

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING

SER. C

AVHANDLINGAR OCH UPPSATSER

N:o 572

ÅRSBOK 54 (1960) N:o 3

EN ZON AV KAOLINLERA OCH
VITTRAD BLODSTEN VID
SVAPPAVAARA, NORRBOTTEN

AV

RUDYARD FRIETSCH

English summary: A ZONE OF KAOLIN CLAY

AND WEATHERED HEMATITE ORE AT

SVAPPAVAARA, NORTHERN SWEDEN

STOCKHOLM 1960

Sveriges Geologiska Undersöknings senast utkomna publikationer:

Geological survey of Sweden. Recent publications.

Ser. Aa. Geologiska kartblad i skalan 1:50 000 med beskrivningar

Geological maps, scale 1:50 000, with explanations

Priset för karta i Ser. Aa med beskrivning är 10:— kr, för karta enbart 8:— kr.

(Price: map sheet + descriptive text Sw. cr. 10:—, map sheet Sw. cr. 8:—)

- | | | |
|-----|---|--|
| N:o | 197 <i>Laholm</i> av W. LARSSON och C. CALDENIUS | { Beskr. under utarbetande.
Expl. in preparation. |
| » | 198 <i>Halmstad</i> av W. LARSSON och C. CALDENIUS | » » » |
| » | 199 <i>Uppsala</i> av P. H. LUNDEGÅRDH och G. LUNDQVIST. With English summaries. 1956 | |
| » | 200 <i>Eskilstuna</i> av P. H. LUNDEGÅRDH och G. LUNDQVIST. English summaries. 1959 | |

Ser. Ad. Agrogeologiska kartblad i skalan 1:20 000 med beskrivningar

Agrogeological maps, scale 1:20 000, with explanations

Priset för karta i Ser. Ad med beskrivning är 8:— kr, för karta enbart 6:— kr.

(Price: map sheet + descriptive text Sw. cr. 8:—, map sheet Sw. cr. 6:—)

- | | | |
|-----|--|------------------------------------|
| N:o | 2 <i>Lund</i> av G. EKSTRÖM. 1953, karta med beskrivning | |
| » | 3 <i>Revinge</i> » » » t. v. utan beskrivning | } Explanation
in
preparation |
| » | 4 <i>Löberöd</i> » » » t. v. » » | |
| » | 5 <i>Örtofsa</i> » » » t. v. » » | |
| » | 6 <i>Kävlinge</i> » » 1955, t. v. » » | |
| » | 7 <i>Teckomatorp</i> » » 1955, t. v. » » | |
| » | 8 <i>Trollenäs</i> » » 1955, t. v. » » | |
| » | 9 <i>Bosjökloster</i> » » 1956, t. v. » » | |

Ser. C.

Årsbok 51 (1957)

- | | | |
|-----|---|------|
| N:o | 550 LUNDQVIST, J., Övre Klarälvsdalens kvartärgeologi. Summary: Quaternary geology of the Upper Klarälven valley, Värmland. Med 3 planscher. 1957 | 5,00 |
| » | 551 LUNDQVIST, J., Geokronologiska undersökningar i Värmland. Summary: Geochronological researches in Värmland, Western Sweden. Med en plansch. 1957 | 2,50 |
| » | 552 SUND, R. B., Nyare undersökningar inom nordöstra Upplands berggrund. Engl. abstract: New investigations in the Archaean of North-Eastern Uppland. Med en plansch. 1957 | 3,00 |
| » | 553 LUNDEGÅRDH, P. H., Göteborgstraktens berggrund. Med en plansch. Summary: Petrology of the Göteborg (Gothenburg) — Kungälv region, Western Sweden. 1958 | 7,50 |
| » | 554 LUNDQVIST, J., C 14-dateringar av rekurrensytor i Värmland. Summary: C 14-determinations of recurrence surfaces in Värmland, Western Sweden. 1957 | 2,00 |
| » | 555 ÅHMAN, E., Degerberget, Baggen och Kluntarna. Några drag ur Piteområdets berggrundsgeologi. With English abstract. [Some features of the petrology of the Pite region.] 1957. | 2,50 |
| » | 556 ASSARSSON, G., Kristallisationserscheinungen und Paragenese in den Systemen der Alkalichloride — Erdalkalichloride — Wasser. With Engl. abstract. 1957 | 2,00 |
| » | 557 LUNDQVIST, G., C 14-analyser i svensk kvartärgeologi 1955 — 57. With English summary. [C 14-analyses in Swedish Quaternary geology.] 1957 | 2,00 |

Forts. å omslaget 3:e sida

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING

SER. C

AVHANDLINGAR OCH UPPSATSER

N:o 572

ÅRSBOK 54 (1960) N:o 3

EN ZON AV KAOLINLERA OCH VITTRAD BLODSTEN VID SVAPPAVAARA NORRBOTTEN

AV

RUDYARD FRIETSCH

English summary: A ZONE OF KAOLIN CLAY AND WEATHERED

HEMATITE ORE AT SVAPPAVAARA, NORTHERN SWEDEN

STOCKHOLM 1960

STOCKHOLM 1960. KUNGL. BOKTRYCKERIET P. A. NORSTEDT & SÖNER

**Abstract: A Zone of Kaolin Clay and Weathered Hematite Ore at Svappavaara,
Northern Sweden**

In the iron-ore deposit on Gruvberget, 3 km west of Svappavaara in the county of Norrbotten, Northern Sweden, both hematite of the ore-body and leptite of the hanging wall have been locally altered. From the leptite a kaolin clay has been formed consisting for the most part of kaolinite, quartz and limonite; in the hematite ore all minerals other than hematite itself have been removed. A description is given of the chemical and mineralogical changes which took place during the alteration which is considered to be a result of preglacial weathering. Comparisons are made with similar occurrences elsewhere in Scandinavia.

Innehåll

	Sid.
Inledning	4
Geologin på Gruvberget	5
Översikt	5
Hängväggsleptit	5
Agglomeratisk leptit	8
Muskovitrik leptit	9
Liggväggsleptit	10
Blodsten	11
Skapolit-biotit-hornblände-fels	11
Omvandlingszonen	13
Översikt	13
Kaolinlera	14
Vittrad blodsten	27
Kemisk-mineralogiska förändringar i samband med omvandlingen ..	30
Omvandlingszonens uppkomst	35
Jämförelse med liknande företeelser i Skandinavien	37
Summary: A Zone of Kaolin Clay and Weathered Hematite Ore at Svappavaara, Northern Sweden	41
Anförd litteratur	44

Inledning

Under sommaren 1957 började Sveriges Geologiska Undersökning att för Luossavaara-Kiirunavaara AB:s räkning med diamantborrningar undersöka järnmalmen på Gruvberget, belägen cirka 3 km V om Svappavaara by. Efter det malmen i fyndighetens norra del genomvärats i ett flertal hål, stötte man i den mellersta delen av fyndigheten på en omvandlingszon, som gjorde det omöjligt att med vanlig borrutrustning vidare undersöka malmen. I malmens hängande påträffades nämligen en relativt smal zon av kaolinlera och under denna en vittrad blodsten, av vilken man icke erhöll några kärnor utan endast slam. Sammanlagt gjorde man fem försök att med vanlig borrutrustning genomvärta omvandlingszonen. Fyra borrhål (20, 21, 22 och 28, se fig. 1) måste avbrytas på ett ringa djup. Då man i början av undersökningen förmodade, att omvandlingen utgjorde en relativt ytlig företeelse, planerade man att genom djupare hål komma under omvandlingszonen och sålunda vidare kunna undersöka malmen. Det första av dessa hål måste emellertid brytas på ett djup av 90 m under dagen, då det visade sig, att omvandlingszonen fortsätter ned till detta djup. Uppborrningen av malmen under omvandlingszonen utfördes sedan av Svenska Diamantbergborrnings AB, som för detta ändamål använde sig av en borrmaskin försedd med tjockspolningsutrustning.

Under sommaren 1958 grävdes på Gruvberget ett stort antal undersökningsdiken. Därvid påträffades samma omvandlingszon i dagen, och man har därför numera en rätt god bild av dess fältgeologiska uppträdande. Såväl borrhningarna som blottningarna visa, att zonen är begränsad till ett relativt litet område i malmens hängväggsida. Dess relation till omgivande bergarter framgår av fig. 1 och 11.

Såväl fältförhållandena som kemiska analyser och mikroskopiska undersökningar visa entydigt, att kaolinleran och den vittrade blodstenen bildats genom en omvandling *in situ*, den första ur leptit, den senare ur blodsten. En dylik omvandlingszon, med bl. a. mullartad blodsten, utgör en så pass ovanlig företeelse, att den därför gjorts till föremål för en närmare beskrivning. Min avsikt med föreliggande uppsats är sålunda att söka förklara omvandlingszonens uppkomst och att utreda de kemisk-mineralogiska förändringar, som skett under omvandlingen.

Jag vill här framföra mitt tack till ledningen för LKAB:s laboratorium i Kiruna för att jag erhållit förmånen att få fullständiga analyser av sju bergartsprov. Utan dessa hade många viktiga aspekter på den kemiska sidan av omvandlingen svårligen kunnat belysas.

Till fru A.-M. Byström-Askund vill jag framföra mitt varma tack för den hjälp hon lämnat mig genom att utföra kvalitativa röntgenbestämningar av ett antal prov.

Geologin på Gruvberget

Översikt

Järnmalmsfyndigheten på Gruvberget, tidigare benämnd Svappavaara,¹ omges på bägge sidor av leptitiska bergarter. På äldre kartor över fyndigheten har malmen uppdelats i ett antal, stjärt om stjärt liggande linser. De nya blottningarna och borrhningarna visa, att malmen utgöres av en enda sammanhängande kropp (fig. 1), som har en längd av minst 1 200 m och en bredd varierande mellan 10 och 80 m. Den stryker ungefär N—S och har en sidostupning, som varierar mellan 55 och 80° mot Ö. Den norra delen av malmkroppen består av svartmalm, vilken mot S successivt övergår i en blodsten, som kännetecknas av en total avsaknad på magnetit. En avsevärd del av blodstenen är tydligt fragmentförande. Fragmenten utgöres av blodsten och leptit. Fosforhalten varierar inom rätt vida gränser. Huvudsakligen har dock malmen (såväl svartmalm som blodsten) en fosforhalt mellan 0.6 och 1.0 % P. Förutom apatit förekommer i malmen kalcit och aktinolit. I liten mängd ingår kvarts, biotit, muskovit och pyroxen. Blodstenen är ställvis granatförande.

Leptiten i hängväggen utgöres av en grå, tät bergart, som består av kvarts, mikroklin, plagioklas och biotit. I den ingår smala zoner av agglomerat och av en muskovitrik leptit. Liggväggsleptiten utgöres av en röd, tät bergart som uppbygges av kvarts, mikroklin och biotit.

Såväl leptiten som malmen genomskätsas av gångar av skapolit-biotit-hornblände-fels.

Bergarterna på Gruvberget uppvisa i stort sett en förskiffring som stryker i N 10° Ö och som stupar 80° mot Ö.

I följande avsnitt kommer endast att behandlas de bergarter, som ligga i anslutning till omvandlingszonen, dvs. i stort sett inom det område, som kartan på fig. 6 omsluter. Nedanstående beskrivning får icke uppfattas som någon uttömmande redogörelse för järnmalmen och dess omgivande bergarter. Sådana företeelser som malmbildning, skapolitisering etc. komma icke att behandlas.

Hängväggsleptit

Leptiten i hängväggen utgöres av en grå, stundom mörkgrå eller brungrå, tät, förskiffrad bergart, som uppbygges av kvarts, mikroklin, plagioklas och biotit. I stort sett föreligger en jämnkornig bergart. Kornstorleken varierar mellan 0.05 och 0.1 mm; stundom uppgår den endast till 0.02 mm. Vanligen domineras leptiten av mikroklin eller av kvarts och mikroklin, medan däremot plagioklas endast i några prov synes överväga. De mafiska mineralen äro anhedriska och uppvisa okomplicerade, tämligen raka kornfogar. Mikroklinen, till en del pertitisk, är i vissa avsnitt frisk, i andra brunfärgad och grumlig. Ibland håller den något biotit, kvarts och järnoxid. Kvartsen är stundom något undu-

¹ Se bl. a. »Jukkasjärvi malmtrakt», SGU C, 183 och »Utredning angående nyttiggörandet av statens norrländska malmsfyndigheter», Statens offentliga utredningar 1924: 32.

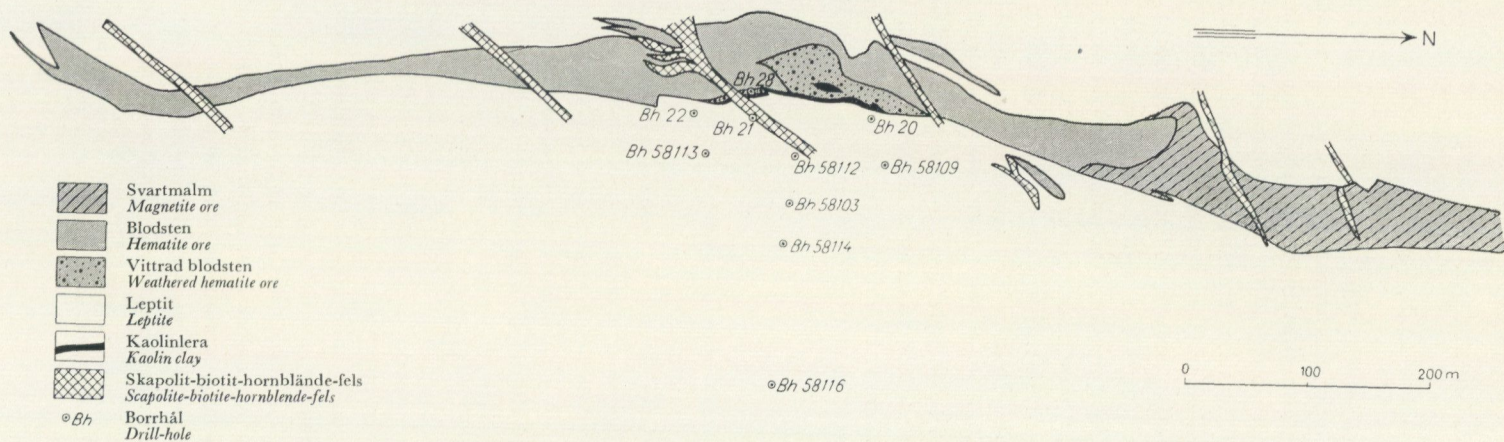


Fig. 1. Geologisk översiktskarta över Gruvberget.
 Sketch map of Gruvberget.

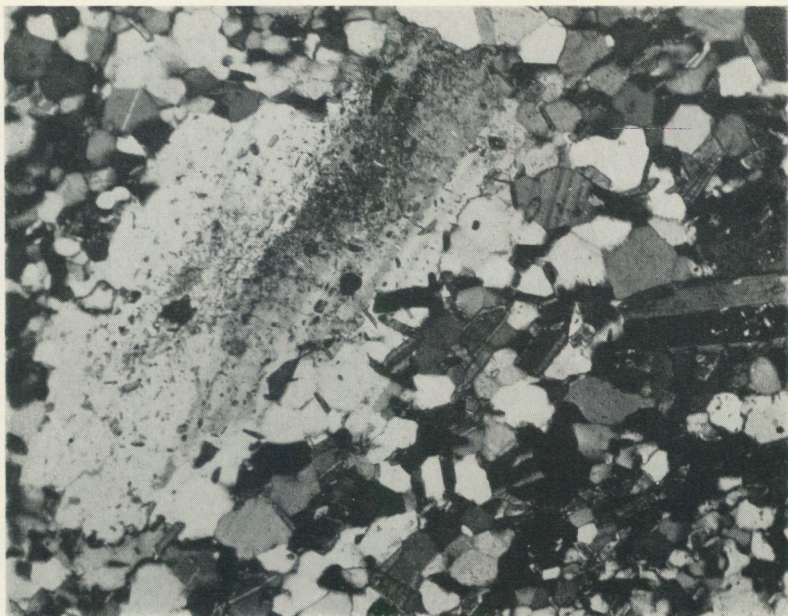


Fig. 2. Leptit, borrhål 58114, 24.28 m. Slippprov, + nic., 75 \times . Kvarts, plagioklas och biotit.

Leptite, drill-hole 58114, 24.28 m. Thin section, + nic., 75 \times . Quartz, plagioclase and biotite.

löst släckande. Plagioklasen är genomgående frisk, och de optiska bestämningarna visa, att en oligoklas med cirka 15 % An föreligger. Biotiten, som karakteriseras av att γ är smutsgrön eller mörkt brungrön och a är svagt brungrön, förekommer som små fjäll mellan de mafiska mineralen eller i form av slirformade anhopningar. I underordnad mängd ingår i leptiten en taggig hämatit. Accessoriskt uppträder apatit, turmalin, kalcit, titanit och epidot.

Makroskopiskt är leptiten genomgående jämnkornig, men mikroskopiska preparat visa, att strökornsförande former förekomma. I en mellanmassa av ovan beskriven karaktär uppträda då sparsamt mellan 0.5 och 1.5 mm stora korn av oligoklas (med cirka 15 % An) och mikroklin. Plagioklasen, som uppvisar antydning till tavel- eller listformig bildning (fig. 2), är ofta något biotit-omvandlad och håller interpositioner av kvarts. Vidare kunna kalcit och sericit ingå. I ett prov ersättes plagioklasen av skapolit. Mikroklinströkornen förekomma mera sparsamt. De utgöres i regel av flera individ hopvuxna med oregelbundna kornfogar.

Leptiten strax under den muskovitförande leptiten i borrhål 58116 (se fig. 11) utgöres av en ljusgrå, tät, svagt förskiffrad bergart, som håller strökorn av ovan beskriven karaktär. Vidare ingår i den rikligt med 1—3 mm stora, oregelbundna mandlar fyllda med kvarts och kalcit.

I borrhål 58116 uppträder ned till cirka 45 meters djup en gråbrun till grå, uppkrossad, vittrad och delvis grusig leptit, som håller upp till 5 mm stora, oregelbundna fläckar av ett gulvitt vittringsmineral. Ställvis förekomma i lepti-



Fig. 3. Vittrad leptit, borrhål 58116, 29.30 m. Slipprov, + nic., 75 \times . Kvarts, mikroklin, hämatit (svart), biotit (i vänstra delen av bilden) samt ett finfjälligt glimmermineral.

Weathered leptite, drill-hole 58116, 29.30 m. Thin section, + nic., 75 \times . Quartz, microcline, hematite (black), biotite (in the left part of the picture) and finely divided mica.

ten otydliga, 1—5 mm stora, kantiga stycken av röda och vitgrå leptitiska bergarter. Under 45 meters djup sker en övergång i en grå frisk leptit. Slipprov visa, att den vittrade leptiten uppbygges av frisk mikroklin med små interpositioner av hämatit och glimmermineral, samt av smutsbrun biotit. I mindre mängd uppträder kvarts och taggig hämatit. I anslutning till grövre aggregat av biotit förekommer i liten mängd en färglös epidot. Accessoriskt uppträder apatit och smutsgrön turmalin. I relativt riklig mängd förekommer, som ett nätverk runt de övriga mineralen, ett grönt eller brunt, mycket finfjälligt glimmerliknande mineral som har en kornstorlek kring 0.001 mm (fig. 3). Detta mineral låter sig icke närmare bestämmas men utgöres troligen av biotit. I några aggregat av detta mineral kan koncentriska strukturer iakttagas. Mikroskopet visar vidare, att leptiten genomsättes av zoner rika på muskovit, hämatit, biotit, ovan beskrivna finfjälliga glimmer, mikroklin och kvarts, vilka uppdelar den i cirka 5 mm stora, kantiga stycken.

Såväl mikroskopiskt som makroskopiskt ger leptiten ett intryck av att ha varit uppbruten och samtidigt ha varit utsatt för vittring, varvid ovan beskrivna glimmermineral troligen bildats.

Agglomeratisk leptit

I hängväggleptiten förekomma ett flertal, mellan 5 och 20 m breda, inlagringar av en agglomeratisk leptit. De synes ha en rätt stor uthållighet i verti-

kal led, vilket framgår av fig. 11. Deras utbredning i horisontell led är, beroende på att lämpliga blottningar saknas i dagen, icke närmare känd. Det är dock sannolikt, att den agglomeratiska leptit, som påträffats i borrhål 58109 och 58113 (se fig. 12) sammanhänger med den mellersta inlagringen av agglomeratisk leptit i borrprofilen i fig. 11.

Gränsen mellan den massformiga hängväggsleptiten och den agglomeratiska leptiten är mestadels diffus, och bergarterna övergår successivt i varandra. I något enstaka fall är dock gränsen mellan bergarterna skarp.

Den agglomeratiska leptiten utgöres av en gråröd till röd, förskiffrad, muskovitförande bergart, som håller rikligt med 1—3 mm stora, oregelbundna fragment av en rödbrun, hämatitförande leptit. Dessutom förekomma enstaka, upp till 5 cm stora, i förskiffringsriktningen utdragna fragment av en grå, tät leptit. Mellanmassan i bergarten har en kornstorlek på mellan 0.05 och 0.1 mm och domineras av muskovit och mikroklin. Muskoviten förekommer som små, regellöst anordnade fjäll, vilka ofta sammansluta sig till långsmala aggregat. Mikroklinen, som mestadels är frisk men som även är kraftigt grumlad och svagt brunfärgad, uppträder i anhedriska korn med enkla kornfogar. Ibland är den helt sericitomvandlad. I underordnad mängd förekommer anhedrisk kvarts och taggig järnoxid. Mycket sparsamt uppträder en blågrön turmalin.

Fragmenten, som ha en kornstorlek på omkring 0.05 mm, bestå av mikroklin, hämatit och kvarts. Vidare ingår ibland något muskovit. Fragmenten uppvisa en tydlig gräns mot mellanmassan genom att muskovitfjällen i denna anordna sig mjukt kring dem.

I övre delen av den agglomeratiska inlagringen i borrhål 58109 påträffas en grå, tät, mycket kraftigt förskiffrad, muskovitrik leptit, som håller rikligt med upp till 5 cm stora, pressade leptitfragment. Parallellt med förskiffringen uppträda 1—2 cm breda sliror av en svartgrå blodsten. Leptiten avviker från den ovan beskrivna genom sin höga kvartshalt. Den uppbygges sålunda huvudsakligen av kvarts och muskovit. Kvartsen, som uppträder i form av oregelbundna korn med taggiga gränser, är genomgående undulöst släckande. Muskoviten är likaledes helt anhedrisk och uppvisar endast ställvis svag antydning till fjällig utbildning. Vidare förekommer relativt rikligt en taggig hämatit. Ställvis utgör turmalin (ω = blågrön och ε = svagt rosa) en underordnad beståndsdel. Accessoriskt uppträder apatit. I blodstensslirorna ingår något kvarts, biotit och muskovit. Fragmenten ha en något varierande sammansättning men uppbyggas huvudsakligen av kvarts och brunfärgad mikroklin. Vidare ingår biotit, hämatit och turmalin.

Muskovitrik leptit

Den muskovitrika leptiten är intimt förbunden med den agglomeratiska leptiten men skiljer sig från denna genom sin dominerande halt av muskovit. Stundom, såsom i borrhål 58109 och 58116, är den tydligt fragmentförande och håller då upp till ett par cm stora, pressade fragment av leptitiska bergarter. Övergången mellan de bägge leptittyperna är successiv, däremot är gränsen



Fig. 4. Muskovitrik leptit, borrhål 58114, 58.90 m. Slippprov, + nic., 75 ×. Mikroclin, muskovit och järnoxid (svart).

Muscovite-rich leptite, drill-hole 58114, 58.90 m. Thin section, + nic., 75 ×. Microcline, muscovite and iron oxide (black).

mellan den muskovitrika leptiten och den omgivande hängväggsleptiten tämligen skarp.

Den muskovitrika leptiten utgöres av en grå eller rödgrå till röd, finkornig, kraftigt förskiffrad bergart, som vanligen har en vackert sidenglänsande yta. Ställvis uppvisar den otydlig småveckning. Stundom är muskovithalten så hög, att bergarten närmast kan betecknas som en muskovitskiffer.

Mikroskopiska undersökningar visa, att bergarten oftast domineras av muskovit förekommande som i stort sett parallella fjäll, vilka ofta bilda sammanhängande, veckade zoner. Rikligt förekommer vidare mikroclin och undulöst släckande kvarts med oregelbundna kornfogar. I liten mängd uppträder en taggig hämatit, och accessoriskt förekommer apatit.

Rätt stora delar av bergarten består emellertid av en röd, kraftigt förskiffrad leptit huvudsakligen sammansatt av kvarts, kalifältspat och muskovit. I den ingår rikligt med muskovit-kvartsrika zoner parallellt med förskiffningen.

Liggväggsleptit

Leptiten i malmens liggande utgöres av en gråröd till röd, tät, massformig bergart, som delvis är kraftigt kloritomvandlad. Kloriten förekommer i form av oregelbundna massor eller som upp till 0.5 cm stora, runda fläckar. Leptiten som har en kornstorlek på omkring 0.05 mm, domineras av anhedrisk mikroclin, som antingen är frisk eller också grumlig och kraftigt rödbrunfärgad.

Den grumliga mikroklinen är sericit- och limonitförande. En del av de friska mikroklinkorna äro pertitiska. Kvarts förekommer i underordnad mängd. I liten mängd ingå anhedriska korn av järnoxid och upp till 0.3 mm stora, radialstråliga aggregat av turmalin (ω = brungrön och ε = svagt brungrön). Stundom ingår en blekgrön klorit relativt rikligt. I liten mängd finns ibland ett kraftigt grönfärgat, vanligt hornblände. Accessoriskt förekommer apatit.

I leptiten förekomma ymniga sliror av en blodstensomvandlad svartmalm. De sliror, som ligga närmare den egentliga blodstensmalmen, synas vara rikare på hämatit än de, som förekomma längre bort från malmkroppen. Omvandlingen har icke skett efter några kristallografiska riktningar utan följer helt gränserna av magnetitkornen eller sprickor i dessa.

Blodsten

Väster om omvandlingszonen anstår en svartgrå, finfjällig, något uppkrossad blodstensmalm. Uppkrossningen framträder som ett nät av mycket fina, hämatitfyllda sprickor vilka uppdelar malmen i omkring 0.5 cm stora, kantiga stycken. Malmen genomsettes av 0.1—0.5 cm breda sliror av apatit och kalcit. Stundom brecciera dessa malmen och uppdelar den i upp till 5 cm stora, kantiga, delvis slirformiga stycken. I malmen ingår något biotit samt små mängder av klorit och kvarts.

Polerprov av en uppkrossad blodsten visa, att sprickorna i denna hopläkts av hämatit, som bildar 0.2 mm långa, stavformiga korn, hopvuxna med enkla kornfogar. Huvuddelen av malmen utgöres emellertid av hämatit i 0.04 mm stora, anhedriska korn sammanbundna av något vindlande men okomplicerade kornfogar.

I den del av blodstensmalmen, som ligger utanför området med omvandlingszonen och icke utgöres av en fragmentförande malm, kunna följande mineral iakttagas: Vanligast är apatit, som uppträder dels i form av upp till någon mm breda sliror, dels som 0.1—0.4 mm stora, oregelbundna, kantiga korn, vilka perforera malmen. Stundom omgives apatitkornen av ett smalt hölje av en gulbrun, ställvis blodröd siderit. Kalcit är ett vanligt mineral och förekommer dels som smala sliror, dels som perforerande korn. I mindre mängd förekomma granat och pyroxen. Granaten, som uppträder i upp till cm-breda, gångformiga massor, är under mikroskopet smutsbrun eller svagt brungrön och isotrop. I granaten ingår ibland hämatit och siderit. Pyroxenen uppträder oftast i anslutning till granat som små, anhedriska, ofärgade korn och karakteriseras av att $2V\gamma$ är omkring 60° och att $c:\gamma$ är närmare 40° . Troligen rör det sig om en diopsid. I liten mängd förekommer en färglös eller blekgrön, finfjällig tremolit eller aktinolit.

Skapolit-biotit-hornblände-fels

Skapolit-biotit-hornblände-felsen uppträder som i NÖ—SV strykande, rätlinjiga eller svagt vindlande gångar, vilkas bredd varierar mellan ett par och 10 m (se fig. 1). De fältgeologiska förhållandena visa, att dessa gångar klart



Fig. 5. Skapolit-biotit-hornblände-fels, borrhål 58118, 58.30 m. Slipprov, + nic., 75 \times .
Scapolite-biotite-hornblende-fels, drill-hole 58118, 58.30 m. Thin section, + nic., 75 \times .

genomsätta såväl leptiten som malmen. Stupningen av gångarna är icke med säkerhet känd. Resultaten från borrhningarna tyda dock på, att den är vertikal eller brant mot SÖ. I dagen har endast i fyndighetens norra del stupningen kunnat observeras. Kontakten mellan fels och svartmalm står här vertikalt.

Varken i felsen eller i omgivande bergart kan mot kontakten några strukturella förändringar iakttagas. I detta sammanhang bör dock nämnas, att man i järnmalmen på Leveäniemi, belägen 2 km SÖ om Gruvberget (där rikligt med gångar av felsen genomsätta malmen), stundom kan iakttaga, huru felsen blir något grövre i kontakten mot malmen.

Makroskopiskt utgöres felsen av en gröngrå till mörkgrå, finkornig, ställvis småkornig, helt massformig bergart, vars främsta kännetecken är dess gryniga utseende. Denna grynighet framkallas av små vita korn av skapolit, som ligga i en mellanmassa av biotit och/eller hornblände. Ställvis ingår något kopparkis och bornit. Slipprov visa, att huvudbeståndsdelarna i felsen alltid är skapolit, biotit och/eller hornblände (fig. 5). Kornstorleken av de ingående mineralen varierar mellan 0.2 och 0.4 mm. Skapoliten förekommer i form av trasiga, fjällliknande korn, som äro hopvuxna med tämligen oregelbundna kornfogar. Vanligen håller den små interpositioner av kvarts. I enstaka prov är skapoliten undulöst släckande. Biotiten, som karakteriseras av att γ är olivgrön eller smutsigt brungrön och α är ljusbrun, innehåller stundom smala nålar av amfibol. Hornbländet uppträder som trasiga fjäll och karakteriseras av följande optiska data: γ = gräsgrön eller blågrön, β = brungrön och α = svagt grön eller brungrön. c : γ varierar mellan 18 och 22°. I mindre mängd förekommer

blekgrön klorit samt plagioklas. Sistnämnda mineral, som är något sericitomvandlat, uppträder i form av listformade korn. Optiska bestämningar visa, att en andesin med den ungefärliga sammansättningen $Ab_{70} An_{30}$ föreligger. Accessoriskt uppträder järnoxid, titanit, apatit, epidot och turmalin.

Variationerna i förhållandet mellan biotit och hornblände äro rätt stora. Sålunda uppvisar vissa felsgångar i södra delen av fyndigheten en mycket hög halt av biotit. I den fels, som uppträder i svartmalmen i fyndighetens norra del, förekommer ingen biotit utan endast amfibol i upp till 1 mm långa, listformade korn.

I enstaka prov har vidare en pertitisk mikroklin observerats. Den uppträder i form av anhedriska, friska eller stundom svagt brunfärgade, undulöst släckande korn, som hålla små interpositioner av kvarts och biotit.

Den kemiska sammansättningen av felsen framgår av analys 7 i tabell 6.

Omvandlingszonen

Översikt

Omvandlingszonen omfattar två från varandra väl utskiljbara enheter, nämligen kaolinlera och vittrad blodsten. Utbredningen av zonen framgår av fig. 6

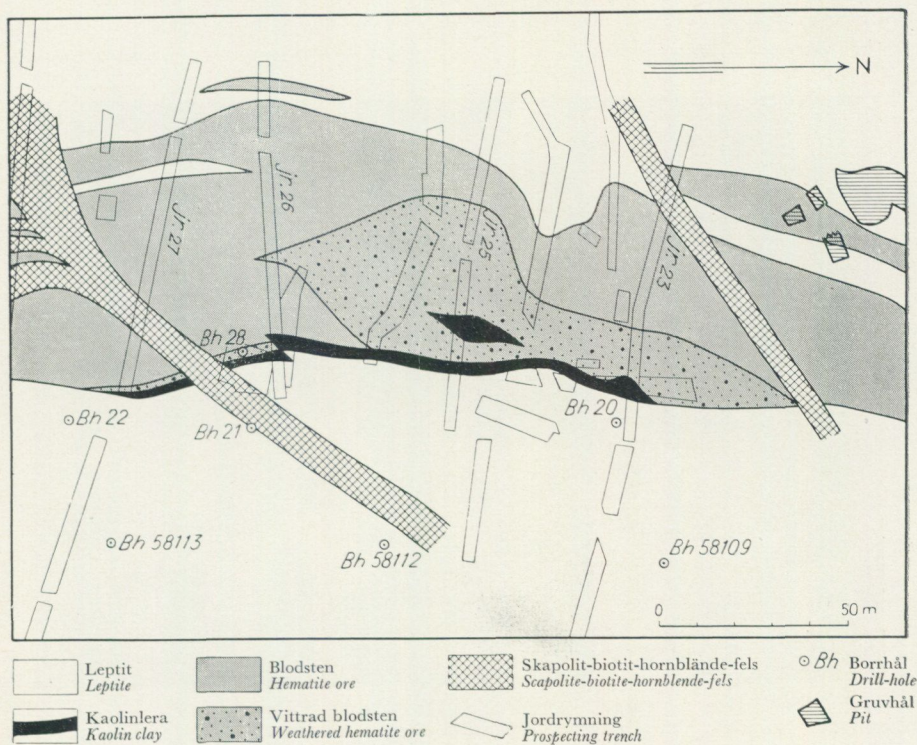


Fig. 6. Kartskiss över omvandlingszonen på Gruberget.

Map showing the alteration-zone on Gruberget.

och 11. Den är utsträckt i nord—sydlig riktning och begränsas i väster av blodsten och i öster av hängväggsleptit. Längden av zonen närmar sig 200 m. Bredden uppgår kring jordrymning 23 och 25 (se fig. 6) till mellan 20 och 40 m, medan den däremot söder om detta område har en bredd av knappt 5 m.

Av fig. 1, 6 och 12 framgår, att omvandlingszonen klipptes av en skapolitbiotit-hornblände-fels. Detta förhållande får icke tolkas så, att felsen genomskärar omvandlingszonen och sålunda är yngre än denna. Man måste nämligen förmoda, att omvandlingen träffat felsen likaväl som leptiten och blodstenen. Avsaknaden av lämpliga blottningar och borrhål gör emellertid, att detta påstående icke vidare kan styrkas. Det har därför synts mig lämpligare att på kartor och profiler återge felsen, som om den icke påverkats av omvandlingen.

Kaolinlera

Kaolinleran är på hela Gruvberget täckt av morän. Den kännedom, man äger om den i dagen, grundar sig på ett antal undersökningsdiken. Bäst låter den sig studeras i jordrymning 23 och 25 (se fig. 6). De upplysningar, som kunna inhämtas från de övriga blottningarna, äro av mindre intresse.

I östra ändan av jordrymning 23 förekommer kaolinleran mellan en mullartad blodsten och leptit. Fältförhållandena visa, att kaolinleran utgör en omvandlingsprodukt av leptiten. Relationen mellan kaolinlera, leptit och mullartad blodsten framgår av bilden i fig. 7, tagen av den norra väggen i blottningen.

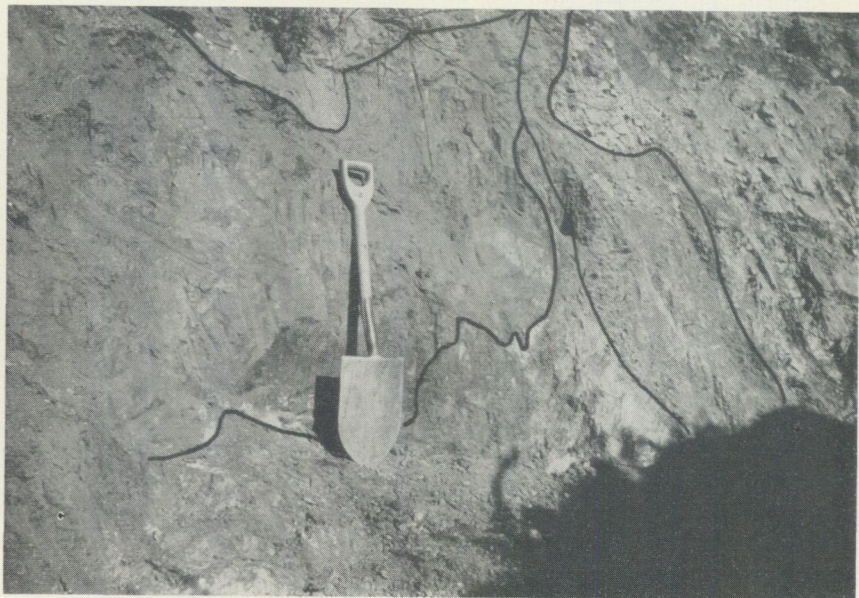


Fig. 7. Detalj av norra väggen i jordrymning 23. I botten av gropen (vid spadens spets) kaolinlera, ovanför (vid spadskafet) mullartad blodsten och högst upp morän. Till höger om kaolinleran vittrad leptit och krossad leptit.

Detail of the northern wall of prospecting trench 23. In bottom of the trench kaolin; above, soft hematite ore and moraine. To the right of the kaolin, weathered leptite and crushed leptite.

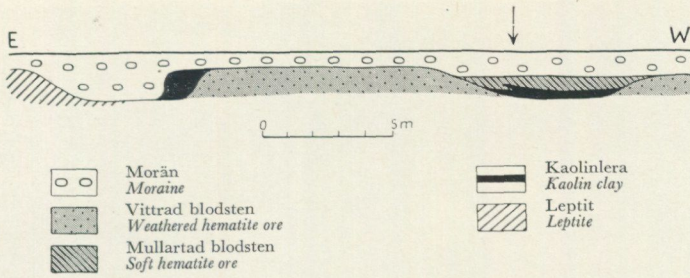


Fig. 8. Schematisk profil genom jorddrymning 25.

Schematic section through prospecting trench 25.

Längst i öster anstår här en grå, tät, förskiffrad, krossad och något sericitomvandlad leptit. Den övergår via en gråbrun, mycket vittrad och delvis kaolinomvandlad leptit (delvis föreliggande som en ockrabrun sand) i en rödbrun till tegelröd kaolinlera. Övergången från leptit till kaolinlera är successiv, och de gränser, som inritats på fig. 7, äro delvis schematiserade.



Fig. 9. Jorddrymning 25, sedd från väster. På bägge sidor av ryggen av vittrad blodsten i mitten av bilden förekommer kaolinlera.

Prospecting trench 25, seen from W. On each side of the ridge of weathered hematite ore in the middle of the picture, kaolin is encountered.



Fig. 10. Detalj av södra väggen i jordrymning 25. Uppifrån och nedåt: morän (vid hammarskafet), morän blandad med vittrad blodsten (vid hammarhuvudet), gröngrå kaolinlera, mullartad blodsten och tegelröd kaolinlera.

Detail of the southern wall of prospecting trench 25. From above downwards: moraine, moraine intermingled with weathered hematite ore, green-grey kaolin, soft hematite ore, and tile-red kaolin.

Kontakten mellan den mullartade blodstenen och kaolinleran är, som även framgår av fig. 7, tämligen oregelbunden. Ovanpå blodstenen ligger morän, bestående av en smutsigt brun sand med enstaka, upp till 2 dm stora, tämligen dåligt rundade block. Kontakten mellan morän och mullartad blodsten är oregelbunden och flikig.

Kaolinleran i detta undersökningsdike är i vått tillstånd helt plastisk, men hårdnar rätt snabbt efter torkning. I den ingår rikligt med 1—2 mm stora korn av blodsten och upp till 0.5 cm stora, kantiga korn av vitgrå kvarts. Leran genomsättes av 1—2 mm breda, i stort sett parallella sliror av vitgrå kvarts.

I jordrymning 25 förekommer kaolinlera på två ställen, dels mellan hängväggsleptit och vittrad blodsten, dels ett 10-tal m längre mot V mitt inne i den vittrade blodstenen (se fig. 8). Fig. 9 må ytterligare förtydliga förhållandena. Förgrunden i bilden utgöres av en vittrad blodsten. I botten av den första svackan anstår kaolinlera, likaså i väggarna. Här överlagras den av en mullartad blodsten. Ryggen i bakgrunden utgöres åter av vittrad blodsten. På baksidan av denna rygg följer ett litet, drygt 1 m högt stup, i vilket kaolinleran finnes anstående.

I den östra lokalen i denna jordrymning, strax intill den vittrade blodstenen, anstår en tegelröd, plastisk kaolinlera, som övergår i en brunröd, grusig leptitisk bergart vilken i sin tur övergår i en smutsigt brungrå morän. I denna övergångszon, som har en längd av ungefär en meter, intaga gränserna mellan de

olika bergarterna ett ungefär vertikalt läge. I kaolinleran förekomma upp till 5 cm stora, oregelbundna klumpar av ett grusigt material, som med all sannolikhet utgör rester av en vittrad leptit.

I den västliga lokalen i jordrymning 25 påträffas en cirka 6 m bred kaolinlera, som överlagras horisontellt av mullartad blodsten (se fig. 8). Lerans djupgående är icke känd, men grävningarna visa, att den har en mäktighet av minst 1 m. Kontaktförhållandena mellan kaolinlera och blodsten äro här ställvis rätt oregelbundna — kaolinen tränger i form av relativt smala flikar in i den mullartade hämatiten. Fig. 10 visar en detalj av den södra väggen i jordrymningen (utmärkt på fig. 8 med en pil). På ett djup av cirka 0.7 m under marken övergår den småblockiga moränen i en blodstensrik sådan. Blodstenen ingår dels som en finfördelad sand, dels som kantiga, upp till 5 cm stora stycken. Under denna blodstensrika morän ligger ett smalt lager av en gröngrå plastisk lera. Mellan denna och den tegelröda, plastiska kaolinleran i botten av gropen förekommer en mullartad blodsten. De smala flikar av såväl den gröngrå som den tegelröda leran, vilka skjuta in i den mullartade blodstenen, giva intryck av att delvis ha blivit småveckade.

Borringarna visa, att kaolinleran bildar en relativt smal zon mellan hängväggsleptit och vittrad blodsten (fig. 11 och 12). Kaolinleran har en något varierande bredd. Dess mäktighet (räknat vinkelrätt mot stupningen) uppgår till mellan 0.7 och 4.0 m. Medeltalet från 7 borrhål, där inga kärnförluster föreligga och där mäktigheten sålunda kunnat bestämmas, utgör 2.5 m. Någon tendens, som antyder, att mäktigheten skulle minska med ökat borrhålsdjup, har icke kunnat iakttagas. Vad djupgåendet av denna zon beträffar, så avslöjar borrhål 58116, att den ännu finnes på ett djup av 250 m under dagen.

Borringarna visa, att kaolinleran är begränsad till kontakten mellan hängväggsleptiten och den vittrade blodstenen. I två borrhål intager kaolinen dock ett avvikande läge, genom att den uppträder i vittrad blodsten. I borrhål 58109 förekommer drygt 5 m från den vittrade blodstenens hängväggskant (räknat efter borrhålet) en 20 cm mäktig inlagring av en rödbrun, plastisk kaolinlera. I borrhål 58113 (se fig. 12) uppträder ovanför den breda gången av skapolitbiotit-hornblände-fels ett 0.7 m mäktigt parti av en rödbrun, föga plastisk kaolinlera. Ovanför denna följer så en 2 m mäktig, vittrad blodsten och en 0.9 m mäktig, sericit- och kaolinomvandlad leptit, som uppåt övergår i frisk, krossad leptit.

De smala partier av lera, som påträffats i dessa borrhål, utgöra troligen inlagringar av leptit i blodstenen, vilka i samband med omvandlingen överförts till kaolinlera. Mera svårförklarlig är däremot förekomsten av den 6 m breda leran i den vittrade blodstenen i jordrymning 25. Lerans djupgående är icke närmare känd, men på grund av att i borrhål 58112 icke någon kaolin påträffats i blodstenen kan man förmoda, att leran endast fyller ut en grund »ficka» i malmen. De strukturer, som iakttagits i jordrymningen, visa vidare med all tydlighet, att omflyttningar av materialet måste ha ägt rum. Moränens uppblandning med mullartad blodsten och förhållandet, att en dylik malm ligger plant ovanpå kaolinleran, förklaras enklast genom omflyttningar orsakade av

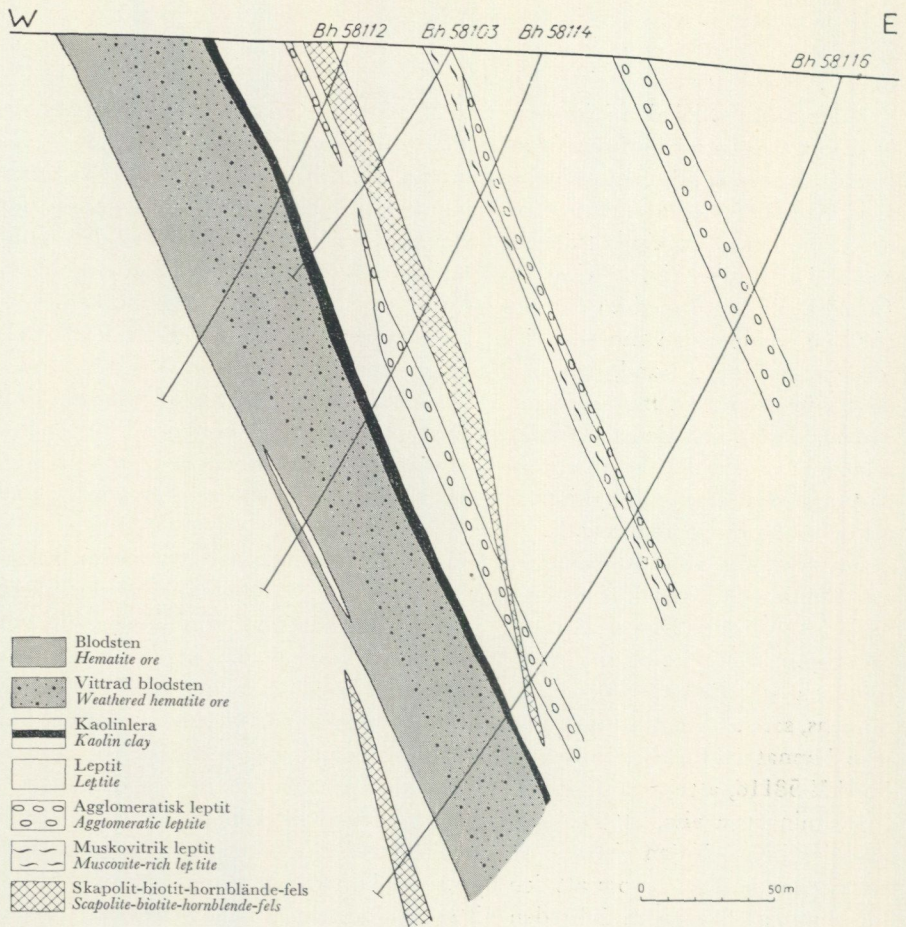


Fig. 11. Tvärsnitt visande omvandlingszonens utbredning i borrhål 58103, 58112, 58114 och 58116.

Cross-section showing the distribution of the alteration-zone in drill-holes 58103, 58112, 58114 and 58116.

en landis. Det är därför sannolikt, att kaolinen nuvarande läge i blodstenen är av sekundär natur och åstadkommit genom glacialpåverkan. Isen repade den redan vittrade blodstenen och grävde ut »fickor» i den. Samtidigt utsattes kaolinen mellan leptiten och malmen för tryck — det behöver icke ha varit ett tryck från någon bestämd riktning utan endast ett statistiskt sådant — varvid kaolinen kom att pressas ut i en sådan »ficka» i blodstenen. Att kaolinen måste ha ägt en betydande plasticitet, visas av de smala flikar av lera, som uppträda i blodstenen. Kaolinen är delvis mycket lättslammad. Denna egen- skap har givetvis även underlättat en omflyttning. Senare täcktes kaolinleran

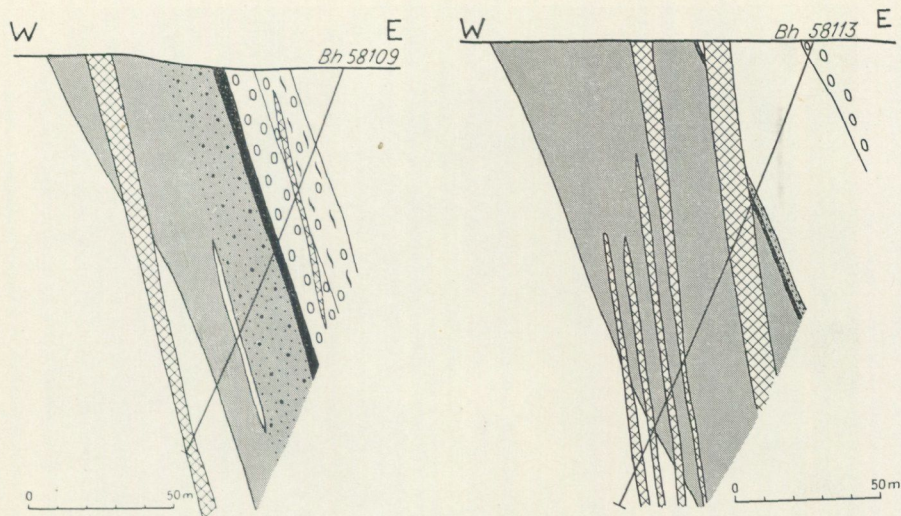


Fig. 12. Tvärsnitt visande omvandlingszonens utbredning i borrhål 58109 och 58113. Teckenförklaring se fig. 11.

Cross-section showing the distribution of the alteration-zone in drill-holes 58109 and 58113. Legend: see fig. 11.

av den mullartade blodstenen, varvid kaolinen pressades in i det föga konsoliderade materialet.

I såväl vittrad som i oomvandlad blodsten i närheten av omvandlingszonen förekomma smala, föga uthålliga och regellöst orienterade sliror av en rödbrun kaolinlera. Dessa sliror tyda även på, att kaolinen kan ha slammats eller pressats ut från ett ursprungligt läge i kontakten mellan hängväggsleptiten och blodstenen.

Ett studium av borkkärnorna ger entydigt vid handen, att det sker en successiv övergång från frisk leptit till plastisk kaolinlera. Övergångszonen mellan de två bergarterna är av relativt liten mäktighet. I intet fall råder det något tvivel om, att kaolinleran genom omvandlingsprocesser har uppstått ur hängväggsleptiten.

I borrhål 58116 låter sig övergången från leptit till kaolinlera väl studeras. Nedanför den smala skapolit-biotit-hornblände-felsen i detta hål (se fig. 11), förekommer fram till 266.20 m djup en mörkgrå, svagt förskiffrad leptit. Den är sammansatt av kvarts, mikroklin, plagioklas och biotit (fig. 13). Såväl kvartsen som mikroklinen förekomma i anhedriska, oregelbundna korn med tämligen komplicerade kornfogar. Mikroklinen, som delvis är pertitisk och till största delen brunfärgad och grumlig, håller interpositioner av biotit. Biotiten förekommer i ofullständigt utvecklade fjäll och karakteriseras av att γ är grönbrun och α svagt gul eller färglös. I anslutning till biotit uppträder i ringa mängd trasiga fjäll av en blekgrön klorit. Plagioklasen, som ofta är något sericitomvandlad, utgöres av en oligoklas med cirka 15 % An. I liten mängd före-



Fig. 13. Leptit, borrhål 58116, 264.90 m. Slipprov, + nic., 75 ×. Kvarts (vit), mikroklin (grå), plagioklas (grå), biotit (fjäll och oregelbundna mörka korn) samt järnoxid (svart).

Leptite, drill-hole 58116, 264.90 m. Thin section, + nic., 75 ×. Quartz (white), microcline (grey), plagioclase (grey), biotite (laminae and irregular dark grains) and iron oxide (black).

komma långsmala fjäll av muskovit samt en taggig järnoxid, troligen hämatit. Accessoriskt uppträder apatit och blågrön turmalin.

För att verifiera mineralsammansättningen och för att få en möjlighet att närmare identifiera de olika omvandlingsmineralen, vilket i mikroskop är ett mycket vanskligt eller ofta omöjligt företag, har förf. låtit komplettera den mikroskopiska undersökningen av en del prov med en röntgenundersökning. Den är av kvalitativ karaktär, men en grov uppskattning av de olika ingående komponenterna har gjorts. Där ej annat anges, har en Philips röntgendiffraktometer och filtrerad Cu-strålning använts vid upptagningen av diagrammen.

Röntgenupptagningen visar, att leptiten håller rikligt med kvarts, plagioklas, glimmer och ej obetydligt med kalifältspat. Klorit finnes i mindre mängd. Kaolinit finnes troligen ej eller blott i helt liten mängd.

Den kemiska sammansättningen av leptiten framgår av analys 1 i tabell 6.

Den nu beskrivna leptiten övergår successivt vid cirka 266.20 m i en krossad bergart, som består av en gröngrå, tät mellanmassa, i vilken ligger rikligt med mellan 1 och 10 mm stora, kantiga stycken av en blekröd, tät leptit. Leptitstyckena passa till formen ihop med varandra. Bergarten är således helt enkelt uppkrossad och sedan hopläkt. Såväl leptitstyckena som matrixen har en kornstorlek av omkring 0.05 mm. De bestå av kvarts och mikroklin, vilka förekomma i ungefär lika mängd. Mikroklinen är genomgående frisk, men håller dock alltid något biotit och järnoxid. Rätt rikligt förekomma små fjäll av bio-

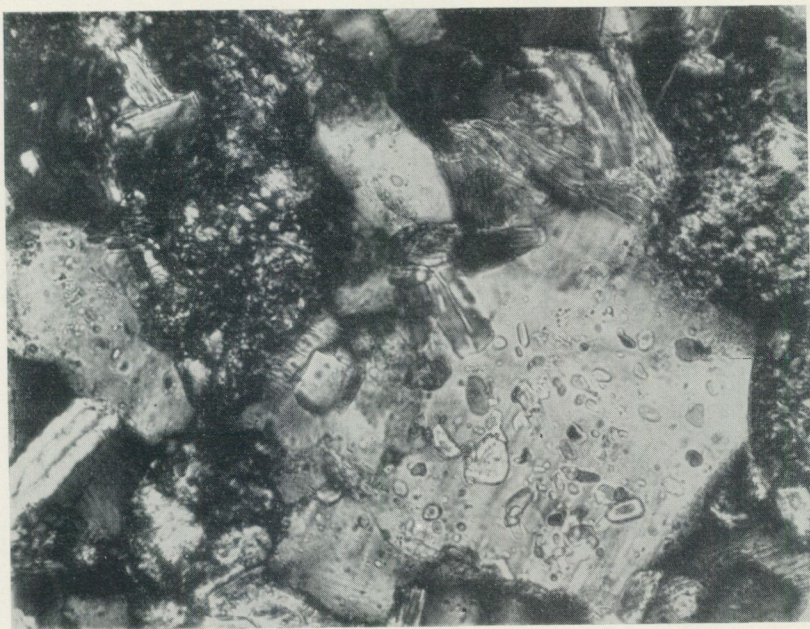


Fig. 14. Krossad leptit, borrhål 58116, 267.20 m. Slipprov, + nic., 340 \times . Mikroclin (vit) och muskovit i en mellanmassa av kaolinit.

Crushed lepidite, drill-hole 58116, 267.20 m. Thin section, + nic. 340 \times . Microcline (white) and muscovite in a groundmass of kaolinite.

tit (γ = grönbrun till smutsbrun och α = svagt halmgul eller färglös). Dessutom ingå enstaka fjäll av muskovit. Mellan kvarts- och fältspatkornen uppträder rätt stora mängder av ett kaolinitliknande mineral (fig. 14). Färgen på detta mineral växlar mellan färglös, svagt gul eller gulbrun. Sparsamt förekomma enstaka taggiga korn av järnoxid, troligen hämatit. Accessoriskt uppträder en blågrön turmalin. Matrixen i bergarten har högre halt av biotit och av det kaolinitliknande mineralet än leptitstyckena.

Ovan beskrivna, krossade leptit sträcker sig i borrhålet ned till ungefär 267.20 m. Därefter sker en successiv övergång i en ockrabrun, grusig, vittrad leptit, som håller mycket rikligt med små fjäll av en färglös glimmer. I denna bergart, som är tämligen mjuk (sålunda låter den sig repas med naglarna), ligga oregelbundna, nästan slirformade rester av en tegelröd, tät leptit. Med blotta ögat kan i den bruna mellanmassan ses omkring 0.1 mm stora, mörka korn av järnoxid. Mikroskopet visar, att bergarten till stor del uppbygges av ett lermineral, som troligen är kaolinit (fig. 15). Detta föreligger huvudsakligen som svagt brunfärgade, 0.002—0.004 mm stora, oregelbundna, något stråliga korn som äro regellöst anordnade. Det har en mycket liten utsläkningsvinkel och en låg dubbelbrytning. Jämsides med detta finfjälliga, kaolinitliknande mineral förekomma i liten mängd 0.1—0.3 mm stora, nästan tavelformade korn, som uppvisa fina riss i kornens längdriktning. De optiska egenskaperna äro desamma som för det finfjälliga mineralet, sålunda varierar utsläck-

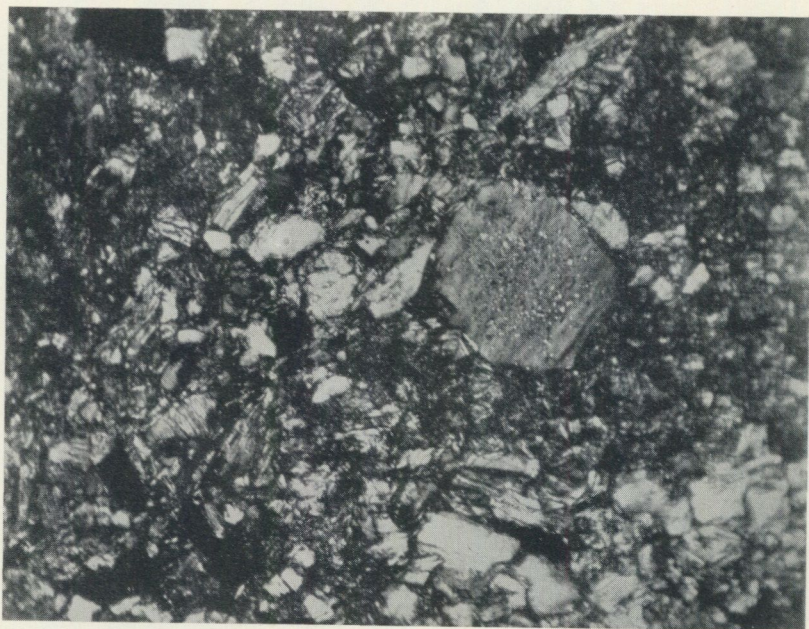


Fig. 15. Vittrad leptit, borrhål 58116, 267.50 m. Slipprov, + nic., 75 \times . Mikroclin (stort grått korn), biotit (vit) och kaolinit (mellanmassa och ljusgrå fjäll).

Weathered leptite, drill-hole 58116, 267.50 m. Thin section, + nic., 75 \times . Microcline (large grey grain), biotite (white) and kaolinite (groundmass and light-grey laminae).

ningsvinkeln mellan 1 och 4°. Vidare har kunnat konstaterats, att ljusbrytningen är något högre än för inbäddningsmedlet i slipprovet. Troligen utgöres dessa större korn, som genomgående är helt ofärgade, även av kaolinit. Vidare ingår rikligt med limonit. I denna kaolinit-limonitmellanmassa ligga upp till 0.3 mm långa fjäll av biotit (γ = grönbrun och α = svagt gulbrun), vilka till en del visa trådlik utbildning. Dessutom förekomma enstaka ofullständigt utbildade fjäll av muskovit. Ställvis förekommer rikligt med 0.05 mm stora, anhedriska kvartskorn. I liten mängd förekomma anhedriska korn av vittrad mikroclin. Stundom återstår blott »spöklika» rester av detta mineral. Sparsamt uppträda taggiga korn av järnoxid, och accessoriskt förekommer en blågrön turmalin.

Mikroskopet visar, att de oregelbundna leptitresterna i bergarten huvudsakligen bestå av kvarts och biotit.

Röntgenupptagningen avslöjar, att den grusiga leptiten håller glimmer och kvarts. Kaolinit finnes också närvarande, likaså kalifältspat och, i mindre mängd, plagioklas. En knappt påvisbar halt av klorit eller möjligen montmorillonit kan iakttagas.

Den kemiska sammansättningen framgår av analys 2 i tabell 6.

Mellan 268.00 och 270.27 m uppträder en tegelröd, i vått tillstånd plastisk lera, vilken efter torkning i luft hårdnar och då verkar leptitliknande. Sålunda kan en svag förskifring iakttagas i den. Den genomsättes av upp till 1 mm

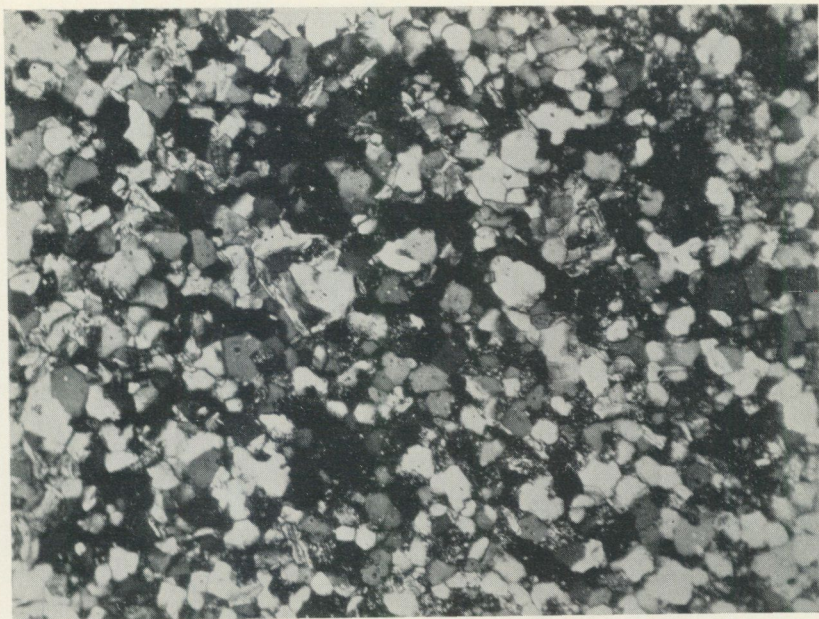


Fig. 16. Kaolinlera, borrhål 58116, 270.17 m. Slipprov, + nic., 75 \times . Kvarts och muskovit i en mellanmassa av kaolinit och limonit (svart).
Kaolin, drill-hole 58116, 270.17 m. Thin section, + nic., 75 \times . Quartz and muscovite in a groundmass of kaolinite and limonite (black).

breda kvartssliror. Mikroskopet visar, att leran till övervägande del består av 0.05 mm stora, anhedriska kvartskorn, vilka ofta ligga kant mot kant. Korngränserna är tämligen raka och okomplicerade (fig. 16). Vidare förekomma i underordnad mängd små fjäll av muskovit. Såväl kvartsen som muskoviten omgivas av en mycket finkornig mellanmassa bestående dels av en grumlig, kraftigt rödbrun limonit, som ställvis är något småflockig, dels av kaolinit förekommande som 0.002 mm stora, anhedriska korn (fig. 17). Kvartsslirorna, som genomsätta provet, bestå av kvarts med tämligen komplicerade kornfogar. Mellan kvartskornen förekommer även något limonit.

Röntgendiagrammet visar, att leran håller mycket kaolinit, en hel del kvarts och något glimmer. Fältspat kan icke påvisas.

Den kemiska sammansättningen av leran framgår av analys 3^a i tabell 6.

Vid 270.27 m sker en skarp övergång i en finfjällig, parallelstruerad vittrad blodsten.

I borrhål 58114 förekommer intill kaolinleran en grå, tät, svagt förskifrad leptit som innehåller otydliga, upp till någon cm breda, parallella sliror av rött leptitiskt material. Leptiten domineras av kvarts och mikroklin, bägge förekommande i anhedriska korn med oregelbundna kornfogar (fig. 18). Mikroklin-kornen, av vilka en del äro upp till 1 mm stora, äro dels helt friska, dels grumliga och svagt brunfärgade. Ofta äro de något sericitomvandlade och hålla interpositioner av kvarts och biotit. Dessutom förekomma enstaka upp till 2



Fig. 17. Kaolinlera, borrhål 58116, 270.17 m. Slipprov, + nic., 340 ×. Kvarts och muskovit omgivas av kaolinit och limonit (svart).

Kaolin, drill-hole 58116, 270.17 m. Thin section, + nic., 340 ×. Quartz and muscovite are surrounded by kaolinite and limonite (black).

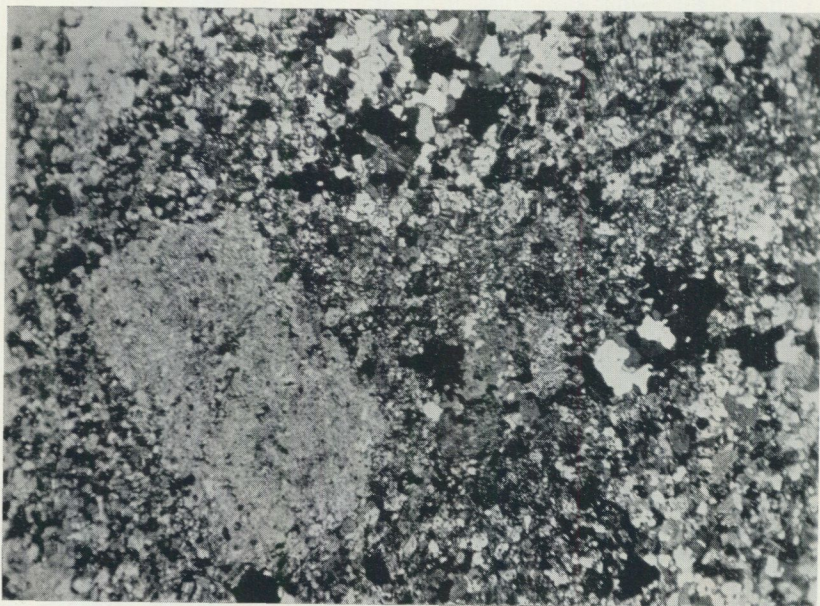


Fig. 18. Leptit, borrhål 58114, 147.26 m. Slipprov, + nic., 24 ×. Mikroklin, kvarts (vit) och järnoxid (svart). Strökornet utgöres av mikroklin.

Leptite, drill-hole 58114, 147.26 m. Thin section, + nic., 24 ×. Microcline, quartz (white) and iron oxide (black). The phenocryst is made up of microcline.

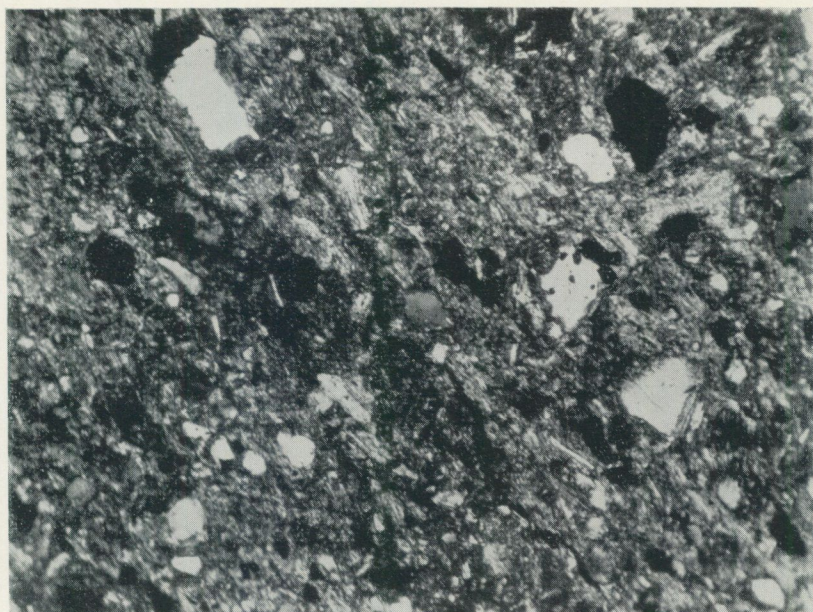


Fig. 19. Kaolinlera, borrhål 58114, 148.90 m. Slipprov, + nic., 75 \times . Kvarts (vit) och järnoxid (svart) i en mellanmassa av kaolinit och limonit.

Kaolin, drill-hole 58114, 148.90 m. Thin section, + nic., 75 \times . Quartz (white) and iron oxide (black) in a groundmass of kaolinite and limonite.

mm stora, tavelformade strökorn av en grumlig och sericitomvandlad mikroclin, som håller rikligt med biotit och nybildad mikroclin. Vidare ingår relativt rikligt med biotit (γ = brungrön och α = svagt gul) som små tavelformade fjäll. Dessutom förekommer en svagt brungrön glimmer, som har en låg dubbelbrytning och som under korsade nikoller uppvisar en mycket finfasrig textur. Den föreligger dels som större enhetliga korn, dels som en finkornig mellanmassa mellan de övriga mineralen. I de större kornen förekomma smala partier, som påminna om muskovit. I mindre mängd förekommer hämatit och en något grumlig, sericitomvandlad plagioklas, vars optiska egenskaper antyda, att en andesin med den ungefärliga sammansättningen $Ab_{70} An_{30}$ föreligger. En blekgrön klorit ingår i mycket liten mängd. Leptiten genomsättes av upp till 1 mm breda sliror bestående av rödbrun, grumlig mikroclin och blekgrön klorit.

Röntgenupptagningen visar, att leptiten håller mycket kalifältspat, plagioklas, glimmer och kvarts. Klorit finnes närvarande. Montmorillonit ingår icke. Däremot kan kaolinit finnas i mindre mängd. Detta mineral är dock ej säkert påvisbart i små mängder och vid närvaro av klorit.

Den kemiska sammansättningen framgår av analys 4 i tabell 6.

Vid 148.17 m övergår leptiten i en blekröd, helt plastisk lera, som ställvis håller sparsamt med mm-stora mörka fragment. Slipprov visa, att den domineras av en smutsigt brun till rödbrun, flockig mellanmassa, vars optiska egen-

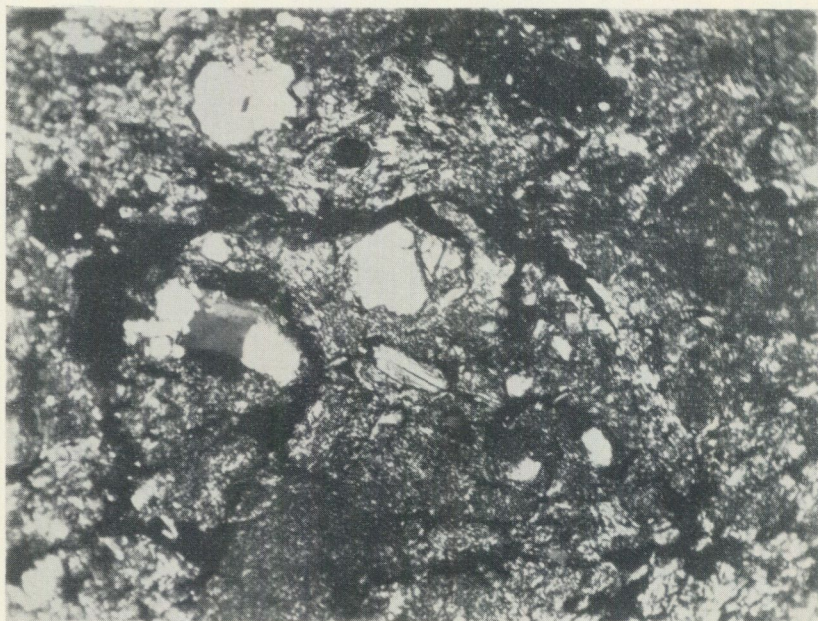


Fig. 20. Vittrad leptit, borrhål 20, cirka 14 m. Slipprov, + nic., 75 ×. Kvarts och muskovit i en mellanmassa av kaolinit och limonit. De oregelbundna svarta partierna äro håligheter i preparatet.

Weathered leptyte, drill-hole 20, c. 14 m. Thin section, + nic., 75 ×. Quartz and muscovite in a groundmass of kaolinite and limonite. Irregular black areas are holes in the thin section.

skaper döljas av den ringa kornstorleken och den starka egenfärgen (fig. 19). Den bruna färgen framkallas troligen av limonit i mycket finfördelad form. Där limonit saknas och mellanmassan är i det närmaste färglös, kan dock iakttagas, att ett finkornigt mineral med låg dubbelbrytning föreligger. Detta har en viss likhet med kaoliniten i leran i borrhål 58116. I denna kaolinit-limonit-mellanmassa förekomma 0.02 till 0.2 mm stora, järnoxidpigmenterade kvartskorn, som äro föga rundade och ha raka konturer. Ibland äro de nästan skarpkantade och ge intryck av flittror. De större kvartskornen äro ofta krossade och delvis även undulöst släckande. Relativt rikligt förekommer en smutsbrun biotit uppträdande som svagt böjda, trådliknande fjäll. Dessutom ingå enstaka fjäll av muskovit. Hämatit uppträder dels som taggiga, dels som kantiga, stavformiga korn, och förekommer ställvis rikligt. Enstaka, 0.5—1 mm stora, tämligen kantiga fragment av en hämatitförande leptit ha iakttagits. De bestå av mikroclin, hämatit och något kvarts. En del fragment äro så grumliga och omvandlade, att deras leptitiska karaktär knappast längre kan igenkännas. Dessutom förekomma enstaka, anmärkningsvärt välbevarade, anhedriska korn av mikroclin.

Röntgenupptagningen visar, att provet håller betydande mängder kvarts, kalifältspat och kaolinit. Vidare finnes montmorillonit¹ och en mera odefinierad

¹ Påvisades genom upptagning i Philipskamera med 11.4 cm diameter och specialbyggd strålfångare. Provet monterades som glycerinstav.

rad hydroglimmer närvarande. Möjligen är dessutom plagioklas närvarande i liten mängd.

Den kemiska sammansättningen av kaolinleran framgår av analys 5 i tabell 6.

Mellan 150.30 och 154.77 m erhöles ingen borrhårens kärna. Måktigheten av kaolinleran i detta borrhål är därför okänd. Efter 154.77 m påträffades den vitttrade blodstenen.

I borrhål 20 genomvärade de första metrarna en mörkgrå, tät, leptit, vilken nedåt övergår i en blekröd till rödbrun, kraftigt vittrad, grusig bergart, vilken på ett djup av 13.78 m efterföljes av en vittrad blodsten. Den grusiga bergarten består till största delen av lermineral (fig. 20). Kaolinit synes dominera. Mineralen förekommer mestadels som små, regellöst orienterade korn, stundom dock som stråliga fjäll. Kornstorleken håller sig kring 0.004 mm. Kaoliniten är färglös men håller ställvis små fläckar av rödbrun limonit. I denna finkorniga kaolinitmellanmassa ligga upp till 1 mm stora, i regel dock kring 0.2 mm stora, ofullständigt utbildade, trasiga fjäll av ett ljus glimmermineral. Det uppvisar en låg dubbelbrytning och parallell utsläckning. Detta mineral håller kaolinit oregelbundet fördelat samt enstaka små fjäll av muskovit. Sparsamt förekomma trådliknande fjäll av biotit (γ = smutsbrun och α = svagt brun) och mellan 0.1 och 1 mm stora, anhedriska, delvis skarpkantade, krossade korn av undulöst släckande kvarts. Accessoriskt uppträda små korn av järnoxid.

I borrhål 58112 sker även en övergång från grå, tät, förskiffrad leptit till tegelröd, muskovitförande, plastisk kaolinlera. Röntgenupptagningen visar, att leran består av betydande mängder kaolinit. Vidare ingår kvarts samt något glimmer. Fältspat har icke kunnat påvisas. Den kemiska sammansättningen av leran framgår av analys 6 i tabell 6.

Vittrad blodsten

Den vitttrade blodstenen utgöres av en gråsvart, finfjällig och porös hämatitmalm, som är rik på upp till mm-stora håligheter, vilka ofta äro utdragna i en viss riktning. Malmen erhåller då en »pipig» struktur. Den är något krossad och visar stundom en tydlig stänglighet. Rätt vanligt är, att den håller upp till cm-stora, kantiga, oregelbundna fragment av en rödbrun eller cinnoberfärgad, martitomvandlad svartmalm.

Kännetecknande för den vitttrade blodstenen är, att den vid mekanisk påverkan mycket lätt sönderfaller i ett pulver — mullartad blodsten. Sålunda låter den sig med lätthet smulas sönder med fingrarna. I blottningarna föreligger den därför oftast som en sandartad massa, vilken enbart består av hämatit i form av tämligen skarpkantade, oregelbundna, mellan 0.04 och 0.4 mm stora korn. Dess benägenhet att sönderfalla medförde, att man vid borrhningen mestadels endast erhöles slam.

I den vitttrade blodstenen förekomma icke några andra mineral än hämatit; sålunda är den helt fri från magnetit. Vidare saknas apatit och kalcit så gott



Fig. 21. Vittrad blodsten, borrhål 22, 21.25 m. Polerprov, vanl. ljus, $46\times$. I den grova hämatiten fragment av martit. Helsvarta fält utgöres av håligheter.

Weathered hematite ore, drill-hole 22, 21.25 m. Polished section, ord. light, $46\times$. In the coarser hematite fragments of martite. Black fields are holes.

som helt. Analyser av denna malm kännetecknas därför av mycket höga järnhalter (upp till 70.2 % Fe) och låga fosforhalter (omkring 0.01 % P).

Ett par prov av denna malm må beskrivas något mera i detalj. I borrhål 22 påträffades i slammets mindre partier av en vittrad blodsten, som håller enstaka, upp till cm-stora, kantiga fragment av en mörkröd, tät, martitiserad svartmalm. Slipprov visa, att förutom malmmineral ingå endast enstaka smala sliror av apatit samt ett par korn av kvarts. Polerprov visa, att blodstenen till allra största delen består av omkring 0.04 mm stora korn av hämatit, vilka äro hopvuxna med tämligen raka och okomplicerade kornfogar. Kring fragmenten av den martitiserade svartmalmen uppträda omkring 0.5 mm stora, stundom ända upp till 1 mm stora korn av hämatit med likaledes raka och okomplicerade fogar. Gränsen mellan de finkorniga och grovkorniga partierna är tämligen skarp (se fig. 21). Fragmenten av den martitiserade svartmalmen, som endast förekomma i den grovkorniga hämatiten, ha en oregelbunden men rätlinjig begränsning. Gränserna mot omgivande hämatit äro helt skarpa. I martitfragmenten uppträder hämatiten till allra största delen som smala lister anordnade i en oktaedertextur, vilken avslöjar, att magnetit förelegat från början.

I borrhål 58112 har på 77.0 meters djup en liknande blodsten påträffats. Den utgöres av en svartgrå, finfjällig, vackert glänsande hämatit, som innehåller mm-stora hålrum, av vilka enstaka äro fyllda med rödbrun limonit. Dess-

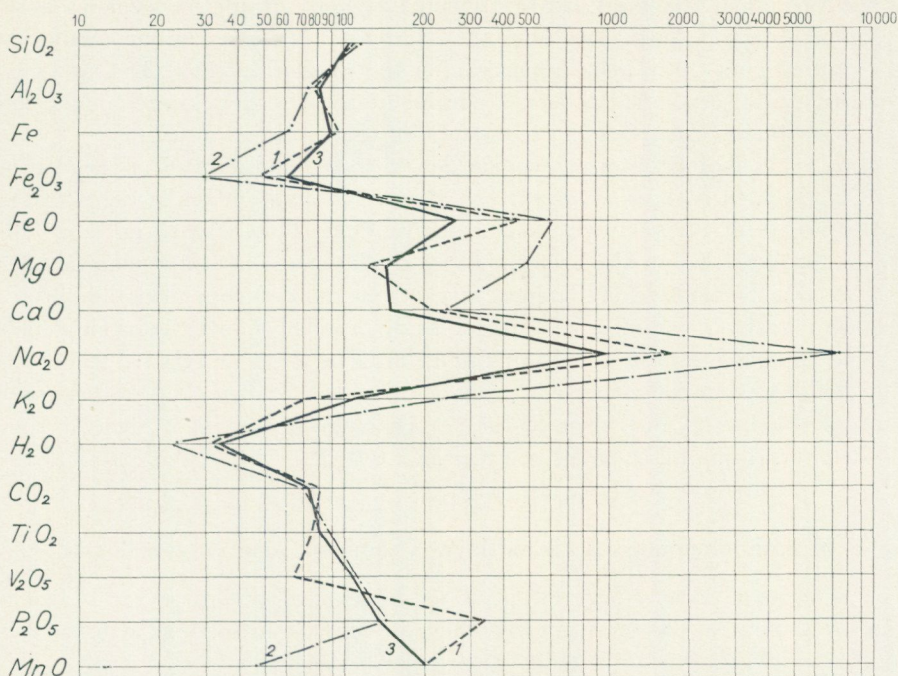


Fig. 22. Diagram uppritat efter Leith och Mead, visande elementförändringarna vid vittringen av hängväggsleptiten. 1 = vittrad leptit, borrhål 58116, 2 = kaolinlera, borrhål 58116 och 3 = kaolinlera, borrhål 58114.

Diagram, after Leith and Mead, showing losses and gains of oxide constituents in the weathering of the hanging-wall leptite. 1 = weathered leptite, drill-hole 58116, 2 = kaolin, drill-hole 58116 and 3 = kaolin, drill-hole 58114.

utom ingår rikligt med mörkt rödbruna, 1–5 mm stora, oregelbundna fragment. En mikroskopisk undersökning visar att endast malmineral ingå. Grundmassan består uteslutande av hämatit i 0.15–0.30 mm stora korn, som äro sammanvuxna via ett fåtal raka ytor. Fragmenten, som begränsas rätlinjigt av denna, uppbygges till största delen av hämatit i 0.04–0.08 mm stora, oregelbundna korn, som ha mycket taggiga och oregelbundna kornfogar. I en del fragment ingå små oregelbundna rester av magnetit, medan andra uppvisa en tydlig oktaedertextur. Sannolikt är därför, att fragmenten ursprungligen utgjorts av svartmalm.

Den vittrade blodstenen, som är helt moräntäckt, har påträffats såväl i blottningarna (se fig. 6) som i borrhålen (se fig. 11 och 12). Den uppvisar en rätt stor mäktighet i dagen. I jordrymning 25 uppgår den sålunda till 40 m. Här har dock inräknats den 6 m breda inlagringen av kaolinlera, som förmodligen intager ett flackt läge ovanpå blodstenen. Även borrhålen visa, att den vittrade blodstenen har en avsevärd mäktighet — av fig. 11 framgår, att den varierar mellan 25 och 35 m, räknat vinkelrätt mot stupningen. Borrningarna visa vidare, att den har en stor utbredning mot djupet; sålunda förekommer vittrad blodsten ännu på ett djup av 280 m under dagen i borrhål 58116.

Det är anmärkningsvärt, att mäktigheten av den vittrade blodstenen i borrhålen i fig. 11 är så pass konstant. Närmast liggväggen anstår i samtliga borrhål ett cirka 15 m mäktigt parti av en oomvandlad blodsten. Det vore nästan att vänta, att omvandlingen skulle ha utbredd sig mera oregelbundet och att den sålunda icke så bestämt skulle följt en viss »horisont» i malmen.

I riktning mot liggväggen övergår den vittrade blodstenen i en oomvandlad blodsten med sliror av apatit och kalcit. Makroskopiskt kan denna övergång vara svår att se, eftersom den oomvandlade blodstenen även kan vara något porös och ha en viss benägenhet att sönderfalla. Gränsen mellan de bägge typerna av blodsten är däremot mycket lätt att definiera med tillhjälp av kemiska analyser. Sålunda kan man i analysprotokollen över borrhålen följa denna övergång mycket väl. Man finner, att den alltid är relativt skarp och att den sker på en halvmeter när. I analyserna yttrar sig övergången så, att den vittrade blodstenen med över 65 % Fe och omkring 0.01 % P övergår i en blodsten med upp till 65 % Fe och mer än 0.6 % P.

Kemisk-mineralogiska förändringar i samband med omvandlingen

I föregående avsnitt har redogjorts för hängväggsleptitens successiva övergång i kaolinlera. Till närmare belysning av denna omvandlings kemiska och mineralogiska innebörd redovisas här nedan två tabeller. I tabell 1 angives den mineralogiska sammansättningen av de bergarter, som beskrivits från borrhål 58116, 58114 och 58112. Här har resultaten från såväl de mikroskopiska be-

Tabell 1

Borrhål	58116				58114		58112
	Leptit	Leptit	Leptit	Kaolinlera	Leptit	Kaolinlera	Kaolinlera
Djup i m	264.80	267.20	267.50	270.17	147.26	148.90	59.80
	M R	M	M R	M R	M R	M R	R
Kvarts	3 3	3	3 3	3 2	3 2	2 3	3
Plagioklas	3 3		1		2 2	1?	
Mikroclin	3 2	3	1 1		3 3	1 3	
Biotit	3	2	3		3	3	
Muskovit	1	1	3	2	1	1	1
Klorit	1 1		1?		1		
Kaolinit		2	3 1	3 3	1?	3 3	3
Montmorillonit				1?		1	
Hydroglimmer						1	
Hämatit	1	1	1		1	2	
Limonit			2	2		2	
Apatit	+						
Turmalin	+	+	+				
Epidot					+		

M = mikroskopisk bestämning. R = röntgendiagram

3 = betydande mängd. 2 = underordnad mängd. 1 = liten mängd

+ = accessoriskt

Tabell 2

	Katjonprocent		Analys 1-2		Katjonprocent	Analys 1-3		Katjonprocent		Analys 4-5	
	1	2	Joner +	Joner -		3	Joner +	Joner -	4	5	Joner +
Si	59.11	56.34		2.77	58.65		0.46	56.00	56.17	0.17	
Ti	0.38	0.54	0.16		0.49	0.11		0.44	0.55	0.11	
Al	17.50	23.71	6.21		26.66	9.16		18.29	22.50	4.21	
V	0.07	0.12	0.05		0.07	—		0.08	0.08	—	
Fe ³⁺	2.43	5.19	2.76		8.97	6.54		3.91	6.76	2.85	
Fe ²⁺	2.85	0.67		2.18	0.51		2.34	2.96	1.19		1.77
Mn	0.06	0.03		0.03	0.16	0.10		0.09	0.04		0.05
Mg	4.87	4.22		0.65	1.11		3.76	5.90	4.46		1.44
Ca	1.74	0.86		0.88	0.78		0.96	1.89	1.30		0.59
Na	5.55	0.34		5.21	0.08		5.47	3.56	0.38		3.18
K	5.31	7.94	2.63		2.42		2.89	6.73	6.45		0.28
P	0.13	0.04		0.09	0.10		0.03	0.15	0.12		0.03
Σ	100.00	100.00	11.81	11.81	100.00	15.91	15.91	100.00	100.00	7.34	7.34

1. Leptit, borrhål 58116, 264.80 m
2. Vittrad leptit, borrhål 58116, 267.50 m
3. Kaolinlera, borrhål 58116, 270.17 m
4. Leptit, borrhål 58114, 147.26 m
5. Kaolinlera, borrhål 58114, 148.90 m

stämningarna som röntgenupptagningarna redovisats, och en grov skala anger mängden av de ingående mineralen. Tabellen visar tydligt, att omvandlingen av leptit till kaolinlera kännetecknas av att fältspaten upplöses och att lermineral sådana som kaolinit, hydroglimmer och montmorillonit bildas. Plagioklasen visar en kraftigare tendens till upplösning än mikroklinen, vilken ännu delvis är bevarad i kaolinleran. Samtidigt synes en nedbrytning av glimmermineralen ske. Halten av dessa mineral är i en del prover av leran rätt låga, i andra däremot är glimmer fortfarande ett väsentligt mineral, vilket ju även visas av den höga K₂O-halten i kaolinen. Kvartsen har varit resistent mot omvandlingen och finnes bevarad. Hämatiten har omvandlats i limonit. En del av det senare mineralet härrör dock, såsom nedan skall visas, från FeO, som utlösts ur biotit och klorit. Accessorierna (apatit, turmalin och epidot) ha helt upplösts. Rent mineralogiskt är slutstadiet för leptitens nedbrytning en bergart bestående av kaolinit, kvarts och limonit.

I tabell 2 angives den kemiska sammansättningen av leptit och kaolinlera från borrhål 58116 och 58114. Sammansättningen är uttryckt i katjonprocent, för att man skall kunna bilda sig en uppfattning om vilka joner, som ökat eller minskat. Vid en jämförelse av de siffror, som finnas redovisade i denna tabell, måste följande hållas i minnet. Omvandlingen har inneburit, att vissa element lösts ut och andra stannat kvar. Någon elementtillförsel har icke kunnat påvisas. Analysmässigt innebär detta, att halten av de utlösta elementen minskat och att halten av de element, som icke lösts ut och absolut sett hållit sig konstant, kommit att öka.

Tabell 3

	1	2	3	4	5
$\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}) \dots\dots\dots$	0.46	0.57	0.89	0.95	0.85
$\text{Al}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+} + \text{Al})\dots\dots\dots$	0.77	0.73	0.80	0.74	0.74

1. Leptit, borrhål 58116, 264.80 m. 2. Leptit, borrhål 58114, 146.26 m
 3. Vittrad leptit, borrhål 58116, 267.50 m. 4. Kaolinlera, borrhål 58116, 270.17 m. 5. Kaolinlera, borrhål 58114, 148.90 m
 Kvoterna uträknade efter katjonprocenttalen i tabell 2

Den kraftiga ökning av Al_2O_3 -halten, som redovisas i tabell 2, är därför troligen endast skenbar. Vid en omvandling som denna, där en kaolinisering skett, är det sannolikt att mängden av Al hållit sig konstant. Al_2O_3 är nämligen mindre benägen än de flesta andra oxider att gå i lösning. För det fortsatta resonemanget tages därför Al_2O_3 -halten som måttstock för elementförändringarna: Alla element som icke ökat procentuellt lika mycket som Al_2O_3 ha utlösts, och alla element, som ökat mera än Al_2O_3 , ha blivit tillförda.

Av tabell 2 framgår vidare, att de flesta element med undantag av Fe_2O_3 uppvisa en avsevärd minskning. Dessutom framgår av tabellen, att elementomsättningen vid omvandlingen till kaolinlera varit kraftigare i leptiten i borrhål 58116 än i borrhål 58114. Nedbrytningen av leptiten i borrhål 58114 har icke varit lika fullständig som i borrhål 58116.

För att lättare få en överblick av elementförändringarna har ett av Leith och Mead (1915) angivet diagram konstruerats (fig. 22). Siffrorna för detta erhålles genom att halten av ett element i den ovittrade bergarten divideras med halten av samma element i den vittrade bergarten, varpå kvoten multipliceras med 100. Det ges sålunda ett enkelt sätt att bedöma, huru halten av de olika elementen ändrats i förhållande till varandra. Ett element, som har ett högre värde än ett annat, har sålunda minskat, och ett element, som har ett lägre värde, har ökat. Enligt denna princip har i fig. 22 angivits värden för tre prov; sålunda återges från borrhål 58116, huru den vittrade leptiten och kaolinleran förhåller sig till den friska leptiten, samt från borrhål 58114, huru kaolinleran förhåller sig till leptiten. Kurvorna för de tre bergarterna sammanfaller väl, och tendensen för vittringen visar följaktligen stora likheter. Om man enligt det ovan förda resonemanget anser Al_2O_3 -halten vara konstant, finner man, att endast halterna av Fe_2O_3 och H_2O ökat; övriga oxider ha minskat eller hållit sig konstanta. Den oxid, som uppvisar den kraftigaste minskningen, är Na_2O . Vidare uppvisa FeO , MgO , CaO och P_2O_5 betydande minskningar. I kaolinen i borrhål 58116 synes även en minskning av K_2O -halten ha skett. I de två övriga bergarterna har halten av detta element hållit sig konstant. Diagrammet visar, att halten av SiO_2 (ingående i såväl silikatmineral som kvarts) har minskat något. För de element, som ingå i liten mängd (TiO_2 , V_2O_5 , MnO och CO_2), kunna inga signifikativa slutsatser dragas; de hålla sig konstanta eller uppvisa små negativa eller positiva ändringar.

Av särskilt intresse äro de förändringar, som beröra det ingående järnet. Vi ha funnit, att halten av Fe_2O_3 ökar, medan däremot halten av FeO uppvisar en minskning (allt i förhållande till halten av Al_2O_3). Ökningen av Fe_2O_3 -halten torde vara ett resultat av att Fe^{2+} , som gått i lösning (vid omvandlingen av biotit och klorit), icke vandrat vidare utan oxiderats till Fe_2O_3 , förliggande som limonit. Av tabell 3 framgår, att det skett en kraftig ökning av järnets oxidationsgrad vid omvandlingen av leptit till kaolinlera. Däremot har den totala järnhalten hållit sig konstant i förhållande till Al_2O_3 . Under ovan givna förutsättning, att Al_2O_3 -halten icke förändrats under omvandlingen, måste därför även den totala mängden Fe ha hållit sig konstant. Detta visar, att FeO , som gått i lösning, oxiderats till Fe_2O_3 och att intet järn bortförts.

Nämnda förhållande tyder på att en oxiderande vittring måste ha ägt rum. Bergarter, som omvandlas av oxiderande lösningar, tendera att behålla sitt järn. Om bergarter däremot omvandlas under reducerande förhållanden, t. ex. vid vittring under myrar, där humussyror verka i en syrefri miljö, bortföres järnet i form av ferrolösningar.

De kemiska och mineralogiska förändringar, som skett vid omvandlingen av hängväggsleptiten (bestående av kvarts, plagioklas, mikroklin och biotit), till kaolinlera ha främst inneburit, att fältspaten nedbrutits. Redan vid en ringa omvandling har plagioklasen upplösts och Na_2O och CaO bortförts. Vid kraftigare omvandling har även mikroklinen angripits varvid K_2O lösts ut. Att plagioklas och kalifältspat uppvisa olika motståndskraft mot omvandling är en empiriskt vunnen erfarenhet, se bl. a. Goldich (1938), Högbom (1931) och Ljunggren (1955). Kvarts har icke nämnvärt påverkats av omvandlingen och har därför kvarstannat i kaolinleran. En viss mobilisering av SiO_2 synes dock ha skett. Härpå tyder bl. a. förekomsten av kvartssliror i kaolinen. Ett liknande fenomen har av Frosterus (1928) beskrivits från Soanlahti i Finland. Biotiten har under omvandlingen påverkats och i delar av bergarten kommit att helt förstöras. För borrhål 58116 visa analyserna en rätt kraftig minskning av MgO -halten, i kaolinleran i borrhål 58114 är däremot halten av denna oxid fortfarande rätt hög, vilket kan förklaras genom att den är bunden i montmorillonit. Omvandlingen av glimmern kan ha varit ofullständig därigenom att endast alkalierna lösts ut, och kiselsyreskelettet kvarstår i stort sett oförändrat och bildar glimmerliknande lermineral. FeO , huvudsakligen bunden i biotit och i den sparsamt förekommande kloriten, har lösts ut men aldrig bortförts utan tillsammans med närvarande hämatit överförs till limonit.

Kvarvarande Al_2O_3 och SiO_2 ha reagerat under bildning av lermineral. Huvudsakligen har kaolinit bildats men även montmorillonit och hydroglimmer. Sistränmda mineral kan emellertid ha uppkommit direkt ur biotit genom en omlagring. Halten av kristallvatten ökar markant med ökad grad av omvandling, vilket sammanhänger med bildningen av de vattenhaltiga lermineralen och de hydratiserade järnoxiderna.

Den omvandling, som har skett i blodstenen, har inneburit, att alla andra mineral än hämatit lösts ut. Den oomvandlade blodstenen åtföljes alltid av en viss halt av apatit och kalcit. Dessutom ingår granat, amfibol, pyroxen, biotit

Tabell 4

	Vittrad blodsten			Oomvandlad blodsten		
	Djup i m	% Fe	% P	Djup i m	% Fe	% P
Borrhål 58109 ..	69.95—94.29	66.8	0.03	94.29—115.79	57.1	1.28
Borrhål 58112 ..	61.45—114.65	68.8	0.02	114.65—125.50	59.0	1.19
Borrhål 58114 ..	154.77—185.70	66.0	0.03	185.70—195.80	60.1	1.04
Borrhål 58116 ..	270.00—310.00	68.2	0.01	310.00—313.00	60.3	1.02

Analyserna utförda av LKAB:s laboratorium, Kiruna

och klorit (jfr s. 11). Den vittrade blodstenen består så gott som uteslutande av hämatit; endast mycket obetydliga mängder av icke-malmmineral ingå. Skillnaden i sammansättning belyses mycket väl av de kemiska analyserna. I tabell 4 återges från olika borrhål Fe- och P-halterna i vittrad resp. oomvandlad blodsten, vilka ligga i direkt anslutning till varandra.

Från ytterligare sex borrhål föreligga analyser av vittrad blodsten, och de visa alla god överensstämmelse med den vänstra delen i ovanstående tabell. De ha en hög järnhalt, med upp till 70.2 % Fe, och en låg fosforhalt, som varierar mellan 0.006 och 0.018 % P.

Att icke endast apatiten lösts ut vid omvandlingen visar en fullständig analys av vittrad blodsten. För jämförelsens skull anföres i nedanstående tabell tre fullständiga analyser av oomvandlad blodsten, nämligen dels från området norr och söder om den vittrade malmen (borrhål 58102 resp. 58101), dels från vitt-ringsmalmens liggande (borrhål 58109). Av denna framgår, att vid omvandlingen samtliga beståndsdelar med undantag av järnoxiderna lösts ut; sålunda äro halterna av SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO och P_2O_5 , som äro låga i den oomvandlade blodstenen, ytterst obetydliga i den vittrade.

Tabell 5

	Vittrad blodsten	Oomvandlad blodsten		
	1	2	3	4
SiO_2 ...	1.29	5.13	4.28	6.65
TiO_2 ..	0.03	0.19	0.07	0.16
Al_2O_3 ..	0.33	1.38	0.57	0.87
Fe_2O_3 ..	96.63	81.62	85.32	78.78
FeO ...	1.79	1.52	0.83	2.68
MnO ..	0.01	0.08	0.07	0.07
MgO ..	0.10	1.32	1.03	0.69
CaO ..	0.27	4.24	4.84	5.50
P_2O_5 ..	0.02	2.74	1.40	2.98
V_2O_5 ..	0.05	0.20	0.08	0.16
S	0.01	0.02	0.01	0.01
Σ	100.53	98.44	98.50	98.55

1. Borrhål 58109, 71.52—92.50 m. 2. Borrhål 58109, 92.50—115.79 m
3. Borrhål 58101, 85.58—112.58 m. 4. Borrhål 58102, 114.00—125.00 och 134.50—161.00 m
Analyserna utförda av LKAB:s laboratorium, Kiruna

Omvandlingszonens uppkomst

De båda enheterna i omvandlingszonen, kaolinlera och vittrad blodsten, ha troligen bildats under en och samma vittringsprocess. Härpå tyder deras nära inbördes förhållande samt den omständigheten, att omvandlingen i såväl leptiten som blodstenen inneburit en utlakning, varvid vissa element lösts ut. Någon elementtillförsel har icke kunnat konstateras, och man kan därför helt utsluta möjligheten, att omvandlingszonen uppkommit genom endogena processer.

Den omvandling, som ägt rum i såväl leptiten som blodstenen, kan däremot sannolikt förklaras som ett normalt lakningsfenomen under grundvattnets inverkan. Tidigare har visats, att omvandlingen måste ha skett i en syrerik miljö. Man måste därför utsluta den möjligheten, att omvandlingszonen skulle ha bildats genom en vittring under myrmarker i likhet med vad som t. ex. förutsättes för en del av de tyska kaolinförekomsterna (Stremme 1909) och för de mellansvenska mullmalmera (Geijer och Magnusson 1926).

Det är därför troligt, att omvandlingszonen uppkommit genom inverkan av ett grundvatten, som stått i förbindelse med dagytan. Ett sådant antagande förutsätter dock att grundvattnet måste ha haft möjlighet att cirkulera, så att de olika elementen kunnat bortföras, samt att förbindelsen med jordytan varit god, vilket är ett villkor för att en oxiderande vittring skall kunna ske. Att en oxiderande vittring kan nå ned till stora djup är bl. a. känt från Lake Superiorområdet (Hotchkiss 1923), där den järnförande formationen oxiderats och utlakats till ett djup av nära 1 000 m under dagen. Vidare har Geijer från Spexeryd beskrivit (Geijer och Magnusson 1926) oxidiska manganmineral från mer än 210 meters djup, vilka troligen äro avsatta av vattenlösningar av ytligt ursprung.

Här bör nämnas den av Petersson (1900) framförda åsikten, att apatiten och kalciten i blodstenen på Gruvberget skulle ha lösts ut av lösningar härstammande från de stora kishaltiga varphögarna strax N om omvandlingszonen. Varphögarna ligga nämligen på en höjd, och följaktligen skulle nederbörden, som surgjorts vid vittringen av de i varpen förekommande kismineralen, ha runnit ned mot blodstenen och löst ut apatiten och kalciten. Denna teori faller dock av det skälet, att nederbörden, som träffat varphögarna (vilka ligga på den högsta punkten av Gruvberget), bör ha fördelat sig tämligen likformigt åt alla håll. Några spår av omvandling har dock icke påträffats vare sig vid sidan av varphögarna eller under dessa.

Under antagande av att Al_2O_3 , Fe_2O_3 och SiO_2 icke ha gått i lösning under omvandlingen, finner man, att den lösning, som givit upphov till omvandlingszonen, bör ha haft ett pH-värde kring 5. Löslighetsdiagram över de tre elementen visa nämligen (se Correns 1949), att en lösning med pH högre än 5 verksamt måste lösa SiO_2 . Är pH-värdet däremot lägre än 5, måste såväl Al_2O_3 som Fe_2O_3 gå i lösning. Ett dylikt pH-värde svarar i stort sett mot surhetsgraden i ett ytligt grundvatten. Mason (1952) anger för myrvatten pH = 4 och för regnvatten pH = 6.

Tabell 6

	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	61.0	55.4	54.2	57.0	54.4	52.5	46.7
TiO ₂	0.53	0.70	0.60	0.60	0.70	0.9	1.20
Al ₂ O ₃	15.4	19.8	20.9	15.8	18.5	22.4	14.9
V ₂ O ₅	0.11	0.17	0.10	0.13	0.12	0.10	0.19
Fe ₂ O ₃	3.35	6.79	11.01	5.29	8.66	11.81	4.25
FeO.....	3.53	0.76	0.57	3.60	1.38	0.55	8.53
MnO.....	0.08	0.04	0.17	0.10	0.05	0.06	0.12
MgO.....	3.4	2.8	0.7	4.2	2.9	0.7	6.4
CaO.....	1.7	0.8	0.7	1.8	1.2	0.8	4.6
Na ₂ O.....	2.97	0.17	0.04	1.87	0.19	0.03	2.59
K ₂ O.....	4.32	6.13	1.75	5.37	4.90	1.39	5.74
P ₂ O ₅	0.17	0.05	0.12	0.19	0.14	0.11	0.25
S.....	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
CO ₂	0.16	0.20	0.23	0.16	0.22	0.29	0.69
Glödgn.-förlust (1 000°)	1.67	5.38	7.63	2.26	6.59	8.34	0.74
F.....	—	—	—	—	—	—	0.18
Cl.....	—	—	—	—	—	—	0.15
Σ.....	98.41	99.21	98.74	98.39	99.97	100.00	97.26
Norm Q.....	17.64			15.33			
C.....	3.12			4.01			
Or.....	25.54			31.72			
Ab.....	25.11			15.83			
An.....	7.43			7.93			
Hy.....	11.30			11.71			
Mt.....	4.86			7.66			
Il.....	1.00			1.14			
	96.00			95.33			
Kalcit.....	0.36			0.36			
Glödgn.-förlust.....	1.67			2.26			
Σ.....	98.03			97.85			

1. Leptit, borrhål 58 16, 264.80 m 2. Vittrad leptit, borrhål 58116, 267.50 m 3. Kaolinlera, borrhål 58116, 270.17 m 4. Leptit, borrhål 58114, 147.26 m 5. Kaolinlera, borrhål 58114, 148.90 m 6. Kaolinlera, borrhål 58112, 59.80 m 7. Skapolit-biotit-hornblände-fels, borrhål 58118, 58.30 m Analyserna utförda av ingenjör S. ABRAHAMSSON, LKAB:s laboratorium, Kiruna

Vid vittringen har säkerligen förkastningar spelat en avgörande roll, dels som vattenvägar, dels genom att de utformat terrängen på den ovanliggande jordytan så, att vittringen kommit inverka på vissa speciella partier. Även malmen i sig själv kan ha utgjort en tänkbar väg för vattenlösningarna. Sålunda beskrives av Geijer och Magnusson (1926) från Mellansverige, huru vittringen följt malmkropparna och därifrån angripit sidostenen. Vidare är det givet, att tektoniseringen av bergarterna i omvandlingszonen verksamt bidragit till att underlätta vittringen. Uppkrossningen av såväl leptiten som blodstenen är visserligen av ringa omfattning men dock tillräcklig för att göra det möjligt för grundvattnet att tränga ned i dem.

Den geologiska kännedom, man har om Gruvberget, är ännu för ringa för att man skall kunna förklara, varför vittringen är knuten till ett så begränsat område i blodstenmalmens hängväggssida. Den tidigare beskrivna, mycket lokala omvandlingen av hängväggsleptiten i borrhål 58116 (se s. 7), är för

närvarande det enda tecknet på en vittring utanför omvandlingszonen. Vidare kan icke någon hållbar förklaring givas till, att omvandlingen följer en så bestämd »horisont» i blodstenen. Man skulle ha väntat sig, att vittringen ställvis skulle ha skett i det närmaste vertikalt, och icke, att den följt malmens sidostupning så väl. Eventuellt kunna primära skillnader mellan den vittrade och den oomvandlade blodstenen ha bidragit till det senare förhållandet.

Jämförelse med liknande företeelser i Skandinavien

Kaolinvittrade bergarter ha beskrivits från ett flertal lokaler i Sverige. I Skandinavien äro vidare ett antal kaolinförekomster kända från Danmark och Finland. Rent ytmässigt utgöra de ett mycket underordnat inslag i berggrunden, men de äro i gengäld spridda över stora områden. De äro icke knutna till något speciellt bergartsled och ha en mycket varierande ålder. Om också en systematisering av de olika förekomsterna är vanskelig att genomföra, skall dock här göras ett försök till indelning i olika grupper.

Den ena gruppen omfattar kaolinförekomster, som intaga ett mycket begränsat område i anslutning till krossade och tektoniserade, prekambrika bergarter. Om åldern på dessa förekomster vet man endast, att de äro preglaciala, dvs. att de har uppkommit före de kvartära nedisningarna. Den andra gruppen omfattar regionalt utbredda förekomster, vilka bildats genom en vittring över stora ytor. De intaga ofta ett mera plant läge och äro icke bundna till tektoniserade bergarter. Den vittring, som gett upphov till dessa förekomster, är av antingen prekambrisk, prejurassisk eller kretaceisk ålder, vilket tyder på, att man under vitt skilda epoker har haft en regional kaolinvittring. Det är emellertid klart, att en skiljelinje mellan de två grupperna är mycket svår att draga. Sålunda kan en förekomst i en tektonisk zon, vilken bör räknas till den första gruppen, likväl utgöra de bevarade rötterna av en vidsträckt vittring, som i övrigt förstörts av glacialerosion.

Från Sverige finnas beskrivna ett antal förekomster tillhörande den första gruppen, där kaolinbildningen är bunden vid tektoniska zoner.

Gavelin (1915) har från kraftverksanläggningen vid Porjus i Stora Lule älv beskrivit en mäktig skölzon, som följer ett system av förgrenade sprickor, efter vilka bergarterna (gnejs och granit) visa starka mikroskopiska krossningsfenomen. Längs krosszonen ha bergarterna sönderdelats under bildning av rödbrokgiga till ljusgråa »leror» bestående av kaolin och järnoxider samt kvarts och mer eller mindre omvandlade rester av bergarternas övriga beståndsdelar. Denna zon utgöres till största delen av en mjuk kaolinmassa, i vilken ligga större eller mindre block av starkt förklyftade men för övrigt rätt oomvandlade bergarter. Cirka 10 m under dagen har zonen en bredd av 30 m, men redan på 70 m djup varierar bredden mellan några dm och 1 à 2 m. Omvandlingszonen övergår successivt över krossade bergarter i en frisk berggrund. Hela utbildningen tyder på, att zonen bildats genom lösningar, vilka från dagytan trängt ned efter en krosszon i berggrunden. Gavelin anser, att zonen hastigt avtagande

mäktighet från dagytan och nedåt anger, att bergytan under kaoliniseringsprocessen legat på nära nog samma nivå som i vår tid.

Ljunggren (1955) har från kraftverksbygget vid Letafors i Värmland beskrivit en kaolinisering i gnejsberggrund. Vid omvandlingen, som påträffades under ett djup av 100 m från markytan räknat, ha leraktiga bergarter bestående av kvarts, kaolinit och delvis kloritiserad biotit uppkommit. Den gnejsiga strukturen är fortfarande fullt tydlig i de kaolinomvandlade bergarterna. Omvandlingen, som uppträder i anslutning till en förkastningszon, i vilken gnejsen till en viss del är uppkrossad, anses vara av hydrotermalt ursprung.

von Eckermann (1954) nämner från Bergeforsen vid Indalsälvens utlopp, att där påträffats stråk i gnejsen, radiella mot Alnöformationens centrum, längs vilka en omvandling av plagioklasen ägt rum till montmorillonit och kalцит.

Från trakten av Egesknatten vid Lelången, väster om Åmål, har W. Larsson (1947, 1956) beskrivit en kaolinvittring i en breccierad granit. Graniten har omvandlats till en vit massa, där kvartskornen ännu finns kvar orörda. Kaolinvittringen ligger i ett område, där två krosszoner mötas. Genom den mekaniska uppluckringen av berggrunden har nedträngandet av vittringen underlättats.

Kaolinförekomster tillhörande den senare gruppen äro i Sverige lokaliserade till södra och mellersta Sverige. Vid Lugnås och Billingen (Högbom 1931) samt vid Kinnekulle (Sundius 1943) finner man en kaolinomvandling, som är bunden till den subkambriska landytan. SV om Hässleholm samt vid Höör ha förekomster av pre-liassisk kaolin påvisats (Lundegren 1934, T. Nilsson 1958). Kaolinförekomsterna i trakten av Kristianstad i Skåne begränsas uppåt i åldern av övre krita (Grönwall 1915, Lundegren 1934). Från Mellansverige beskrives ett antal järnmalmförekomster (Geijer och Magnusson 1926) där malmen har överförs till antingen siderit eller limonit och martit, medan däremot omgivande silikatbergarter kaoliniserats. Omvandlingen i dessa järnmalmförekomster anses utgöra resterna av en vidsträckt preglacial vittring, vars produkter i övrigt bortförts av landisen. Geijer och Magnusson räkna även kaolinförekomsten vid Hultebo (Santesson 1882—83) till samma vittringsepok.

Till denna grupp bör även kaolinen vid Rönne på Bornholm räknas. Den ligger på ett underlag av granit och begränsas i åldern uppåt av jurassiska bildningar (Grönwall 1916).

Dessutom finnas ett antal förekomster, vars anknytning till den ena eller andra gruppen är mycket svår att avgöra. En kaolinförekomst, där vittringen skett *in situ* genom inverkan av lösningar från markytan, utgöres den av Fromm (1951) beskrivna kaolinvittrade syenitiska bergarten vid Merisvuoma V om Tändö.

Från »Nya Isovara» i Masugnsbystråket (Geijer och Magnusson 1926 och Geijer 1929) har beskrivits en vittrad malm, där magnetiten icke angripits av vittringen. Sålunda föreligger ingen martit, och apatithalten har bevarats, medan däremot det omgivande skarnet helt omvandlats till en massa »som än är flintliknande, vit eller gulbrun, än lös, såpartad, och brun eller röd».

I östra Finland äro i de karelska skiffer- och kvartsitområdena ett flertal kao-

linförekomster kända (Frosterus 1928). De synas dels ha bildats *in situ* genom vittring av omgivande berggrund, dels ha erhållit sitt nuvarande läge i samband med tektoniska rörelser. I vissa lokaler äro de tydligt bundna vid sprickor i berggrunden. Om deras ålder är ingenting närmare känt, men de förmodas vara yngre än de formationer, i vilka de ligga, men äldre än vissa tektoniska rörelser, som träffat bergarterna.

Härme (1949) beskriver ifrån Tyrvää i sydvästra Finland, att man under moränen funnit en kaolinomvandling i granit. Strukturen i den vittrade graniten är helt oförändrad. Vittringen, som gått djupast längs med sprickor i graniten, anses ha uppkommit genom ytvattnets inverkan.

Från sydvästra Finland har vidare kaolinförekomster beskrivits av Hausen (1935 a och b). I dessa har kaolinen av allt att döma icke bildats *in situ* utan måste ha omflyttats.

En omvandling helt avvikande från de ovan beskrivna är den, som skildrats av Byström (1956) från Ultevis, där i kaoliniserade bergarter ingår kaolinit och montmorillonit tillsammans med skapolit och harmotom. Dessa mineral anses ha bildats i samband med en regional hydrotermal omvandling.

Kaolinomvandlingen av leptiten på Gruvberget uppvisar rätt stora likheter med den, som skett i vissa förekomster tillhörande den första gruppen ovan. Kaoliniseringen är i dessa bunden vid en tektonisk zon, där bergarterna uppvisa krossningsfenomen, något som underlättat framträngandet av de omvandlande lösningarna.

Vad den vittrade blodstenen beträffar, finner man, att den utgör en mera ovanlig företeelse i Skandinavien. Preglacial järnmalmsvittring av något annan karaktär är dock känd från ett flertal lokaler i Sverige, bl. a. från Kiirunavaara (Geijer 1910, 1925) och Laukujärvi (Geijer och Magnusson 1926) samt från ett antal förekomster i Mellansverige (Geijer och Magnusson 1926). I de sistnämnda har skett dels en reducerande vittring, varvid siderit bildats, dels en oxiderande vittring med bildning av limonit och martit. I såväl Kiirunavaara som Laukujärvi har svartmalmen martitiserats. I förstnämnda lokal har vidare apatiten lösts ut och omflyttats. Däremot torde en vittring, där endast en utlakning av icke-malmineralen har skett, vara en sällsynt företeelse. Endast i Norbergsfältet i Mellansverige är en dylik vittring känd. Geijer (1936) beskriver därifrån en mullmalm, som helt består av järnglans. Järnhalten i denna uppgår till 69 % Fe mot 49 % Fe i omgivande malm. Vidare synes en utlösning av kvartsen ha ägt rum. Mullmalmen visar en fältstupning, som avviker från den omgivande malmen. Geijer förmodar, att denna orientering av mullmalmen beror på att en nedåtgående vittring följt en sprickzon med samma stupning.

En oxiderande vittring har skett i malmen på såväl Gruvberget som Leveäniemi. På Gruvberget har den träffat både svartmalmen och blodstenen. Svartmalmen är sålunda vanligen något hämatitomvandlad, isynnerhet vad beträffar de delar, som gränsa mot blodstenen — övergången mellan de båda malm-lagen är, som tidigare nämnts, successiv. Omvandlingen har yttrat sig så, att i magnetiten uppkommit smala, maskformiga, oregelbundna partier av hämatit,

vilka alltid äro lokaliserade till kanterna av kornen eller följa sprickor i dessa. Ställvis kan iakttagas, huru denna omvandling övergår i en tydlig martitiseringsring efter oktaederplan. I de delar av blodstensmalmen, som innehålla en viss mängd magnetit, uppvisar magnetiten en likadan omvandling till hämatit i korngränserna och längs med kornens sprickor. Så är fallet med blodstensmalmen liggväggsida och i den del av blodstenen, som gränsar mot svartmalmen, där i borrhålen en växellagring mellan blodsten och svartmalm iakttagits. Stundom ses även här en otydlig oktaedermartitiseringsring. I den tidigare omnämnda fragmentmalmen förekommer rikligt med fragment av en mycket vackert martititomvandlad svartmalm, där omvandlingen helt följt oktaederplanen. Liknande fragment har ju även beskrivits i den vittrade blodstenen. Vad djupgåendet av denna vittring beträffar, så har den i ett borrhål påträffats ännu på ett djup av 250 m under dagen.

På Leveäniemi uppträder i fyndighetens östra del en tämligen lokal, men synnerligen intensiv omvandling av svartmalmen. Polerprov visa, att den helt överförts till hämatit under bibehållande av oktaedertexturen. Dessutom har malmen till en mycket ringa del omvandlats till limonit. Växlingen mellan martitiserad och oomvandlad svartmalm är relativt snabb. Omvandlingen sträcker sig ned till ett djup av cirka 100 m under dagen.

Man måste ifrågasätta om icke den oxiderande vittringen av malmen på Gruvberget och Leveäniemi har ett samband med den vittring, som givit upphov till omvandlingszonens bergarter. Den ringa kännedom, man för närvarande har om dessa malmers natur, gör emellertid, att frågan måste lämnas öppen. Vad malmen på Gruvberget beträffar, så synes det sannolikt, att det knappast kan ha varit en enda process, som givit malmen dess nuvarande utbildning, utan att flera efter varandra skeende processer måste ha medverkat. För detta talar bl. a. förekomsten av fragmentmalmen. Vad som med säkerhet kan sägas, är att den vittring, som skett i form av utlakning, endast skett inom området för omvandlingszonen. Om denna process föregåtts av eller varit samtidig med den oxiderande vittringen av malmen, låter sig däremot icke avgöras.

Vad slutligen åldern av den omvandling, som givit upphov till kaolinleran och den vittrade blodstenen på Gruvberget beträffar, så kan ingenting annat sägas, än att den är preglacial. Omvandlingszonen täckes av morän, som visserligen är rätt tunn men under vilken vittring svårigen kunnat ske. Vidare är moränen uppblandad med den vittrade blodstenen.

Summary: A Zone of Kaolin Clay and Weathered Hematite Ore at Svappavaara, Northern Sweden

In 1957 the Geological Survey of Sweden started a systematic examination of the iron-ore on Gruvberget (previously called Svappavaara) by diamond-drilling. The ore-body is in the form of a lens 1 200 m long at least and varying from 10 m to 80 m wide (Fig. 1). It strikes N—S and is inclined eastwards at angles of 55—80 degrees. The containing rocks are leptitic. The hanging wall consists of quartz, plagioclase, microcline and biotite, whilst the foot-wall is made up of microcline, quartz and biotite. Narrow zones of agglomerate and a muscovite-rich leptite also occur in the hanging-wall leptite. Both leptite and ore are cut by NE—SW trending dykes of a scapolite-biotite-hornblende-fels.

The northern part of the ore-body consists of magnetite which passes southwards into hematite devoid of magnetite. The ore also contains apatite, calcite and actinolite together with quartz, biotite, muscovite and pyroxene in minor amounts. The hematite is garnet-bearing occasionally.

During drilling an alteration zone was found in the central part of the ore-body in which both hematite as well as leptite were affected. In the hanging-wall of the ore-body a relatively narrow zone of plastic kaolin clay was found and under this weathered hematite represented almost entirely by mud in the drilling. This zone could not be penetrated with normal drilling equipment but instead a drill equipped with mud-drilling gear was employed.

Observations in the field as well as chemical analyses and microscopic determinations indicate that the kaolin clay and weathered hematite were formed as a result of weathering phenomena, the former from leptite of the hanging wall, the latter from hematite ore.

The alteration zone is moraine-covered, but its sub-surface outcrop is known from a number of prospecting trenches. It is orientated N—S and limited westwards by hematite and eastwards by the hanging-wall leptite (Fig. 6). The zone is 200 m long and 40 m wide. The kaolin clay accounts for only a part of the zone, its thickness varying from 0.7 m to 4 m (as measured at right angles to the dip). The thickness of the weathered hematite varies from 25—35 m. The zone extends to a depth of at least 280 m below the surface as is shown by drill-hole 58116 (Fig. 11).

It is evident from both exposures and drillings that the kaolin clay is an alteration product of the hanging-wall leptite. Thus one always finds, where the contact relationships are undisturbed, a successive transition from leptite to kaolin clay (cf. Fig. 7). Occasionally small gritty portions can be found in the clay representing remains of weathered leptite. The kaolin clay displays colours varying from light brown, reddish brown and tile-red depending on the iron content. When wet it is completely plastic. When dry it is hard but can be easily converted to mud by adding water.

Drilling shows that the kaolin clay is always limited to the contact between the hanging-wall leptite and the weathered hematite (Fig. 11). On the other hand, in one exposure,¹ a kaolin clay 6 m wide lies in the middle of weathered hematite. The persistence of the kaolin in depth is not known but as it does not occur in a nearby bore-hole one can assume that it exists only as a shallow pocket in the ore. It is probable that it was pressed out from the hanging-wall contact by glacial forces. Structures observed in the prospecting trench show clearly that movement of material took place (cf. Fig. 10). This is indicated by the fact that the weathered hematite in the form of soft-ore has a flat-lying character above the kaolin clay. The moraine, furthermore, contains much weathered hematite. The small »fingers» of clay which occur in the hematite ore indicate that the kaolin clay must have had significant plasticity. The narrow, kaolin filled zones which occur in the weathered and even in

the unaltered hematite also support the view that the kaolin clay flowed out from its original position along the hanging-wall lepite/weathered hematite contact.

The transition between lepite and kaolin clay has been studied in detail and to demonstrate the chemical and mineralogical changes microscopic and X-ray investigations as well as chemical analyses were carried out. The results of these investigations are assembled in Tables 1, 2 and 6.

The alteration has involved the loss of certain elements whilst others have remained behind. No additions have however been detected. From an analytical point of view this means that the amount of released elements becomes less and those unreleased and in constant amount show a relative increase. The marked increase in alumina in Table 2 is therefore probably only apparent. On alteration of this sort involving kaolinisation it is most likely that the Al remained constant since Al_2O_3 is less susceptible than most other oxides of going into solution. It can therefore be used as a measure of changes in the elements. All elements which have not increased as much as Al_2O_3 in percent have been released and all those which have increased more than alumina have been added. In order to obtain a review of the changes in element distribution a diagram (Fig. 22) of the Leith and Mead (1915) type has been constructed. In this an element with a higher value than another has become less and one with a lower value than another has increased. Assuming that Al_2O_3 during alteration remained constant one finds from the diagram that only the Fe_2O_3 and H_2O have increased. The other elements have remained constant or become less.

The hanging-wall lepite consists of quartz, plagioclase, microcline and biotite together with accessories (Table 1). The results of the mineralogical and chemical alterations show that alteration of lepite to kaolin clay requires that the feldspar be broken down. Even after a slight alteration the plagioclase has been dissolved and Na_2O and CaO removed. With stronger alteration even the microcline is attacked and K_2O is removed but may be found occasionally preserved in the kaolin clay. Quartz has not been noticeably affected by weathering and remains behind in the clay. A certain mobilisation of SiO_2 has taken place as is shown by the occurrence of quartz veins in the kaolin clay. The biotite has been affected during alteration and partly destroyed. In drill-hole 58116 analyses show a marked reduction in the MgO content. In the kaolin in drillhole 58114 MgO is still high and may be explained by its occurrence in montmorillonite. FeO which mainly occurs in biotite and in the small amounts of chlorite has gone into solution but never removed. It is transformed, with associated hematite into limonite. From Table 3 it is apparent that the grade of oxidation of the iron increased but that the total amount of Fe in relation to Al_2O_3 remained constant. This relationship indicates that an oxidation type of weathering must have taken place.

The remaining Al_2O_3 and SiO_2 have reacted during the development of clay minerals. Kaolinite has been formed for the most part but also some montmorillonite and hydromica, the latter possibly originating direct from the biotite by reconstruction. The amount of crystalline water in the kaolin clay is very high in comparison with the lepite which is related to the growth of water-bearing clay minerals and hydrated iron-oxides.

The weathered hematite has been found both at the surface (see Fig. 6) and in drill-holes (see Figs. 11—12). It consists of a grey-black, fine-grained, shattered hematite ore which is porous and rich in cavities a few millimetres in size. It crumbles easily under pressure to powdery hematite, even between the fingers. Normally it contains up to cm large irregular fragments of martite (Fig. 22). No other minerals occur in the weathered hematite, not even apatite and calcite. Analyses of the weathered hematite are characterized therefore by high iron contents (up to 70.2 % Fe) and low phosphate contents (about 0.01 % P). This is well shown in table 4 where analyses of weathered and unaltered hematite are given. The alteration processes which took place have, as far as the hematite ore is concerned, meant that all minerals

other than hematite have been dissolved out. This is shown in Table 5 where it is evident that all elements with the exception of iron oxide, have disappeared. Thus one can easily follow the transition in successive analyses of the drillcore where it is always relatively sharp taking place over about half a metre.

That both units in the alteration zone, kaolin clay and the weathered hematite, have been formed during one and the same process is shown by their close spatial relationship and by the fact that alteration in both cases involved a solution of certain elements. In the kaolin clay the remaining elements have reacted with each other with the formation of new minerals. No addition of elements could be established and one must therefore exclude the possibility that alteration was the result of endogenic processes.

The alteration processes which took place in both leptite and hematite can probably be explained as normal leaching processes brought about by the activity of ground-water. It was previously shown that an oxidation type of weathering took place and the possibility that alteration took place under areas of bog, as is proposed for certain German kaolin deposits and the soft iron-ores of central Sweden, can therefore be ruled out. It is more probable that the alteration zone originated through the influence of ground-water in relation to the surface. Such an assumption requires that the ground-water could circulate so that the different elements could be removed and also that the connection with the surface was so good that oxidation could take place. Oxidation weathering down to very great depths is known from the Lake Superior district (Hotchkiss 1923) and elsewhere.

Assuming that Al_2O_3 , Fe_2O_3 and SiO_2 have not been dissolved during alteration the solutions responsible should have had a pH value about 5. A solution diagram for the three elements (Correns 1949) shows that a solution with pH higher than 5 must dissolve SiO_2 , and one lower than 5 must dissolve both Al_2O_3 and Fe_2O_3 . Such a pH value can very well correspond to ground-water percolating downwards from the surface. (Mason 1952 gives for bog-water a pH of 4 and rainwater a pH of 6).

On weathering faults have certainly played an important role, partly as water channels and by shaping the surface of the overlying terrain so that weathering took place in limited parts of it. Obviously tectonisation of the rocks facilitated alteration. Crushing of both leptite and hematite is clearly on a small scale but adequate to allow ground-water to penetrate. Only the ore itself can have offered a possible way for the water comparable with that which took place on weathering in certain iron-ore occurrences in Central Sweden (Geijer and Magnusson 1926).

Our geological knowledge of Gruvberget is still too limited to enable one to explain why the weathering is related to such a prescribed area in the hanging-wall of the hematite. Furthermore no relevant explanation can be given for the fact that alteration follows such a definite »horizon» in the ore. One would have expected the weathering to take place vertically, at least in some places and not follow the dip of the ore so perfectly. Primary differences in the weathered and in the unaltered hematite ore could have contributed to this.

Rocks weathered to kaolin have been described from several places in Sweden. Elsewhere in Scandinavia a number of occurrences are known in Denmark and Finland. An attempt has been made to classify these. Thus one group includes kaolin occurrences which have a very limited distribution in relation to crushed and tectonized Pre-Cambrian rocks. Their age of formation can not be determined but is certainly preglacial. To this group belong the kaolin at Porjus (Gavelin 1915), Letafors (Ljunggren 1955), Bergforsen (von Eckermann 1954) and Egesknatten (W. Larsson 1947, 1956). The second group includes occurrences with a widespread regional distribution which have originated by weathering over large surfaces. They are generally flat-lying and are unrelated to tectonized rocks. Their age of formation varies between Pre-Cambrian and Cretaceous. Obviously a separation of the two groups is very difficult as an occurrence in a tectonic zone included in the first group may be

relict from widespread weathering. The main products of this weathering were removed by glacial erosion. To the latter group belong the occurrences at Lugnås and Billingen (Högbom 1931) and Kinnekulle (Sundius 1943) which are related to the sub-Cambrian land surface; also occurrences SW of Hässleholm and at Höör (Lundegren 1934, T. Nilsson 1958), which are pre-Liassic in age; finally, the deposits in the Kristianstad region (Grönwall 1915, Lundegren 1934) which are covered by Upper Cretaceous.

The kaolin alteration of leptite on Gruvberget shows close similarities with those occurrences belonging to the first group. In these the kaolinisation is associated, with a tectonic zone where the rocks show crush phenomena which facilitated the penetration of the solutions.

The weathered hematite shows on the other hand a more unique phenomenon. Pre-glacial weathering of iron-ores is known of course from a number of occurrences in Sweden including, among others, Kiirunavaara (Geijer 1910, 1925) and Laukujärvi (Geijer and Magnusson 1926) together with several in Central Sweden (Geijer and Magnusson 1926), but a weathering where the solution of non-ore minerals alone has taken place is known only from Norberg (Geijer 1936). This soft-ore consists entirely of hematite with 65 % Fe as against 49 % Fe in the surrounding ore. Furthermore, some of the quartz seems to have been dissolved. Geijer supposes that this ore originated by downward weathering along a joint zone in the ore.

Oxidation weathering has been observed in the ores of both Gruvberget and Leveäniemi (the iron-ore deposit lying 2 km SE of Gruvberget). In both one finds a clear martitisation of the magnetite ore. Just how this weathering i. e. martitisation is related to that which gave rise to the alteration zone is unknown. The one thing that can be decided with certainty, however, is that a weathering in the form of leaching only took place within the area of the alteration zone. Whether this process pre-dated or was contemporaneous with the oxidation weathering of the ores cannot be determined.

Regarding the age of the alteration which gave rise to the kaolin clay and weathered hematite nothing can be said more definite than that it is pre-glacial. The alteration zone is covered by moraine which is obviously thin but under which a weathering could with difficulty have taken place. The moraine furthermore is mixed up with the weathered hematite.

ANFÖRD LITTERATUR

LITERATURE CITED

SGU = Sveriges geologiska undersökning

GFF = Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar

- BYSTRÖM, A. M., 1956: Harmotome penetration of a scapolite partly altered to argillic material in Ultevis, North Sweden. GFF 78, s. 645.
- CORRENS, C. W., 1949: Einführung in die Mineralogie. Berlin-Göttingen-Heidelberg.
- VON ECKERMANN, H., 1954: Montmorillonitbildningen i gnejs vid Bergeforsen. GFF 76, s. 334.
- FROMM, E., 1951: Yttrande med anledning av A. Metzgers föredrag »Om Karelidernas kaolinit-förekomster». GFF 73, s. 714.
- FROSTERUS, B., 1928: Über Kaolin im kristallinen Felsgrunde Finnlands. Fennia 50, No. 39.
- GAVELIN, A., 1915: Yttrande med anledning av K. A. Grönwalls föredrag om »Kaolinförekomsterna i nordöstra Skåne». GFF 36, s. 182.
- GEIJER, P., 1910: Igneous rocks and iron ores of Kiirunavaara, Luossavaara and Tuolluvaara. (Scientific and practical researches in Lapland arranged by Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolag.)
- 1925: Some Swedish occurrences of bornite and chalcocite. SGU C, 321.
- 1929: Masugnsbyfältens geologi. SGU C, 351.
- 1936: Norbergs berggrund och malmfyndigheter. SGU Ca, 24, s. 110.
- och MAGNUSSON, N. H., 1926: Mullmalmer i svenska järngruvor. SGU C, 338.
- GOLDICH, S. S., 1938: A study in rock-weathering. Journ. Geol. 46, s. 17.
- GRÖNWALL, K. A., 1915: Nordöstra Skånes kaolin- och kritbildningar samt deras praktiska användning. SGU C, 261.

- GRÖNWALL, K. A., 1916: Kortbladet Bornholm. Danmarks geol. undersøgelse, I. Række, No. 13.
- HAUSEN, H., 1935a: Über ein neuentdecktes Kaolin-Sandstein-Vorkommen im kristallinen Kalkstein auf Pargas-Ålön, Gegend von Åbo-Turku, SW. Finnland, Acta Academiae Aboensis VIII, 1, Åbo.
- 1935b: Überreste präglazialer Verwitterungsprodukte im Felsgrunde von Nädendal-Naantali, SW. Finnland. Acta Academiae Aboensis VIII, 1, Åbo.
- HOTCHKISS, W. O., 1923: Recent developments in the geology of the Gogebic Range. Lake Superior Min., Proc. 23, s. 47.
- HÄRME, M., 1949: On a pre-glacial weathering in Tyrvää, Southwestern Finland. Bull. Geol. Finl. 144, s. 87.
- HÖGBOM, A., 1931: Beskrivning till kartbladet Lugnås. SGU Aa, 172.
- LARSSON, W., 1947: Några resultat av berggrundgeologiska studier inom Dalformationens norra gränsområde. GFF 69, s. 321.
- 1956: Beskrivning till kartbladet Värvik. SGU Aa, 187.
- LEITH, C. K. och MEAD, W. J., 1915: Metamorphic Geology. New York.
- LJUNGGREN, P. 1955: A kaolinized fault zone in gneiss at Letafors, Northern Vermland. GFF 77, s. 265.
- LUNDEGREN, A., 1934: Kristianstadsområdets kritbildningar. GFF 56, s. 125.
- MASON, B., 1952: Principles of Geochemistry. New York-London.
- NILSSON, T., 1958: Über das Vorkommen eines mesozoischen Sapropelgesteines in Schonen. Lunds Universitets Årsskrift, N. F., Avd. 2, Bd. 54, No. 10.
- PETERSSON, W., 1900: Underdånig berättelse om en undersökning af mindre kända malmfyndigheter inom Jukkasjärvi malmtrakt och dess omgifningar verkställd af Sveriges Geologiska Undersökning. SGU C, 183.
- SANTESSON, B., 1882—83: Kaolinfyndigheten vid Hultebo i Skinnskattebergs socken och Örebro län. GFF 6, s. 325.
- STREMME, H., 1909: Über die Beziehungen einiger Kaolinlager zur Braunkohle. N. Jahrb. f. Min. II, s. 91.
- SUNDIUS, N., 1943: Beskrivning till kartbladet Lidköping. SGU Aa, 182.

Årsbok 52 (1958)

- N:o 558 STÅLHÖS, G., Rackebymassivet; ett västsvenskt norit-gabbromassiv. Summary: The Rackeby norite-gabbro massif; W. Sweden. 1958 4,00
» 559 LUNDQVIST, J., Studies of the Quaternary history and deposits of Värmland, Sweden. Experiences made while preparing a survey map. 1958 6,00
» 560 HAST, N., The measurement of rock pressure in mines. 1958 15,00
» 561 LUNDQVIST, G., Kvartärgeologisk forskning i Sverige under ett sekel. [A century of investigation in the Quaternary geology in Sweden.] 1958. 4,00
» 562 SAHLSTRÖM, K. E. och BÄTH, M., Jordskalv i Sverige 1951 — 1957. Zusammenfassung: Erdbeben in Schweden 1951 — 1957. 1958 1,50

Årsbok 53 (1959)

- N:o 563 SANDEGREN, R., Register över Sveriges geologiska undersöknings publikationer 1858—1958. [Index of publications of the Geological survey of Sweden 1858—1958] 1959 10,00
» 564 OFFERBERG, J., Rocks and stratigraphy of the Ledfat area, Västerbotten county, Northern Sweden. 1959. With two plates 10,00
» 565 LUNDQVIST, G., C 14-daterade tallstubbar i fjällen. Summary: C 14-dated pine stumps from the High Mountains of Western Sweden. 1959 3,00
» 566 MÖLLER, H., Från nordostis till lågbaltisk is. En glacialgeologisk studie i sydvästra Skåne. Zusammenfassung: Vom Nordosteis zum Niederbaltischen Eis. Eine glacialgeologische Studie in SW-Schonen. 1959 9,00
» 567 NILSSON, K., Isströmmar och isavsmältning i sydvästra Skånes backlandskap. Zusammenfassung: Eisströme und Eisabschmelzung im Hügelland des südwestlichen Schonen. Mit zwei Tafeln. 1959 6,50
» 569 HJELMQVIST, S., Förekomsten av tungmineral i kaolinen på Ivö. Abstract: Occurrence of heavy minerals in the kaolin of Ivö. 1959 2,00

Årsbok 54 (1960)

- N:o 570 LUNDEGÅRDH, P. H., The miogeosynclinal rocks of Eastern Central Sweden. With one plate. 1960 6,00
» 571 BROTZEN, F., On Tylocidaris species (Echinoidea) and the stratigraphy of the Danian of Sweden. — With a bibliography of the Danian and the Paleocene. With three plates. 1959 7,00
» 573 LUNDQVIST, J., Issjöar och isavsmältning i östra Jämtland. Summary: Ice-lakes and Ice Recession in Eastern Jämtland, Central Sweden. 1959 2,00
» 574 FROMM, E., An interglacial peat at Ale near Luleå, Northern Sweden. — With contributions by R. W. Kolbe and Herman Persson. 1960 2,00
» 575 LUNDQVIST G., The interglacial ooze at Pors i Lappland. 1960 3,00

Ser. Ba. Översiktskartor (Survey maps)

- N:o 14 Jordartskarta över södra och mellersta Sverige. Efter de geologiska kartbladen sammandragen vid S. G. U. av K. E. SAHLSTRÖM. Skala 1:400 000 [Quaternary deposits of Southern and Central Sweden]
Mellersta bladet, tryckt 1947 15,00
Södra bladet, tryckt 1948 15,00
Norra bladet, tryckt 1949 15,00

Forts. å omslagets 4:de sida

- N:o 15 Jordartskarta över Uppsalatrakten. 1:20 000. Av N. G. HÖRNER † och B. JÄRNEFORS. Berggrunden sammanställd av P. H. LUNDEGÄRDH. [Quaternary deposits of the Uppsala region.] 1956 8,00
 Beskrivning till Jordartskarta över Uppsalatrakten. Av B. JÄRNEFORS. Summary: Quaternary deposits in the Uppsala region. 1958 5,00
- » 16 Karta över Sveriges berggrund. (Pre-Quaternary rocks of Sweden.) Skala 1:1 milj. Sammanställd av N. H. MAGNUSSON m. fl. 1958. Karta i tre blad. (Map in three sheets; each 15 Sw. cr.) Pris per blad. 15,00
 Description to this map in Sw. and Engl. editions in preparation
- » 17 Karta över Sveriges jordarter. (Quaternary deposits of Sweden.) Skala 1:1 milj. Sammanställd av G. LUNDQVIST 1958. Karta i tre blad. (Map in three sheets; each 15 Sw. cr.) Pris per blad. 15,00
 Beskrivning till Jordartskarta över Sverige. Av G. LUNDQVIST. 1958. 5,00
 Description to accompany the Map of the Quaternary deposits of Sweden. English edition by G. LUNDQVIST. 1959 5,00
- » 20 Jordartskarta över Götaälvdalen. (Quaternary deposits in the Göta älv valley). Skala 1:20 000. Av B. JÄRNEFORS 1959. Karta i tre blad. (Map in three sheets; each 11 Sw. cr.) Pris per blad 11,00
- » 21 Beskrivning till karta över berggrunden inom Västerbottens fjällområde. Av P. QUENSEL. Zusammenfassung: Beschreibung zur geologischen Karte über das Hochgebirge Västerbottens, Nordschweden. Karta i skalan 1:200 000. 1960 10,00

Ser. Ca.

- N:o 38 LUNDQVIST, J., Beskrivning till jordartskarta över Värmlands län. (Quaternary deposits of the county of Värmland.) Karta i skala 1:200 000. 1958. Beskrivning med karta (Text with map) 65,00
 Karta i två blad (Map in two sheets) 30,00
- » 41 ÖDMAN, O. H., Beskrivning till berggrundskarta över urberget i Norrbottens län. English summary: Description to map of the Pre-Cambrian rocks of the Norrbotten County, N. Sweden, excl. the Caledonian mountain range. Karta i skala 1:400 000. 1957. Beskrivning med karta. (Text with map) 45,00
 Karta i två blad (Map in two sheets) 20,00

Meddelanden i stencil.

- N:o 4 STÅLHÖS, G., Bidrag till kännedomen om den radioaktiva strålningens fördelning inom den svenska berggrunden. Summary: Contribution to the knowledge of the distribution of the radioactivity in the bedrock of Sweden. 3,00

Pris 6 kronor

Distribueras genom

Generalstabens Litografiska Anstalts Förlag, Vasagatan 16, Stockholm 1