

# OM METASOMATISKA OMVANDLINGAR I SILIKATBERGARTER.

(FOREDRAG HOLDT I N. G. F. LØRDAG 13. DECBR. 1919)

AV

PENTTI ESKOLA

På varje berggrundskarta över Fennoskandia framträder Mellersta Sverige och Södra Finland såsom ett enhetligt gebit. Detta har kallats det *Sveko-Fenniska stråket* och karakteriseras genom att berggrunden i det stora hela utgöres av granit, i vilken otaliga större och mindre fragmentariska partier av äldre bergarter äro inneslutna. De intimare blandningarna äro vad SEDERHOLM kallat migmatiter, de större partierna av äldre berggrund åter framträda som öar i granithavet. — Då de alla till största del bestå av finkorniga gnejser eller leptiter, kunna vi beteckna sådana områden som *leptitbälten*. Det måhända allra största gebitet av detta slag i Södra Finland är det leptitbälte, som sträcker sig från Kisko till Kimito socken med en totallängd av c:a 75 km. Inom detta bälte ligger Orijärvi gruva, och det var i trakten av denna jag först iakttog och fann förklaringen till de fenomen, som jag här nedan skall framlägga<sup>1</sup>.

Innan vi övergå till redogörelse av Orijärvitrakten, må det nämnas några ord om graniten, som utan att bilda större homogena massiv dock visar en sådan överalltnärvaro inom den Sveko-Fenniska zonen, att man knappast kan antaga, att den skulle hava framträngt från djupet i jordskorpan, utan snarare måste föreställa sig, att det varit de äldre bergarterna

---

<sup>1</sup> Bull. Comm. géol. Finl. N:o 40, 1914.

som blivit nedsänkta, neddoppade i granitmagman. I Sverige har denna granit ofta blivit kallad *serarkäisk*, vilken benämning härrör av HÖGBOM. Den innehåller ofta massvis brottstycken av andra bergarter, den har mångenstädes assimilerat mycket främmande material och till sin struktur är den växlande, än porfyrisk, än jämnkornig, men överallt, var den förekommer med ren granitstruktur, visar den i det närmaste en konstant mineralogisk och kemisk sammansättning. Mineralogiskt karakteriseras den av en övervägande mikroklinhalt, varför den till skillnad från de inom leptitbältena förekommande graniterna kallas *mikroklingranit*. Den typiska kemiska sammansättningen framgår av analys av granit från Sillanpää i Kisko (analys 1, tab. I).

Tab. I.

	1. Mikro- klingranit, Sillanpää, Kisko.	2. Oligoklas- granit, W-om Salmi, Orijärvi.	3. Cordierit- leptit, Syvä- korpi, Kisko.	4. Amfibolit, Arbetare- föreningen, Orijärvi.	5. Diopsidamfi- bolit, Vetjo, Orijärvi.
SiO <sub>2</sub> . . .	73.91 0 0	71.36 0 0	59.26 0 0	52.98 0 0	49.61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . .	13.90	13.31	17.88	17.49	15.21
Fa <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . .	0.14	0.99	0.09	0.54	0.89
FeO . . . .	1.01	3.36	7.79	6.39	8.77
Mn O . . . .	sp.	0.10	0.23	0.13	0.05
Mg O . . . .	0.28	0.87	2.54	6.00	5.02
Ca O . . . .	1.00	2.85	3.50	11.33	16.32
Na <sub>2</sub> O . . .	2.42	3.58	2.86	3.16	1.20
K <sub>2</sub> O . . . .	6.53	2.26	3.18	0.31	1.36
Ti O <sub>2</sub> . . . .	0.22	0.34	0.71	0.78	0.56
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . .	—	0.21	0.21	—	0.19
H <sub>2</sub> O . . . .	0.52	0.70	1.35	0.57	0.55
	99.93	99.93	99.63 Inkl. 0.03 0 0 CO <sub>2</sub>	99.68	100.59 Inkl. 0.86 0 0 CO <sub>2</sub>

Inom leptitbältena dominera *leptiterna* i växlande utbildning, än jämt finkorniga, än porfyrisk, ofta skiktade. Till sitt

ursprung äro de bevisligen dels vulkanogena, dels sedimentogena. Bland de senare hava vi t. ex. cordieritleptiterna, som visa en typisk lersammansättning (analys 3). Annars äro leptiterna till sammansättningen högst växlande; likhet finnes blott däruti, att de alla äro fältspatförande och innehålla ett överskott av kiselsyra i form av kvarts.

En annan grupp inom leptitbergarterna utgöres av amfibolplagioklasbergarterna eller *amfiboliterna*. Även de äro till sitt ursprung dels vulkanogena, dels sedimentogena. De förra hava primärt varit dels lavabäddar, dels gångar eller lagergångar. I regeln visa de en äkta basaltisk sammansättning (analys 4). De sedimentogena amfiboliterna innehålla ofta diopsid och hava en mera kalkrik sammansättning motsvarande de kalkrikare lerhornfelserna (analys 5).

Mycket allmänt förekomma inom leptitbältena även kristallina *kalkstenar* såsom lager av blott några meters mäktighet, men ofta med stor uthållighet i strykningsriktningen.

Alla dessa bergarter förekomma som lagerformiga massor i upprest ställning. Strykningen är i det stora hela mycket konstant och konform med hela bältets utsträckning.

Inom detta leptitbälte, liksom inom andra liknande områden i Finland och Sverige, förekomma jämte de ovan nämnda superkrustala bildningarna även abyssiska intrusivmassor i en form, som jag här enligt den svenska geologen PER GEIJER vill kalla *antiklinalbatoliter*. De hava tydligen i samband med orogenetiska rörelser trängt sig i leptitformationen, och hela den sålunda bildade komplexen har under en långt senare period blivit nedsänkt i mikroklingranitmagman.

Dessa batoliter visa i motsats till mikroklingranitmassorna en stor benägenhet till differentiation. Bergartserien är utpräglat kalkalkalisk och omfattar alla mellanled från granit till hornbländeperidotit. Bland de mera granitiska typerna spelar en kvarts- och oligoklasrik bergart kvantitativt den viktigaste rollen. Den har av mig blivit kallad *oligoklasgranit* (analys 2, tab. I).

Det typiska i flera antiklinalbatoliters uppträdande askådliggöres i fig. 1, som är en skematisk bild av Orijärvibatoliten (jfr. fig. 2). Det är en långsträckt, konkordant i de omgivande leptiterna intruderad massa, som har åt sidorna stupande gräns-

ytor. Batolitens västra ända visar en karakteristiskt tillspetsad form, och man finner, att massivet där dyker under leptiterna. De nu blottade delarna i närheten av spetsen hava således under stelnandet befunnit sig närmare gränssytan mot överliggande skiffertak än de övriga delarna på längre avstånd från spetsen, och i enlighet därmed uppvisa spetspartierna en bred

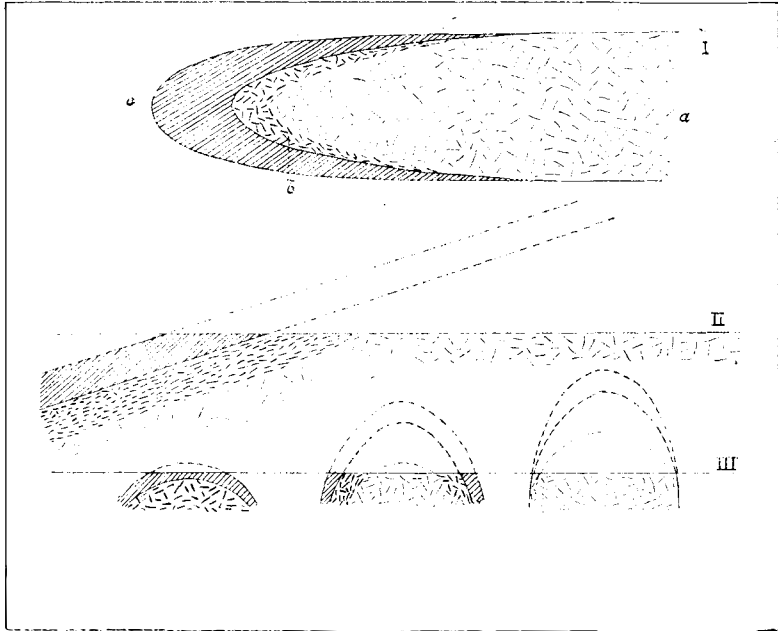


Fig. 1. Skema av en antyklinalbatolit. I. = horisontalsnitt; II. = längdprofil; III. = tvärprofiler; a = granit. b = granitens randfacies; c = omvandlingszonen.

zon med avkylningsfacies, d. v. s. finare korn och porfyrisk struktur, medan batolitens sidor äga föga utvecklade eller alls inga endogena kontaktzoner. Omkring och utanför batolit-spetsen förefinnes eruptivbergarten på relativt ringa djup under leptiterna, och det är där vi finna våra egendomliga exogena kontaktfenomen, som främst visa sig i förekomsten av cordierit- och antofyllitrika bergarter samt malmer, varjämte även anträffas s. k. skarnbildningar.

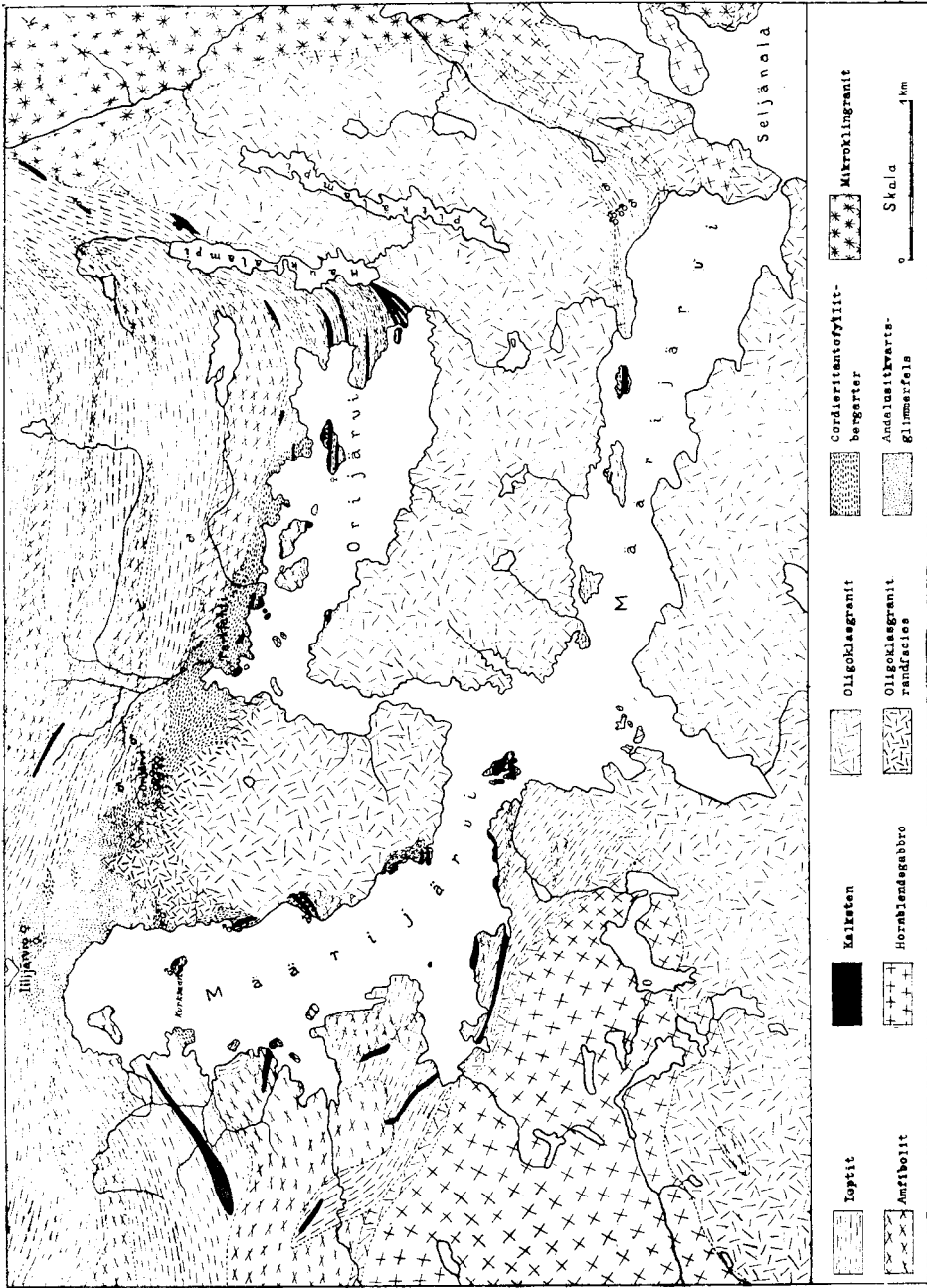


Fig. 2. Översiktskarta av Orjävärifältet.

Inom det syd finska leptitstråket anträffas kontaktfenomen av ovan antydd art främst runtomkring spetsarna av Orijärvi- och Skogbölebatoliterna; i vardera fallet äro spetsarna riktade mot W. Dessutom förekomma likadana bildningar utanför den mot E riktade spetsen av en tredje batolit i Kimito.

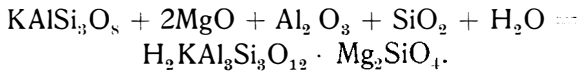
Då man hör talas om kordieritrika bergarter, som mantelformigt omringa granitmassor, så är det ju en ganska naturlig tanke, att det skulle vara fråga om vanlig normal kontaktmetamorfos. Men så är ingalunda fallet här. Hela leptitbältet har undergått en metamorfos, som man närmast kan beteckna som kontaktmetamorfos, och det finnes icke någon större olikhet mellan bergarterna strax vid kontakterna och längre borta inom leptitterrängen. De kontaktbergarter, som här äro i fråga, uppträda även inom dessa mantlar oregelmässigt omväxlande med vanliga leptiter. Och, vad som är viktigast, de äga en från de omgivande bergarterna helt avvikande totalsammansättning med stark anrikning på magnesium och järn. Detta tyder på att substans tillförsel varit med i spel, att vi hava vad här i Norge av professor VOGT blivit kallad potentierad kontaktmetamorfos.

I ett extremt fall består den omvandlade bergarten nästan uteslutande av cordierit och antofyllit. En sådan *cordierit-antofyllitfels* uppträder mycket allmänt inom Orijärvizonen som linser eller nästan lagerformiga, alltid mycket små massor. Även i själva Orijärvi gruva spelar den en viktig roll. Det är gemensamt för alla förekomster, att bergarten är mycket inhomogen och visar övergångar i alla möjliga riktningar. Än blir cordieriten allena förhärskande, än antofylliten. Ofta kommer biotit till, och lika allmän är en lägre eller högre halt av kvarts, vilket mineral även kan bliva så övervägande, att bergarten till sin mineralsammansättning närmar sig kvartsit. Just en sådan bergart är kanske den allra allmännaste såväl i Orijärvi som vid andra liknande fyndigheter, och den har av gammalt blivit uppmärksammas på grund av att den så ofta är malmförande och blivit kallad *malmkvartsit*. I Orijärvi innehåller den mest kopparkis, men även zinkblände och blyglans. Största delen av den malm, som brutits här, är ingenting annat än just en sådan med kiskorn impregnerad malmkvartsit, som då är känd under benämningen *hårdmalm*. Icke endast denna

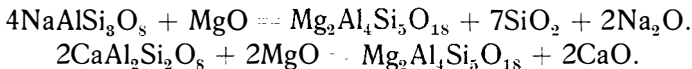
kvartsrika modifikation, men även alla andra slag av cordierit-antofyllitfels åtföljas av sulfidmalmer, om än icke alltid i stora mängder.

I tabellen II (6) återges en analys av cordieritantofyllitfels från Träskböle, samt (7 och 8) den av mineralsammansättningen approximativt beräknade kemiska sammansättningen för två kvarts- och biotithaltiga typer från Orijärvi. Genom jämförelse finner man snart, att dessa bergarters sammansättning är något helt främmande för alla normala såväl eruptiva som sedimentära bergarter. Kännetecknande är i synnerhet den nästan totala frånvaron av såväl kalk som natron, samtidigt som magnesia- och järnhalten är hög. Man frågar sig då, huru hava sådana bergarter uppkommit.

Då dessa massor alltid ligga i leptitbergarter, står det närmast att antaga, att de skulle hava bildats av dessa genom tillförsel av magnesia och järnoxider samt avlägsnande av kalk, natron och ofta väl även kali. Hela det geologiska uppträdandet talar för denna antagelse, och den bekräftas ytterligare genom förekomsten av helicitiska strukturer i de allra flesta cordieritantofyllitfelses: Bergartens mineral, såsom cordieriten och almandinen, innehålla radvis anordnade malmkorn eller också kvartskorn på samma sätt som dessa korn förekomma i den omgivande leptiten. Hos den sistnämnda är parallelanordningen oftast att tyda som en ursprunglig skiktning, och man är då frestad att antaga, att inneslutningarna i mineralen representera bergartens primära beståndsdelar, som icke blivit angripna, medan fältspaterna omvandlats till ferromagnesiummineral. Det första stadiet av omvandling synes vara mikroklinens överförande till biotit:



För plagioklasernas vidkommande kunna reaktionerna anses hava försiggått enligt följande skemata:



Härvid uppstår alltså cordierit som första produkt. Ytterligare tillförsel av magnesia ger upphov till antofyllit. I ett fall fann jag direkte illustration av cordieritisationsprocessen. Det var på den lilla holmen Kurksaari i Määrijärvi. En cordierit-antofyllitbergart innehåller här brottstycken av en leptit, som är mycket rik på apatit. Vid en kontakt mellan en stor cordieritkristall och brottstycket ser man under mikroskopet, huru cordieriten vuxit ett stycke in uti brottstycket, varvid dess såväl kvarts- som apatitkorn blivit bevarade som inneslutningar, medan fältspaten omvandlats.

Vi äro sålunda berättigade at tala om metasomatisk omvandling i silikatbergarter.

Omvandlingen har ej alltid varit fullständig, utan kan en del av plagioklasen finnas bevarad. I tab. II under 9 se vi en analys av en plagioklasförande cordieritantofyllitgnejs, och vi finna, att en sådan mellanprodukt kan hava samma sammansättning som en lerbergart, även sådana de uppträda i vårt leptitbälte (cordieritleptiterna). Det geologiska uppträdandet är dock et helt annat, i det dessa gnejser i fältet visa sig såsom övergångsformer mellan leptiter och cordieritantofyllitfelfer och i allt förete denna egendomligt sliriga och inhomogena beskaffenhet, som karakteriserar de metasomatiskt omvandlade bildningarna. Dessa cordieritantofyllitgnejser äga annars ett egendomligt utseende, i det cordieriten förekommer i form av långsträckta avrundade bollar, som i förvittrad yta sticka fram som knölar och kunna nå ända till huvuds storlek. Dessa bollar hava visat sig vara trillingar enligt den vanliga cordieritlagen med 110 som tvillingsplan, och den gemensama c-axeln i bollarnas längdriktning. Helicitstruktur kan vara så utpräglad, att den gör sig gällande i bollens förvittringsform. Den gamla skiktningen övertvårar ofta bollarna i sned riktning.

Mycket egendomliga bildningar inom den omvandlade zonen äro även de som jag kallat *andalusitförande kvartsglimmerfels*. De förekomma endast utanför själva batolitspetsen och äro ytterst inhomogena samt ställvis blandade med kiser. Förutom de vanliga malmmineralen anträffas även lillianit,  $Pb_3Bi_2S_6$  med selen, samt gediget guld. Hela denna bildning tyder på stark tillförsel av kiselsyra och lerjord, jämte malmsubstanserna.



Tab. II.

	6. Cordierit- antofyllitfels, Träskböle.	7. Cordierit- kvartsanto- fyllitfels, Orijjärvi.	8. „Malmkvart- sit“, Orijjärvi.	9. Cordieritanto- fyllitgnejs, Tarklahti, Orijjärvi.	10. Cumming- tonitamfibolit, Kurkaaari, Kisko.
SiO <sub>2</sub> .	48.00 0/0	60.6 0/0	87.4 0/0	57.65 0/0	53.40 0/0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	18.62	19.7	5.6	16.84	16.33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	1.07	0.5	—	0.85	0.78
FeO .	16.18	8.6	3.3	10.33	9.72
MnO .	0.13	0.2	—	—	0.23
MgO .	11.85	8.6	3.1	5.30	7.46
CaO .	0.64	0.2	0.1	1.28	6.16
Na <sub>2</sub> O .	0.23	0.1	0.1	2.34	3.50
K <sub>2</sub> O .	0.01	0.4	—	2.36	0.04
TiO <sub>2</sub> .	2.06	0.2	0.1	1.60	1.75
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .	0.09	—	—	—	—
H <sub>2</sub> O .	1.50	0.9	0.3	1.08	0.52
	100.57 Inkl. 0.15 0/0 Fe <sub>7</sub> S <sub>8</sub> 0.04 V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	100.0	100.0	99.63	99.89
Modus	Cordierit 46.55 0/0 Anto- fyllit 47.62 Järn- malm 4.35 Kvarts 1.40 Apatit 0.39	Cordierit 50.0 0/0 Antofyl- lit . . . 20 Kvarts . 25 Biotit . 5	Kvarts 75.0 0/0 Cordie- rit . . 15 Anto- fyllit 10	Plagioklas (Ab <sub>60</sub> ) 25.10 0/0 Biotit 24.9 Kvarts 18.8 Anto- fyllit 16.9 Cordie- rit . . 12.8 Järn- malm 2.0	Plagioklas (Ab <sub>55</sub> ) 48.9 Cum- mingto- nit . . . 47.9 Järn- malm . 3.2
	100.31	100	100	100.5	100.0

I alla ovan nämnda fall har det varit leptitiska bergarter, som blivit föremål för metasomatisk omvandling. Huru förhålla sig då amfiboliterna? De visa sig vara mycket motståndskraftiga och hava i allmänhet bevarats oförändrade. Men var de begränsas av starkt omvandlade partier eller malmmassor, visa dock även de tydliga spår till omvandling vid gränserna. Till det yttre framträder omvandlingen i en ljusare färg hos randzonens amfibol och därigenom hos hela bergarten. Denna förblekta amfibol är cummingtonit, den monoklina modifikationen av ferromagnesiummetasilikat, kemiskt identisk med antofylliten. Man finner alla stadier av övergång från hornblände-amfiboliten till cummingtonitamfiboliten, av vilken sistnämnda vi se en analys under 10 i tab. II. Skillnaden mellan denna analys og amfibolitanalysen (tab. I, 3) är ej så synnerligen påfallande, men då man beräknar mineralsammansättningen, så finner man genast, att den femiska beståndsdelen måste vara ferromagnesiumsilikat utan kalcium. Den nästa tanken vore då, att cummingtonitamfiboliten skulle motsvara en noritisk bergart, men ferromagnesiumöverskottet är till och med högre än hos de flesta noriterna. Och av det geologiska uppträdandet framgår det alldeles bestämt, att här icke är fråga om primär differentiation, utan om senare omvandling. De bästa bevisen härför fås i amfibolitgångar, som dels hava blott smala förblekta ränder, dels åter hava blivit helt omvandlade. Man kan till och med finna exempel på att omvandlingen gått ännu längre än till hornbländets cummingtonitisering: även plagioklasen kan hava blivit omvandlad till cordierit, och bergarten har överförts till cummingtonitcordieritfels. Cummingtonitens uppträdande här i stället för antofylliten bör väl förstås som en följd av närvaron av det monoklina hornbländet, med vilket den i mellanprodukterna är sammanvuxen.

Kalkstenarna, vilka ju äro kända för sin mottaglighet för metasomatisk omvandling, hava i Orijärvitrakten blivit omvandlade til *skarn* samt sulfid- och oxidmalmer — även i själva Orijärvi gruva har en mindre, men rikare del av malmen bestått av skarnblandad malm, som här kallats *blötmalm*. Skarnbergarterna överensstämna delvis med liknande bildningar i många välkända förekomster vid lakolitmassor, i det de främst

tyda på tillförsel av järn og kiselsyra. Sålunda har andradit-skarnet i Orijärvi precis samma sammansättning som i Kristianiatrakten. Men redan pyroxenskarnet är här, liksom i många andra urbergsförekomster, rikare på magnesium, och dessutom hava vi här hornbländeskarn samt det nästan järnfria tremolitskarnet, som i likhet med de metasomatiskt omvandlade silikatbergarterna tyder på stark tillförsel av magnesia.

Överhuvudtaget hava vid de metasomatiska omvandlingarna i Orijärvitrakten följande element blivit tillförda: Mg, Fe, Si, H, Al?, Cu, Zn, Pb, S, As, Au, Bi, samt avlägsnade: Na, Ca, K?, C (i CO<sub>2</sub>).

Omvandling och malmbildning hava ofta varit starkast i kalkstenarna och antagligen tagit sin början i dessa, men sedermera hava även de omgivande silikatbergarterna blivit angripna. Möjligen har processen lättats genom de vid kalkstenens omvandling frigjorda gasernas inverkan<sup>1</sup>. Ett särdeles intressant exempel ses i själva Orijärvi gruva.

Förekomsten av cordieritantofyllitfels och malmkvartsit åtföljda av malmer, både sulfidiska och oxidiska, är nu mycket allmän i urberget i Finland och Sverige. Som exempel må nämnas Stansviks gruva helt nära Helsingfors. Även vid den stora Outokumpu kopparmalmförekomsten anträffas cordieritantofyllitfels, ehuru förekomsten annars mycket avviker från Orijärvitypen. Jag kunde nämna ännu ett tiotal exempel från Finland, men detta kan redan vara nog.

En praktisk synpunkt må dock ännu framhållas. Då det visat sig, att cordieritantofyllitfelsen regelmässigt åtföljes av malmer, har den i Finland blivit ett slags ledbergart vid malmletningar, liksom skarnet redan länge varit. Dessa malmletningar bedrivs numera systematiskt genom att först leta i flyttblock och moränmaterial, som betäcker så väldiga delar av landets yta, och då man i dessa funnit spår till malm eller ledbergart, så försöker man att finna moderklyftet — en metod, som ledde till upptäckten av Outokumpu genom O. TRÜSTEDT. Våra malmletare uppmanas sålunda att alltid hava ögonen öppna för cordieritantofyllitfelsen. Några andra användbara malmer

<sup>1</sup> Detta antagande har framkastats av P. GEIJER (se längre fram).

utom Outokumpu hava hittills ej blivit funna på detta sätt, men väl har man funnit små förekomster av kopparkis förbunden med cordieritantofyllitfels. Vidare känna vi flyttblock av sådan ledbergart med malm utan att ännu hava lyckats få tag i moderklyften.

I Sverige var det H. E. JOHANSSON, som först fäste uppmärksamheten på att ferrömgnesiumsilikatrika bildningar regelmässigt åtföljas av malmer. Då jag slutfört undersökningen vid Orijärvi, kunde jag av TÖRNEBOHMS beskrivning över Falu gruva<sup>1</sup> finna, att denna ryktbara kisförekomst i allt väsentligt överensstämmer med Orijärvi. Där finnas blötmalm och hårdmalm, den förra associerad med skarn, den senare med cordieritantofyllitfels och cordierithaltig malmkvartsit, där finnes en andalusithaltig kvartsrik bergart, som där liksom i Orijärvi-trakten är guldförande samt innehåller små mängder av ett selenhaltigt blyvismutmineral (galenobismutit). Och slutligen hava vi i Falun de s. k. trappgångarne, som visa avblekta randzoner. Redan TÖRNEBOHM hade funnit, att blekningen är ett senare fenomen, som står i samband med malmbildningen. TÖRNEBOHM klargjorde icke blekningens kemiska natur, men jag kunde redan i ett par stuffer av Falu trapp, som funnos i samlingarna i Helsingfors, konstatera, att de bestodo av cumingtonitamfibolit.

Ett par år efter det mitt Orijärvi-arbete hade kommit ut, publicerade GEIJER en ny ingående undersökning om Falustrakten<sup>2</sup>. Han hade då funnit, att analogierna mellan Falun och Orijärvi äro ännu närmare än vad jag hade kunnat sluta till på grund av TÖRNEBOHMS uppgifter. GEIJER beskriver dessutom några tiotal andra malmförekomster av samma typ från mellersta Sverige och kommer til samma forklaring angående dessa malmers bildningssätt som den jag hade uppställt. Han anger många nya och viktiga bevis for silikatmetasomatosen, bl. a. att vissa kvartsporfyrgångar i Falun blivit ställvis successivt omvandlade til cordieritantofyllitfels. Även håller han före, att omvandlingarna stå i förbindelse med in-

<sup>1</sup> Geol. Förn. Stockh. Förh. 15, 1893.

<sup>2</sup> Sveriges Geol. Undersökning, Årsbok 1916.

trusion av antiklinalbatoliter av en granit, i Sverige ofta kallad urgranit, som både geologiskt och kemiskt står Orijärviggraniten nära. Men GEIJER betonar dock, att metasomatos av denna art ej är så nära förbunden med granitintrusionerna som fallet är med vanlig kontaktpneumatolys, och att fenomenet kan förekomma på långt avstånd från batoliternas blottade delar. Detta överensstämmer även med mina iakttagelser i Finland. Blott vid Orijärvi- och Skogböle-batoliterna anträffas omvandlingarna i den närmaste omgivningen, men dessa äro undantagsfäil. Annars befinna sig dessa förekomster långt utanför batoliterna, om än oftast i dessas längdriktning, så att intrusivbergarten kan anses ligga relativt nära under<sup>1</sup>.

Vi se således, att de ifrågavarande arkäiska bildningarna visa någon viss släktskap till vanliga kontaktmetamorfa malm bildningar sådana de anträffas i eruptivlakkoliternas kontaktzoner, men att de även avvika från dessa, och det främst i följande tre punkter: 1. Förutom skarn, bildat genom metasomatisk omvandling av kalksten, anträffas även mineralmassor, som måste anses hava uppkommit genom metasomatisk omvandling av silikatbergarter. 2. Substanstillförseln såväl i skarn som i de silikatmetasomatiska bildningarna visar delvis annan karakter, främst däruti, att tillförseln av magnesia spelar en långt viktigare roll. 3. Sambandet med de malmgivande intrusivmassorna är mindre intim än i fråga om lakkolitkontakt-malmerna<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Geol. Fören. Stockh. Förh. 1919, sid. 205.

<sup>2</sup> Professor W. C. BRØGGER har i privatsamtal anmärkt att det vore svårt att tänka sig, huru de magnesiumfattiga graniterna skulle kunnat avgiva så mycket magnesium, och framkastat frågan, om man icke kunde antaga att de tillförda substanserna skulle härstamma från mera basiska magmor eller att avgivandet skulle stått i samband med de differentiationsprocesser, genom vilka graniten bildats från en mera basisk stammagma. Härtill kan svaras, att oligoklasgraniterna verkligen stå i intim förbindelse med gabbrodioritiska bergarter, och att de tillförda substanserna alltid synas hava kommit nerifrån ur batoliternas djupare delar, där man verkligen kan antaga att graniten skall övergå i basiska bergarter. Å andra sidan finner man i Orijärvimassivet, att även själva graniten i kontaktzonen i närheten av batolitspetsen, ställvis lidit samma omvandling som de omgivande leptiterna, vilket ju visar, att graniten vid malmernas bildningstid i denna nivå redan funnits som sådan.

GEIJER har först försökt att finna en förklaring till dessa skiljaktigheter. Genom jämförelser med andra epigenetiska malmförekomster kommer han till den slutledning, att det måste vara djupet som inverkar olikheterna. Metasomatisk omvandling av silikatbergarterna skulle vara möjlig endast under mycket högt tryck, sådant som varit rådande kring de arkäiska batoliterna under deras inträngning i jordskorpan, men icke vid lakkolitmassor. Det vore då i grunden samma orsak som den, vilken givit anledning till den olika mineralutbildningen, som framträder däruti, att i lakkolitkontaktzonerna förhärskar pyroxenfacies, i batoliternas regioner amfibolfacies. Jag har undersökt denna sistnämnda metamorfa facies<sup>1</sup> från samma ståndpunkt som den professor GOLDSCHMIDT använde i fråga om Kristianiatraktens metamorfa bergarter och jag kom till det resultat, att de sydfinska arkäiska bergarterna nått ett ganska fullkomligt stadium av kemisk jämvikt, som tyder på helt andra fysikalisk-kemiska förhållanden än de som varit rådande vid kontaktmetamorfofen i Kristianiatrakten.

Nu vill kanhända mången framkasta frågan, är det då säkert, att det alltid varit dessa antiklinalbatoliter, som avgivit metaller och givit upphov till omvandlingar? Bör man icke här tänka på de överallt närvarande mikroklingraniterna, vilka ju äro ännu mera utpräglade djupbergarter än oligoklasgraniterna? Denna fråga kunde giva anledning till intressanta geologiska betraktelser, som jag här ej kan gå in på. Det må blott kort nämnas som resultat av mina och andras undersökningar, att man hittills ännu icke känner ett enda exempel på att mikroklingraniten skulle hava uppträtt som malmbringare eller åstadkommit något slags metasomatos. Och även den allmänna metamorfa prägel hos leptitformationen härstammar, såsom GEIJER ganska riktigt framhållit, från antiklinalbatoliterna. Orsaken till frånvaro av omvandlingar vid de yngre mikroklingraniterna kan knappast vara någon annan än just den omständigheten, att leptitformationerna redan då de genom sänkingsrörelser kommo i beröring med mikroklingraniterna, voro anpassade till samma jämvikter som voro där förhär-

<sup>1</sup> Bull. Comm. géol. Finl. No. 44, 1915.

skande. Och då det icke förelåg nämnvärda temperaturfall, fanns det ej heller anledning til avsättning av malmer.

Företeelser av ovan antydd art hava sålunda anträffats i förbindelse med arkäiska antiklinalbatoliter. Det förefaller i alla fall märkvärdigt, att silikatmetasomatos icke blivit påvisad allmännare kring de nedbrutna bergkedjornas eruptivmassor eller ens i andra präkambriska områden utom i Finland och Sverige. Men det finns skäl att tro, att dessa bildningar äro allmännare än vad man nu vet. De hava ju i allmänhet först nyligen blivit upptäckta. Man visste ingenting om dem i de annars så väl undersökta Svenska bergslagen, förrän JOHANSSON och speciellt GEIJER nyligen visade, att de äro där ytterst allmänna. Några häntydingar till förekomster i andra länder kunna t. o. m. redan anföras. Från Kanadas urberg hava ADAMS och BARLOW<sup>1</sup> beskrivit bildningar, som helt säkert höra hit. GEIJER (op. ct. sid. 270—272) anför ett par exempel från den Nordamerikanska kordilleran, där tertiära eruptiver åstadkommit silikatmetasomatos, och liknande saker hava även beskrivits från Japan av M. OYU<sup>2</sup>.

Förträngning av silikatbergarter är nog så känd i flera arter av vanliga kontaktmetamorfa processer. Förutom vid greisenbildning och propylitisering har sådant ägt rum även i samband med kalkstensmetasomatos. Men förträngning av silikatsubstans uppträder härvid som ett bifenomen, medan den i de ovan antyddas fallen försiggått i stor skala och är fullt jämförbar med skarnbildningen.

Då nu teorin om sådan silikatmetasomatos är ny, gäller det att finna för denna väl definierbara grupp av mineralbildningar en plats i systematiken. Men det är ej så lätt att i någon av de hittills föreslagna klassifikationerna finna en plats, som skulle låta deras förhållande till andra slag av mineralbildningar väl framträda. De äldsta systematikerna använde malmkropparnas form som indelningsprincip. Sedermera gick man över till genetiska indelningar, men härvid gjorde sig i regeln flere synpunkter samtidigt gällande, varjämte spår av

<sup>1</sup> Canada Dep. Mines, Geol. Surv. Branch, Memoir 6, p. 170, 1910.

<sup>2</sup> Science Rep. Tohoku Univ. Sendi, Japan, 2 ser. vol. I No. 5, 1914.

det morfologiska betraktelsesättet ännu finnas även i de allra modernaste klassifikationerna. Men för att få genom systemet tydligt framställt, huru de olika bildningarna genetisk förhålla sig till varandra, bör man använda endast de fysikalisk-kemiska bildningsbetingelserna som indelningsprincip<sup>1</sup>.

Härvid synes det rådligt att bortlemna de naturliga mekaniska anrikningarna ur systemet såsom icke hörande till direkta produkter av fysikalisk-kemiska energiformer.

Försöker man att klassificera de övriga mineralbildningarna efter temperatur- och tryckförhållandena utan att taga hänsyn till något annat, så kommer man dock till två parallela serier, den ena omfattande alla de bildningar, som uppstått genom direkt kristallisation eller utfällning ur lösningar — vatten eller magma —, den andra igen allt som bildats genom förträngning av tidigare existerande mineralroppar. Olikheten mellan dessa två serier är mycket påfallande och betingas därav att substansen hos de sistnämnda till en del härstammar från originalbergarten. Vi finna även hos många systematiker, t. ex. BEYSCHLAG, KRUSCH och VOGT, flerstädes parallelgrupper av metasomatiska och direkt kristalliserade malmer.

I nedanstående tabell III har jag indelat mineralbildningarna i fyra huvudgrupper enligt bildningsförhållandena, och i varje av dessa ha vi då de två parallelgrupperna. Härigenom uppstår ett slags indelning i djupzoner. I det stora hela torde såväl temperaturen som trycket stiga nedåt i detta skema. Men beträffande den batolitiska gruppen, till vilken just våra silikat-metasomatiska bildningar höra, är det ej omöjligt, att bildningstemperaturen här i själva verket varit lägre, medan trycket varit högre, än hos lakkolitbildningarna. Detta kunde stå i samband därmed, att det höga trycket kunde kvarhålla mineralisatorerna och möjliggöra ett större temperaturfall i batoliterna, förän stelnandet vidtagit.

---

<sup>1</sup> Detta är fallet med LINDGRENS systematik (Mineral Deposits), som dock synes mig att vara något oöverskådlig till följd av att även i denna alltför många yttre omständigheter äro i första hand bestämmande för indelningen.



Det är självfallet, att en sådan djupzonsindelning för malmer måste betraktas som blott provisorisk. Så snart vårt vetande det tillåter, bör den ersättas med ett skema, där varje mineralbildning har sin exakta plats i PT-fältet, såsom V. M. GOLDSCHMIDT föreslagit för de metamorfa bergarterna.

Tab. III.

*Systematik av kristallisationer och utfällningar.*

Djupregionen	A. Förträngning	B. Utskiljning
Kristallisationer och utfällningar vid jordytan	Olika metasomatiska ytbildningar	Kristallisation och utfällning på jordytan, i porrum etc.
Kristallisationer vid ringa djup	Karbonat- Propylitimetasomatos sering	Malmgångar och hålrumsutfillningar
Kristallisationer vid och i lakkoliter	Skarn Kontakt-pneumatolys Greisen Silikat-metasomatos	Kristallisation ur magmor
Kristallisationer vid och i batoliter		

Pegmatitgångar

**Summary.**

**On Metasomatic Changes in Silicate Rocks.**

This paper gives a synopsis of those results having interest for the geology of ore-deposits which the writer arrived at during his work on the petrology of an Archaean area in Southwestern Finland<sup>1</sup>. Here the dominating rocks are leptites (finegrained gneisses) and amphibolites, with crystalline limestones, the whole series being called a leptite formation and represent-

<sup>1</sup> P. ESKOLA, On the Petrology of the Orijärvi Region in Southwestern Finland. Bull. Comm. géol. Finl., N:o 40, 1914.

ing the oldest portion of the Archaean in the tracts. Intrusive in the leptite formation are several so-called anticlinal batholiths of granites („oligoclase-granite“, analysis 2, table I) and more femane igneous rocks of calcialkalic character. Locally, at the ends of the batholiths, where these dip under the leptites (figg. 1 and 2), they are surrounded by some kind of aureoles, within which there are many occurrences of sulphidic and oxidic ores and large parts of the rocks have undergone peculiar changes: The limestones have been transformed into skarn-rocks (andradite, diopside-hedenbergite, hornblende and tremolite), the leptites into cordierite- and anthophyllite-bearing rocks, often containing much quartz (so-called ore-quartzite) and sometimes andalusite, while in the amphibolites the lime-bearing common hornblende has locally been replaced by cummingtonite, the monoclinic ferro-magnesium amphibole. The bulk composition of all the rocks has thereby been greatly altered, as is best seen in the extreme cases, such as the cordierite-anthophyllite-rock and the ore-quartzite (analyses 6—8, table II). On the whole, there may be noted an addition of Mg, Fe, Si, H, Al (?), S, As, Cu, Zn, Pb, Au and Bi, and a subtraction of Ca, Na, K (?) and CO<sub>2</sub>.

Thus there are two main points in which the process of alteration here treated differs from the common way of contact-metasomatic alteration: (1) Not only the carbonates, but also the silicates have suffered alteration on a large scale, and (2) the addition of magnesium besides iron plays a dominant rôle and is the same in the alteration of the carbonates as in that of the silicates.

P. GEIJER<sup>1</sup> has later found occurrences of the same kind to be exceedingly numerous in the ore-bearing Archaean district of Central Sweden. To them also belongs the famous deposit of sulphides at Falun. GEIJER finds the mineral genesis to be connected with anticlinal batholiths, but he points out, that the connection often is little conspicuous in so far as the occurrences may be situated at rather long distances from the igneous

---

<sup>1</sup> P. GEIJER, Falutraktens berggrund och malmfyndigheter. Sveriges Geologiska Undersökning, årsbok 1916.

masses. Their relative independence of the igneous bodies may in fact be stated as a third distinctive feature of the phenomena under consideration. GEIJER goes on to explain all these peculiarities from the assumption that these occurrences in the deeply denuded Archaean may have been formed under much larger pressure than other mineral deposits of comparable origin.

Starting from GEIJER'S interpretation the present writer tries to illustrate the relations of the silicate metasomatism to other kinds of mineral genesis by means of a classing. He points out that, if the crystallized and precipitated mineral deposits are classed only with regard to the physical conditions prevailing at their formation, there will yet result two parallel series, one comprising those deposits formed by direct segregation from solutions (magmas, aqueous, gases etc.) and another comprising the deposits formed by replacement of earlier minerals (metasomatism). Exact knowledge being still too scarce to allow of direct plotting of each kind of deposits on the PT-field, which will be the ideal of future classification, the writer proposes the following schema, being a kind of classification in depth-zones.

	A. By replacement	B. By segregation
Crystallization and precipitation on the earth's surface	Different metasomatic deposits	Crystallization and precipitation on the earth's surface, in the rock pores etc.
Crystallisation at shallow depths	Carbonate Propyliti- metasomatism zation	Ore-veins and filling of cavities
Crystallisation near and in the laccoliths	Contact pneumato- tolysis	Crystallization from the magmas
Crystallisation near and in the batholiths	Greisen Silicate metasomatism	

Pegmatite