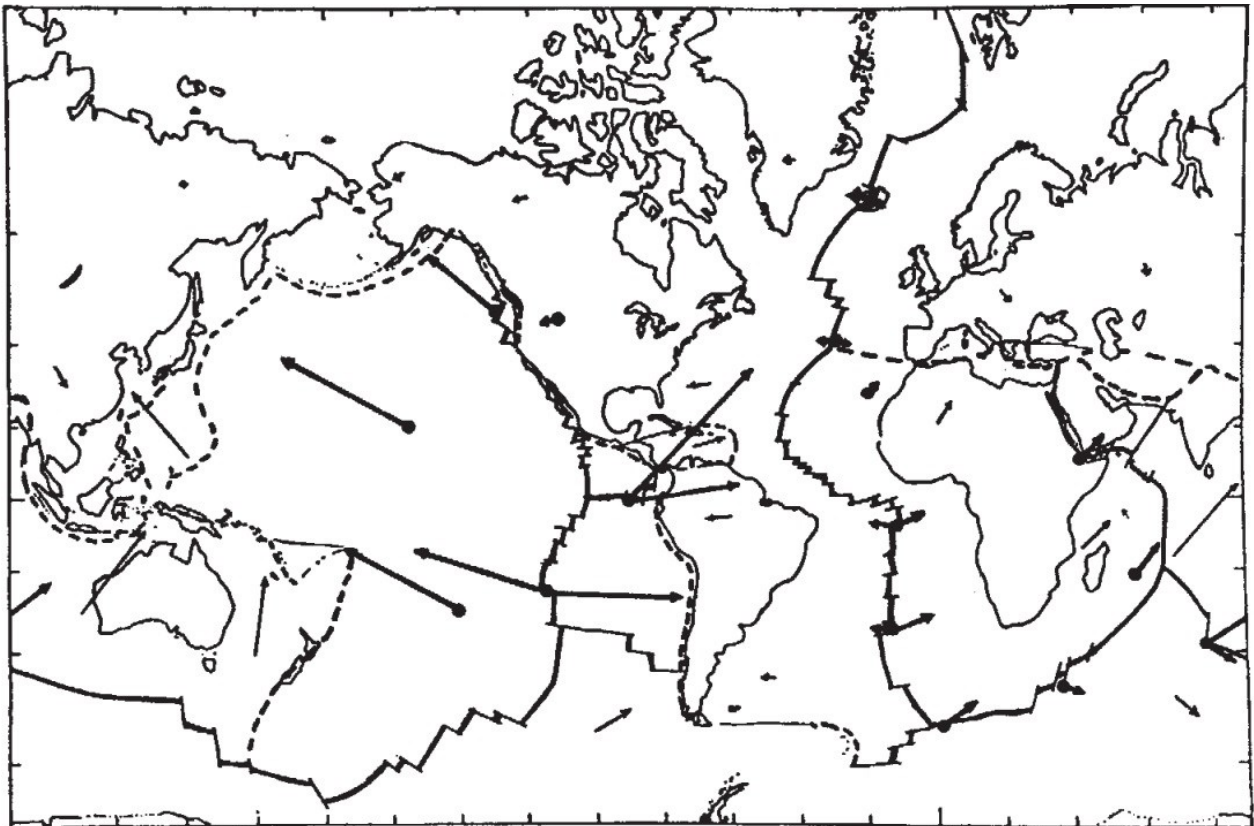


Fig. 1. Figuren visar kontinentalplattornas rörelse i förhållande till olika hotspots. Pilens storlek visar relativ hastighet. Från Morgan (1971).

- Hotspots är förknippade med ovanligt grunda delar av oceaner
- Spridningsryggar och subduktionszoner är inte de enda drivande mekanismerna i plattetektonikcykeln.

Morgans hypotes har sedan den publicerades testats, byggts på och elaborerats av andra forskare. Nedan följer ytterligare observationer som tillkommit och modifierat Morgans hypotes:

- De stora basaltvolymerna vid LIPs som bildas under korta utbrottsperioder uppkommer när ett mantelplymhuvud når jordytan.
- Mantelplymer bildar förtjockad jordskorpa.
- Mantelplymer orsakar domformad upplyftning.
- Mantelplymer ger upphov till pikritiska basalter.
- Dekompressionsuppsmältning sker vid ett större djup än hos MOR-smältor.
- Mantelplymen är varmare och har större lyftkraft än omgivande mantel.

Hypotesen om mantelplymer har inte mötts utan skepsis. Kritiker menar att de som stödjer mantelplymhypotesen använder argument som baseras på antaganden och inte vetenskapliga bevis. Dessutom anser flertalet kritiker att det finns alternativa modeller som bör studeras närmare. En av de främsta tankarna bland skeptikerna är att plattetektoniken enbart är den dominerande magmatiska processen och att hotspot-vulkanism sker till följd av extension i jordskorpan och kemiskt heterogen mantel och inte från uppvällande material från mantelns djupare delar. En annan vanlig modell bland kritiker är att en viss typ av mantelplymer förekommer, men istället med ursprung i mantelns ytliga delar. Det är inte ovanligt att olika kombinationer av olika förklaringsmodeller förekommer.

2.3 Mantelplymens uppbyggnad och kännetecken

Mantelplymernas existens, ursprung och bildning är omtvistat och associerade processer är mycket komplexa. Det är därför komplicerat att göra en fullödig beskrivning av dess utformning och bildningsmekanismer. Den vanligaste uppfattningen baseras på att Jordens kärna är varmare än omgivande mantel och att värme transporteras över en gräns strax utanför den yttre kärnan och manteln (det s.k. D''-lagret), varefter det hetare mantelmaterialet stiger mot jordytan i form av svampformade plymer. Det är den stora temperaturkontrasten mellan den yttre kärnan och manteln som är orsaken till att dessa formationer av stigande hett mantelmaterial bildas (Campbell 2005). Mantelmaterial som värms upp genomgår termisk expansion och den ökade volymen gör att det stiger till följd av ökad lyftkraft i förhållande till omgivningen.

Mantelplymer antas initialt bestå av ett huvud med en diameter på 1000 - 1200 km och av en mindre efterföljande svans (Campbell 2005). Huvudet växer dels i

takt med att ostörd mantel inkluderas och dels genom att svansen stiger snabbare och tillför nytt material till huvudet (fig 2). När plymen når litosfärens undre del plattas huvudet ut till ca 2000 – 2400 km i diameter, varefter en stress induceras i jordskorpan. Detta kan i sin tur leda till kontinentuppsprickning. Det är ännu okänt om och i så fall varför de efterföljande plymsvansarna inte orsakar kontinentuppsprickning. En möjlig förklaring är att de saknar den nödvändiga lyftkraften eller den överskottsvärme som krävs. Det beräknas ta ca 100 miljoner år för en mantelplym att stiga från CMB till mantelns övre delar (Campbell 2005).

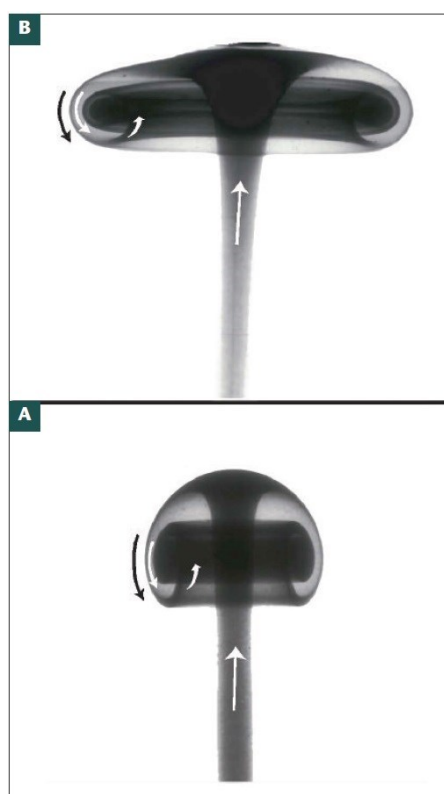


Fig. 2. Bilden visar ett experiment med varm vätska där A) är en mantelplym under stigning B) en plym som plattats ut mot en kontinentalplattas undre del. Mörka områden är hett material, ljusare är svalare. Mörk pil visar rörelseriktningen på intilliggande mantel, vit pil visar rörelseriktningen inom plymen. Från Campbell (2005).

Det finns ett antal olika kännetecken som i olika grad antas vara konsekvenser av och karaktäristiska för mantelplymer idag och tidigare i Jordens historia. Det mest klassiska kännetecknet är hotspot-spår inom tektoniska plattor. Ända sedan mantelplymhypotesen lades fram (Morgan 1971), har vulkanökedjor inom plattor som exempelvis Hawaii använts som bevis för mantelplymers existens. Ett av huvudargumenten för hypotesen är att vulkanökedjorna bildas från en mantelplym som befinner sig under en platta i rörelse.

De flesta anhängare av mantelplymhypotesen är ense om att mantelplymer kännetecknas av områden i

manteln som uppvisar låga hastigheter vid seismisk tomografi. Låga seismiska hastigheter kan vara ett resultat av mantelplymernas förhöjda temperatur jämfört med omgivande mantel eller att dessa områden har lägre smältpunkt än omgivningen. Det kvarstår ännu forskning för att kunna säkerställa vad de låga seismiska hastigheterna i manteln beror på.

Mantelplymerna har enligt mantelplymhypotesen sitt ursprung vid ett TBL (vanligtvis D''-lagret). Överskottstemperaturen i mantelmaterialet i plymen gör att det genomgår dekompressionsuppsmältning vid ett större djup än vid MOR's. MgO-rika basalter (pikritiska) är karaktäristiska för mantelplymer eftersom de påvisar hög grad av uppsmältning (fig. 3). Geokemiska analyser av mantelplymer kräver mycket hög noggrannhet och bör genomgå omfattande granskning då olika geofysiska processer kan ge upphov till liknande kemisk signatur. Geokemiska argument är därför vanskliga om signaturen inte kan kopplas till en fysisk process (Hawkesworth & Schersten 2007).

I litteraturen associeras ofta LIPs med mantelplymer. Resonemangen baseras ofta på att ett antal LIPs

kan länkas samman med hotspot-spår (ex. Reunion hotspot i Indiska oceanen med Deccan-platån i västra Indien) samt de stora basaltmängderna som uppkommit under relativt kort tid. Enbart förekomsten av LIP är dock inte ett bevis för förekomsten av en mantelplym eftersom det finns LIPs som saknar flertalet kännetecken (ex. upplyftning, CFB/LIP) som normalt sett tillskrivs magmatism associerad med mantelplymer.

Ytterligare vanligt förekommande kännetecken för mantelplymer är att dessa föregås av domformad upplyftning av jordskorpan. Upplyftningens magnitud beror på mantelplymens medeltemperatur och lyftkraft. I de centrala delarna ovanför plymens huvud kan upplyftningen uppgå till mellan 500 och 1000 meter där sedan höjningen avklingar med ökande avstånd från centrum (Griffiths & Campbell 1991; He et al. 2003). Vidare kan även i vissa fall ökad mäktighet av litosfären sammankopplas med mantelplymer, eftersom överskottstemperaturen i många fall leder till ökad uppsmältning av manteln som i sin tur leder till större mängd kristalliserad magma och tjockare skorpa. Jordskorpan är exempelvis centralt över Island dubbelt så mäktig som normal ocean jordskorpa, något som kan tyda på en stor

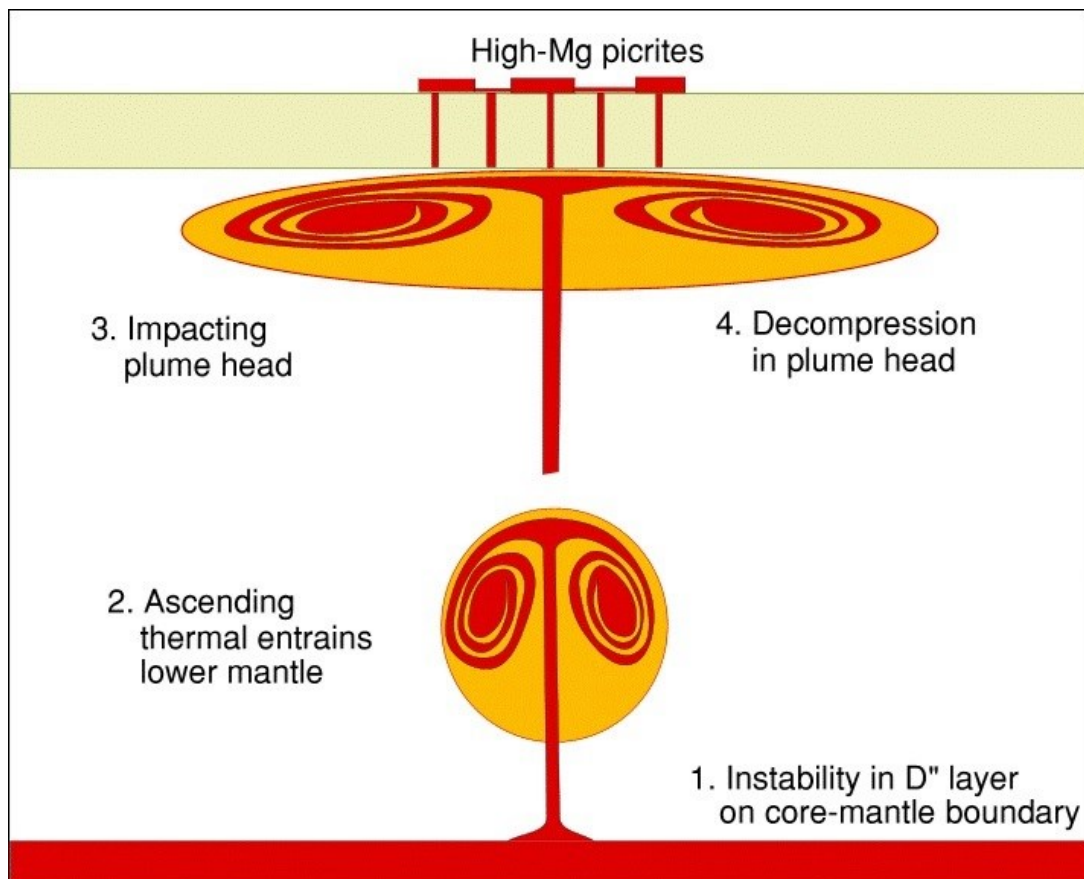


Fig. 3. Figuren visar en mantelplym som stiger från D''-lagret och växer i takt med att ostörd mantel innesluts. När trycktemperaturvillkoret blir uppfyllt kommer partiell dekompressionsuppsmältning ske och ge upphov till hög-Mg-basalt (pikriter). ©University of Leicester.

produktion av smälta på grund av att underliggande mantel är 200-250°C varmare än vanlig manteltemperatur under spridningsryggar (Campbell 2007).

Mantelplymernas existens har påvisats med hjälp av olika typer av data. Dessa är baserade på tomografiska data, experimentella studier i labb, geokemiska analyser, geotermiska beräkningar och datormodeller. Tomografiska data har i många fall kritiserats för att vara lågupplösta på stora djup. Dessutom är det inte möjligt att utesluta att de låga seismiska hastigheterna beror på densitetsskillnader, varierande smältpunkter eller anorlunda kemisk sammansättning av manteln. De experimentella försöken som utförts i syfte att studera mantelplymer i laboratorium kritiserar för att vara realistiska och inte kunna återspegla rådande förhållanden i jordskorpan. Det är främst tryckets effekt på mantelns termiska expansionsegenskaper som saknas i dessa laboratorieförsök. Beräkningar och datormodeller är begränsade på grund av att de är beroende av vilka parametrar som används (Anderson 2005; Anderson 2009; Anderson u.å.).

Det är omtvistat huruvida kärnan kyls via värmeutstrålning, eller om avkyllningen kontrolleras passivt av litosfären. Synen på Jordens avkyllning utgör en basal skillnad i förklaringsmodellerna (Anderson u.å.).

3 Metod

Detta kandidatarbete är en litteraturstudie som till större del baseras på artiklar valda i syfte att skapa en nyanserad bild av debatten kring mantelplymer. En stor del av artiklarna som detta arbete baseras på har valts via referens från andra artiklar samt via handledning. Andra har valts via en hemsida (www.mantleplumes.org) som är ett debattforum för forskare på området. Den databas som främst använts för litteratursökning är *GeoRef 1785-GeoBase 1980*.

Litteraturen har valts i syfte att täcka in hela spektrat av data för att kunna föra rimliga resonemang kring mantelplymer och deras karaktäristika. De figurer som förekommer i arbetet syftar till att illustrera och tydliggöra relaterade processer och fenomen.

4 Resultat

4.1 Data för mantelplymhypotesen

De kanske mest framträdande anhängarna av mantelplymhypotesen är James W. Morgan och Ian H. Campbell. Morgan är själva hypotesens fader då han var en av de första som kondenserade sina tankar om magmatism inom plattor som en process som inte är uppenbart länkad till platttektoniken. Morgan (1971) menar att de gravimetriska anomalier som observerats över flera hotspots (ex. Island och Hawaii) är ett resultat av stigande konvektionsströmmar i manteln. Ytterligare ett resonemang som Morgan använder sig av för att stödja sin hypotes är skillnaden i basaltsammansättning vid spridningsryggar jämfört med den hos vulkanöar vilket beror på separata ursprungskällor och skillnader i uppsmältningsprocesser. Dessutom förekommer många hotspots på högtopografiska platser i oceanerna, något

som Morgan (1971) menar beror på det underliggande konvektiva mantelflödet som också bidrar till kontinentaldriften. Uppsprickningen av Atlanten beror enligt Morgan (1971) på flera olika mantelplymer som i kombination med varandra drivit isär plattorna och där exempelvis mantelplymerna under Island och Tristan da Cunha fortfarande är aktiva. I den ursprungliga hypotesen användes vulkanö-kedjorna som ett referensverk för hur plattorna rört sig över fixerade hotspots. På senare tid har dock studier av paleomagnetisk polvandring visat att exempelvis Hawaii-hotspoten har förflyttats i förhållande till Stillahavsplattan. Under perioden 80-49 Ma beräknas plattan ha haft en nordlig rörelse på 3-4° medan Hawaii-Emperor chain under samma period uppvisar en nord-sydlig förflyttning på ca 19°. Trots den komplicerade processen att tolka paleomagnetiska data, indikerar denna stora skillnad i förflyttning att hotspoten haft en sydlig nettorörelse (Sager 2007).

I flertalet studier har seismisk tomografi använts för att försöka påvisa mantelplymer. Montelli et al. (2004) har med hjälp av tomografi och datorbehandling visualiserat seismiska anomalier under ett antal hotspots (fig. 4). Områden med låg seismisk hastighet (varmt mantelmateriale) representeras av röda och gula färger medan vita och blå områden visar höga seismiska hastigheter (kallare mantelmateriale).

När ett mantelplymhuvud når litosfärens undre delar kan en initial förtunning av jordskorpan ske till följd av termisk erosion varvid smältor bildas vilka kan ge upphov till stora mängder basalt under kort tid och bildandet av LIP/CFB (Campbell 2005). Dessa används återkommande i litteraturen som bevis för att de föregåtts av en mantelplym. De vulkanökedjor som länkas till flera av dessa stora magmatiska provinser har uppkommit genom att smältan i plymhuvudet är förbrukat och att den mindre plymsvansen istället töms. Det finns vulkanökedjor som inte kan kopplas till LIP, och deras bildningssätt ännu inte är klarlagda till fullo.

En del av mantelplymhypotesen bygger på förutsättningen att mantelplymer har en särskiljande geokemisk signatur som gör det möjligt att avgöra dess ursprung. Det finns ett positivt linjärt samband mellan smältornas MgO-innehåll och kristalliseringsstemperatur vilket används för beräkning av mantelplymens överskottstemperatur mot omgivande mantel. Pikritiska basalter återfinns bland annat vid Deccan, Hawaii, Galapagos och Karoo (Campbell 2005). Enligt Morgan (1971) ursprungliga hypotes för mantelplymerna upp mantelmateriale från D''-lagret som antas innehålla typiska isotopsammansättningar. Kemiska signaturer kan också tillföras från subducerad ocean jordskorpa innehållande olika indikativa spårämnen. De främsta metoderna för att bestämma geokemisk signatur är ädelgasisotopsförhållanden (vanligen Ne och He) samt isotopsystemen av Pt-Re-Os, Hf-W och Ti-Zr-Y. Dessa indikatorer ger upphov till en specifik kemisk signatur men ger ingen information om ursprung eller vilka processer som

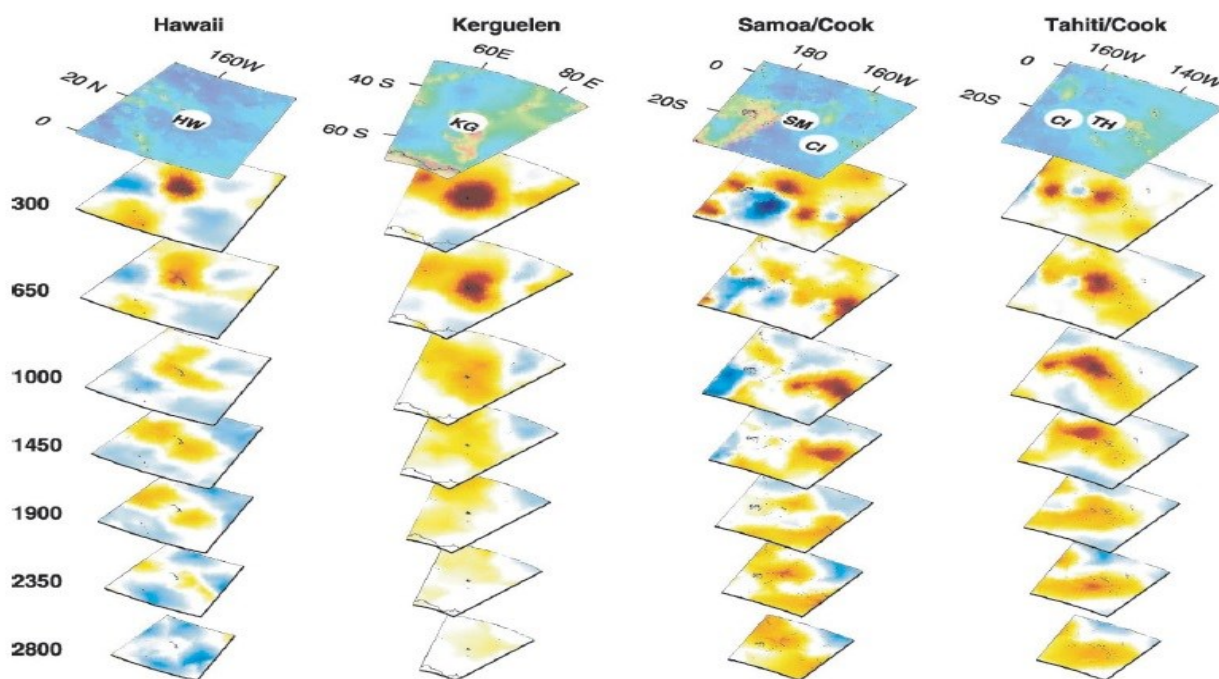


Fig. 4. Figuren visar seismiska anomalier på djupet (km) under fyra olika hotspots. Undersökningsområdena är ca 40x40°. Röda och gula områden visar varmt mantelmateriale, ljusa och vita områden visar kallare mantelmateriale. Modifierad efter Montelli et al. (2004).

påverkat den kemiska kompositionen (Hawkesworth & Scherstén 2007). Det finns exempelvis spridningsryggar vars magmor har OIB-signatur och hotspotmagmor med subduktionssignatur, vilket gör geokemi till en mycket komplex analysmetod eftersom uppsmältningens grad, kemisk sammansättning hos mantelmaterialet och ursprungsdjup kan ge upphov till basalter med liknande spårämnessammansättning (fig 5).

Bourdon et al. (2006) har studerat aktivitetsförhållandet mellan bland annat $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ -nukleider, där uran via en sönderfallskedja med två jämviktslägen sönderfaller till torium. Förhållandet mellan antalet atomer av U/Th och hur långt de befinner sig ifrån jämvikt korrelerar direkt med olika geofysiska parametrar hos den underliggande manteln. Analysmetoden ger information om uppvällningshastighet i manteln, lyftkraftsvariationer, överskottstemperatur, uppsmältningens grad och hur utbredd mantelplymen är lateralt. Förhållandet mellan jämviktsläget hos $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ -systemet och lyftkraft hos olika hotspots visas i figur 6. En hotspot med stor lyftkraft som exempelvis Hawaii (ca 9 Megagram/s) producerar stora mängder smälta och har en hög grad av uppsmältning vilket gör att $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ -systemet går mot jämvikt (ca 1). Azorererna däremot, har låg lyftkraft och producerar en mindre mängd smälta vilket resulterar i ett isotop-system som är längre ifrån jämvikt.

Mantelplymer är generellt associerade med att föregås av domformad upplyftning av litosfären. Detta sker till följd av att mantelplymhuvudet pressar upp litosfären underifrån. Upplyftningen beräknas enligt Campbell (2005) vara 500-1000 m i en 200 km radie med fortsatt markant grad av upplyftning utanför detta område (fig 7). Emeishan-provinsen i Kina är det tyd-

ligast dokumenterade fallet där en mantelplym föregås av upplyftning. Erosion av sedimentära lagerföljder påvisar där en tydlig domform. Det finns dock exempel på LIPs där domformad upplyftning inte har observerats, exempelvis Deccan och Ontong Javaplatån (Campbell 2005; Campbell 2007).

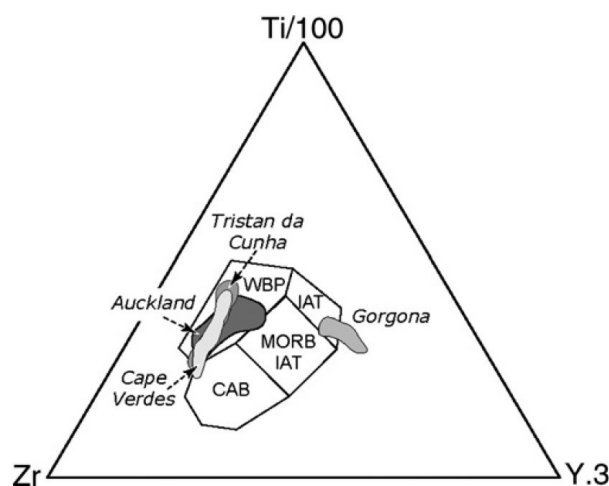


Fig. 5. Y-Zr-Ti diagram för att identifiera tektonisk miljö. Ti visas i hundradels ppm, och Y visas i ppm multiplicerat med tre. Vita fält visar signaturen från spårämnena i olika miljöer enligt följande: WBP = Intrakontinental basalt, IAT = Tholeiitisk öbåge, MORB-IAT = Mittoccean rygga med inslag av tholeiitisk öbåge, CAB = Kalkkali-basalt. Mörklagda områden visar den samplade sammansättningen från basalt vid respektive hotspot. Figur från Pearce & Cann (1973).

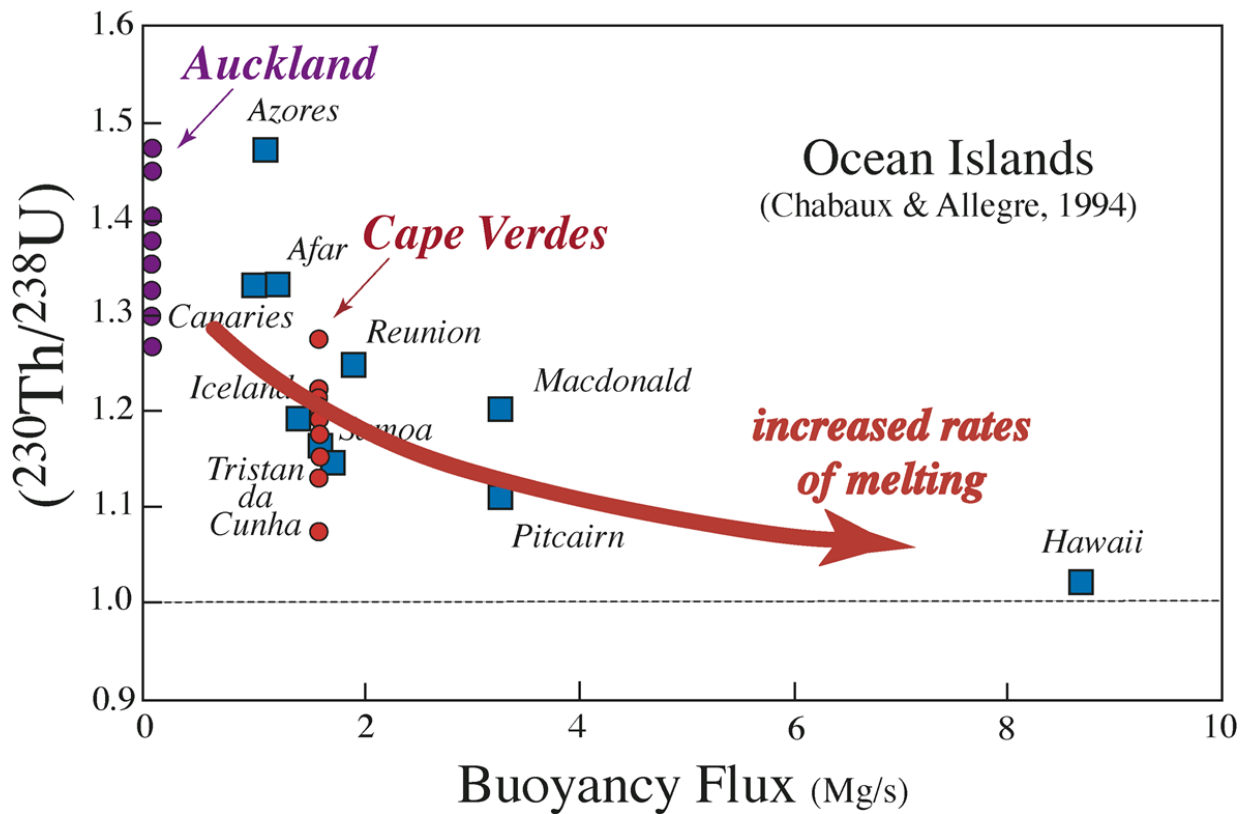


Fig. 6. Figuren visar sambandet mellan aktivitetsförhållandet $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ och lyftkraft i manteln vid olika hotspots. Cirklar och kvadrater visar data för respektive hotspot. Ju större lyftkraft mantelplymen har, desto större mängd smälta bildas och $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ -systemet går mot jämvikt. Beräkningarna genomfördes med konstanta värden på överskottstemperatur, viskositet och produktion av smälta. Figur modifierad efter Chabaux & Allègre (1994).

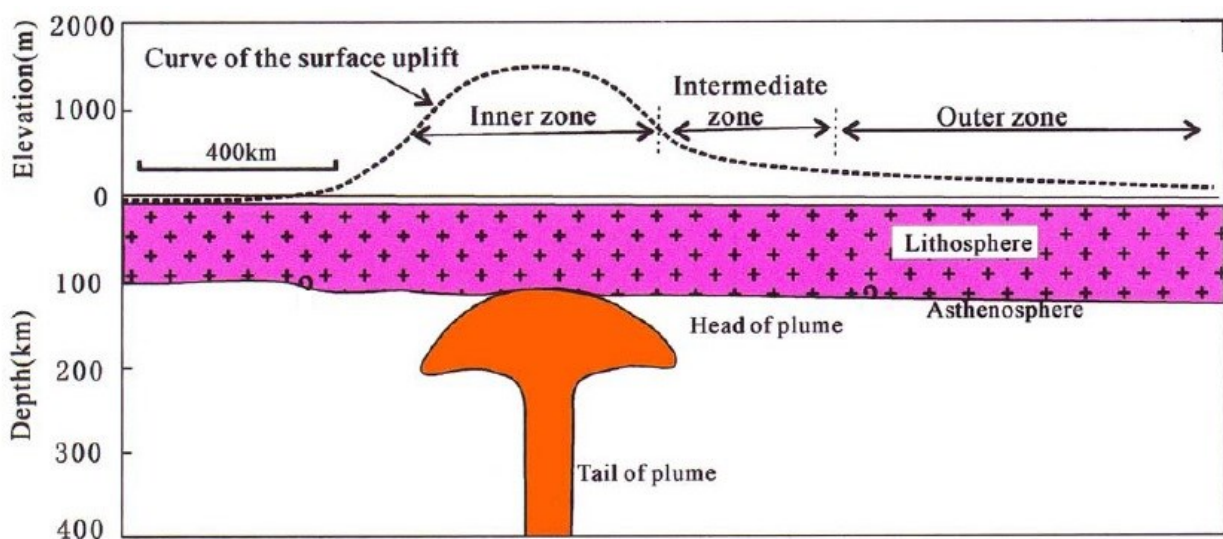


Fig. 7. Figuren visar en skiss över flodbasalten i Emeishan-provinsen i Kina. Området är indelat i tre zoner där upplyftningen överstiger 1000 m i den centrala zonen rakt ovanför plymhuvudet varefter upplyftningen avtar radiellt från centrum. Figur från He et al. (2003).

Mckenzie & Bickle (1988) visar att det finns ett samband mellan temperaturen i mantelplymen och den överliggande jordskorpans tjocklek. Temperaturen i mantelplymen förhåller sig i sin tur positivt linjärt mot MgO-innehållet. En MOR-smälta har ett genomsnittligt MgO-innehåll som sällan överstiger 11 % wt och genererar magma med en temperatur på cirka 1280 °C vilket i sin tur bildar en ca 7 km tjock jordskorpa. I en mantelplym, där MgO-mängden kan uppgå till 17 % wt, kan mantelmaterial som stiger adiabatiskt generera 27 km mäktig jordskorpa vilket motsvarar en ursprungstemperatur på ca 1480 °C. Ett högt MgO-innehåll i smältan innebär därför en hög ursprungstemperatur.

Putirka et al. (2007) har använt sig av olivinterometri för att beräkna manteltemperaturen under olika hotspots. De beräknade temperaturerna jämfördes sedan med MOR-magmor för att beräkna överskottstemperaturen i olika mantelplymer. Mantelplymens temperaturberoende av MgO-innehåll beskrivs med den fasta lösningsserien för olivin (fig. 8a). När mantel av sammansättning S_3 smälter upp, bildas initialt en smälta L_3 som har ett lägre MgO-innehåll än kristallerna i smältan. Efterhand som temperaturen ökar och uppsmältningen fortskrider får smältan ett allt högre MgO-innehåll tills den når L_1 då alla kristaller övergått till smälta. Då har smältan den ursprungssammansättning manteln hade när uppsmältningen inleddes. Ett MgO-innehåll som är högre än hos genomsnittlig mantel, härrör därför från högre smälttemperaturer och en högre grad av uppsmältning. Det dock är sällan manteln genomgår fullständig uppsmältning eftersom det krävs stora mängder energi att omvandla mantelmaterial från fast form till smälta. I de flesta magma-

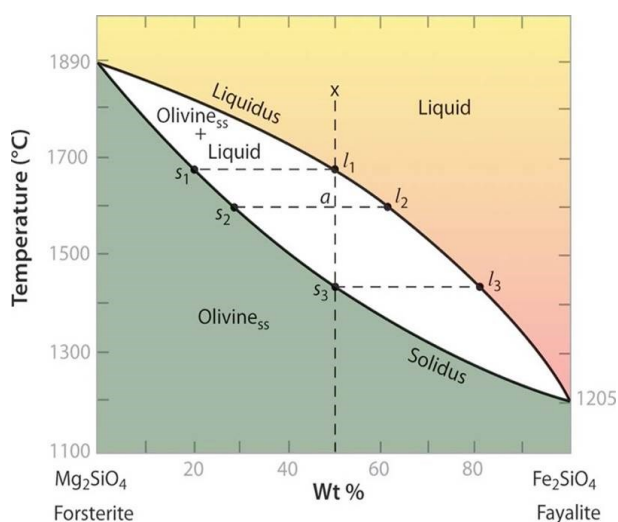


Fig. 8a. Figuren visar den fasta lösningsserien för olivin. Forsterithalten (Mg-olivin) ökar i smältan när temperaturen ökar. En mantelplym med 200-300 °C överskottstemperatur jämfört med omgivande mantel har därför en högre halt av Mg, vilket gör att Mg-halten kan användas till att bestämma överskottstemperaturen hos mantelplymen. Tryck och hydreringsgrad inverkar på sammansättningen vilket Putirka et al. (2007) tagit hänsyn till. Från Klein & Philpotts (2012).

tiska system sker endast partiell uppsmältning och därför får smältan en annorlunda sammansättning än ursprungsmaterialet, men sambandet mellan temperatur och MgO-innehåll är fortfarande detsamma. Det är också viktigt att ha i åtanke att mängden vatten och trycket har en stor inverkan på i vilken mån uppsmältning sker. Putirka et al. (2007) visar överskottstemperaturer i Hawaii- och Samoaplymerna på ca 270 °C medan Islandsplymen beräknas till ca 160 °C. Även i beräkningar där höga uppskattade temperaturer på MOR-smältor använts, överstiger hotspot-temperaturerna dessa med > 100 °C (Putirka et al. 2007). Vidare innebär överskottstemperaturen i mantelplymen att den första uppsmältningen måste ske på ett större djup eftersom solidus nås tidigare vid adiabatisk stigning (fig 8b). Den konduktiva geotermer uppstår till följd av värmeförlust på grund av latent värmeöverföring.

4.2 Data mot mantelplymhypotesen

Mantelplymhypotesen kan i många fall stödjas på observerad data. Det kvarstår dock ett antal frågetecken som ännu inte har rätats ut. Don L. Anderson var en av de mest framträdande skeptikerna till mantelplymhypotesen. Anderson menade att mantelplymer i den form föreslagna enligt mantelplymhypotesen inte existerar. Istället föreslås en modell där magmatismen inom plattor sker till följd av konvektionsströmmar och relativt grund uppsmältning i manteln (Anderson 1975). Vulkanökedjor förklaras som en konsekvens av extension i litosfären samt till följd av processer sammanlänkade

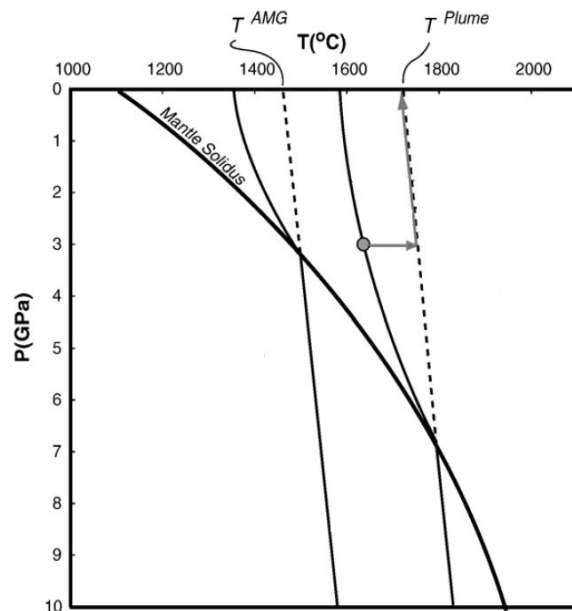


Fig. 8b. Figuren visar solidus för manteln samt mantels potentialgeoterm (T^{AMG}) och potentialgeotermen för en mantelplym (T^{Plume}). Helderagna svarta linjer ovan solidus visar de konduktiva geotermer som uppstår till följd av energiförlust genom latent värmeöverföring. I en mantelplym med ett temperaturöverskott på 200-250 °C måste uppsmältning ske vid ett betydligt större djup än vid genomsnittlig manteltemperatur som sker exempelvis i en normal MOR-smälta. Figur modifierad efter Putirka et al. (2007).

med plattetektoniken. Skillnaden i kemisk sammansättning mellan MORB och OIB beror därför på en kemiskt stratifierad och heterogen mantel, som uppstår till följd av subducerad skorpa och dekompressions-uppsmältning i manteln (fig. 9) (Anderson 1998; Meibom & Anderson 2004; Green & Falloon 2005; Anderson 2009).

Foulger & Anderson (2005) föreslår att Island-magmatismen, som generellt betraktas som en hotspot, istället är orsakad av fertil mantel till följd av subducerad ocean jordskorpa som inneslutits i manteln under den Kaledoniska orogenen vilket skulle kunna förklara varför magmorna uppvisar OIB-signatur och avsaknaden av seismiska anomalier på djupet. Vidare menar de att den förtjockade jordskorpan som kan noteras i centrala Island är resultat av en mikrokontinent som överlagrats yngre generationer lava.

Andersons modell skiljer sig markant från mantelplymhypotesen i ett avseende – att kärnan och mantelns avkylning styrs av litosfären (s.k. “cooled from above”) och inte nämnvärt av att kärnan avger värme utåt. Lateral temperaturskillnader i litosfären och subduktion skapar geokemiska- och densitetsvariationer i manteln vilket sammantaget driver plattetektoniken. Anderson (1998) föreslår att konvektion sker inom kemiskt separerade enheter i manteln. Mantelplymhypotesen bygger till stor del på antagandet att manteln är indelad i olika TBL medan Anderson förespråkar att CBL har en mer övergripande roll vid uppsmältning och mantelrelaterade processer.

En huvudsikt bland skeptikerna är att de plymexperiment som genomförs i laboratorium med hjälp av upphettade vätskor inte sker under realistiska förhållanden, framförallt på grund av att tryckets effekt försummas. När mantelmateriale hettas upp genomgår det en volymökning till följd av atomernas ökade rörelse-

aktivitet. Trycket motverkar denna termiska expansion som mantelmateriale genomgår vid upphettning. Dessutom påverkas mantelviskositeten och mineralen på atomär skala. Anderson menar att det höga trycket som råder vid D''-lagret gör att mantelplymens lyftkraft blir otillräcklig för att stiga.

De stora basaltvolymerna hos LIP har uppkommit genom att magma samlats i reservoarer under jordskorpan för att sedan ha eruperats vid en plötslig stressintroduktion i litosfären. En fertil, hydrerad del av manteln kan ge upphov till de observerade mängderna basalt (Anderson 2005). Vidare hävdas att flera av vulkanö-kedjorna inte är bildade av mantelplymer eller deras svansar, utan att de sammanfaller med redan befintliga tektoniska strukturer som mikrokontinenter, sprickzoner och övergivna MORs som vid exempelvis Mauritius och Réunion (Anderson 2005; Anderson 2006). Till och med Campbell (2005) tillstår att det finns magmatism inom plattor som inte kan kopplas till någon LIP och vars ursprung är okänt. Stora ytor av oceanernas havsbottnar är täckta av mindre vulkaniska berg vilka Foulger & Natland (2003) menar är bildade av ytliga magmakällor i manteln vars produktion kontrolleras av tektoniska faktorer i litosfären.

Det har hävdats att flera CFB inte har föregåtts av extension och att Andersons förklaringsmodell om en extra fertil mantel som källa därmed inte är giltig. Låg magmaviskositet och små metervida matargångar är dock enligt Anderson (2005) tillräckligt för att ge utbrott åt de observerade mängderna basalt.

I Morgans ursprungliga mantelplymhypotes antas kontinentdriften utifrån vulkanö-spår ett bevis för att en rigid platta rört sig över relativt stationära mantelplymer. I flera studier har det visat sig att tidigare resultat baserade på paleomagnetism har gett inkor-

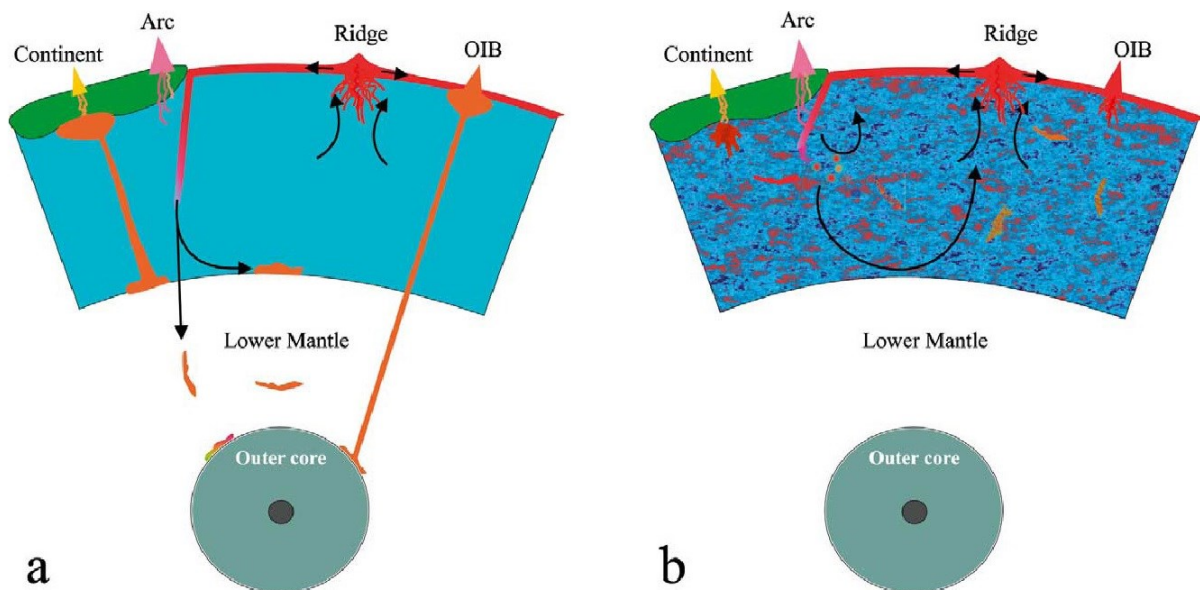


Fig. 9. Figuren visar a) den klassiska synen på mantelns kemiska sammansättning där manteln är relativt homogen och ocean jordskorpa subduceras, eventuellt till CMB och b) en modell med en kemiskt heterogen mantel med småskalig konvektion och med varierande fertila (röda områden) och utarmad mantel (blå områden). Modifierad efter Meibom & Anderson (2004).

rekt information om mantelplymernas läge. Sager (2007) hävdar att Hawaii-hotspoten drivit i förhållande till både mantel och kontinentalplatta (fig. 10). Detta korrelerar med Doglioni et al. (2004) som menar att plattorna i varierande omfattning är löskopplade från astenosfären och att de rör sig oberoende av varandra. En bidragande faktor till plattornas rörelse-hastighet är i vilken mån de är separerade från astenosfären.

Storey (1995) diskuterar mantelplymernas roll vid kontinentuppsprickning och konstaterar att plattetektonik är den huvudsakliga mekanismen, men att det också är sannolikt att mantelplymer i olika grad varit inblandade i ett antal rift-event där mantelplymen har varit avgörande för platsen där uppsprickningen ini-

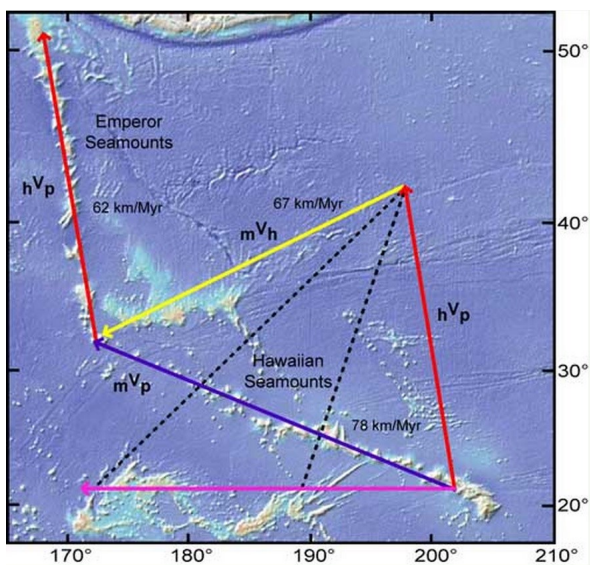


Fig. 10. Bilden visar Hawaii-hotspotens drift. Röd pil visar plattans rörelse relativt hotspoten. Lila pil visar plattans rörelse relativt manteln. Gul pil visar hotspotens rörelse relativt manteln. Rosa pil visar plattans rörelse vid beräkningar utan nordlig riktningsskomponent. Streckade linjer visar hotspotens rörelse i förhållande till manteln vid olika plathastigheter utan nordlig komponent. Bilden syftar till att illustrera hur komplicerat det är att studera hotspotrörelser. Från Sager (2007).

tieras. Baserat på det stora antal magmatiska provinser i forna Gondwanaland föreslår Storey (1995) att en grund magmareservoar som byggts upp under en tjock kontinental jordskorpas isolerande effekt troligtvis varit bidragande i uppsprickningen av megakontinenten (fig 11).

Som ett alternativ till mantelplymhypotesen menar Storey (1995) att en kombination av en stor grund magmareservoar med tillförsel från en källa på stort djup kan vara möjlig. Den isolerande effekten hos en superkontinent är tillräcklig för att magma ska kunna ackumuleras under lång tid för att sedan ge utbrott när det blir tillräckligt stor extension i kontinenten till följd av den subducerade jordskorpas slab pull. Mantelplymen kan då vara en bidragande faktor till var själva uppsprickningen sker.

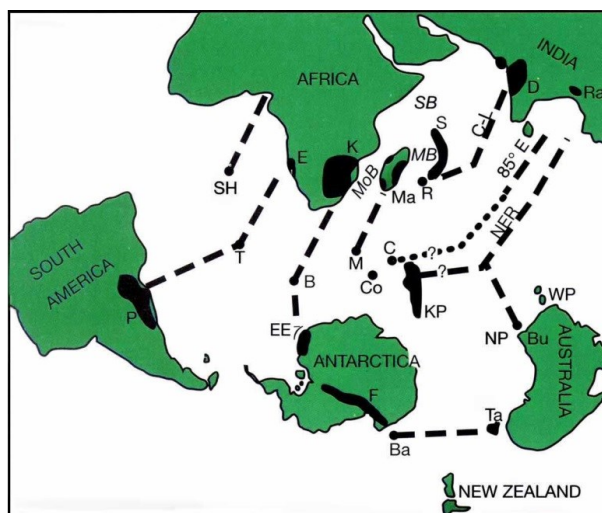


Fig. 11. Bilden visar hotspots (svarta punkter) och vulkaniska spår (svarta streckade linjer) kopplade till olika flodbasalter (svarta fält). Superkontinenten Gondwana har troligtvis på flera platser börjat spricka upp på grund av mantelplymer. Från Storey (1995).

4.3 Kombinationsmodeller

I litteraturen är det vanligt att en kombination av Morgans mantelplymhypotes och Andersons plattetektonikhypotes förekommer. Ett exempel på en kombinationsvariant är Courtillot et al. (2003). Här föreslås en modell där samtliga hotspots på jordytan klassificeras enligt tre kategorier: en deep-source-kategori med ursprung i D'' lagret (s.k. primary plume), en kategori av mindre plymer med ursprung från så kallade superplymer vid mantelns transition zone (410-660 km djup) och en tredje typ av hotspots som har ursprung i en grund reservoar (fig 12).

Enligt denna modell bör varje hotspot studeras individuellt för att avgöra dess ursprung. Den kategori med ursprung i transition zone är intressant i den aspekten att de har sitt ursprung i s.k. superplymer som av densitetsskäl inte har lyftkraft nog att ta sig förbi den TBL som finns vid transition zone. Storey (1995) påvisar också ett flertal hotspots som sannolikt har grunda källor, men att även mantelplymer enligt den klassiska modellen förekommer.

Montelli et al. (2004) menar att mantelkonvektionen delvis är uppdelat i två separata lager baserat på hastighetsvariationer hos olika typer av seismiska vågor, vilket delvis korrelerar med Courtillot et al. (2003). Denna kombinationsmodell skiljer sig från den ursprungliga mantelplymhypotesen i det avseende att vissa plymer hindras av ett TBL i mantelns centrala delar. Montelli et al (2004) förespråkar två typer av mantelplymer: superplymer som främst förekommer på djup större än 1000 km, och dels mindre ytligare plymer som endast syns begränsat under transition zone på 650 km djup.

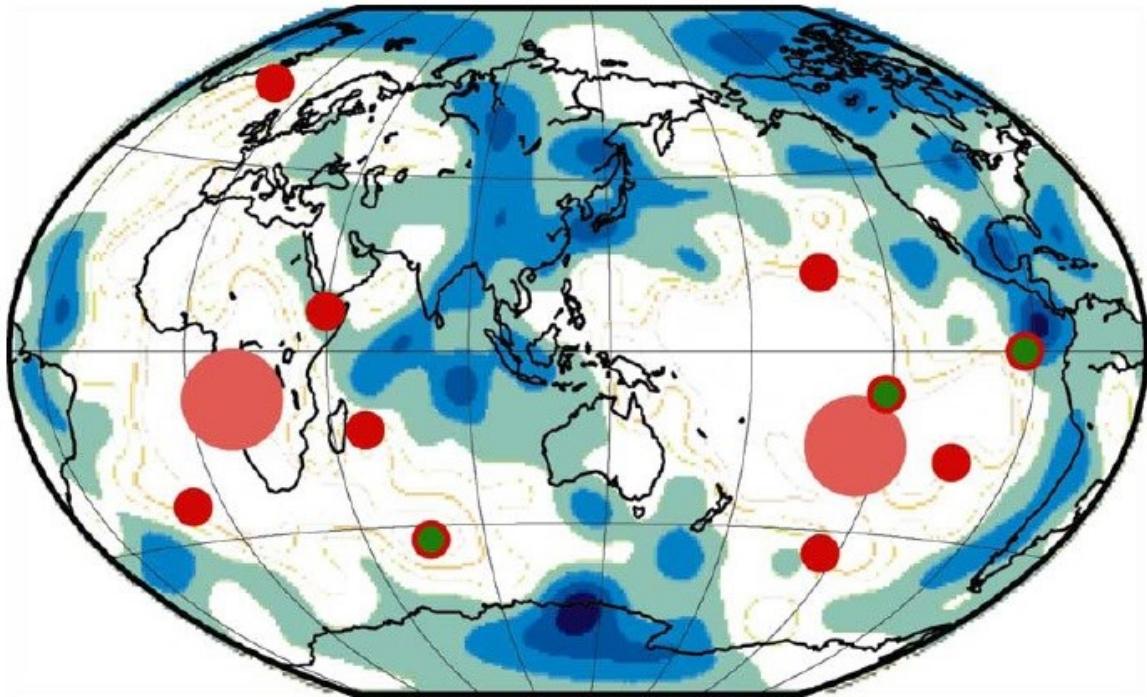


Fig. 12. Figuren visar läget för olika typer av mantelplymer. De blå områdena representerar seismiska anomalier med hög hastighet, med relativt kallt mantelmateriale, vita områden med varmare områden. De mindre röda prickarna visar läget för de primära plymerna med ursprung i D''-lagret. Stora röda punkter representerar superplymer i transition zone, från vilka mindre plymer stigit. Gröna punkter med röd ring visar läget för hotspots med möjlig ytlig källa i manteln. Från Courtillot et al (2003).

5 Diskussion

Debatten och kontroversen kring mantelplymer är aktuell om än med avtagande intensitet allt eftersom fler och fler forskare ansluter sig till skaran anhängare av mantelplymhypotesen. Flera av Don L. Andersons motargument förekommer dock återkommande i litteraturen och det finns frågor som mantelplymhypotesen inte kan ge tillfredsställande svar på. Skeptikerna hävdar att det saknas bevis för mantelplymers existens. Å andra sidan belyses problemet tydligt med ett av Carl Sagens berömda citat att *"Absence of evidence is not evidence of absence"*. Kan verkligen fenomenet mantelplymer avfärdas endast på grund av avsaknaden av fullständiga bevis? Innan någon hypotes avfärdas måste ytterligare forskning genomföras i syfte att vetenskapligt bekräfta de verkliga förhållanden som råder. I stort kan bevisen för mantelplymer delas in i tre kategorier: seismiska undersökningar, geokemiska analyser och geofysiska modelleringar av olika slag.

Seismik är ett effektivt verktyg som används för att upptäcka strukturer i manteln. Fördelen är att man kan nå till djup som är omöjliga att studera på annat sätt och ger möjligheten att observera utbredningen av laterala och vertikala anomalier i Jordens inre. Nackdelen med metoden är att seismisk data ofta måste genomgå omfattande behandling för att kunna ge tolkningsbara resultat. I vissa fall orsakar denna behandling tyvärr att datans trovärdighet blir lägre, och det är ibland tveksamt om det verkligen går att nå den upplösning som vissa forskare vill hävda. Vidare kan seismikens pålitlighet på större djup också diskuteras då vågenergi och upplös-

ning avtar med djupet. Det råder dock inga tvivel om att seismik ger användbara data på relativt små djup. Anomalier har påvisats under de flesta observerade hotspots och frågan är snarare om anomalierna är orsakade av temperatur, densitet eller kemisk heterogenitet. En stor mängd data talar för mantelplymhypotesen som förespråkar en temperaturanomali, något som även överensstämmer med analyser av olivinterometri och U/Th-nukleidförhållande.

En stor del av befintlig forskning kring mantelplymer baseras på geokemiska analyser och mantelplymer tillskrivs återkommande distinkta geokemiska signaturer för att påvisa ett visst ursprung (vilket ofta är D''-lagret). Den kemiska signaturen ger ingen indikation om vilka geofysiska processer som mantelplymen genomgått under sin progression vilket gör att metoden bör användas med stor försiktighet. Inte allt för sällan övertolkas geokemisk data och olika LIP/CFB och hotspots påstås vara orsakade av mantelplymer trots att de kan vara uppkomna av helt skilda processer. Putirka et al (2007) och Bourdon et al (2006) har i sina för mig något svårgreppbara artiklar försökt påvisa geokemiska bevis för att det är temperaturanomalier som de seismiska undersökningarna visar under hotspots. Eftersom U/Th-aktivitetsförhållandet beror på mantelplymens lyftkraft, överskottstemperatur och uppsmältningsgrad kan detta på så vis kopplas till mantelplymens geofysiska karaktäristika och inte endast dess ursprung som varit nackdelen med tidigare utförda geokemiska analyser. Putirka et al. (2007) understryker att deras resultat påvisar överskottstemperaturer i mantelplymer i

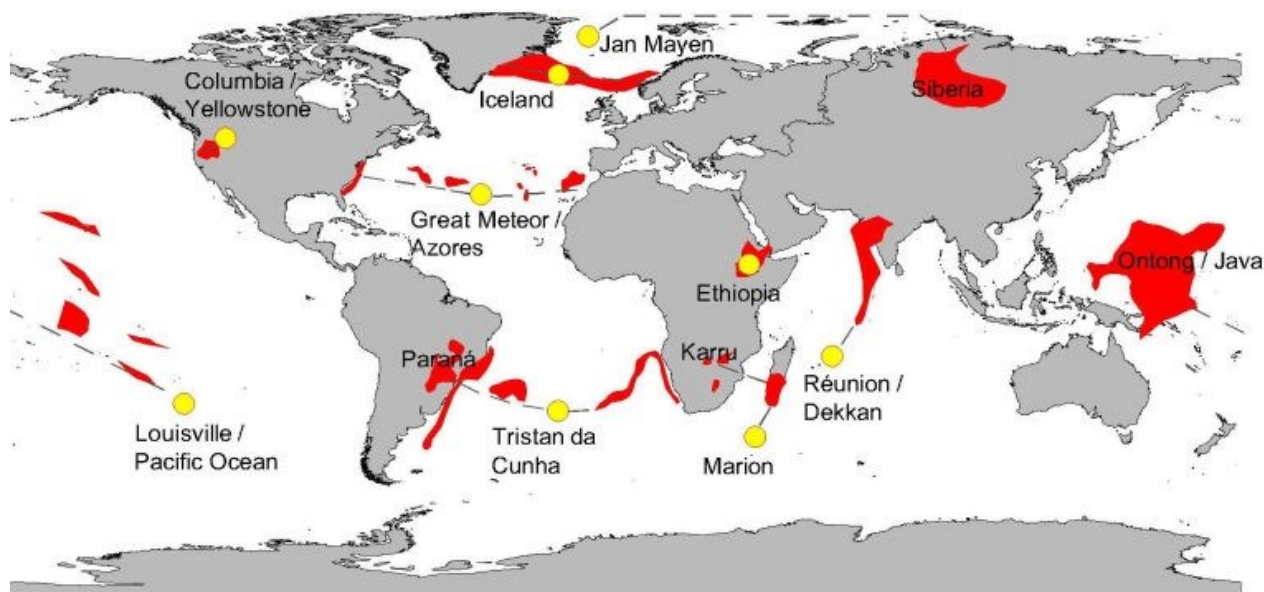


Fig. 13. Gula punkter visar läget för vissa hotspots, röda områden visar större LIPs. Från Bressan (2011).

förhållande till omgivande mantel men inte vilket ursprungsdjup mantelplymerna har.

I litteraturen används geotermiska beräkningar i varierande utsträckning. Det är ofta stor osäkerhet i antagna värden på exempelvis densitet, tryck, termisk konduktivitet och termisk expansionsförmåga. Beroende på vilka parametrar som förändras i ekvationerna kan resultaten uppvisa stor variation. Geotermiska beräkningar är dock nödvändiga för att beräkna stigningshastighet, plymstorlek och överskottstemperatur.

En intressant aspekt ur den ursprungliga mantelplymhypotesen som förändrats över tid är hotspotens relativa rörelse i förhållande till varandra, som tidigare antogs vara stationära. Studier av deras paleorörelseriktningar är bekymmersamma eftersom kontinentaldrift, Jordens spinn och polarvandring måste kalkyleras i förhållande till varandra och hur de varierat över tid. Fler och fler studier visar att hotspots har en rörelse som är separerad från själva plattans rörelse och som påverkas av laterala konvektionsströmmar i astenosfären.

Ett mycket omdebatterat ämne som ofta associeras med mantelplymer är LIPs (fig 13). De kolossala mängderna lava som finns i observerade CFB/LIP kräver magmakällor med mycket stor kapacitet. Den Andersoniska modellen grundar sig i att källan utgår från en särskilt fertil, grund del av manteln som producerar magma genom extensionsstrukturer av olika storlek. Andra modeller involverar övergivna MORs och tektoniska svaghetszoner. Dessa skulle möjligen i ett fåtal fall vara förklaringar för de mindre magmatiska provinser som inte uppvisar upplyftning och saknar association till LIP, även om det är mer rimligt att dessa har orsakats av mindre mantelplymer eller plymsvansar. Det är mindre troligt att magmatiska system som Hawaii, Réunion och Tristan da Cunha skulle vara orsakade av denna typ av magmatism med ytligt ursprung. De sammantagna bevisen

för magmatism med stort ursprungsdjup är för dessa platser tillräckligt övertygande och därför är en källa i mantelns ytliga delar mindre sannolik. Basaltmängderna och de korta eruptionstiderna för CFB/LIP kan förklaras relativt tillfredsställande av samtliga hypoteser, men ett vulkaniskt spår som följer ett CFB (exempelvis Réunion-Deccan) passar synnerligen väl enligt mantelplymhypotesen.

Ytterligare bevis som är i mantelplymhypotesens favör är den domformade upplyftningen som föregår de flesta LIP och CFB. Struktur och erosionsmönster i sedimentära bergarter gör det möjligt att studera upplyftning vilket hade varit betydligt mer komplicerat i en miljö med kristallina bergarter. Sedimentära lager kan korreleras väl med hjälp av bland annat biostratigrafi (fig 14). Emeishan-provinsen i Kina utgör ett ypperligt exempel där det tydligt framgår hur mantelplymhuvudet pressar upp litosfären. Hos vissa CFB/LIP är upplyftningen inte lika tydlig, exempelvis hos Siberian Traps och Ontong Java Plateau. Detta kan bero på befintliga depressioner i jordskorpan, mäktiga överlagrande sediment eller kraftig erosion som döljer upplyftningen. Domformad upplyftning i samband med CFB är ytterligare ett indicium för mantelplymer och som inte har några tillfredsställande alternativa förklaringar. Upplyftning kan orsakas av andra faktorer som exempelvis delamination av jordskorpan, men det är mindre sannolikt att den tydliga karaktäristiska domformen uppstår i dessa fall.

Mckenzie & Bickle (1988) diskuterar förtjockningen av jordskorpa som en indikation för mantelplymer. Detta baseras på analyser av MgO-innehållet i laven som har ett linjärt samband med temperatur i mantelplymen och jordskorpan tjocklek, eftersom högre temperaturer leder till högre grad av uppsmältning och produktion av smälta. Sambandet mellan temperatur och jordskorpan tjocklek bör studeras närmare, men befintliga resultat från studier utförda på Island och Hawaii påvisar förtjockad jordskorpa som karaktäristiskt för mantel-

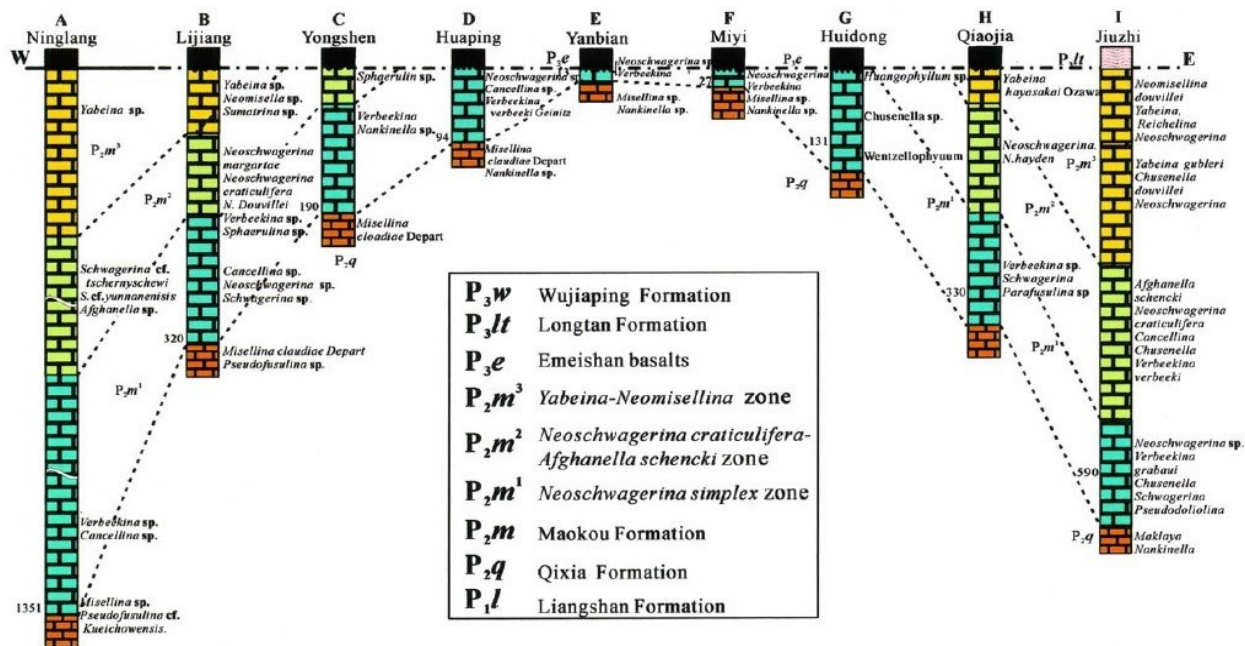


Fig. 14. Figuren visar väst-östliga profiler (A-I) från olika formationer (P_{1l} – P_{3w}) vid flodbasalten i Emeishan-provinsen i Kina. Profilerna har korrelerats biostratigrafiskt. Notera den tydliga domformen. Från He et al. (2003).

plymer. Det är föremål för ytterligare studier att undersöka hur sambandet föreligger hos andra hotspots.

Mantelplymers inblandning vid kontinentuppsprickning diskuteras konsekvent i litteraturen. Även här täcks hela tolkningsspektrat in, där vissa menar att mantelplymer existerar men att de inte påverkar uppsprickningen överhuvudtaget medan andra menar att mantelplymer generellt är den utlösande mekanismen. Storey (1995) diskuterar uppsprickningen av Gondwanaland där ett antal intressanta aspekter tas upp. Mantelplymer tycks ha haft en varierande roll. I några fall har de varit frånvarande, som exempelvis när Antarktis skildes från Australien. I andra fall, som exempelvis vid separationen av Indien-Seychellerna-Madagaskar, har en mantelplym troligtvis haft en aktiv roll som initierat uppsprickningen och avgjort var den skedde. Det är troligt att det funnits en stor, grund termisk anomali som isolerats under den tjocka kontinental jordskorpan i Gondwana. Den kan i sin tur ha fått tillförsel av material från större djup, möjligen D''-lagret. Sannolikt är subduktion den övergripande drivande processen vid kontinentuppsprickning men mantelplymer kan bidra till och avgöra i vilken region det sker. Det är möjligt att mantelplymer spelar en större roll vid uppsprickning i samband med bildandet av mikrokontinenter. Enligt Morgans hypotes är mantelplymer en aktiv delprocess i plattetektoniken. Kontinenterna drivs isär av laterala strömmar i astenosfären riktade ut från mantelplymen då ridge-push och slab-pull enligt Morgan själva inte är kapabla till att driva systemet. Det är dock troligt att Morgan övervärderar mantelplymernas roll som drivande mekanism, åtminstone i samband med plattetektonik.

Det är intressant att jämföra mantelplymer med hönan-och-ägget analogin. Uppstår hotspotmagmatism till följd av extensionsrörelser i skorpan eller sker extens-

ionen på grund av en mantelplym? Att internal heating skulle vara orsak till exempelvis Tristan da Cunha-hotspoten är mindre troligt, då hotspoten fortfarande är aktiv och har varit det sedan uppsprickningen av Pangea vilket bör ha tömt reservoaren på värme och utarmat en eventuell fertil mantelregion. Eftersom den fortfarande är aktiv ligger en mantelplymförklaring närmare till hands. Det är dock rimligt att värme ackumuleras under superkontinenter, men i vilken grad den bidrar till kontinentuppsprickning och magmatism är fortfarande okänt.

6 Slutsats

Dataunderlaget förbättras i takt med att tekniken gör nya framsteg. En allt större del av de data som publiceras ger stöd för att mantelplymer förekommer och att de ger upphov till hotspots, om än i olika skepnad. En betydande del av det som skrivs av skeptiker har inte genomgått den granskningsprocedur som normalt förknippas med vetenskaplig publicering och publiceras på platser som inte är vedertagna i vetenskapliga sammanhang. Det sista ordet om mantelplymer är dock ännu inte sagt. Det kvarstår många frågetecken som behöver fortsatt forskning för att besvaras. Ett exempel är de geokemiska analyserna, som på något sätt måste kopplas till mantelplymens geofysiska processer för att få ökad trovärdighet som undersökningsmetod. Seismiska data bör också förbättras för att kunna påvisa resultat utan att data behöver genomgå omfattande behandling.

Det är sannolikt att verkligheten består av en kombination av förklaringsmodeller. Mantelplymer stiger från kärnan varefter vissa stiger till ytan och bildar hotspots medan andra fastnar i ett TBL och istället avger mindre plymer som kan ge upphov till andra

typer av vulkaniska spår. Magmatism inom plattor behöver nödvändigtvis inte innebära att en mantelplym är närvarande, istället bör varje fall undersökas enskilt. Några magmatiska provinser har orsakats av mantelplymer medan andra kräver alternativa förklaringsmodeller och vidare forskning. Mantelplymer har haft en i många fall avgörande roll i lokaliseringen av kontinentuppsprickning. Internal heating har förekommit framförallt under superkontinenterna, men det är mindre troligt att detta har initierat uppsprickningen. Sammantaget bekräftar allt för många studier att mantelplymer finns för att kunna avfärda mantelplymhypotesen. Vidare forskning bör fokusera på att studera mantelplymernas bildningsprocesser och ursprung.

5 Mantelplymer i geologiundervisningen - en personlig reflektion

Vid kandidatprogrammet i geologi vid Lunds universitet förekommer två kurser som är mer eller mindre anknutna till berggrundsgeologi där mantelplymer förekommer i undervisningen. Under introduktionskursen Planeten Jordan (GEOA01) bekantas studenterna med begrepp som plattetektonik, spridningsryggar, subduktionszoner och mantelplymer. Det sistnämnda återkommer sporadiskt under kursens gång och behandlas som ett vedertaget begrepp, även om studenterna upplyses om att det är ett kontroversiellt ämne. Mantelplymer nämns ofta i kontext med flodbasalter som Deccan- och Sibiriska flodbasalterna men även Hawaii-spåret är ett vanligt förekommande exempel på hur en mantelplym kan yttra sig på jordytan. Kursen behandlar inte närmare olika hypoteser och teorier om exempelvis hur seismiska data tolkas, geokemiska signaturer, datormodelleringar eller allmänna argument för och emot mantelplymers existens.

Den andra kursen där studenterna kommer i kontakt med mantelplymer heter Litosfären (GEOB03). Här nämns mantelplymer i samband med olika typer av uppsmältning och i vilka tektoniska miljöer de återfinns vid. I kursboken Earth Materials diskuterar Klein & Philpotts (2012) uppsmältning vid mantelplymer där Hawaii-hotspoten återkommer som exempel. Klein & Philpotts (2012) menar att mantelplymer sannolikt bildas vid gränsen mellan kärna och mantel och att mantelplymen orsakar uppsmältning i manteln, men nämner också att teorin fortfarande är kontroversiell även om nya seismiska data har lyckats åskådliggöra Hawaii-plymen.

Min uppfattning är att konsensus i geologiundervisningen vid Lunds universitet är att mantelplymer behandlas som ett vedertaget begrepp. Alternativa förklaringsmodeller som exempelvis var mantelplymerna har sitt ursprung, vilken roll de spelar i samband med kontinentuppsprickning och deras koppling till LIPs diskuteras inte närmare. Jag tycker att

den mängd undervisning som behandlar mantelplymer är tillräcklig för grundnivå.

7 Tackord

Jag vill tacka min handledare Anders Scherstén för betydelsefulla diskussioner och assistans vid litteraturval. Vidare vill jag också tacka min kollega Jon Gustafson för god feedback och sällskap under skrivandet.

8 Referenser

- Anderson, D. L., 1975: Chemical plumes in the mantle: *Geological Society of America Bulletin* 86, 1593-1600.
- Anderson, D. L., 1998: The scales of mantle convection: *Tectonophysics* 284, 1-17.
- Anderson, D. L., 2005: The Plume Assumption: Frequently Used Arguments. Hämtad 27:e mars 2015, från <http://www.mantleplumes.org/Convection.html>.
- Anderson, D. L., 2006: Speculations on the nature and cause of mantle heterogeneity: *Tectonophysics* 416, 7-22.
- Anderson, D. L., 2009: The General Theory of Plate Tectonics. Hämtad 27:e mars 2015, från <http://www.mantleplumes.org/GTofPT.html>.
- Anderson, D. L., u.å.: Mantle Convection. Hämtad 27:e mars 2015, från <http://www.mantleplumes.org/Convection.html>.
- Bourdon, B., Ribe, N. M., Stracke, A., Saal, A. E. & Turner, S. P., 2006: Insights into the dynamics of mantle plumes from uranium-series geochemistry: *Nature (London)* 444, 713-717.
- Bressan, D., 2011: Large Igneous Provinces and Mass Extinctions. Hämtad 13:e maj 2015, från <http://blogs.scientificamerican.com/history-of-geology/large-igneous-provinces-and-mass-extinctions/>.
- Campbell, I., 2007: The Case for Mantle Plumes. Hämtad 27:e mars 2015, från <http://www.mantleplumes.org/Plumes.html>.
- Campbell, I. H., 2005: Large igneous provinces and the mantle plume hypothesis: *Elements* 1, 265-269.
- Chabaux, F. & Allègre, C. J., 1994: 238U • 230Th • 226Ra disequilibria in volcanics: A new insight into melting conditions: *Earth and Planetary Science Letters* 126, 61-74.
- Courtillot, V., Davaille, A., Besse, J. & Stock, J., 2003: Three distinct types of hotspots in the Earth's mantle: *Earth and Planetary Science Letters* 205, 295-308.
- Doglion, C., Cuffaro, M., Green, D. & Mogelli, F., 2004: Hotspots and the westward drift of the lithosphere: *International Geological Congress, Abstracts = Congres Geologique International, Resumes* 32, Part 1, 784.
- Foulger, G. R. & Anderson, D. L., 2005: A cool model for the Iceland hotspot: *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 141, 1-22.

- Foulger, G. R. & Natland, J. H., 2003: Is "hotspot" volcanism a consequence of plate tectonics?: *Science* 300, 921-922.
- Green, D. H. & Falloon, T. J., 2005: Primary magmas at mid-ocean ridges, "hotspots", and other intraplate settings; constraints on mantle potential temperature: *Special Paper - Geological Society of America* 388, 217-247.
- Griffiths, R. W. & Campbell, I. H., 1991: Interaction of mantle plume heads with the Earth's surface and onset of small-scale convection: *Journal of Geophysical Research* 96, 18,295-218,310.
- Hawkesworth, C. & Schersten, A., 2007: Mantle plumes and geochemistry: *Chemical Geology* 241, 319-331.
- He, B., Xu, Y.-G., Chung, S.-L., Xiao, L. & Wang, Y., 2003: Sedimentary evidence for a rapid, kilometer-scale crustal doming prior to the eruption of the Emeishan flood basalts: *Earth and Planetary Science Letters* 213, 391-405.
- Klein, C. & Philpotts, A. R., 2012: *Earth materials : introduction to mineralogy and petrology*. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.
- Mckenzie, D. & Bickle, M. J., 1988: The volume and composition of melt generated by extension of the lithosphere: *Journal of Petrology* 29, 625-679.
- Meibom, A. & Anderson, D. L., 2004: The statistical upper mantle assemblage: *Earth and Planetary Science Letters* 217, 123-139.
- Montelli, R., Nolet, G., Dahlen, F. A., Masters, G., Engdahl, E. R. & Hung, S.-H., 2004: Finite-Frequency Tomography Reveals a Variety of Plumes in the Mantle: *Science* 303, 338-343.
- Morgan, W. J., 1971: Convection Plumes in the Lower Mantle. In: A. Cox (red.) *Plate Tectonics and Geomagnetic Reversals*. W. H. Freeman Co.; Reprint. 659-661 s.
- Pearce, J. A. & Cann, J. R., 1973: Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses: *Earth and Planetary Science Letters* 19, 290-300.
- Putirka, K. D., Perfit, M., Ryerson, F. J. & Jackson, M. G., 2007: Ambient and excess mantle temperatures, olivine thermometry, and active vs. passive upwelling: *Chemical Geology* 241, 177-206.
- Sager, W. W., 2007: Insight into Motion of the Hawaiian Hotspot from Paleomagnetism. Hämtad 27:e mars 2015, från <http://www.mantleplumes.org/HawaiiBend.html>.
- Storey, B. C., 1995: The role of mantle plumes in continental breakup; case histories from Gondwanaland: *Nature (London)* 377, 301-308.

Tidigare skrifter i serien

”Examensarbeten i Geologi vid Lunds universitet”:

392. Järvin, Sara, 2014: Studie av faktorer som påverkar skredutbredningen vid Norsälven, Värmland. (15 hp)
393. Åberg, Gisela, 2014: Stratigrafin i Hanöbukten under senaste glaciationen: en studie av borrhäls från IODP's expedition nr 347. (15 hp)
394. Westlund, Kristian, 2014: Geomorphological evidence for an ongoing transgression on northwestern Svalbard. (15 hp)
395. Rooth, Richard, 2014: Uppföljning av utlastningsgrad vid Dannemora gruva; april 2012 - april 2014. (15 hp)
396. Persson, Daniel, 2014: Miljögeologisk undersökning av deponin vid Getabjär, Sölvesborg. (15 hp)
397. Jennerheim, Jessica, 2014: Undersökning av långsiktiga effekter på mark och grundvatten vid infiltration av lakvatten – fältundersökning och utvärdering av förhållanden vid Kejsarkullens avfallsanläggning, Hultsfred. (15 hp)
398. Särman, Kim, 2014: Utvärdering av befintliga vattenskyddsområden i Sverige. (15 hp)
399. Tuveson, Henrik, 2014: Från hav till land – en beskrivning av geologin i Skrylle. (15 hp)
400. Nilsson Brunlid, Anette, 2014: Paleogeologisk och kemisk-fysikalisk undersökning av ett avvikande sedimentlager i Barsebäcks mosse, sydvästra Skåne, bil dat för ca 13 000 år sedan. (15 hp)
401. Falkenhaus, Jorunn, 2014: Vattnets kretslopp i området vid Lilla Klåveröd: ett kunskapsprojekt med vatten i fokus. (15 hp)
402. Heingård, Miriam, 2014: Long bone and vertebral microanatomy and osteohistology of 'Platecarpus' ptychodon (Reptilia, Mosasauridae) – implications for marine adaptations. (15 hp)
403. Kall, Christoffer, 2014: Microscopic echinoderm remains from the Darriwilian (Middle Ordovician) of Västergötland, Sweden – faunal composition and applicability as environmental proxies. (15 hp)
404. Preis Bergdahl, Daniel, 2014: Geoenergi för växthusjordbruk – Möjlig anläggning av värme och kyla i Västskåne. (15 hp)
405. Jakobsson, Mikael, 2014: Geophysical characterization and petrographic analysis of cap and reservoir rocks within the Lund Sandstone in Kyrkheddinge. (15 hp)
406. Björnfors, Oliver, 2014: A comparison of size fractions in faunal assemblages of deep-water benthic foraminifera—A case study from the coast of SW-Africa.. (15 hp)
407. Rådman, Johan, 2014: U-Pb baddeleyite geochronology and geochemistry of the White Mfolozi Dyke Swarm: unravelling the complexities of 2.70-2.66 Ga dyke swarms on the eastern Kaapvaal Craton, South Africa. (45 hp)
408. Andersson, Monica, 2014: Drumliner vid moderna glaciärer — hur vanliga är de? (15 hp)
409. Olsenius, Björn, 2014: Vinderosion, sanddrift och markanvändning på Kristianstadsslätten. (15 hp)
410. Bokhari Friberg, Yasmin, 2014: Oxygen isotopes in corals and their use as proxies for El Niño. (15 hp)
411. Fullerton, Wayne, 2014: REE mineralisation and metasomatic alteration in the Olserum metasediments. (45 hp)
412. Mekhaldi, Florian, 2014: The cosmic-ray events around AD 775 and AD 993 - Assessing their causes and possible effects on climate. (45 hp)
413. Timms Eliasson, Isabelle, 2014: Is it possible to reconstruct local presence of pine on bogs during the Holocene based on pollen data? A study based on surface and stratigraphical samples from three bogs in southern Sweden. (45 hp)
414. Hjulström, Joakim, 2014: Bortforsling av kaxblandat vatten från borrhäls via dagvattenledningar: Riskanalys, karaktärisering av kaxvatten och reningsmetoder. (45 hp)
415. Fredrich, Birgit, 2014: Metadolerites as quantitative P-T markers for Sveconorwegian metamorphism, SW Sweden. (45 hp)
416. Alebouyeh Semami, Farnaz, 2014: U-Pb geochronology of the Tsineng dyke swarm and paleomagnetism of the Hartley Basalt, South Africa – evidence for two separate magmatic events at 1.93-1.92 and 1.88-1.84 Ga in the Kalahari craton. (45 hp)
417. Reiche, Sophie, 2014: Ascertaining the lithological boundaries of the Yoldia Sea of the Baltic Sea – a geochemical approach. (45 hp)

418. Mroczek, Robert, 2014: Microscopic shock-metamorphic features in crystalline bedrock: A comparison between shocked and unshocked granite from the Siljan impact structure. (15 hp)
419. Baliya, Fisnik, 2014: Radon ett samhällsproblem - En litteraturstudie om geologiskt sammanhang, hälsoeffekter och möjliga lösningar. (15 hp)
420. Andersson, Sandra, 2014: Undersökning av kalciumkarbonatförekomsten i infiltrationsområdet i Sydvattens vattenverk, Vombverket. (15 hp)
421. Martin, Ellinor, 2014: Chrome spinel grains from the Komstad Limestone Formation, Killeröd, southern Sweden: A high-resolution study of an increased meteorite flux in the Middle Ordovician. (45 hp)
422. Gabriellsson, Johan, 2014: A study over Mg/Ca in benthic foraminifera sampled across a large salinity gradient. (45 hp)
423. Ingvaldson, Ola, 2015: Ansvarsutredningar av tre potentiellt förorenade fastigheter i Helsingborgs stad. (15 hp)
424. Robygd, Joakim, 2015: Geochemical and palaeomagnetic characteristics of a Swedish Holocene sediment sequence from Lake Storsjön, Jämtland. (45 hp)
425. Larsson, Måns, 2015: Geofysiska undersökningsmetoder för geoenergisystem. (15 hp)
426. Hertzman, Hanna, 2015: Pharmaceuticals in groundwater - a literature review. (15 hp)
427. Thulin Olander, Henric, 2015: A contribution to the knowledge of Fårö's hydrogeology. (45 hp)
428. Peterffy, Olof, 2015: Sedimentology and carbon isotope stratigraphy of Lower-Middle Ordovician successions of Slemestad (Oslo-Asker, Norway) and Brunflo (Jämtland, Sweden). (45 hp)
429. Sjunnesson, Alexandra, 2015: Spårämnesförsök med nitrat för bedömning av spridning och uppehållstid vid återinfiltration av grundvatten. (15 hp)
430. Henao, Victor, 2015: A palaeoenvironmental study of a peat sequence from Iles Kerguelen (49° S, Indian Ocean) for the Last Deglaciation based on pollen analysis. (45 hp)
431. Landgren, Susanne, 2015: Using calcine-filled osmotic pumps to study the calcification response of benthic foraminifera to induced hypoxia under *in situ* conditions: An experimental approach. (45 hp)
432. von Knorring, Robert, 2015: Undersökning av karstvittring inom Kristianstadsslättens NV randområde och bedömning av dess betydelse för grundvattnets sårbarhet. (30 hp)
433. Rezvani, Azadeh, 2015: Spectral Time Domain Induced Polarization - Factors Affecting Spectral Data Information Content and Applicability to Geological Characterization. (45 hp)
434. Vasilica, Alexander, 2015: Geofysisk karaktärisering av de ordoviciska kalkstensenhetererna på södra Gotland. (15 hp)
435. Olsson, Sofia, 2015: Naturlig nedbrytning av klorerade lösningsmedel: en modellering i Biochlor baserat på en fallstudie. (15 hp)
436. Huitema, Moa, 2015: Inventering av föroreningar vid en brandövningsplats i Linköpings kommun. (15 hp)
437. Nordlander, Lina, 2015: Borrningsteknikens påverkan vid provtagning inför dimensionering av formationsfilter. (15 hp)
438. Fennvik, Erik, 2015: Resistivitet och IP-mätningar vid Äspö Hard Rock Laboratory. (15 hp)
439. Pettersson, Johan, 2015: Paleoeologisk undersökning av Triberga mosse, sydöstra Öland. (15 hp)
440. Larsson, Alfred, 2015: Mantelpolymer - realitet eller *ad hoc*? (15 hp)



LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen
Lunds universitet
Sölvegatan 12, 223 62 Lund