

Litteraturstudie: HIMU ursprung och framtid

Viktor Persson

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,
kandidatarbete, nr 680
(15 hp/ECTS credits)



Geologiska institutionen
Lunds universitet
2034

Litteraturstudie: HIMU ursprung och framtid

Kandidatarbete
Viktor Persson

Geologiska institutionen
Lunds universitet
2024

Innehåll

1	Introduktion	7
1.1	Bakgrund och Syfte	7
1.2	Frågeställning	7
1.3	Metoder	7
2	Geologisk bakgrund	7
2.1	Vulkaniska oceanöar	7
2.2	Mantle Zoo	10
2.3	Vad är HIMU	10
2.4	Pb Isotopernas utveckling	11
3	Resultat	12
3.1	Olika hypoteser om HIMUs ursprung	12
3.2	Hypotes 1 & 2	12
3.2.1	Hypotes 1 Okända ovanliga subduktionsprocesser	12
3.2.2	Hypotes 2 Vanliga subduktionsprocesser	13
3.2.3	Lagringlokal hypotes 1&2	13
3.3	Hypotes 3 Arkeikum	14
3.3.1	Lagring hypotes 3	14
4	Diskussion	15
4.1	Vad är ursprunget?	15
4.2	Blir det mer HIMU i framtiden?	16
5	Slutsatser.....	17
6	Tack.....	17
7	Referenser.....	17

Litteraturstudie: HIMU ursprung och framtid

Viktor Persson

Persson V 2024: Litteraturstudie: HIMU ursprung och framtid. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 680, 18 sid. 15 hp.

Sammanfattning: Mantelsignaturen HIMU (High μ / High U/Pb) som får sitt namn från dess höga $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ innehåll är en av normalt fyra mantelsignaturer som är funnet på flera oceaniska basaltöar över världen så som St Helena. Ursprunget av detta material är okänt men flera hypoteser kring dess bildande finns, där de flesta verkar ha subdukerande oceanskorpa med i bildningsprocessen. Denna litteraturstudies mål är därmed att söka fram dessa olika hypoteser och diskutera vilken som är mest sannolik samt att svara på frågan, blir det mer HIMU i framtiden? Resultatet av dessa sökningar har primärt gett tre hypoteser kring HIMUs bildning. Dessa är; hypotes ett som placerar ursprunget i ovanliga och okända processer under subduktion av oceanskorpa. Dessa sällsynta processer kan ha inträffat bara enstaka tillfällen i jordens historia. Hypotes två som placerar ursprunget i en vanligare process under subduktion av oceanskorpa inkluderar berikning och kontamination från olika källor till exempel havsvatten tillsammans med partiell uppsmältning av den subdukerande oceanskorpan och kombination av partiell uppsmält mantel. Hypotes tre placerar HIMUs ursprung i arkeikum där den ska ha bildats genom metasomatism med karbonater i den subkontinentala litosfäriska manteln. Det gemensamma mellan dessa hypoteser är att HIMU måste ha isolerats och lagrats i manteln. Flera lagringslokaler har föreslagits, dessa är den djupa manteln och övergångszonen samt så låter hypotes tre HIMU-material även finnas under vissa delar av kontinentalskorpan i den övre manteln med mindre mängder. Resultaten av denna rapport har tagit fram ett flertal olika hypoteser kring HIMUs ursprung där jag tror att det är den andra hypotesen som är mest sannolik eftersom de mätningar som utförts på HIMU-material mest pekar på denna hypotes. Denna hypotes leder också till att HIMU kan bildas aktivt i dagens subduktionsprocesser vilket kan leda till mer HIMU i framtiden.

Nyckelord: Geologi, HIMU, Ursprung till HIMU, mantelsignaturer, Petrologi

Handledare: Anders Scherstén

Ämnesinriktning: Geokemi + Petrologi

Viktor Persson Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige. E-post: Viktor@rengsjo.com

Literary study: HIMU origin and future

Viktor Persson

Persson V 2024: Litteraturstudie: HIMU ursprung och framtid.. *Dissertations in Geology at Lund University*, No.680, 18 pp. 15 hp(15 ECTS credits) .

Abstract:The mantle signature HIMU (High μ / High U/Pb) which gets its name from its high $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ ratios is one of four mantle signatures which is found on several oceanic basalt islands around the world such as St Helena. There are also several hypotheses about the origin of this HIMU material where most have subducted oceanic plates as part of the formation. The purpose of this literature analysis is therefore to search for different hypotheses and through this discuss the origin of HIMU and answer the question, will there be more HIMU in the future? The result of this search has led to three primary hypotheses about HIMUs origin. These are; hypothesis one which places the origin of HIMU in the subduction of the oceanic crust, This with special, rare and unknown circumstances which may have only happened a few times in history. Hypothesis two which also places the origin of HIMU in the subduction processes of oceanic crust but combines it with enrichment and contamination from different sources such as ocean water and partial melting of the subducting plate as well as combination with partially melted mantle material. This hypothesis also lets the formation of HIMU be an active process today. Hypothesis three places the origin in the Archean geological period where it is hypothesized to have formed through metasomatism with carbonates in the subcontinental lithospheric mantle. Common between all three hypotheses are that HIMU must have been isolated and stored in the mantle and several storage locales have been proposed; these are primarily the deep mantle and the transition zone. The hypothesis that places the origin in the Archean also lets some HIMU exist under the continental crust in lesser degrees. Although the results of this rapport has given several hypotheses on the origin of HIMU I think the most convincing one is hypothesis two as the measurements taken on HIMU mostly points in its direction. This means that HIMU could actively be produced during subduction of oceanic crust and would also lead to the possibility of more HIMU in the future

Keywords: HIMU, Origin of HIMU, Mantle signatures, Petrology

Supervisor(s): Anders Scherstén

Subject: Geochemistry + Petrology

Viktor Persson Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige. E-post: Viktor@rengsjo.com

1 Introduktion

1.1 Bakgrund och Syfte

En fråga som funnits inom den geologiska världen är källan till HIMU (High μ) vilket är en av de fyra vanligast använda mantelsignaturerna som är material bestående av speciella geokemiska sammansättningar. HIMU som har höga värden av $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ påträffas enligt Vidal (1992) i ett flertal områden runt världen. Dessa områden är mestadels på havsöar i Atlanten och Stilla havet som består av basalt, exempel på dessa öar är exempelvis St Helena, Marquesas och Tubuai. Viktigt är dock att notera att flera platser med HIMU finns förutom de som nämns här (Vidal, 1992). HIMU är en del av jordens mantel med en unik geokemisk signatur som hittas i basalt som kännetecknas av en av hög $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ som bör ha lagrats under lång tid (Pease & Rollinson, 2021).

Ett flertal hypoteser på hur mantelsignaturen HIMU bildats finns men vilken som är den mest sannolika är dock diskuterad än idag. Denna rapport ämnar därmed att ta fram och sammanfatta dagens informationsläge om hur HIMU kan ha bildats och försöka svara på de angivna frågorna nedan. Att veta hur HIMU bildats kan därmed ge en syn på både jordens historia och framtid när det kommer till utvecklingen av olika mantelsignaturer samt på möjliga processer i manteln och under subduktion.

1.2 Frågeställning

Frågorna som detta arbete ämnar att besvara är frågan om hur HIMU kan ha bildats, frågan om HIMU kan komma att bli vanligare i framtiden samt så kommer det även att diskuteras var HIMUs lagringslokal finns.

1.3 Metoder

Denna rapport är en litteraturstudie i syfte att ta fram svar på frågeställningarna som tidigare presenterats. Relevant litteratur har främst sökts fram i Web of Science. Följt av en granskning av det som framgår inom dessa texter för att kunna diskutera de olika hypoteserna. Söktermer som använts för att hitta relevant litteratur har främst varit origin of HIMU, HIMU mantle source, HIMU, OIB, Mantle zoo och Mantle reservoir. Dessa söktermer har valts eftersom de har gett tillräckligt djup i sökmotorn för att hitta informationen som krävs.

2 Geologisk Bakgrund

2.1 Vulkaniska oceanöar

Vulkanism på jorden förekommer oftast kring kontinentalgränser, subduktionszoner och riftzoner/spridningszoner (Frisch et al 2023). Vulkanismen kring subduktionszoner finns då den subdukerande oceanskorpan får manteln att genomgå en partiell uppsmältning och denna magma kan röra sig uppåt genom den ovanliggande skorpan/plattan och ha möjligheten att bilda vulkaner i olika former (Frisch et al 2023). Den vulkanism som finns i spridningszoner finns eftersom att magman rör sig uppåt och bildar ny basaltisk skorpa där plattan rör sig bortåt så som vid den mittatlantiska ryggen eller det afrikanska riftsystemet (Frisch et al 2023). En förenkling av dessa system kan ses i figur 1.

Utöver dessa typer av vulkanism så förekommer också vulkanism vid så kallade hotspots där vulkanismen sker inom de kontinentala gränserna (se figur 1), dessa hotspots tros vara på stationära platser i manteln men kontinentaldriften får dem att lämna spår efter var plattan har flyttats vilket kan ses som kedjor av öar och förhöjningar i haven (White 2010; Frisch et al 2023). En karta över dessa hotspots och dess spår kan ses i figur 2. Dessa hotspots tros bildas via att plymer av varmare material rör sig upp från de djupaste delarna av manteln och lämnar efter svansar som

fortsätter att föra upp material i flera miljoner år (Frisch et al 2023). Dessa hotspots bildar öar bestående av vad som på engelska kallas OIB, vilket står för oceanic island basalt eller basaltisk havsö på svenska (Jackson & Dasgupta 2008).

Den magma som bildar OIB på dessa öar innehåller olika geokemiska sammansättningar än den basalt som förekommer vid oceanryggar och brukar delas upp i olika grupper. (Pease & Rollinson, 2021) Dessa öar skiljer sig i innehåll från oceanryggars basalt när det kommer till dess radiogena isotoper samt har de högre koncentration av alkaliska mineral i sin sammansättning. Dessa olika sammansättningar av isotoper gör att de delas upp i olika så kallade mantelsignaturer (Jackson & Dasgupta 2008; Frisch et al 2023). De olika sig-

naturena som brukar tas med i uppdelningen av oceaners basalter är Depleted mantle (DM), Berikad mantel (EM1 / EM2) och HIMU. (Ph Vidal, 1992; Rollinson & Pease, 2021). Det finns dock även vissa som tar med det så kallade Focal zone (FOZO) (se figur 3) som en separat mantelsignatur/sammansättning såsom Stracke et al (2005) och Garbe-Schönberg et al (2018). Tillsammans brukar dessa kallas för Mantle zoo. Dessa olika sammansättningar kommer dock i detta arbete kallas för mantelsignaturer.

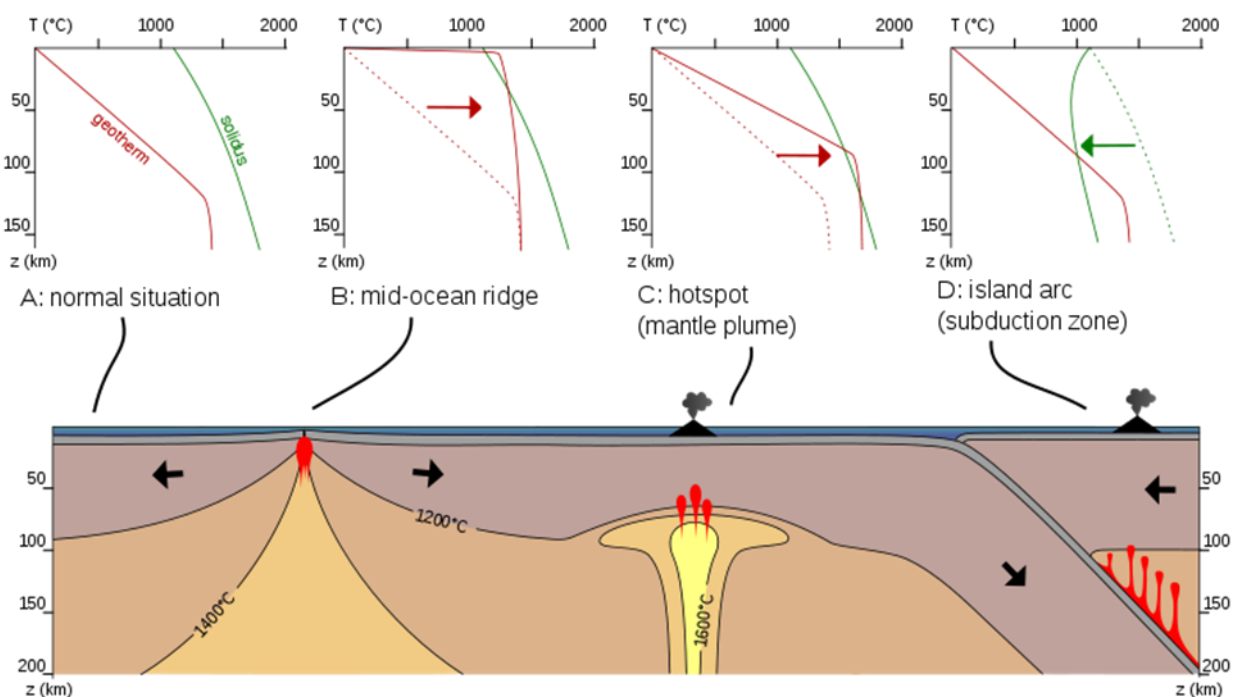


Fig. 1. Illustrerad av Woudloper (2010) visar en förenklad bild över de olika typer av vulkanism som finns och de olika temperaturskillnader som är inblandade. Vänster = spridningszon, Mitten = hotspot, Höger = subduktionszon

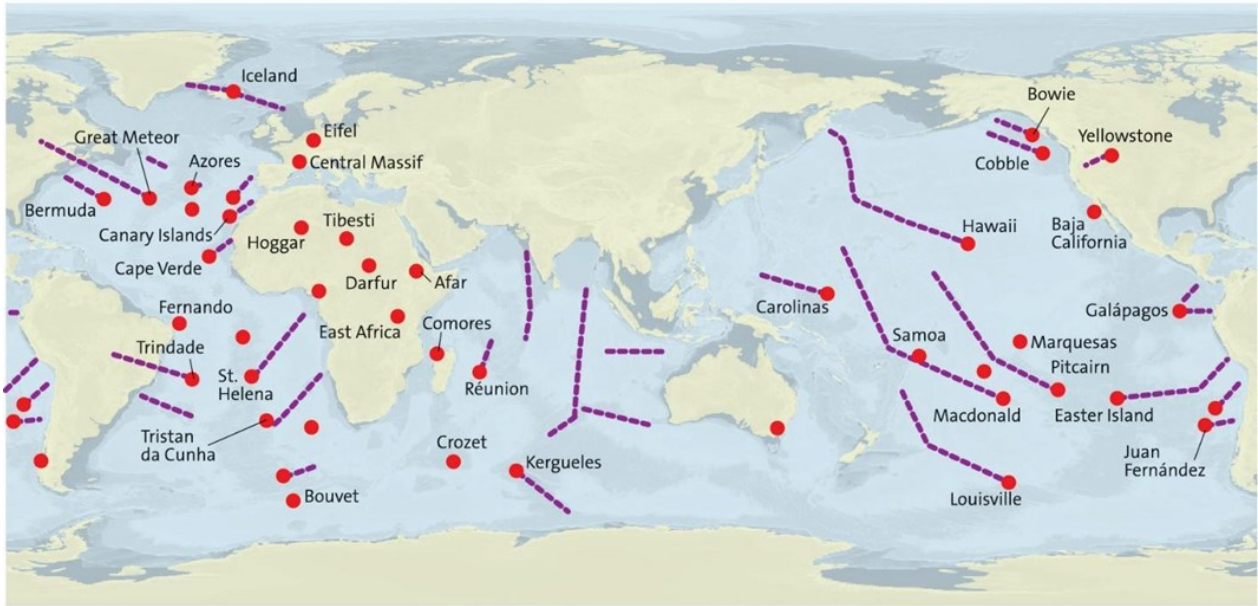


Fig. 2. Illustrerad av Frisch et al (2023) visar figur 2 de olika hotspoten som är upptäckta och deras spår vilket visar hur plattorna förflyttats över dem.

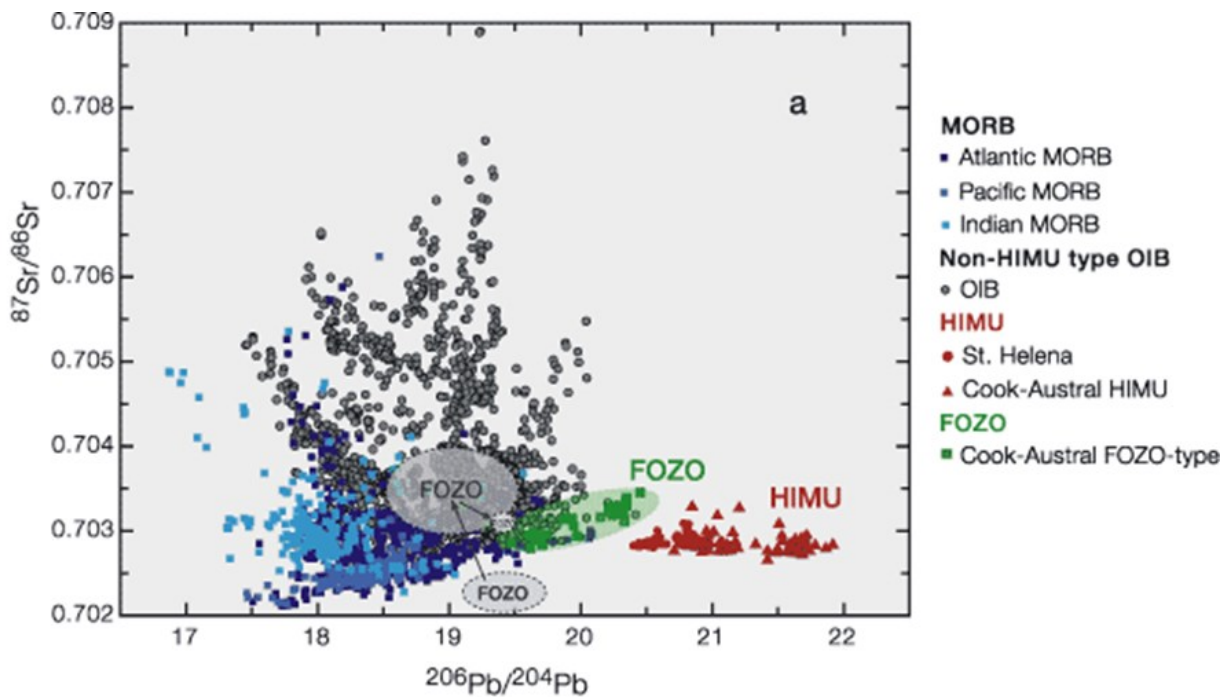


Fig. 3. visar en figur illustrerad av Stracke et al (2005) av hur FOZO finns i samband med andra mantelsignaturer. Den gröna (högra FOZO) är en definition av FOZO. Den grå zonen är en annan definition av FOZO. Det kan tydligt se att den högra definitionen närmar sig HIMU men när inte riktigt dit medan den andra definitionen agerar mer som att förena de andra signaturerna.

2.2 Mantle Zoo

Mantelsignaturerna som ingår i det så kallade mantle zoo är urlakad mantel (Depleted mantle, (DM), berikad mantel (Enriched mantle typ 1 och 2, EM1 / EM2) och HIMU (Stracke et al 2005). Ibland inkluderas även fokalzonen (FOcal ZOne, FOZO). Dessa mantelsignaturer definieras främst utifrån deras radiogena isotopsammansättning som kan ses i tabell 1 (Peace & Rollinson, (2021). Dessa skillnader är också illustrerade i figur 4.

DM: låga värden av $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ låga värden av $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ och $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ värden av ca 17.2-17.7.(Pease & Rollinson 2021)

EM1: låga värden av $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ låga värden av $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ och $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ värden av 17.6-17.7. (Pease & Rollinson 2021)

EM2: höga värden av $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ låga värden av $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ och $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ som är högre än EM1. (Pease & Rollinson 2021)

FOZO beskrivs ibland som en HIMU- liknande sammansättning där $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ är högre än DM och EM, men inte lika hög som HIMU (Stracke et al 2005). Eftersom $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ är beroende av mju-värdet och hur mycket tid som förflöpt. Då FOZO har förhöjd men samtidigt lägre

$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ i jämförelse med HIMU har FOZO ibland tolkats som en yngre HIMU alltså att det inte riktigt har nått en HIMU sammansättning men kan ha bildats under liknande processer (Garbe-Schönberg et al 2018).

2.3 Vad är HIMU

Mantelsignaturen HIMU (High μ / High $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$) som får sitt namn efter dess ovanligt höga $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ och $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ jämfört med EM1, EM2 och DM (Vidal 1992; Pease & Rollinson 2021). HIMU-signaturen finner man främst på St Helena (Atlanten) och bland öarna i franska Polynesien (Stilla havet), dock finns de mer extrema HIMU fyndigheterna ofta i Atlanten (Huang et al. 2010). Ursprunget till mantelsignaturen HIMU är än idag okänt men flera förslag finns.

HIMUs geokemiska sammansättning karaktäriseras främst av dess unika $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ isotopkvoter. I en sammanställning av Pease & Rollinson (2021) så kännetecknas HIMU av $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \sim 0,7029$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} < 0.512$ och $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} > 20,8$ se tabell 1. HIMU kan ibland också delas in i två typer där den ena typen faller på ett $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ mellan 19,5-20,5 och den andra $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} > 20,5$ dock är de andra isotoperna lika mellan dem (Stracke et al., 2005). Lokala interaktioner mellan litosfären/astenosfären och

Tabell. 1. visar de olika mantelsignaturernas radigeniska isotopvärden utifrån Pease & Rollinson (2021)

	DM	EM1	EM2	HIMU
$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	17.2-17.7	17.6-17.7	över 17.7	>20,8
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	låg	~0.705	>0.722	0.7029
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	Hög	<0.5112	0.511-0.5121	<0.51282

HIMU magman kan leda till mer lokala variationer inom HIMU materialet vilket kan ge förändringarna som ses på vissa öar (Vidal 1992).

HIMU ska också enligt Garbe-schönberg et al (2018) ha en sammansättning av spårelement likt den av den primitiva manteln.

En koll på sammansättningen av det mer vanliga mineralinnehållet i HIMU lavar visar heterogeniteter på innehållet mellan HIMU och de andra mantelsignaturerna vilket ej kan förklaras med skillnader i dess bildningsprocess (Jackson & Dasgupta 2008). Skillnaderna mellan signaturerna kan ses i figur 5. Det ska behövas vissa skillnader redan i ursprungsmaterialet av de olika OIB mantelsignaturerna för att förklara de skillnader i mer vanligt mineralinnehåll som ses i dessa material (Jackson & Dasgupta 2008). HIMU-lavor har ex en högre grad CaO/AL₂O₃ och en lägre koncentration SiO₂ än de andra mantel signaturer som finns och kan därför vara ett kännetecken av HIMU men kan också visa på hur ursprungsmaterialet kan ha varit uppbyggt (Jackson & Dasgupta 2008).

2. 4 Pb Isotopernas utveckling

Bly har fyra stabila isotoper, dessa är ²⁰⁴Pb, ²⁰⁶Pb,

²⁰⁷Pb och ²⁰⁸Pb (Pease & Rollinson 2021). ²⁰⁶Pb och ²⁰⁷Pb bildas genom sönderfall från uranisotoperna ²³⁵U och ²³⁸U medan ²⁰⁸Pb bildas genom sönderfall av ²³²Th, mer exakt så förfaller ²³⁵U till ²⁰⁷Pb, ²³⁸U till ²⁰⁶Pb och ²³²Th till ²⁰⁸Pb medan ²⁰⁴Pb inte är en sönderfallsprodukt och förekommer stabilt (Pease & Rollinson 2021).

Sönderfallen för olika U isotoper sker i olika hastigheter och olika koncentrationer av blyisotoperna bör finnas beroende på materialets ålder exempelvis så sker ²³⁵U sönderfallet snabbare och planar då ut fort medans ²³⁸U sönderfallet sker över längre tid och ökar då i en mer balanse-rad hastighet (Allègre 2008). Idag finns det bara en mindre mängd av ²³⁵U och sönderfallet av ²³⁸U till ²⁰⁶Pb är mer prominent i yngre material (Pease & Rollinson 2021). Då ²⁰⁷Pb oftast är isotopen som bildats i äldre material så kan detta användas för att tyda en äldre källa och om man jämför med mängden ²⁰⁶Pb som finns kan man tyda åldrar på material (Pease & Rollinson 2021) Man kan därmed tolka ålder och de originella U isotop mängderna från variationen i Pb isotoper.

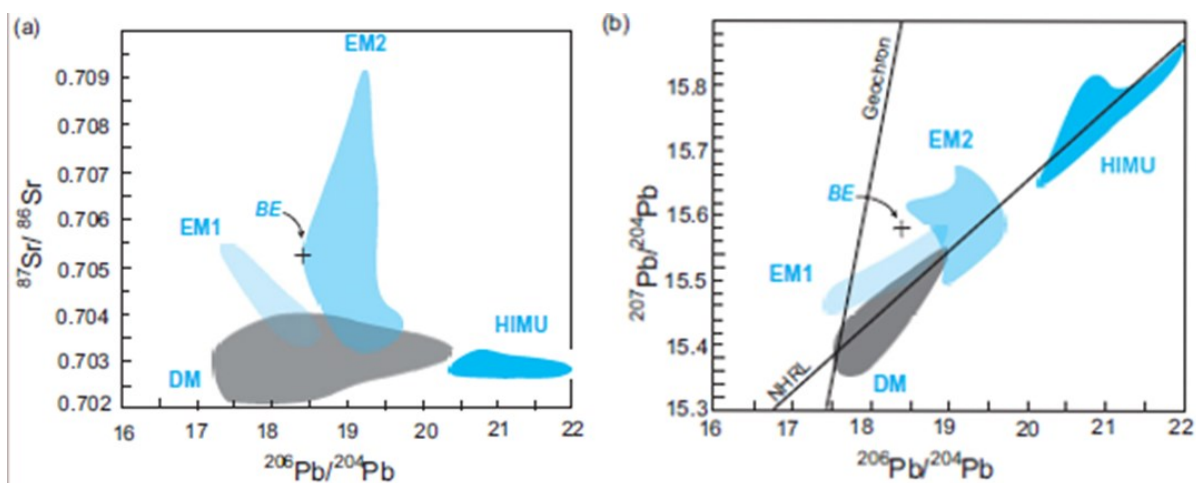


Fig. 4. Dessa figurer, illustrerade av Pease & Rollinson (2021) visar siklindaderna i de mest accepterade mantelsignaturerna utifrån dess innehåll av radiogena isotoper. (a) Visar dem beroende på ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr och ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb. (b) Visar dem beroende på ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb och ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb

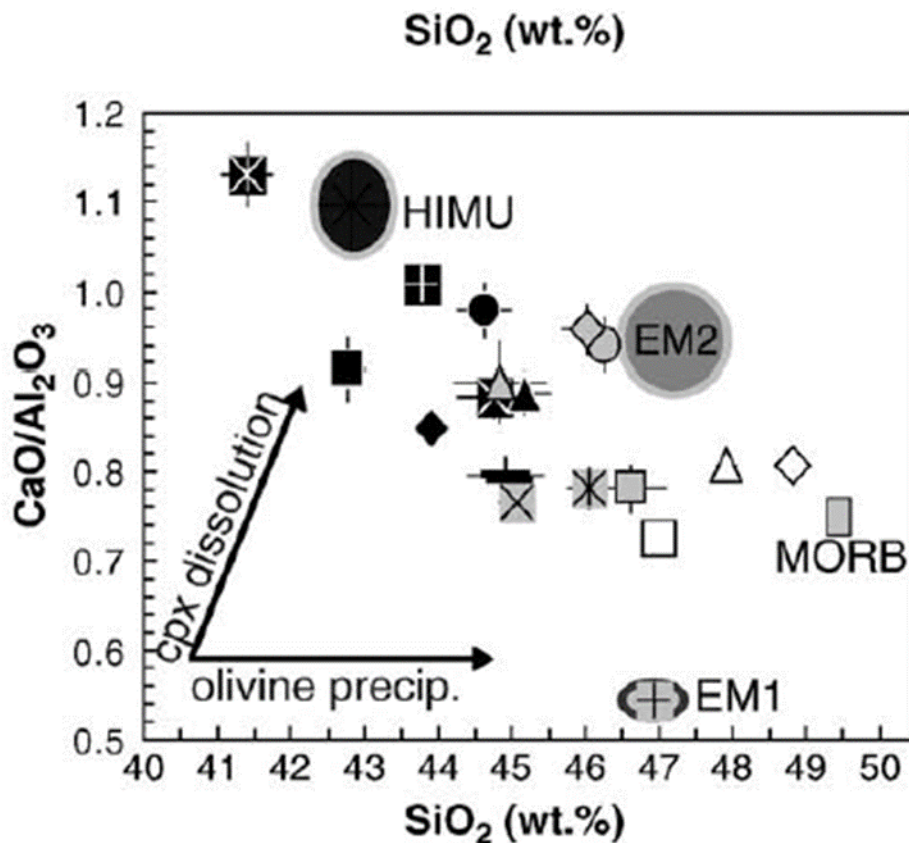


Fig. 5. (Jackson & Dasgupta 2008). Figuren visar ett diagram över skillnaderna av de alkalina mineralinnehållet i de olika mantelsignaturerna. Denna visar skillnaderna baserat på innehåll av CaO/Al₂O₃ och SiO₂.

3 Resultat

3.1 Olika hypoteser om HIMUs ursprung

Det finns flera hypoteser gällande ursprunget till HIMU. Det som förenar de olika hypoteserna är att källan har sitt ursprung ur material från litosfären/oceanskorpans som sjunkit ned i manteln. Här följer en redovisning av de tre vanligast förekommande hypoteserna, vad de förklarar samt observationer som ger stöd för respektive hypotes.

1. Subducerad oceanskorpa under väldigt speciella förutsättningar.
2. Modifierad subducerad oceanskorpa som mixats med manteln.

3. Subkontinental litosfärisk mantel.

Den idag mest accepterade hypotesen är att det har med gammal oceanskorpa att göra men vilka processer som ingår är ifrågasatta men även inom hypoteserna förekommer också diskussion om HIMUs faktiska lokal i manteln (Stracke et al 2005).

3.2 Hypotes 1 & 2

3.2.1 Hypotes 1 Okända ovanliga subduktionsprocesser

En hypotes som tagits upp inom läsningen är att skapandet av HIMU var en speciell händelse i samband med oceanskorpans subduktion (Stracke

et al 2005). Här framför Stracke et al (2005) att olika inom rapporten okända processer måste ha inträffat i samband med att oceanskorpan subdukerat och framför med detta att all HIMU kan möjligtvis ha sitt ursprung i dessa ovanliga och okända processer. En möjlighet är att HIMU har haft en singular källa eller att det bara kunnat bildas under en viss tid i jordens historia (Stracke et al 2005). Deras slutsats menar att det är en kombination av ålder och sammanhang som spelar roll i bildandet av HIMU (Stracke et al 2005).

3.2.2 Hypotes 2 Vanliga subduktionsprocesser

En annan hypotes som framförs liknar hypotes ett men skiljer sig i att det låter bildningen av HIMU att vara aktiv än idag. Denna hypotes är att skapandet av HIMU sammanfaller med att skorpan ändras under subduktion. (Kawabata et al 2011; Pease & Rollinson 2021). Pease & Rollinson (2021) skriver om att en av de möjliga förklaringarna av HIMU är att skorpan blir kontaminerad och ändras i samband med subduktionen och att detta sedan mixas med manteln vilket leder till en hybridisering. Vidal (1992) skriver att oceanskorpan behöver anrikning för att nå en HIMU-liknande konsistens. Förslag kring denna process är att det kan ske via vätska från ovanliggande hav som tagits med ner under subduktion vilket då kan anrika detta material (Vidal 1992).

Det framgår i texterna att torkningen av den subdukerande skorpan kan medföra att vissa ämnen, exempelvis uran som finns i havsvattnet som väter oceanskorpan tas med och anrikar skorpan (Vidal 1992; Kawabata et al 2011). Det beskrivs också att detta kombinerat med den partiella uppsmältning som leder till att vissa mineral berikas under subduktion kan vara en av processerna som leder till skapandet av en HIMU-lik källa (Vidal 1992; Hanyu et al 2011). Det finns också materi-

al i HIMU som tyder på att den är mättad av vatten någon gång under bildningsprocessen (Kawabata et al 2011). Mätningarna på dessa HIMU-material tyder också på att ett MORB (mid oceanic ridge basalt) likt material som blivit berikad på exempelvis marina karbonater som subdukerat bör vara källan till HIMU (Kawabata et al 2011). Ett argument för att HIMU är en hybridisering av subdukerade partiellt uppsmält oceanskorpa och partiellt uppsmält mantel är isotopsammansättningen av Os som visar på att HIMU inte enbart kan ha sitt ursprung i oceanskorpa utan behöver ha blandats med manteln för att få den Os isotoppsammansättning som uppmätts (Hanyu et al 2011).

3.2.3 Lagringslokal hypotes 1&2

Hypotes ett och hypotes två har det gemensamt att materialet har sitt ursprung i oceanskorpa, och att detta material sjunkit eller subducerats djupt ned i manteln där det lagras under lång tid (därav de höga $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ som är resultatet av höga mju-värden och lång tid). Oavsett bildningsprocessen så måste HIMU-källan ha lagrats i manteln utan att homogeniseras under lång tid, det är dock osäkert var i manteln HIMU-källan är lokaliserad och många källor ger hypoteser gällande detta (Allègre 2008; Hanyu et al 2011; Kawabata et al 2011; Garbe-Schönberg et al 2018; Huang et al 2020).

Ett möjligt område i manteln är övergångszonen som är området mellan djup och övre manteln (Huang et al 2020). (se figur 6) Denna hypotes innebär att källan till HIMU finns i form av ett lager i hela den övre övergångszonen vilket bör innebära som att det då finns en global källa till HIMU (Huang et al., 2020). Huang et al. (2020) argumenterar att HIMU kan finnas inblandat med i olika grad i andra mantelsignaturer, men kan också förekomma mer isolerat själv på

öar såsom på St Helena och Bermuda så bör HIMUs källa finnas globalt vilket här tänkes vara i övre övergångszonen (Huang et al 2020). Denna lagrings hypotes framtas då HIMU kan hittas i öar med primärt annat material än HIMU (Huang et al 2020).

Det har också föreslagits att källan till HIMU varit isolerat djupt i manteln efter den bildats varav den sedan transporterats upp mot ytan i en mantelplym (Hanyu et al 2011; Garbe-Schönberg et al 2018). Det som skall ha blivit HIMU källan ska också kunnat genomgå en metasomatisk omvandling av pyrolytisk mantel (Hanyu et al., 2011). Denna sammansättning ska enligt Hanyu et al., (2011) ha bildat HIMU källan och därefter haft/fått en hög densitet vilket låtit den ligga orörd djupt i manteln tills den återvänder mot ytan (Hanyu et al 2011).

3. 3 Hypotes 3 Arkeikum

En möjlig tidigare källa till HIMU presenteras i Garbe-Schönberg et al (2018) där de föreslår att HIMU har sitt ursprung i processer som skedde under arkeikum. Detta efter mätningar som utförts på HIMU som givit resultat på isotopdata som visade en möjlig bildningsålder av källan som passar arkeisk tid, vilket lett dem till att framföra hypoteser kring möjliga bildningsätt för HIMU under denna tidsålder. Dessa mätningar utfördes på gamla submarina lavar som visade liknande sammansättning till de HIMU basalter som exempelvis finns på St Helena vilket i sin tur ger en sammansättning av spårelement liknande den som normaliserade primitiva manteln verkar ha (Garbe-Schönberg et al 2018). Att HIMU har en liknande sammansättning av spårelement till primitiva manteln betyder att den liknar spårelementen i manteln som var vid bildningen av kontinenterna/ efter kärnan separerats eller som da-

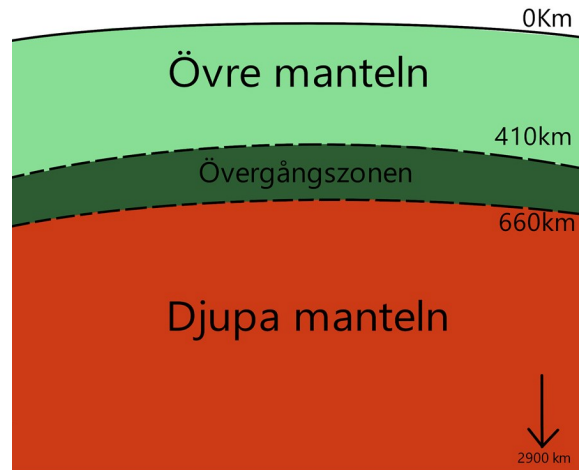


Fig. 6. Figuren visar en förenklad bild över jordens mantel med 3 uppdelningar. Övre manteln som går från skorpan till ca 410 km djup. Övergångszonen som går från 410 km-660 km och den djupa manteln från 660 km till kärnan på ca 2900 km. Med 0 km så räknas den som mantelns början och tar ej med skorpan.

gens djupa mantel (Pease & Rollinson 2021). Det föreslår att HIMU bildats under den tiden genom metasomatism av den väldigt lågprocentiga marina karbonat som fanns i kombination med subdukterade arkeisk oceanskorpa i den subkontinentala litosfäriska manteln (Garbe-Schönberg et al 2018). Detta följt av detta material sjunker djupare i manteln vilket följs med lagring och isolering av materialet (Garbe-Schönberg et al 2018).

3.3.1 Lagring hypotes 3

Ursprunget som Garbe-Schönberg et al (2018) föreslår beskriver alltså att HIMU-källan lagras i manteln över en tid. Det föreslås att möjligheten till att det kan finnas fickor av detta HIMU material på olika platser i manteln tillsammans med att det lagras djupt (Garbe-Schönberg et al 2018). Denna modell baseras på att HIMU bildats under arkeikum genom metasomatos av karbonat i den subkontinentala litosfäriska manteln, vilket kan ha låtit fickor av HIMU finnas kvar ytterligare under vissa delar av kontinenterna samtidigt som det kan ha förflyttats till de djupare delarna

av manteln (Garbe-Schönberg et al 2018). Om detta stämmer kan mindre mängder av HIMU finnas kvar i den subkontinentala manteln och därmed kunna förflyttas med mantelrörelser i den övre manteln mer nyligen, vilket kan förklara förekomsten av HIMU-signaturer där förekomsten av en mantelplym saknas (Garbe-Schönberg et al 2018).

4 Diskussion

4.1 Vad är ursprunget?

HIMU-signaturens ursprung är omtvistat. Vad som är den egentliga källan är fortfarande oklart i och med att vi inte kan direkt observera de processer som ger upphov till dess speciella sammansättning. Man måste helt enkelt försöka hitta förklaringar till de observationer som görs och successivt testa de olika hypoteser som ställs upp. Utifrån litteraturen verkar det råda konsensus kring att (geologiskt) gammal oceanskorpa är inblandat i bildandet av HIMU. Det är fortfarande oklart om dessa processer skedde under arkeikum som Garbe-Schönberg et al (2018) argumenterar, eller om det skedde vid ett singulärt tillfälle under geologisk tid där specifika och ovanliga förutsättningar fanns såsom Stracke et al (2005) argumenterar. En tredje hypotes som framför att HIMU-bildande processer kan ske kontinuerligt genom subduktion, och skulle i så fall varit en aktiv process så länge som jorden haft plattetektoniska processer likt de som vi ser spår av genom HIMU (Chang et al., 2011; Pease & Rollinson, 2021).

Argumentet för att HIMU bildades under Arkeikum är att det inte är möjligt att få en HIMU-signatur från oceanskorpa så som den förekommer via mittoceaniska ryggar idag samt att isotopdata pekat på en möjlig arkeisk tid (Garbe-Schönberg et al., 2018). Ett motargument i andra

modeller är att fraktionering av U/Pb kan ske under subduktionen (Pease & Rollinson 2021). Vidare argumenterar Garbe Schönberg et al. (2018) att HIMU-signaturen är globalt spridd i manteln. Jag anser dock att det finns fler lösningar på denna observation än att det måste ha skapats i arkeikum, exempelvis hypotesen om att det kan vara lagrat i övergångszonen som Huang et al (2020) presenterat kan ju också förklara varför HIMU kan hittas på andra platser.

Tanken om att HIMU har sitt ursprung i ett tillfälle i jordens historia med väldigt specifika förutsättningar såsom Stracke et al (2005) framför betyder alltså att detta event bildade och spred HIMU i stora delar av manteln eftersom HIMU har idag hittats på många olika havsöar. Dessa öar har dessutom variationer i sammansättningen av mineral vilket rent tekniskt kan förklaras via kontamination / berikning under bildning eller efter lagring samt via att HIMUs ursprungsmaterial kan ha haft olika mineralvärden redan innan subduktion. Även om HIMU bara bildas under de okända och speciella omständigheter som Stracke et al (2005) skriver om så fungerar även denna hypotes då dess relativa sällsynthet och utspridning idag kan kunna förklaras med denna modell ändå. Det som behövs är bara att bildningsprocessen kanske var vanligare än tänkt och då möjligtvis behålla de speciella processerna men också genererat HIMU under flera tillfällen. Detta betyder att hypotesen har möjligheten att fungera som ursprung till HIMU då vi ändå inte är säkra på processerna som bildar HIMU.

Den hypotes som jag förstår menar att HIMU är något som aktivt bildas även idag vid subduktion av oceanskorpa via olika berikningsprocesser, torkningar och partiella uppsmältningar är vad jag förstått den mest accepterade. Även om de egentliga processerna som inträffar under detta fortfa-

rande är under diskussion. Att HIMU bildas under subduktion genom berikning av den subdukerande skorpan stärks också då spår av vätskor som kan berika materialet finns då resultaten från Chang et al (2011) visar att HIMUs källa någon gång varit mättad på vatten. Denna hypotes kan också förklara varför HIMU kan hittas runt jorden då oceanskorpa har subdukerat på många platser runt jorden genom tiderna. Detta kan ha bildat flera HIMU-källor / lagringszoner. Tanken om att det varit subduktion av oceanskorpan som är källa till HIMU är också stärkt då mätningarna som Chang et al (2011) genomförde visade också på att det fanns submarina karbonater i HIMUs ursprungliga material. Detta betyder att det är en process som bör kunna ske även idag i subduktionszoner eftersom de förutsättningar som framgår i dessa hypoteser fortfarande finns idag.

De flesta verkar överens om att HIMU lagrats och isolerats i någon del av manteln. Men var detta sker varierar lite mellan texterna, exempelvis så är detta lagringsområde ofta placerat i den djupa manteln men det finns också hypoteser om att den är lagrad i andra platser såsom övergångszonen så som Huang et al (2020) förklarar. Tanken att den finns i övergångszonen har ju med att HIMU kan hittas i mindre mängder i öar av andra material som mestadels är uppbyggda av de andra mantelsignaturerna. HIMU med en källa i övergångszonen kan då också bli del av detta material i öar som inte är rent HIMU material då hotspoten som bildat dessa öar behövt gå igenom övergångszonen och därmed haft möjligheten att plocka upp en mindre mängd HIMU.

Tanken att HIMU har en lagringslokal i övergångszonen anser jag egentligen kunna finnas tillsammans med att det finns en större källa i den djupa manteln. Detta eftersom det som sagt hittas HIMU som både egna öar men också som spår

i öar ej bestående av HIMU efter vad Huang et al (2020) förklarar. Om HIMU finns i större mängder i djupare manteln så kan de öar som bara/mestadels har HIMU förklaras med att dessa har sina ursprung i de djupare källorna som lyfts upp med plymer. Medan de öar som har primärt annan signatur som sitt primära material men ändå spår av HIMUs källa gått igenom övergångszonen och då plockat upp HIMU materialet. Om denna tanke stämmer så kan det förklara varför olika mätningar och undersökningar ger resultat som tyder på att HIMU lagras i antingen övergångszonen eller i att den lagrats i djupare manteln. Helt enkelt så lagras den på båda platserna vilket kan göra så mätningarna ger resultat som tyder på båda platserna.

4.2 Blir det mer HIMU i framtiden?

För att förutspå om HIMU-signaturen kan bildas kontinuerligt genom jordens historia behöver man bättre förstå dess bildningsprocess. För att HIMU-signalen ska kunna utvecklas så krävs hög U/Pb och tid för att de karaktäristiskt höga $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ska utvecklas. Det innebär att om processer pågår idag så är det först i en geologisk framtid detta material kommer ha en utvecklad HIMU-signatur.

Om HIMU har sitt ursprung i de ovanliga förutsättningarna under en viss tid i jordens historia så som Stracke et al (2005) beskriver så kan tekniskt sett HIMU bildas även idag om dessa förutsättningar på något sätt inträffar igen. Dock innebär detta att HIMU inte är något som aktivt bildas vilket bör innebära att mängden HIMU inte signifikant ökar i framtiden eftersom processen blir så pass ovanlig att mängden HIMU från min förståelse antingen minskar eller hålls kvar på samma nivå som idag. Detta gäller om inte fler källor i manteln skulle komma att tömmas på HIMU sam-

tidigt genom att fler hotspots tar upp HIMU material vilket leder till att mängden HIMU på ytan kan öka dock skulle detta kunna leda till att lagringszonerna av HIMU töms. Om HIMU inte aktivt bildas kommer det alltså att minska i geologisk framtid.

Om HIMU bildas i subduktionsprocesser som hypotes två beskriver så skulle det innebära att det är (eller åtminstone kan vara) en kontinuerlig process. Att HIMU har bildats över en längre tid skulle också kunna förklara varför HIMU ger variationer i sin sammansättning över olika platser där det har hittats. En alternativ förklaring till observerade variationer kan vara kontamination av magmor när de stiger mot ytan, antingen i manteln eller i jordskorpan istället för skillnader under dess bildning. Att det aktivt bildas även idag men också historiskt sett betyder då att det kommer kunna bli vanligare i framtiden geologiskt sett eftersom mängden HIMU-material i dess källområde kommer troligtvis att öka. Om mängden HIMU ökar på ytan verkar dock vara helt beroende av mängden hotspots som för upp detta material. Då denna hypotes verkar den mest troliga så kommer det alltså troligen att bli mer HIMU i lagringslokalerna.

5 Slutsatser

Mantelsignaturen HIMU som är speciell för sin grad $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ är funnet i basaltiska havsöar och har en okänd bildningsprocess men olika hypoteser kring ämnet finns och de 3 vanligaste förekommande hypoteserna har diskuterats i denna rapport. Vid en sammanvägning av litteraturen kan vissa generella slutsatser dras kring hur HIMU bildas, exempelvis så är det gemensamma för olika ursprungsmodeller att subducerad oceanskorpora är involverat i processen och att denna subducerade skorpa har en förhöjd U/Pb i sin

sammansättning. Gemensamt mellan hypoteserna är också att HIMU inte enbart består av denna oceanskorpora utan olika processer under subduktionen bildar HIMU-materialet samt att HIMU måste ha lagrats utan att blandas med den omgivande manteln för att finnas som en separat källa idag. En hypotes var att det bildats under väldigt ovanliga omständigheter under en viss tid i jordens historia. Den andra hypotesen gav ursprunget som en vanligare process under subduktionen av oceanskorpora som fortfarande kan ske idag. Den tredje gav ursprunget i Arkeikum där den bildats genom metasomatism av karbonat i den subcontinentala litosfäriska manteln. Den hypotes som jag dock tror är den mest sannolika är den andra där HIMU skapas någorlunda vanligt under subduktion. Detta har också lett till slutsatsen att HIMU kan komma att bli vanligare i framtiden eftersom när mer oceanskorpora genomgår subduktion så kan mer HIMU bildas, vilket kanske kan leda till att sett till en geologisk tidskala, så kan mer HIMU-material finnas i dess lagringzon vilket ger en möjligheten till att en större mängd öar av HIMU karaktär finns i framtiden.

6 Tack

Slutligen vill jag tacka Anders Schersten för att ha gett mig denna uppgift samt för hjälpen som handledare. Jag vill också tacka de som hjälpt till med att kontrollera texten efter grammatiska fel.

7 Referenser

- Allègre C. J. (2008). *Isotope Geology*. (C. Sutcliffe, Trans.). Cambridge: Cambridge University Press (pp220–357) <https://doi.org/10.1017/CBO9780511809323>
- Frisch, W., Meschede, M., Blakey, R.C. (2022). *Plate Tectonics*. Springer Textbooks in Earth Sciences, Geography and Environment. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-88999-9>
- Garbe-Schönberg, D. Geldmacher, J. Homrighausen, S, Hoernle, K, Hauff F, Wartho, J. Paul van den

- Bogaard, (2018) Global distribution of the HIMU end member: Formation through Archean plume-lid tectonics, *Earth-Science Reviews*, Volume 182, 85-101, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.04.009>
- Hanyu T, Tatsumi Y, Senda R, Miyazaki T, Chang Q, Hirahara Y, Takahashi T, Kawabata H, Suzuki K, Kimura J, Nakai S. (2011), Geochemical characteristics and origin of the HIMU reservoir: A possible mantle plume source in the lower mantle, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 12, Q0AC09, doi:10.1029/2010GC003252.
- Huang S , Tschauner O, Yang S, Humayun M, Liu W, Gilbert Corder S N, Bechtel H, Tischler J (2020) HIMU geochemical signature originating from the transition zone, *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 542 Article 116323 <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116323>.
- Jackson, M.G ,Dasgupta,R . (2008) Compositions of HIMU, EM1, and EM2 from global trends between radiogenic isotopes and major elements in ocean island basalts *Earth and Planetary Science Letters* Volume 276, Issues 1–2,, Pages 175-186 <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.09.023>
- Kawabata H, Hanyu T, Chang Q, Kimura J., Nichols A. R. L, Tatsumi Y, . (2011) The Petrology and Geochemistry of St. Helena Alkali Basalts: Evaluation of the Oceanic Crust-recycling Model for HIMU OIB, *Journal of Petrology*, Volume 52, Issue 4,, Pages 791–838, <https://doi.org/10.1093/petrology/egr003>
- Pease,V, Rollinson, H. . (2021). *Using Geochemical Data To Understand Geological Processes*, Cambridge University. <https://doi.org/10.1017/9781108777834.008>
- Ph Vidal, (1992) Mantle: More HIMU in the future? *Geochimica et Cosmochimica Acta* 56(12), 4295-4299, [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(92\)90269-O](https://doi.org/10.1016/0016-7037(92)90269-O)
- Stracke A., Hofmann A. W., Hart S. R., (2005), FOZO, HIMU, and the rest of the mantle zoo, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 6, Q05007, doi:10.1029/2004GC000824.
- White WM. (2010) Oceanic Island Basalts and Mantle Plumes: The Geochemical Perspective. *Annual Review of Earth & Planetary Sciences*. 2010;38(1):133-160. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-040809-152450>

**Tidigare skrifter i serien
”Examensarbeten i Geologi vid Lunds
universitet”:**

624. Sundberg, Oskar, 2021: Jordlagerföljden i Højeådalens utifrån nya borrhningar. (15 hp)
625. Sartell, Anna, 2021: The igneous complex of Ekmanfjorden, Svalbard: an integrated field, petrological and geochemical study. (45 hp)
626. Juliusson, Oscar, 2021: Implications of ice-bedrock dynamics at Ullstorp, Scania, southern Sweden. (45 hp)
627. Eng, Simon, 2021: Rödslam i svenska kraftdammar - Problematik och potentiella lösningar. (15 hp)
628. Kervall, Hanna, 2021: Feasibility of Enhanced Geothermal Systems in the Precambrian crystalline basement in SW Scania, Sweden. (45 hp)
629. Smith, Thomas, 2022: Assessing the relationship between hypoxia and life on Earth, and implications for the search for habitable exoplanets. (45 hp)
630. Neumann, Daniel, 2022: En mosasaurie (Reptilia, Mosasauridae) av paleocensk ålder? (15 hp)
631. Svensson, David, 2022: Geofysisk och geologisk tolkning av kritskollors utbredning i Ystadsområdet. (15 hp)
632. Allison, Edward, 2022: Avsättning av Black Carbon i sediment från Odensjön, södra Sverige. (15 hp)
633. Jirdén, Elin, 2022: OSL dating of the Mesolithic site Nilsvikdalen 7, Bjørøy, Norway. (45 hp)
634. Wong, Danny, 2022: GIS-analys av effekten vid stormflod/havsnivåhöjning, Morupstrakten, Halland. (15 hp)
635. Lycke, Björn, 2022: Mikroplast i vattenavsatta sediment. (15 hp)
636. Schönherr, Lara, 2022: Grön fältspat i Varbergskomplexet. (15 hp)
637. Funck, Pontus, 2022: Granens ankomst och etablering i Skandinavien under post-glacial tid. (15 hp)
638. Brotzen, Olga M., 2022: Geologiska besöksmål och geoparker som plattform för popularisering av geovetenskap. (15 hp)
639. Lodi, Giulia, 2022: A study of carbon, nitrogen, and biogenic silica concentrations in *Cyperus papyrus*, the sedge dominating the permanent swamp of the Okavango Delta, Botswana, Africa. (45 hp)
640. Nilsson, Sebastian, 2022: PFAS- En sammanfattning av ny forskning, med ett fokus på föroreningskällor, provtagning, analysmetoder och saneringsmetoder. (15 hp)
641. Jägfeldt, Hans, 2022: Molnens påverkan på jordens strålningsbalans och klimatsystem. (15 hp)
642. Sundberg, Melissa, 2022: Paleontologiska egenskaper och syreisotopsutveckling i borrhkärnan Limhamn-2018: Kopplingar till klimatförändringar under yngre krita. (15 hp)
643. Bjermo, Tim, 2022: A re-investigation of hummocky moraine formed from ice sheet decay using geomorphological and sedimentological evidence in the Vomb area, southern Sweden. (45 hp)
644. Halvarsson, Ellinor, 2022: Structural investigation of ductile deformations across the Frontal Wedge south of Lake Vättern, southern Sweden. (45 hp)
645. Brakebusch, Linus, 2022: Record of the end-Triassic mass extinction in shallow marine carbonates: the Lorüns section (Austria). (45 hp)
646. Wahlquist, Per, 2023: Stratigraphy and palaeoenvironment of the early Jurassic volcanoclastic strata at Djupadalsmölle, central Skåne, Sweden. (45 hp)
647. Gebremedhin, G. Gebreselassie, 2023: U-Pb geochronology of brittle deformation using LA-ICP-MS imaging on calcite veins. (45 hp)
648. Mroczek, Robert, 2023: Petrography of impactites from the Dellen impact structure, Sweden. (45 hp)
649. Gunnarsson, Niklas, 2023: Upper Ordovician stratigraphy of the Stora Sutarve core (Gotland, Sweden) and an assessment of the Hirnantian Isotope Carbon Excursion (HICE) in high-resolution. (45 hp)
650. Cordes, Beatrix, 2023: Vilken ny kunskap ger aDNA-analyser om vegetationsutvecklingen i Nordeuropa under och efter Weichsel-istiden? (15 hp)
651. Bonnevier Wallstedt, Ida, 2023: Palaeocolour, skin anatomy and taphonomy of a soft-tissue ichthyosaur (Reptilia, Ichthyopterygia) from the Toarcian (Lower Jurassic) of Luxembourg. (45 hp)
652. Kryffin, Isidora, 2023: Exceptionally preserved fish eyes from the Eocene Fur Formation of Denmark – implications for palaeobiology, palaeoecology and taphonomy. (45 hp)
653. Andersson, Jacob, 2023: Nedslagskratrars inverkan på Mars yt-datering. En undersökning av Mars främsta yt-dateringsmetod ”Crater Counting”. (15 hp)
654. Sundberg, Melissa, 2023: A study in ink – the morphology, taphonomy and phylogeny of squid-like cephalopods from the Jurassic Posidonia Shale of Germany and the first record of a loligosepiid gill. (45 hp)

- hp)
655. Häggblom, Joanna, 2023: En patologisk sjöililja från silur på Gotland, Sverige. (15 hp)
656. Bergström, Tim, 2023: Hur gammal är jordens inre kärna? (15 hp)
657. Bollmark, Viveka, 2023: Ca isotope, oceanic anoxic events and the calcareous nannoplankton. (15 hp)
658. Madsen, Ariella, 2023: Polycykliska aromatiska kolväten i Hanöbuktens kustnära sediment - En sedimentologisk undersökning av vikar i närhet av pappersbruk. (15 hp)
659. Wangritthikraikul, Kannika, 2023: Holocene Environmental History of Warming Land, Northern Greenland: a study based on lake sediments. (45 hp)
660. Kurop, Anna, 2023: Reconstruction of the glacier dynamics and Holocene chronology of retreat of Helagsglaciären in Central Sweden. (45 hp)
661. Frisendahl, Kajsa, 2023: Holocene environmental history of Washington Land, NW Greenland: a study based on lake sediments. (45 hp)
662. Ryan, Cathal, 2023: Luminescence dating of the late Quaternary loess-palaeosol sequence at Velika Vrbica, Serbia. (45 hp)
663. Lindow, Wilma, 2023: U-Pb datering av zirkon i metasediment tillhörande Stora Le-Marstrand, SV Sverige. (15 hp)
664. Bengtsson, Kaisa, 2023: Geologisk karaktärisering av den kambriska Faluddensandstenen i Östersjön och dess lämplighet för koldioxidlagring. (15 hp)
665. Granbom, Johanna, 2023: Insights into simple crater formation: The Hummeln impact structure (Småland, Sweden). (45 hp)
666. Jonsson, Axel, 2023: Datering av vulkanen Rangitoto, Nya Zeeland, genom paleomagnetiska analysmetoder. (15 hp)
667. Muller, Elsa, 2023: Response of foraminifera *Ammonia confertitesta* (T6) to ocean acidification, warming, and Deoxygenation An experimental approach. (45 hp)
668. Struzynska, Patrycja, 2023: Petrography, geochemistry, and origin of deep magmatic cumulates in the Canary Islands – the xenolith record. (45 hp)
669. Krätzer, Tobias, 2023: Artificiella torskev i Hanöbukten: Förstudie. (15 hp)
670. Khorshidian, Farid, 2023: 3D modelling and resistivity measurements for hydrogeological assessments in the northern part of Vombsänkan. (45 hp)
671. Sundberg, Oskar, 2023: Methodology for Stored Heat “Heat In Place” (HIP) assessment of geothermal aquifers – Exemplified by a study of the Arnager Greensand in SW Scania. (45 hp)
672. Haraldsson, Emil, 2023: Kan akademien hjälpa industrin utveckla mer robusta grundvattenmodeller? En studie av moderna Svenska industriframtagna grundvattenmodeller. (15 hp)
673. Barabas, Ricky, 2024: Kan chockmetamorfos i okonventionella mineral hjälpa till att identifiera nedslagskratrar? (15 hp)
674. Nilsson, Sebastian, 2024: The glaciotectionic evolution of Ven, Sweden: insights from a comprehensive structural, sedimentological, and geomorphological analysis. (45 hp)
675. Brotzen, Olga M., 2024: A new Lagerstätte-like fossil assemblage from the early Silurian of Mösseberg, Sweden. (45 hp)
676. Eng, Simon, 2024: Precursors to the South Atlantic Anomaly - Magnetic field variations in Lake Eilandvlei, South Africa. (45 hp)
677. Husén, Simon, 2024: Structural Geological Model of the Kaunisvaara Mining District, Norrbotten, Sweden. (45 hp)
678. Hjalmarsson, Tilda, 2024: Det underkambriska problematiska fossilet *Spatangopsis* - Vad är dess verkliga affinitet? (15 hp)
679. Kuberna, Marcos, 2024: En litteraturstudie om klorparaffiner i grundvattnet och dess implikationer på hälsa och miljö. (15 hp)
680. Persson, Viktor, 2024: Litteraturstudie: HIMU ursprung och framtid. (15 hp)



LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen
Lunds universitet
Sölvegatan 12, 223 62 Lund