



SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING
Rapporter och meddelanden nr 42

Harald Ressar och Sten-Åke Ohlsson

Geokemisk kartering



**Bilaga: Beskrivning av de fjorton spårelementens
exogena geokemiska kretslopp av John Ek**

Uppsala 1985

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING

Rapporter och meddelanden nr 42

GEOKEMISK KARTERING

Harald Ressar och Sten-Åke Ohlsson

Bilaga: Beskrivning av de fjorton spårelementens exogena
geokemiska kretslopp.

John Ek

Uppsala 1985

ISBN 91-7158-339-4

ISSN 0349-2176

Omslagstexten och kartan anger de fjorton redovisade elementen inom kartbladen 134 Jönköping och 132 Karlskrona samt kartbladens läge i Sverige.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	sid
Geokemisk kartering vid SGU	4
Bäcktorv - allmän beskrivning	5
Provberedning och analyser	9
Databehandling	9
Kartprodukter	10
Några tolkningssynpunkter för användare av de geokemiska kartorna	12
Berggrunden inom kartbladen 132 Karlskrona och 134 Jönköping	14
Geokemi - tabeller	15
Geokemin inom kartbladen 132 Karlskrona och 134 Jönköping jämfört med andra delar av Sverige	18
Geokemin inom kartbladen 132 Karlskrona och 134 Jönköping	18
Referenser	20
Trendkartor 1:1 milj för fjorton element	21
Geologisk karta över kartbladen 132 Karlskrona och 134 Jönköping	35
Bilaga	
Beskrivning av de fjorton spårelementens exogena geokemiska kretslopp	37
Referenser (till bilagan)	48

Föreliggande publikation omfattar en presentation av en första del av den geokemiska kartan över Sverige.

GEOKEMISK KARTERING VID SGU

Den geokemiska sektionen vid Sveriges geologiska undersökning har som huvuduppgift att upprätta geokemiska kartor över landet.

Begreppet geokemi innebär mätning av den kemiska sammansättningen i prover som tagits i naturen. Sådana prov kan bestå av material från:

- Berggrunden: Bergartsprov, malmprov, mineralprov.
- Jordlagren: Minerogena jordartsprov, organiska jordartsprov.
- Växter: Olika växttyper och växtdelar.
- Vattendragen: Vatten, minerogena eller organogena sediment, vattenlevande organismer.

Geokemi innebär också att man studerar migrationen eller kretsloppet av olika kemiska element i naturen.

Vid SGU har geokemiska karteringsarbeten med olika syften pågått under åtskilliga år. Den viktigaste målsättningen har hittills varit att påvisa geokemiskt förhöjda områden som kan leda till upptäckter av nya malmer, men på senare tid har andra användningsområden fått en allt större betydelse. Det generella syftet är att kartlägga den kemiska variationen i landets lösa avlagringar och naturliga vatten. I detta ingår att spegla såväl berggrundens sammansättning som de effekter av försurning och annan förorening som fås genom nedfall och utsläpp.

För att en landsomfattande geokemisk kartläggning skall kunna genomföras inom rimlig tid har mycket arbete nedlagts på att studera vilka material som är lämpligast att provta och analysera under svenska förhållanden. De villkor som en geokemisk provtyp måste uppfylla är följande:

- Provtypen skall vara allmänt förekommande inom hela landet.
- Provtagningen skall vara enkel och kunna göras snabbt över stora ytor.
- Provtypen skall kemiskt kunna återspegla ett omgivande områdes berggrundssammansättning.
- Provtypen skall ge reproducerbara resultat vid förnyad provtagning i samma punkter. Det får alltså inte i provens kemiska sammansättning förekomma variationer som beror på årstidsväxlingar eller nederbördsvariationer.

- Kemisk analys av ett stort antal ämnen (huvudelement och spårelement) skall kunna göras snabbt och till rimlig kostnad.

Efter omfattande jämförande studier av olika provtyper har det framkommit att en geokemisk kartering av landet bör bygga på två olika provtyper.

Den ena provtypen är tungmineralanrikad morän. Moränprovet anrikas genom att man behandlar en volym av 10 l i olika steg med våtsiktning, maskinvaskning, separation i tunga vätskor samt magnetseparation. Den tungmineralfraktion som man på så sätt får fram lämpar sig bäst för geokemisk kartläggning av variationen hos metaller som bildar svårvittrade och resistenta mineral såsom scheelit och kassiterit. Geokemisk kartering med tungmineralanrikad morän utges separat och berörs ej vidare här.

Den andra provtypen som används vid geokemisk kartering är organiskt bäckmaterial, s k bäcktorv. Materialet består främst av förmultnade växtdelar och levande växtrötter. Ett visst inslag av järn- och manganhydroxider ingår också i provet. Trots sin heterogena karaktär har bäcktorvmaterialet visat sig vara effektivt vid kartläggningen av variationen hos sådana metaller som lätt går i lösning. Genom inaskning av provet överförs metallerna i oxidform samtidigt som provet koncentreras och metallerna blir lättare att detektera. Efter kemisk analys sker statistisk bearbetning och korrigerings av analysvärdena med hänsyn till anrikningsfaktorer, t ex järn- och manganhydroxider.

De områden som hittills karterats med hjälp av bäcktorv och publicerats (1) visas i fig. 1 tillsammans med planerad utgivning t o m 1987.

BÄCKTORV - ALLMÄN BESKRIVNING

Organiskt bäckmaterial, s k bäcktorv, består i huvudsak av följande tre komponenter:




- Organiskt material, såsom växtrötter, torv och mossor.
- Minerogent material.
- Kemiska utfällningar.

Metoden att kemiskt undersöka bäcktorv bygger på att växtrötter och humusämnen i bäckfåran ackumulerar metalljoner från ett förbibrinnande bäckvatten.


Grundvattnet får genom kemiska vittringsprocesser en koncentration av metaller som till stor del återspeglar den kemiska sammansättningen hos omgivningens berg- och jordarter (fig 2). Då grundvattnet når ett

Fig.1. Geokemiska kartor.

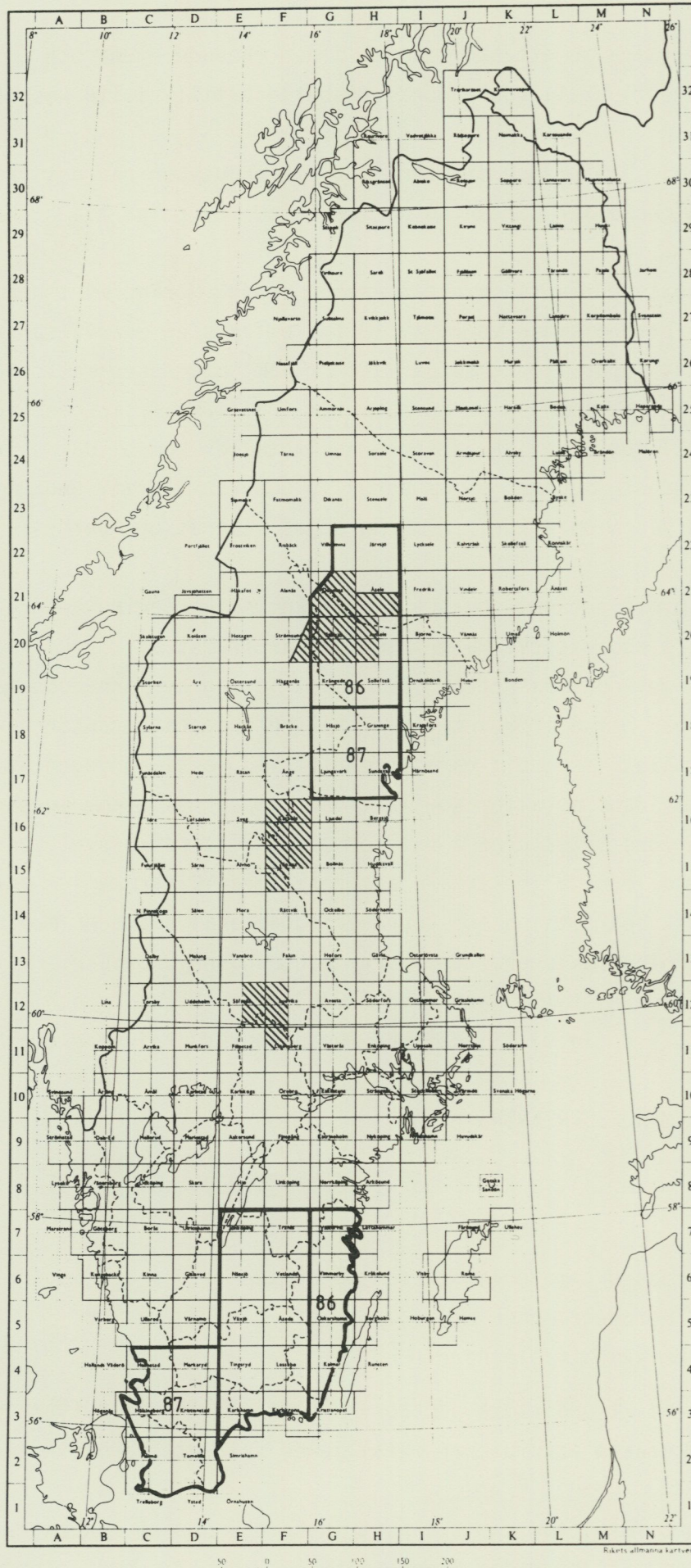
Bäcktorv.
Utgivning 1984-1987

-  Utgivna 1984
-  134 Jönköping
132 Karlskrona
-  143 Oskarshamn
141 Kalmar

441 Vilhelmina
343 Sundsvall
(delar av)

-  131 Malmö
343 Sundsvall
(del av)

Beteckningar enligt
översiktskartans indelning. De ingående topografiska bladens beteckningar framgår av figurens marginal.



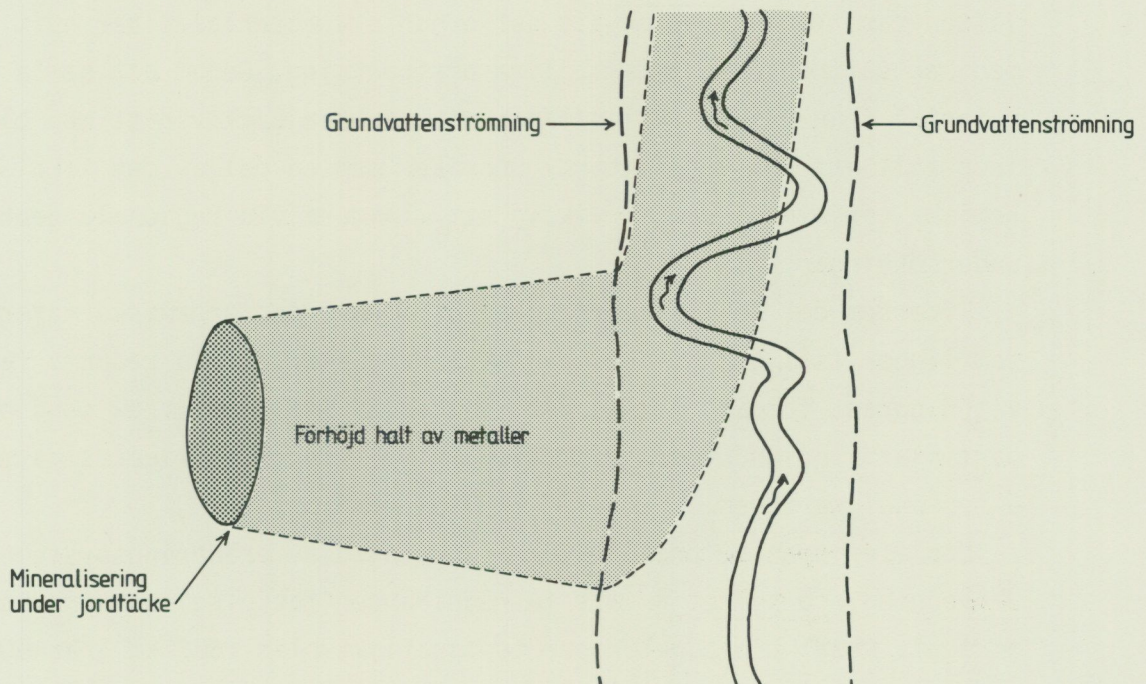
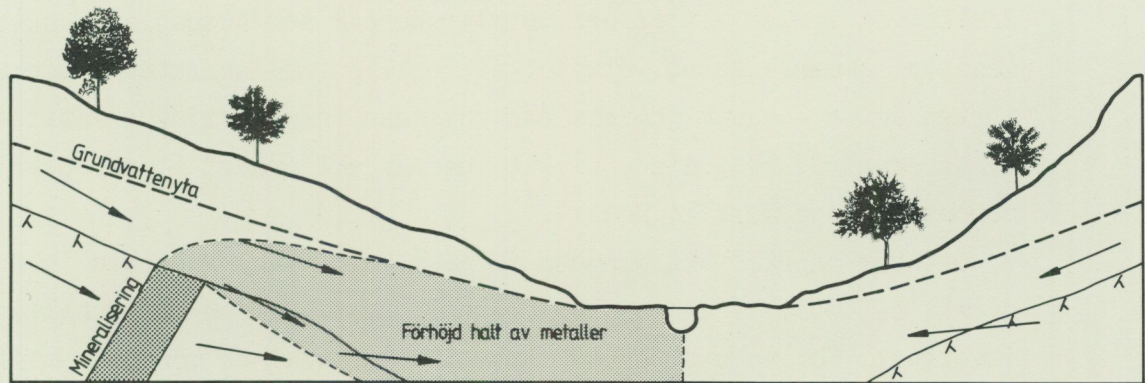


Fig. 2. Vertikal markprofil (överst) och horisontell markprofil (nederst) visande metallernas spridning med grundvattenströmningen från en mineralisering.

ytvattendrag sker en utfällning av dessa metaller. Anrikning sker både i växtrötter och humusämnen samt även i järn- och manganhydroxider. Bäcktorven kommer att få ett metallinnehåll som avspeglar bäckvattnets kemiska sammansättning. Utbytet av metaller mellan vattnet och bäcktorven är en långsam process där inverkan från årstidsvariationer blir av underordnad betydelse, vilket innebär att provet återspeglar ett genomsnittligt metallinnehåll.

Det bör påpekas att mängden av järn- och manganhydroxid inte är direkt betingad av den geologiska miljön utan av pH-Eh förhållanden i vattnet. För en geologisk tolkning av de kemiska mönstren måste denna typ av variation korrigeras bort. Vidare måste hänsyn tas till den organiska halten för att man skall få en acceptabel jämförelse mellan proven.

Grundläggande vid regional provtagning är att varje provpunkt skall representera ett relativt stort område. I detta avseende är bäcktorv en väl lämpad provtyp (2).

Provet tas vanligen utefter bäckkanten några decimeter under normalvattenytan. Väsentligt är att det organiska materialet har haft kontakt med bäckvattnet i största möjliga utsträckning. Genom att samla in material från olika ställen längs ett kortare bäckavsnitt och blanda ihop till ett s k kompositprov undviker man en del av den lokala kemiska variation, som är viktig att minimera vid regionala geokemiska undersökningar.

Eftersom det är den kemiska variationen i det organiska materialet som ligger till grund för undersökningen, sköljer man redan i fält provet noggrant för att minska det minerogena inslaget, t ex sand och lerpartiklar. Inblandningen av kemiska utfällningar korrigeras matematiskt efter analyseringen.

Utplaceringen av provpunkter är betingad av dräneringssystemets utbredning och syftet är att få regelbunden täckning inom provtagningsområdet. Antal provpunkter per topografiskt blad (625 km^2) är 90-100, vilket ger en provtäthet av 0.15 prov/km^2 . Vart femte prov, jämnt fördelade över kartbladen, har dessutom analyserats på speciella element (se nedan). Provtätheten för dessa är 0.03 prov/km^2 .

PROVBEREDNING OCH ANALYSER

Vid ankomsten till laboratoriet torkas proven vid 105°C och vägs. Därefter sker en inaskning vid 450°C under ca 12 timmar och återstoden vägs på nytt. Viktskillnaden används för beräkning av provets organiska halt. Prover som analyseras på kvicksilver och selen torkas endast vid rumstemperatur. Före analyseringen homogeniseras proven genom malning.

Alla prover analyseras med röntgenfluorescens (XRF) på 31 ämnen (tabell 1). XRF-analyseringen har utförts av SGAB, Luleå. Vart femte prov har dessutom analyserats på elementen Au, Hg och Se genom neutronaktiveringsanalys (NAA) med kemisk separation samt på elementen Cd och Ag med atomabsorption (FAA). Analyserna av Au, Ag, Cd, Hg och Se har utförts av IVL, Stockholm.

Tabell 1. Analyserade ämnen samt lägsta detekterbara halt.

XRF - Al ₂ O ₃	0.1 %	As	10 ppm	Rb	10 ppm
CaO	0.1 %	Ba	50 ppm	S	100 ppm
Fe ₂ O ₃	0.1 %	Cl	100 ppm	Sn	100 ppm
K ₂ O	0.1 %	Co	10 ppm	Sr	10 ppm
MgO	0.1 %	Cr	10 ppm	Th	10 ppm
MnO	0.1 %	Cu	10 ppm	U	20 ppm
Na ₂ O	0.1 %	Mo	10 ppm	V	20 ppm
P ₂ O ₅	0.01%	Nb	10 ppm	W	20 ppm
SiO ₂	0.1 %	Ni	10 ppm	Y	10 ppm
TiO ₂	0.1 %	Pb	20 ppm	Zn	10 ppm
				Zr	20 ppm
NAA - Au	0.001 ppm	Hg	0.0003 ppm	Se	0.003 ppm
FAA - Cd	0.2 ppm	Ag	0.2 ppm		

DATABEHANDLING

Sedan analyser, organiska halter och lägeskoordinater för proverna lagrats i dator vidtar en omfattande databehandling. Varje prov ger en ansevärd mängd information, bl a analysresultat från 36 ämnen, som skall genomgå statistiska och matematiska beräkningar.

Som tidigare nämnts, har utfällningar som järn- och manganhydroxider samt mängden organiskt material en direkt inverkan på halten av olika tungmetaller i bäcktorven. För att man skall få tolkningsbara data korrigeras analysresultaten (råvärdena) för ovan nämnda naturliga anrikningsfaktorer. Beroende på respektive provs halt av järn (Fe), mangan (Mn) och organiskt material beräknas med hjälp av stegvis regression ett regressionsvärde eller bakgrundsvärde enligt ekvationen:

A = konstant

$$\lg \text{Me (reg)} = A + B \text{ org} + C \lg \text{Fe} + D \lg \text{Mn}$$

B,C,D = koefficienter

Me = resp element

Före regressionsbehandlingen avlägsnas extremvärden från rådatan, t ex värden under detektionsgränsen och höga värden över 99:e percentilen. Orsaken är att regressionsanalysen bygger på en linjär anpassning som kraftigt påverkas av extremvärden.

Värdet $\lg \text{Me (reg)}$ subtraheras från logaritmen av råvärdet $\lg \text{Me (råv)}$ och skillnaden ger ett residualvärde som används vid kartframställningen enligt:

$$\lg \text{Me (res)} = \lg \text{Me (råv)} - \lg \text{Me (reg)}$$

eller

$$\text{Me (res)} = \text{Me (råv)} / \text{Me (reg)}$$

Residualvärdet Me (res) är en kvot och sortlös.

Vid framställningen av färgkartorna används trendanalys. Provpunkternas utplacering är beroende av dräneringssystemens utbredning och bildar ett något oregelbundet mönster. För optimal interpolering mellan punkterna används trendanalys enligt Kriging-metoden (3). Metoden innebär en omräkning av residualvärdena till ett regelbundet nät, där värdena är beroende av intilliggande punkter, block-kriging. Förfaringssättet medför dock att förhöjda spridda punkter i områden med låga värden inte alltid framträder på färgkartorna.

KARTPRODUKTER

Av de analyserade ämnena redovisas här fördelningen för 14 element: As, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, U, Zn samt Au, Ag, Cd, Hg och Se i form av färgkartor i skala 1:1 miljon (sid 21-34). Parallellt framställs också kartor av cirkelmodell (fig 3) i skala 1:250 000.

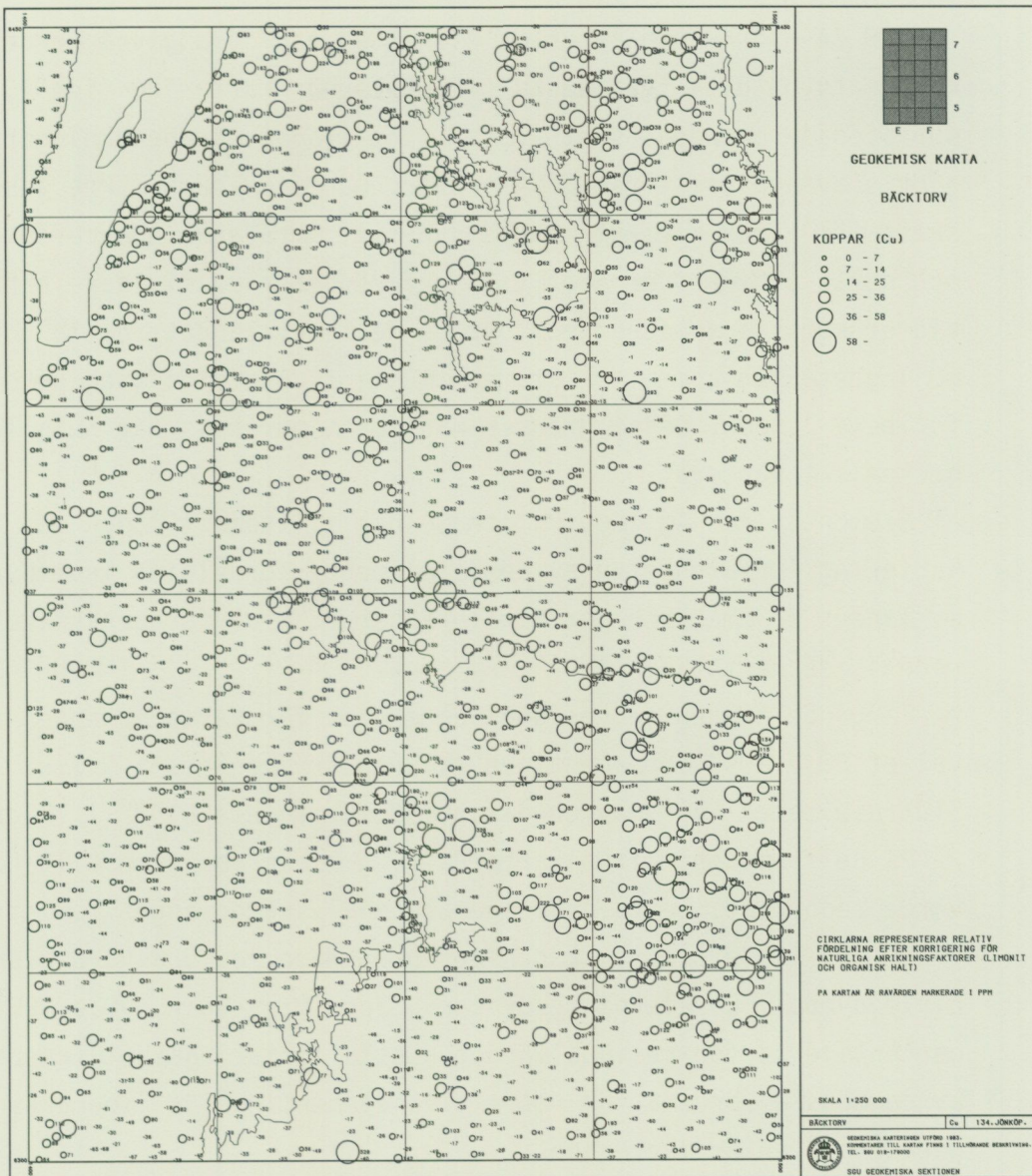


Fig. 3. Geokemisk karta av cirkelmodell för elementet koppar. Kartan omfattar kartbladet 134 Jönköping och är förminskad till 1:1 milj.

För de nio XRF-analyserade elementen har de angivna percentilgränserna beräknats på data från de två första årens kartering (fig 1, de tidigare publicerade områdena samt årets). Underlaget för beräkningarna har utgjorts av analyser från 6254 prover. Därefter har smärre justeringar skett för vissa element med hänsyn till områdenas geografiska belägenhet och deras provmängder samt till erfarenheter av tidigare erhållna data vid geokemiska arbeten inom övriga delar av landet, detta för att i möjligaste mån komma så nära som möjligt de slutgiltiga percentilgränserna för hela landet. Dessa gränser kan först beräknas när hela landet är geokemiskt karterat.

Elementen Au, Ag, Cd, Hg och Se har tillkommit i och med andra årets kartering. Erfarenheten av dessa elements fördelning inom övriga delar av landet är små, och percentilgränserna är därför beräknade på de här redovisade kartbladen.

Färgindelningen av residualvärdena på färgkartorna anges av intervallet 20:e - 99:e percentilen vilket har indelats i 9 lika stora delar. Slutresultatet läggs av en datastyrd färgspruta ut i 11 färgnyanser.

På de framtagna cirkelkartorna (fig 3) är varje enskilt provs metallvärde redovisat. Detta okorrigerade analysvärde anges som siffervärde i ppm vid varje provpunkt och det beräknade residualvärdet anges med cirkelsymbol. Cirklarna redovisar 60:e, 70:e, 80:e, 90:e, 95:e och 99:e percentilerna för residualvärdet. Detta förfaringssätt innebär att 40 % av de högsta värdena för respektive element hos de i beräkningen ingående proven är markerade.

Analysvärdena under detektionsgränsen har på cirkelkartorna angetts med siffervärden enligt: 1 för elementen As, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, U och Zn, 0.000 för Au, samt 0,01 för Cd och Ag.

De framtagna cirkelkartorna i skala 1:250 000 kan köpas för det pris som anges på omslaget. På grund av skalstorleken är området uppdelat på 2 delkartor motsvarande kartbladen 134 Jönköping och 132 Karlskrona.

De fjorton redovisade elementen kan också framtas i önskad skala i båda kartmodellerna till självkostnadspris.

NÅGRA TOLKNINGSSYNPUNKTER FÖR ANVÄNDARE AV DE GEOKEMISKA KARTORNA

Inget försök görs här till en mer detaljerad tolkning av de geokemiska kartorna i relation till de faktorer som påverkar det geokemiska mönstret. Här nedan och i bilagan ges emellertid uppmärksamhet åt faktorer man måste ta i beaktande när man använder kartorna med varierande syften och

målsättningar hos olika användare. De viktigaste faktorerna är den kemiska sammansättningen hos berggrunden och de kvartära avlagringarna samt antropogena effekter och andra miljöförhållanden, t ex de omenämnda naturliga anrikningsfaktorerna, grundvatten och dräneringsförhållanden. För en detaljerad tolkning erfordras oftast uppföljningsarbeten med en förtätad provtagning vars resultat tolkas tillsammans med god lokal kännedom om de olika påverkande faktorerna.

Erfarenheter från tidigare undersökningar i de norra delarna av landet har visat att bäcktorvens metallinnehåll till stor del reflekterar den omgivande berggrundskemin. Till hjälp för användare har en översiktlig geologisk delkarta (från nr 4 i referenslistan) medtagits i publikationen med en kort beskrivning (sid 14 och 35). Spårelementanalyser från de olika bergarterna inom karteringsområdet finns blott sparsamt. Däremot visas i tabell 2 de generella elementassociationer man kan förvänta sig i områdets bergarter.

Man måste känna till att spårelementhalten inom en och samma bergart kan variera kraftigt, liksom att variationen kan vara stor mellan två bergarter av samma slag, t ex två skilda graniter.

Tabell 2. Schematisk översikt av viktigare elementassociationer i olika bergartstyper. De flesta element förekommer med låga halter i många bergartstyper, men med högre halter endast i vissa bergarter, vilket är vad tabellen visar (se också bilaga).

Bergarter	Förhöjda halter	Låga halter
Graniter	Mo, Sn, W, K, Pb	Co, Cr, Ni
Sura vulkaniska bergarter (t ex Smålandsporfyrer)	As, Cu, Pb, Zn, Ag Cd, Hg, Se	
Basiska bergarter (t ex gabbro, diorit grönsten)	Cr, Co, Ni, Cu, Ti, V	
Skiffrar (t ex svartskiffrar)	Ag, As, Au, Cd, Mo, Ni Pb, Zn, Co, U, Cu	
Sandstenar Kalkstenar	Några generella associationer vad gäller redovisade element av vikt för den geokemiska tolkningen finns ej.	

Påverkan från de kvartära avlagringarna på det geokemiska mönstret är störst när långtransporterade moräner innehåller bergartsmineral med väsentligt högre halter av något element än vad man har i den omgivande berggrunden. Källan till en elementförhöjning får i sådana fall sökas mot isrörelseriktningen (1, och nedan).

Inom områden med lerjordar erhålls förhöjda elementhalter då lerpartiklar är kollektorer för åtskilliga element. Lerjordar är ofta uppodlade och där fås även antropogena effekter.

Till antropogena aktiviteter som orsakar förhöjda halter hör huvudsakligen utsläpp i vatten och luft samt jordbruksverksamhet. En del av de industriella utsläppen i vatten återspeglas vanligtvis inte på de geokemiska kartorna, eftersom dessa utsläpp oftast sker i större vattendrag. Effekten av lokala punktutsläpp blir utjämnad vid den teknik som används för de geokemiska färgkartorna. Sådana utsläpp kan däremot framträda på cirkelkartorna, där varje enskild provpunkt är redovisad.

Uppgifter om antropogena metallföroreningar och deras källor framtas hos naturvårdsenheterna inom de olika länen (5,6,7,8,9,10).

Inom jordbruksområden påverkas elementmönstret genom tillsatser av spårelement i gödningsmedel och bekämpningsmedel. Vissa av de redovisade elementen, t ex Cu, Co, Mo och Zn, har länge varit kända som livsnödvändiga. För höga eller för låga halter av dessa element kan vara skadliga ur medicinska och veterinärmedicinska synpunkter.

Andra miljöfaktorer att ta hänsyn till vid tolkningsarbetena är förhållanden som berör topografi, grundvatten och dränering. För vissa län inom karteringsområdet finns översiktliga hydrogeologiska kartor (11,12).

BERGGRUNDEN INOM KARTBLADEN 132 KARLSKRONA OCH 134 JÖNKÖPING

Kartbladen omfattar stora delar av Jönköpings, Kronobergs och Blekinge län, delar av Östergötlands och Kalmar län samt östra delen av Kristianstads län. Berggrunden är huvudsakligen känd från äldre karteringar (sid 35). Senare undersökningar utförda av Wiklander (13) och Kornfält (14) berör endast delar av Blekinge.

De äldsta bergarterna inom kartbladet är preorogena sediment som ingår i Västanå- och Vetlandaformationerna.

Västanåformationen, som utgörs av kvartsit-glimmerkvartsit och omvandlade vulkaniska bergarter, sträcker sig i ett 5 km långt bälte från sjön Immeln mot sydost.

Vetlandaformationen har sin utbredning kring Vetlanda och omfattar bl a spridda förekomster av metasediment. Båda formationerna underlagras av en gnejsig granit.

Största utbredningen har de bergarter som kan hänföras till gruppen Smålandsgraniter. Karakteristiskt för flera av dessa är att de är ögonförande. Likåldrig med denna grupp är Smålandsporfyreerna, som uppträder i mer eller mindre långa stråk, oftast med VNV-sträckning. Centralt på kartbladet framträder tydligt två stråk, Vetlanda-Virserum och Lamnhult-Orrefors.

I Blekinge har en grupp av yngre graniter bildats mellan Smålandsgraniterna och Blekinge kustgnejs. Till denna grupp hör bl a Karlhamnsgraniten.

Inom ett område kring Nässjö finns rester av jotniska sediment, som överlagrar de småländska graniterna. Dessa är kända som Almesåkra-formationen och består främst av sandstenar och konglomerat. I slutfasen av formationens bildning intruderade basisk magma och bildade en lagergång av diabas.

Äldre gångbergarter, hyperitdiabaser, uppträder som linsformade kroppar i en förskiffringszon som löper utmed kartans västra kant. Stråket tillhör en del av protoginzonen som sträcker sig från Värmland till nordöstra Skåne. Intressant ur geologisk synvinkel är att vissa hyperitdiabaser är mycket rika på titan och vanadin.

De yngsta bergarterna påträffas i kartans sydvästra hörn. Det är mesozoiska kalkstenar som sträcker sig från Kristianstadsslätten in i trakten söder om Ivösjön och Listerlandet.

GEOKEMI - TABELLER

Intervallen på de geokemiska kartorna är för de XRF-analyserade elementen fastlagda efter resultaten från provtagningar utförda 1982 (1) och 1983. I tabell 3 är analysvärdena för respektive kartblad sammanställda. En jämförelse mellan de olika provtagningsområdena ger en god regional bild av hur de olika elementen varierar inom landet.

Elementen guld, silver, kadmium, kvicksilver och selen har på försök medtagits fr o m de nu redovisade kartbladen. Förutsättningarna är goda för att bäcktorven väl kan återspegla både det naturliga och det antropogent påverkade geokemiska mönstret för dessa element. Det fordras närmare utvärderingar innan definitivt beslut tas om vilka av de nya elementen som skall ingå i den fortsatta geokemiska karteringen. Områdenas halter av Au, Ag, Cd, Hg och Se redovisas i tabell 4.

Tabell 3. Percentilgränser (30:e, 60:e-99:e), medelvärden (\bar{m}) i ppm för de olika kartbladen. Dessutom har angivits regionala elementhalter (REG) vilka är beräknade på hela 1982 och 1983 års provmängd, dvs både i södra och norra Sverige (se fig 1)

	\bar{m}	30	60	70	80	90	95	99
As	20-21, F-G-H	59	33	49	60	74	108	296
	15-16, F	82	23	32	38	47	94	1530
	11-12, E-F	31	24	29	31	36	44	58
	134 Jönköp.	27	19	27	31	36	45	56
	132 Karlsk.	25	18	25	28	34	42	51
	REG	39	21	30	35	43	59	82
Co	20-21, F-G-H	75	49	76	89	106	133	220
	15-16, F	80	57	90	100	109	126	188
	11-12, E-F	73	40	72	85	101	141	164
	134 Jönköp.	90	48	78	94	117	170	254
	132 Karlsk.	87	51	78	90	110	160	241
	REG	84	49	78	92	110	148	201
Cr	20-21, F-G-H	52	37	57	64	73	86	126
	15-16, F	38	26	41	45	53	64	75
	11-12, E-F	26	19	27	30	34	39	46
	134 Jönköp.	29	15	30	36	44	57	73
	132 Karlsk.	46	<10	20	24	30	42	51
	REG	38	17	33	40	49	65	80
Cu	20-21, F-G-H	36	18	32	39	49	69	198
	15-16, F	38	19	35	41	53	76	189
	11-12, E-F	39	15	25	29	39	57	98
	134 Jönköp.	73	39	63	76	95	130	167
	132 Karlsk.	77	44	72	86	104	138	178
	REG	60	30	53	66	83	114	152
Mo	20-21, F-G-H	30	21	30	34	39	47	76
	15-16, F	28	19	28	32	37	44	72
	11-12, E-F	21	16	20	22	25	30	34
	134 Jönköp.	28	21	29	32	36	41	47
	132 Karlsk.	24	17	25	28	33	38	41
	REG	27	19	28	31	35	41	48
Ni	20-21, F-G-H	33	20	32	36	44	61	131
	15-16, F	20	10	19	22	28	38	53
	11-12, E-F	13	<10	14	17	20	25	35
	134 Jönköp.	47	27	40	48	60	84	109
	132 Karlsk.	44	25	37	45	56	84	124
	REG	38	21	34	40	50	72	98

Tabell 3. Forts.

	\bar{m}	30	60	70	80	90	95	99	
Pb	20-21, F-G-H	46	27	43	53	65	87	108	181
	15-16, F	67	37	62	75	97	127	176	246
	11-12, E-F	100	45	87	112	153	209	280	501
	134 Jönköp.	130	68	124	147	182	253	325	543
	132 Karlsk.	160	95	149	175	210	270	330	512
	REG	110	51	104	130	164	224	294	476
U	20-21, F-G-H	31	21	32	35	41	53	66	120
	15-16, F	39	22	34	40	48	68	89	195
	11-12, E-F	30	<20	32	35	42	53	67	114
	134 Jönköp.	32	<20	30	36	45	64	86	156
	132 Karlsk.	36	22	38	43	52	64	77	109
	REG	33	<20	33	38	46	61	79	147
Zn	20-21, F-G-H	310	144	278	354	460	680	838	1270
	15-16, F	260	130	234	285	359	495	684	1290
	11-12, E-F	310	97	219	269	360	600	934	2670
	134 Jönköp.	310	136	258	328	423	628	860	1540
	132 Karlsk.	270	114	210	256	331	490	698	1210
	REG	297	127	242	307	395	595	815	1480

Tabell 4. Percentilgränser, medelvärden (\bar{m}) för Ag, Au, Cd, Hg och Se inom kartbladen 132 Karlskrona och 134 Jönköping. Halterna anges i ppm och avser 1983 års provtagning.

	\bar{m}	30	60	70	80	90	95	99	
Ag	134 Jönköp.	1.0	0.8	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.5
	132 Karlsk.	1.0	0.7	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.1
	132 + 134	1.0	0.7	1.1	1.3	1.4	1.6	1.8	2.4
Au	134 Jönköp.	0.005	0.002	0.003	0.004	0.006	0.010	0.016	0.043
	132 Karlsk.	0.005	0.002	0.004	0.005	0.006	0.010	0.017	0.036
	132 + 134	0.005	0.002	0.004	0.005	0.006	0.010	0.017	0.044
Cd	134 Jönköp.	4.7	1.8	4.4	5.4	6.5	9.0	12	19
	132 Karlsk.	4.0	1.2	3.1	3.9	5.8	9.6	13	24
	132 + 134	4.5	1.6	3.9	5.1	6.4	9.2	12	20
Hg	134 Jönköp.	0.100	0.072	0.107	0.123	0.139	0.159	0.181	0.226
	132 Karlsk.	0.100	0.071	0.104	0.119	0.134	0.160	0.190	0.234
	132 + 134	0.100	0.072	0.106	0.123	0.139	0.159	0.183	0.234
Se	134 Jönköp.	0.76	0.53	0.77	0.88	0.99	1.17	1.48	2.50
	132 Karlsk.	0.75	0.50	0.74	0.86	0.91	1.20	1.51	2.16
	132 + 134	0.75	0.52	0.77	0.87	1.00	1.18	1.48	2.35

GEOKEMIN INOM KARTBLADEN 132 KARLSKRONA OCH 134 JÖNKÖPING JÄMFÖRT
MED ANDRA DELAR AV SVERIGE

Vid jämförelser av 30:e percentilen för elementhalterna (tabell 3), som här har valts till bakgrundsvärden, visar elementen arsenik, krom, bly och koppar regionala trender. Fördelningen av arsenik och krom är ur geologisk synvinkel vad man kan förvänta sig med lägre halter mot söder. Ur samma perspektiv uppvisar bly och koppar en något svårförklarig trend med högre halter i de södra delarna. Denna förhöjning kan vara en effekt av luftburna föroreningar från kontinenten. Ett stöd för detta ger en undersökning av husmossa som visar att halten av bly och koppar ökar mot söder (15).

GEOKEMIN INOM KARTBLADEN 132 KARLSKRONA OCH 134 JÖNKÖPING

I norra delen av karteringsområdet framträder en allmän förhöjning av molybden, medan kobolt visar en rakt motsatt bild. Berggrundskartan ger inga indikationer som motsvarar en sådan kraftig differens. Norr om kartbladet, mellan Vadstena och Linköping, finns ett stråk av kambrosiluriska bergarter bestående av kalkstenar och skiffrar som genom inlandsisens medverkan har krossats ned och transporterats söderut. Enligt en undersökning av Naturvårdsverket (16) har sjöar inom motsvarande område ett högre pH än omgivningen, vilket sannolikt beror på en förhöjd kalkhalt i jordtäcket. Den låga halten av kobolt i bäcktorven för detta område kan dels bero på låga halter i berggrunden och jordtäcket, dels vara pH-betingad eftersom kobolt är svårslösligt i en alkalisk miljö (se bilaga). Andra element utöver molybden som är förhöjda i norra delen är uran, koppar, zink, arsenik, krom och kadmium. Troligtvis inverkar här en kombinerad effekt av dels jordlagrens innehåll av kambrosilurmaterial och dels den alkaliska miljön vilken ökar mobiliteten för element som molybden, uran och selen. Den senare effekten kan medföra att låga halter i berggrunden och kvartära avlagringar avspeglas starkare på elementkartorna.

I sydvästra delen av kartan förekommer kalkbergarter, och där får man en motsvarande effekt för elementen uran och selen. Uranmönstret i söder återspeglar väl de uranhaltiga yngre graniterna, t ex Karlshamnsgraniten.

Centralt på kartan framträder ett stråk med förhöjningar av koppar, kobolt, nickel, krom och kvicksilver. Stråket visar även en svagare förhöjning av elementen arsenik, zink, guld och silver. På berggrundskartan motsvaras detta stråk i stort sett av Smålandsporfyrrer, och enstaka

haltmaxima återspeglar isolerade grönstensmassiv. Molybdenmönstret har en motsatt trend, vilket är naturligt, då molybden främst förekommer i graniter.

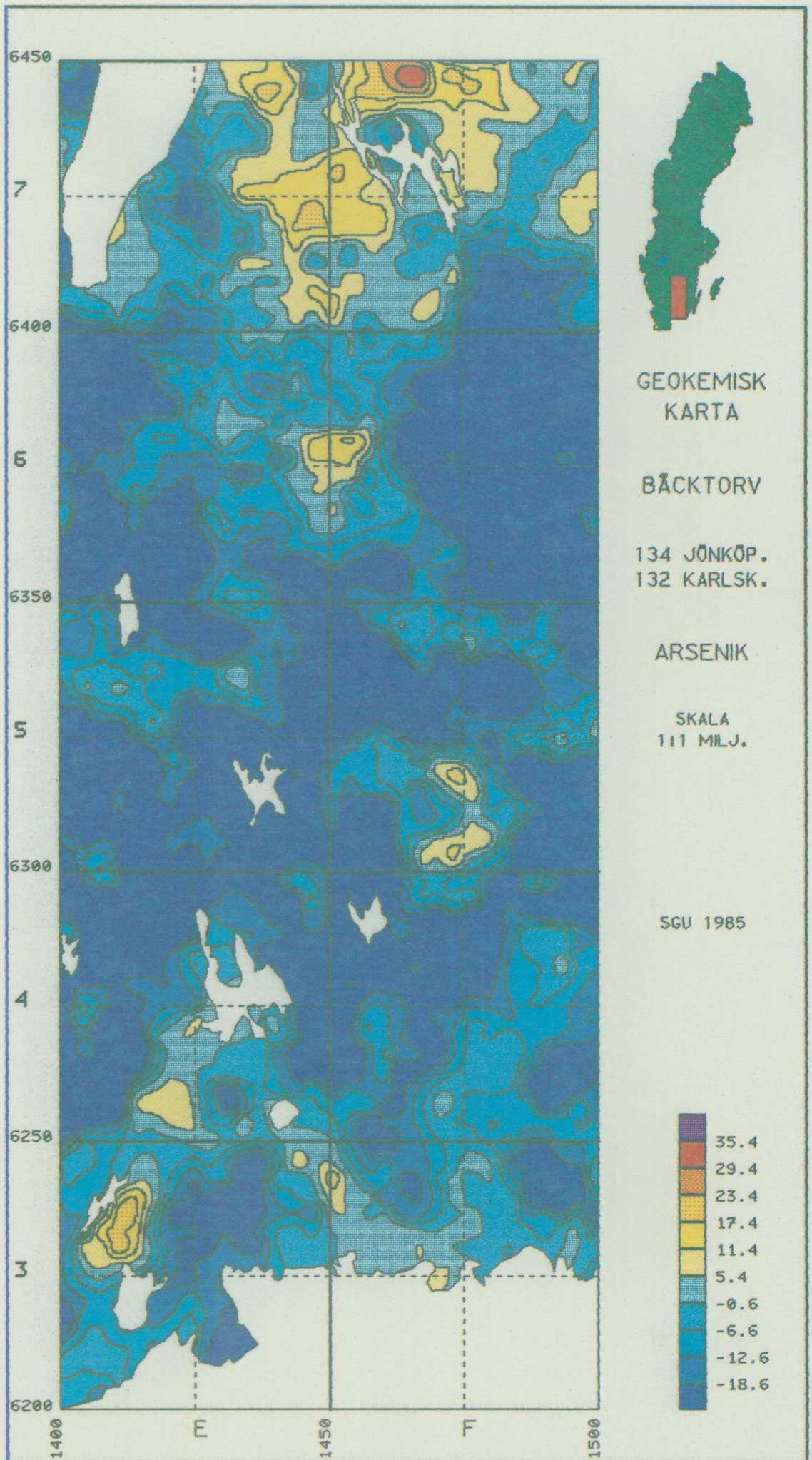
Mellan Nässjö och Lammhult framträder ett kraftigt kromförhöjt område med svagare förhöjningar av elementen kobolt, koppar och nickel. Detta är sannolikt berggrundsbetingat och sammanfaller i stort med Almesåkra-formationen samt med grönstenar söder därom. I norr över Almesåkra-formationen är kadmium och silver förhöjda medan guld är förhöjt i södra delen av stråket.

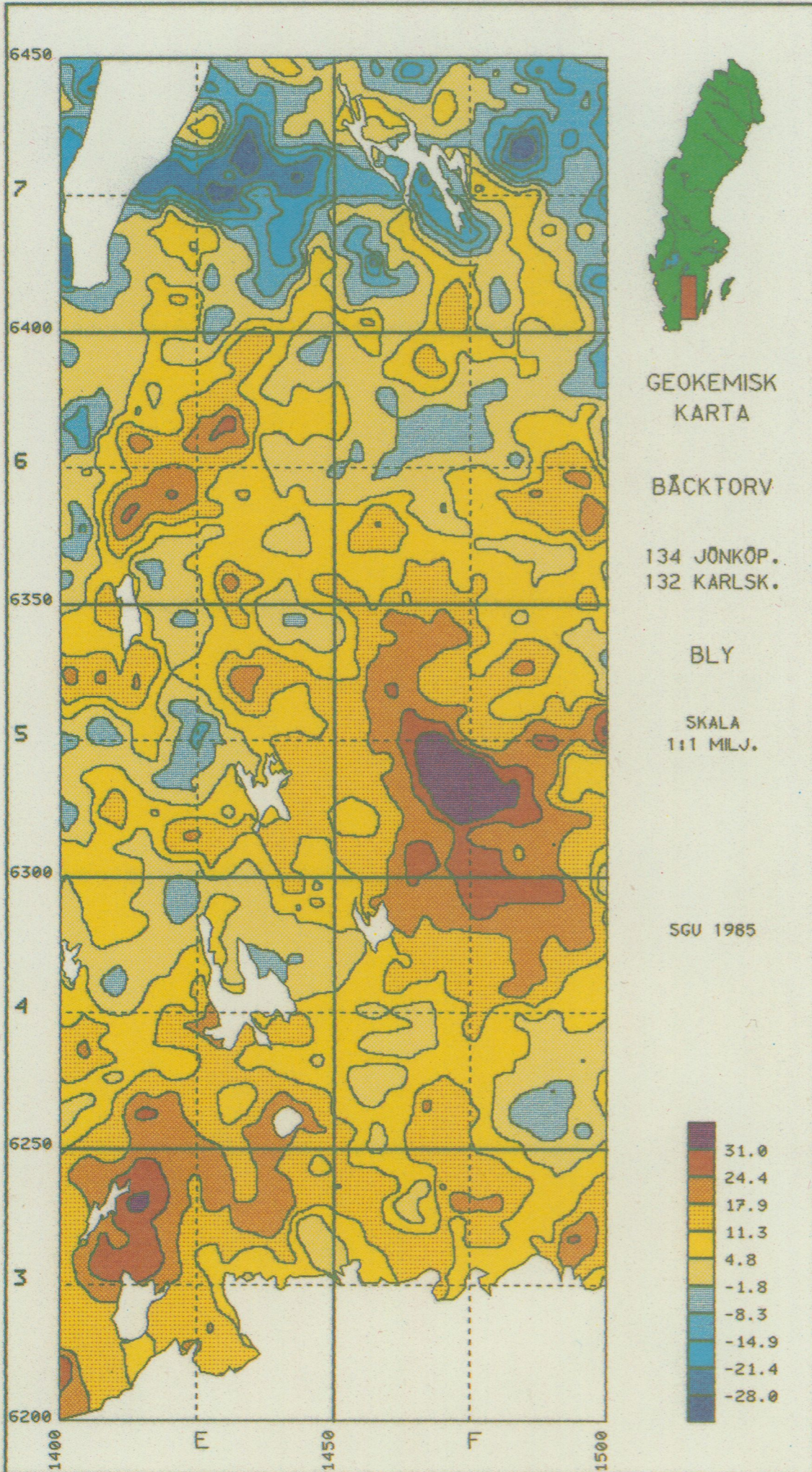
Förhöjningar av flertalet element inom södra delarna av kartan (Blekinge) är ett resultat av både litologiska och antropogena effekter. Liksom tidigare omnämnda bly och koppar har även andra elements mönster blivit påverkade av luftburna föroreningar från såväl kontinenten som från lokala källor. Maxima inom t ex den allmänna blyförhöjningen på kartan kan återspegla lokala utsläpp. Sannolikt är förhöjningen av bly men även av kadmium mitt på kartan (5F Åseda) av lokalt antropogent ursprung.

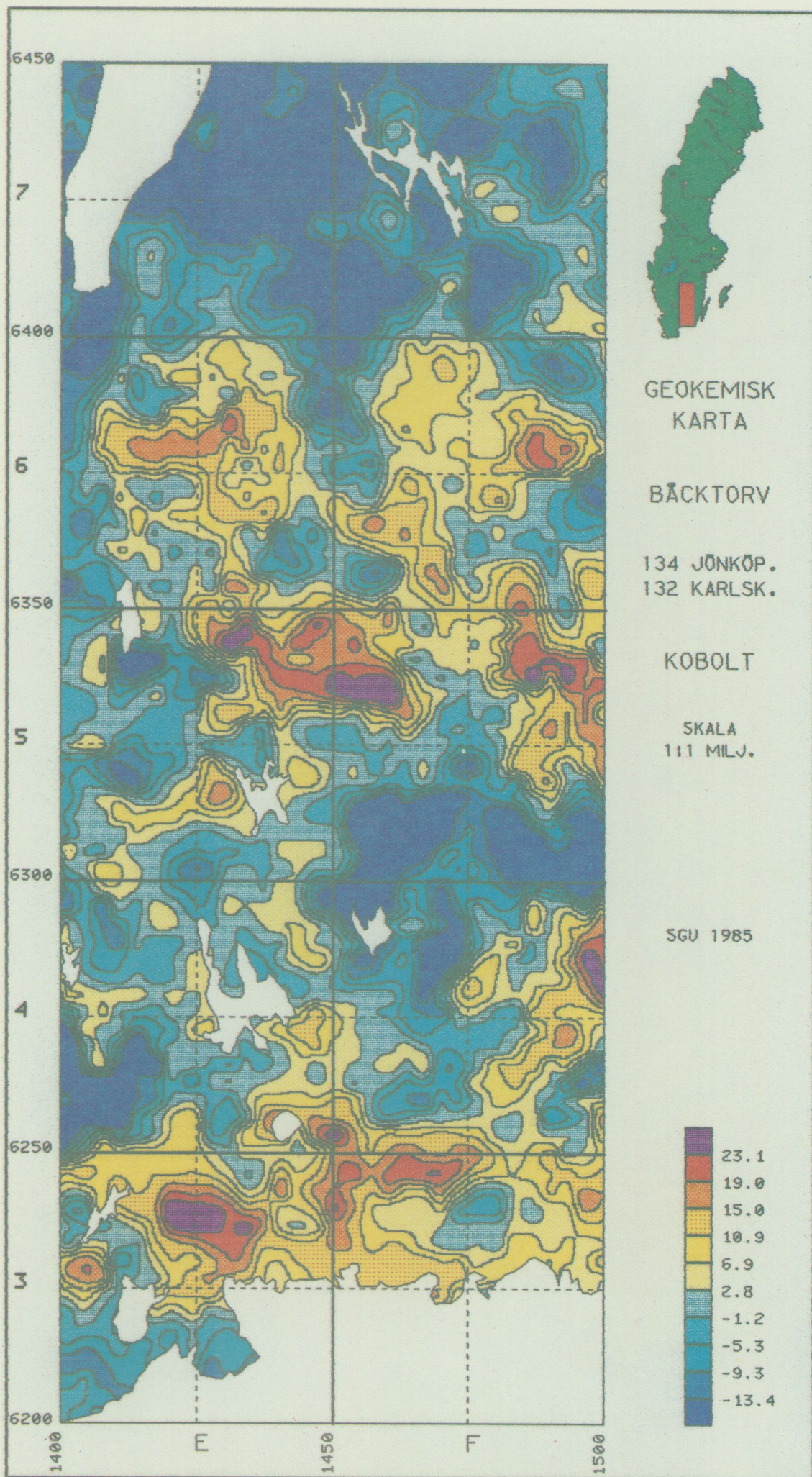
Sammanfattningsvis kan sägas att de geokemiska mönstren påverkas av ett flertal faktorer vilkas inbördes samverkan och styrka inte går att bestämma förrän ytterligare parametrar är kända. De geokemiska kartorna skall ses som ett grundläggande basmaterial av landsomfattande referensytor för ett flertal tungmetaller, vilket bör vara till god hjälp för både malmetande och miljövårdande enheter.

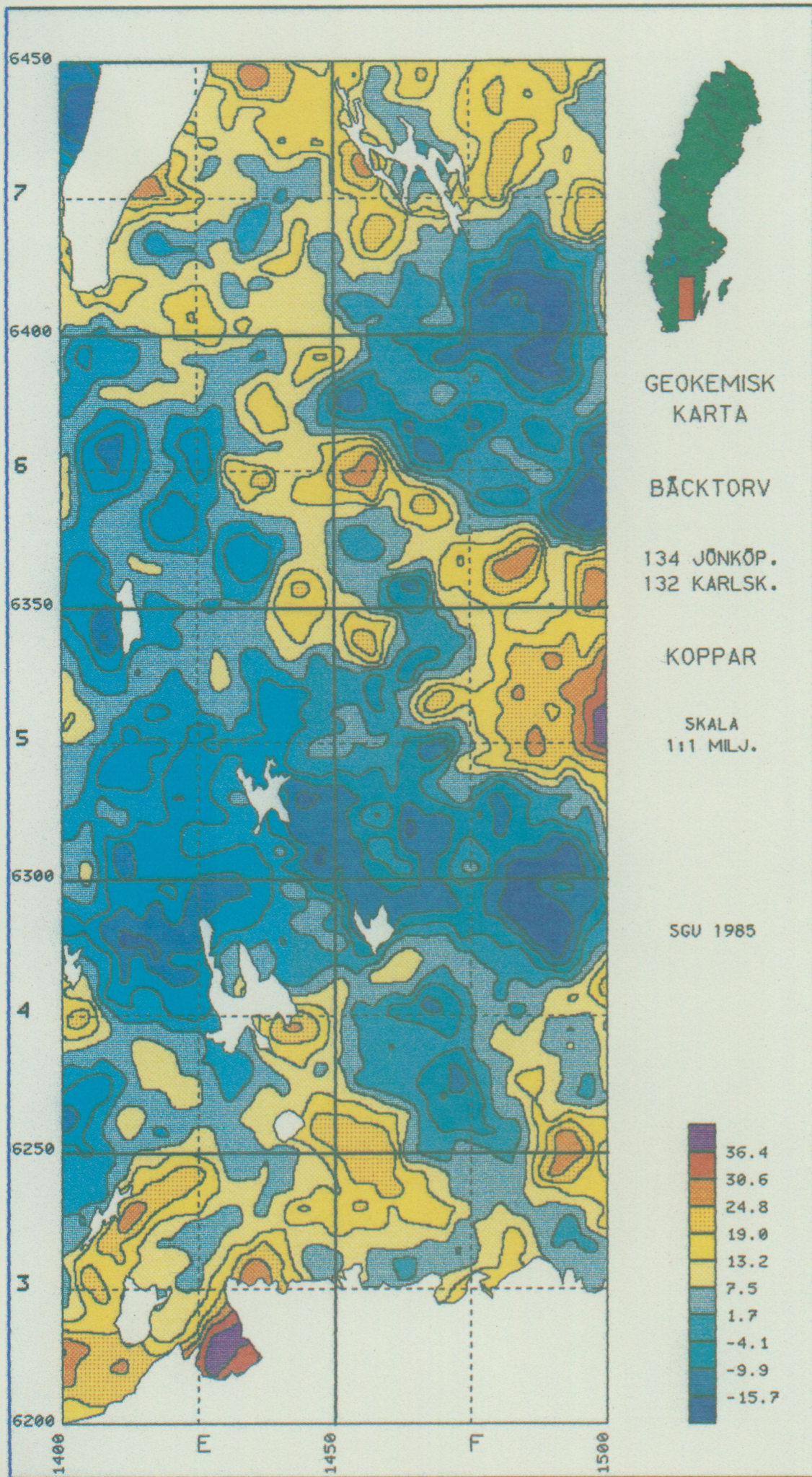
REFERENSER

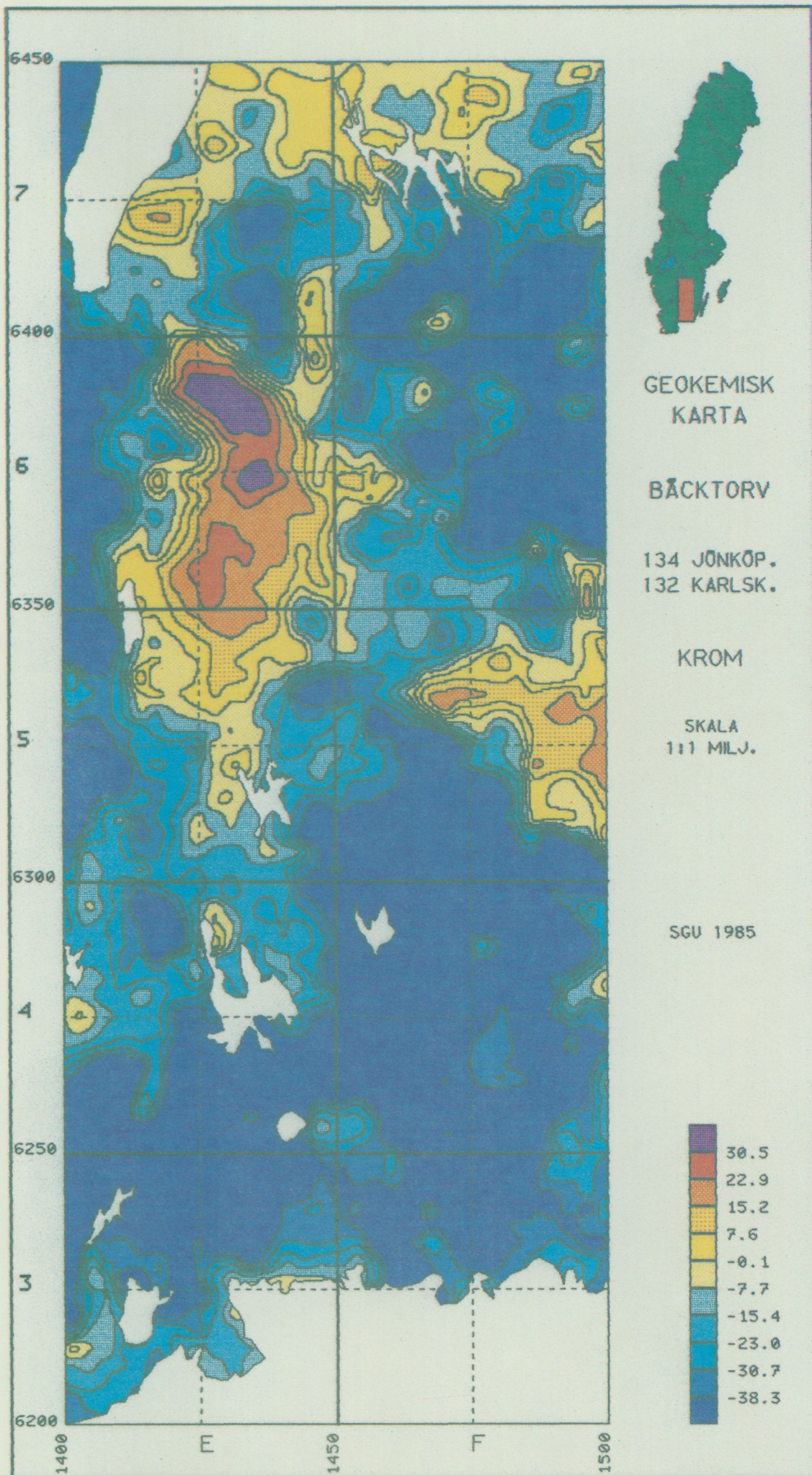
1. Andersson, M., och Ohlsson, S-Å., 1984. Geokemisk kartering. SGU. Rapport och meddelanden nr 37.
2. Brundin, N.H., and Nairis, B., 1972. Alternative sample types in regional geochemical prospecting. *J. Geochem. Explor.*, 1:7-46.
3. Guarascio, M., David, M., and Huijbregts, C., 1976. Advanced geostatistics in the mining industry. D. Riedel, Dordrecht.
4. Magnusson, N.H., m fl, 1958. Karta över Sveriges berggrund. Skala 1:1 milj. SGU Ba 16.
5. Rapport ang vissa försurnings- och tungmetallproblem i sydlänen. Länsstyrelsens naturvårdsenhet, Karlskrona, medd 1979:1.
6. Utsläpp till luft i Blekinge. Länsstyrelsens naturvårdsenhet, Karlskrona, medd 1980:2.
7. Föroreningssituationen i Blekinge län. Länsstyrelsens naturvårdsenhet, Karlskrona, medd 1981:1 och 1981:2.
8. Metallföroreningar. Länsstyrelsens naturvårdsenhet, Karlskrona, medd 1981:4.
9. Miljö och miljöskyddet i Kalmar län. Länsstyrelsens naturvårdsenhet, Kalmar, inform 1982:7.
10. Luftföroreningar. Länsstyrelsens planeringsavdelning, Kristianstad, 1984. Rapport nr 5.
11. Pousette, J., m fl, 1981. Beskrivning och bilagor till hydrogeologiska kartan över Kalmar län. SGU Ah 1.
12. Pousette, J., m fl, 1983. Beskrivning och bilagor till hydrogeologiska kartan över Blekinge län. SGU Ah 4.
13. Wiklander, U., 1974. Precambrian petrology, geochemistry and age relations of northeastern Blekinge, southern Sweden. SGU C 704.
14. Kornfält, K-A., och Bergström, J., 1983. Beskrivning till berggrundskartan Karlshamn NV. SGU Af 135.
15. Statens naturvårdsverk, 1982. Tungmetaller och organiska miljögifter i svensk natur. SNV Monitor 1982.
16. Statens naturvårdsverk, 1981. Försurning av mark och vatten. SNV Monitor 1981.

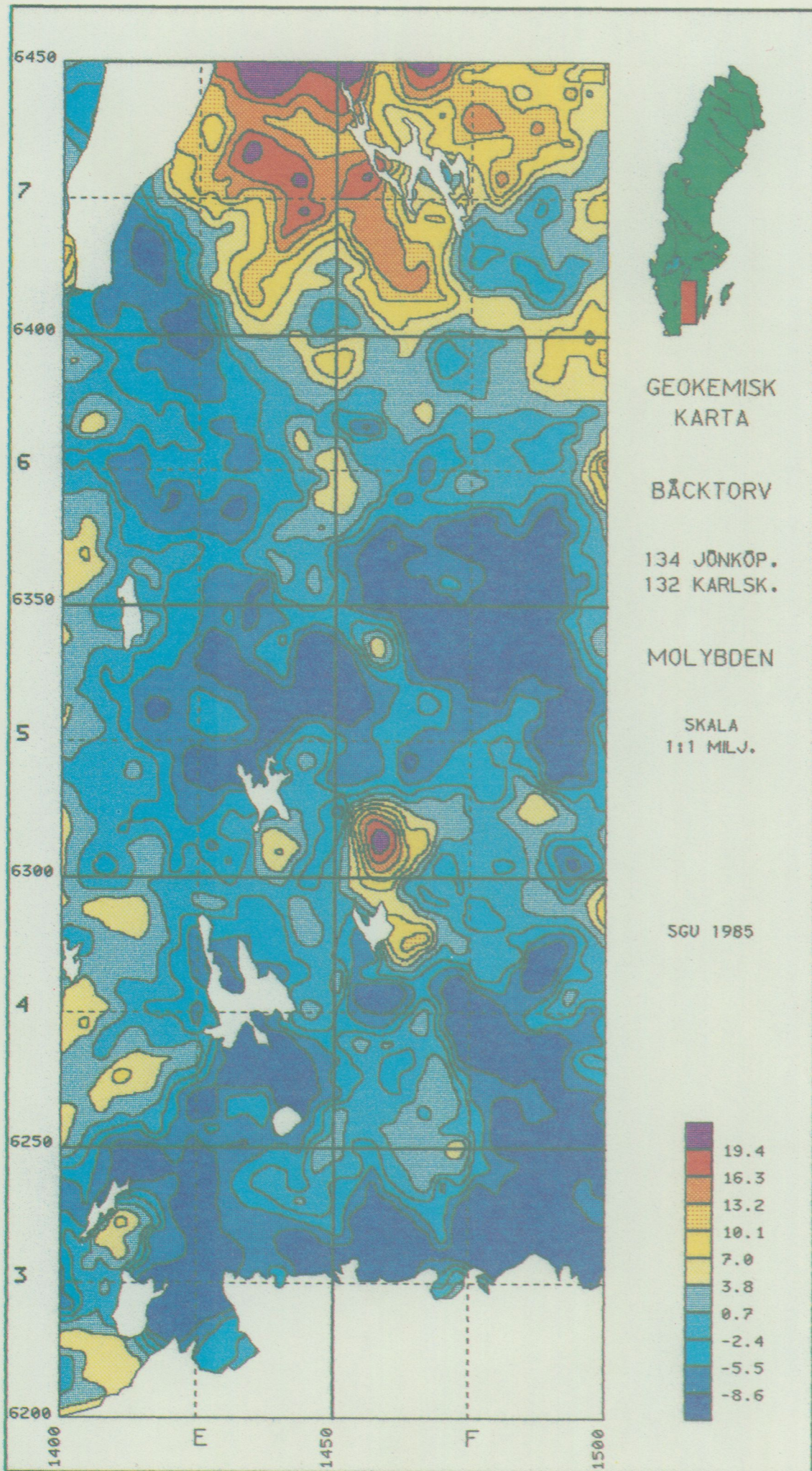


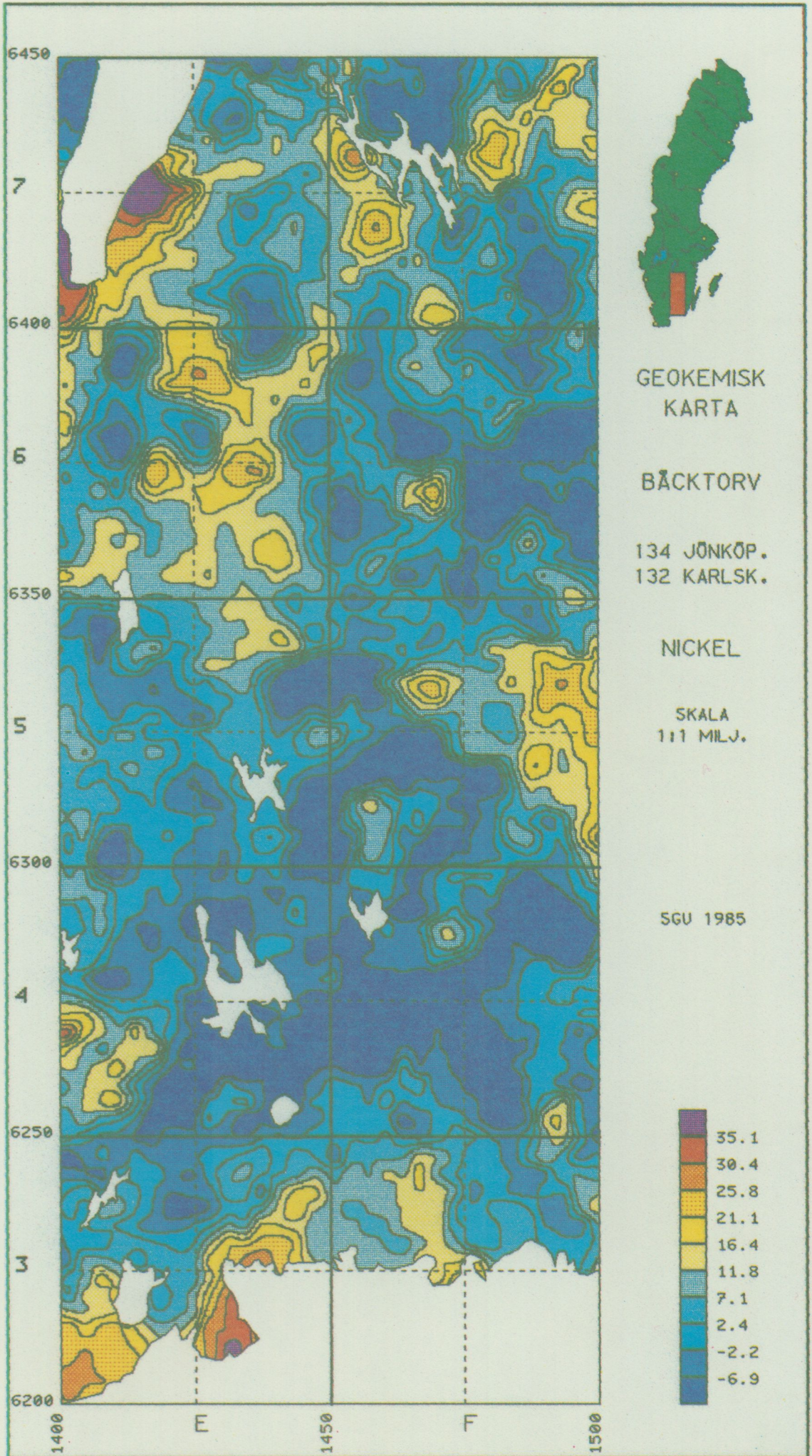


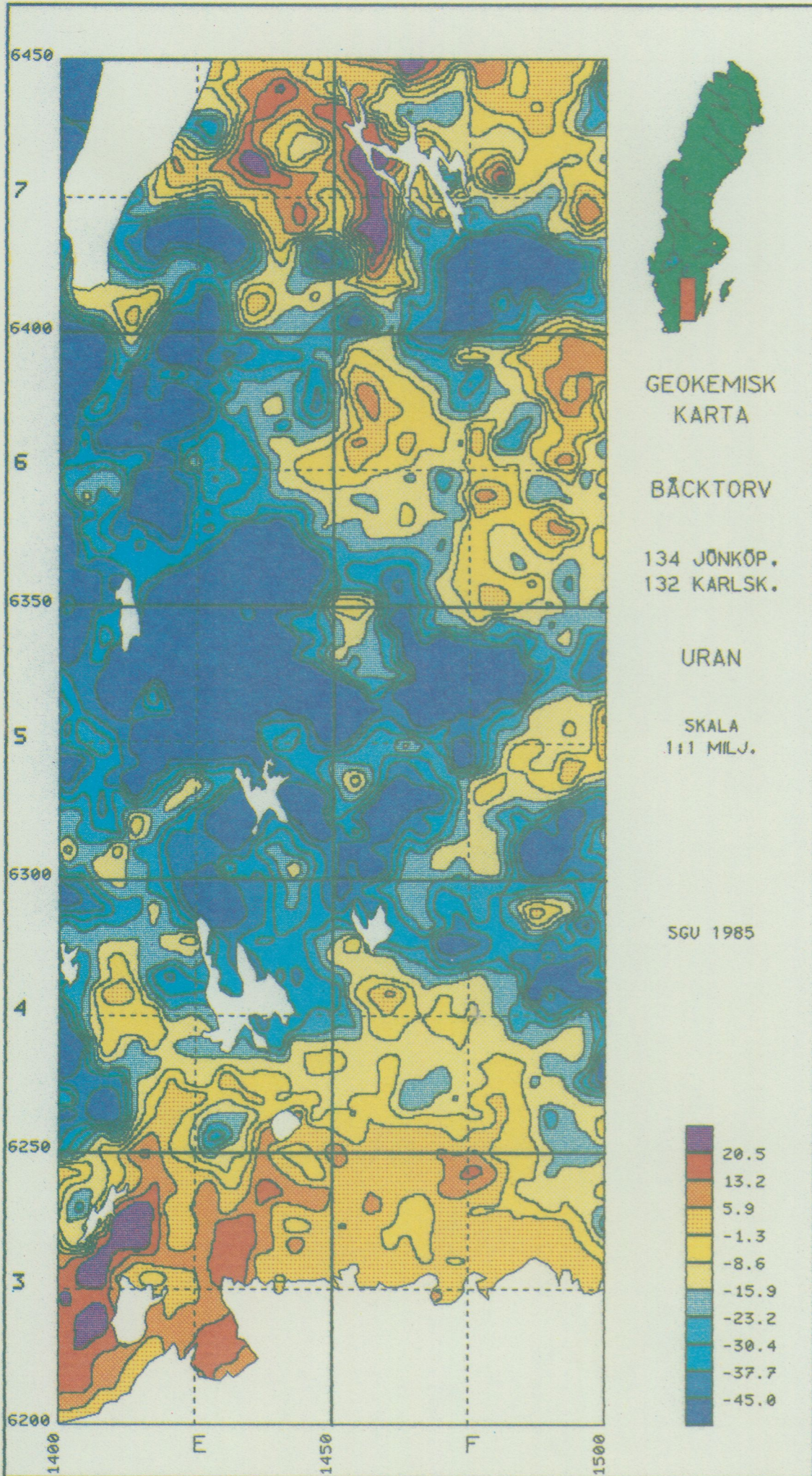


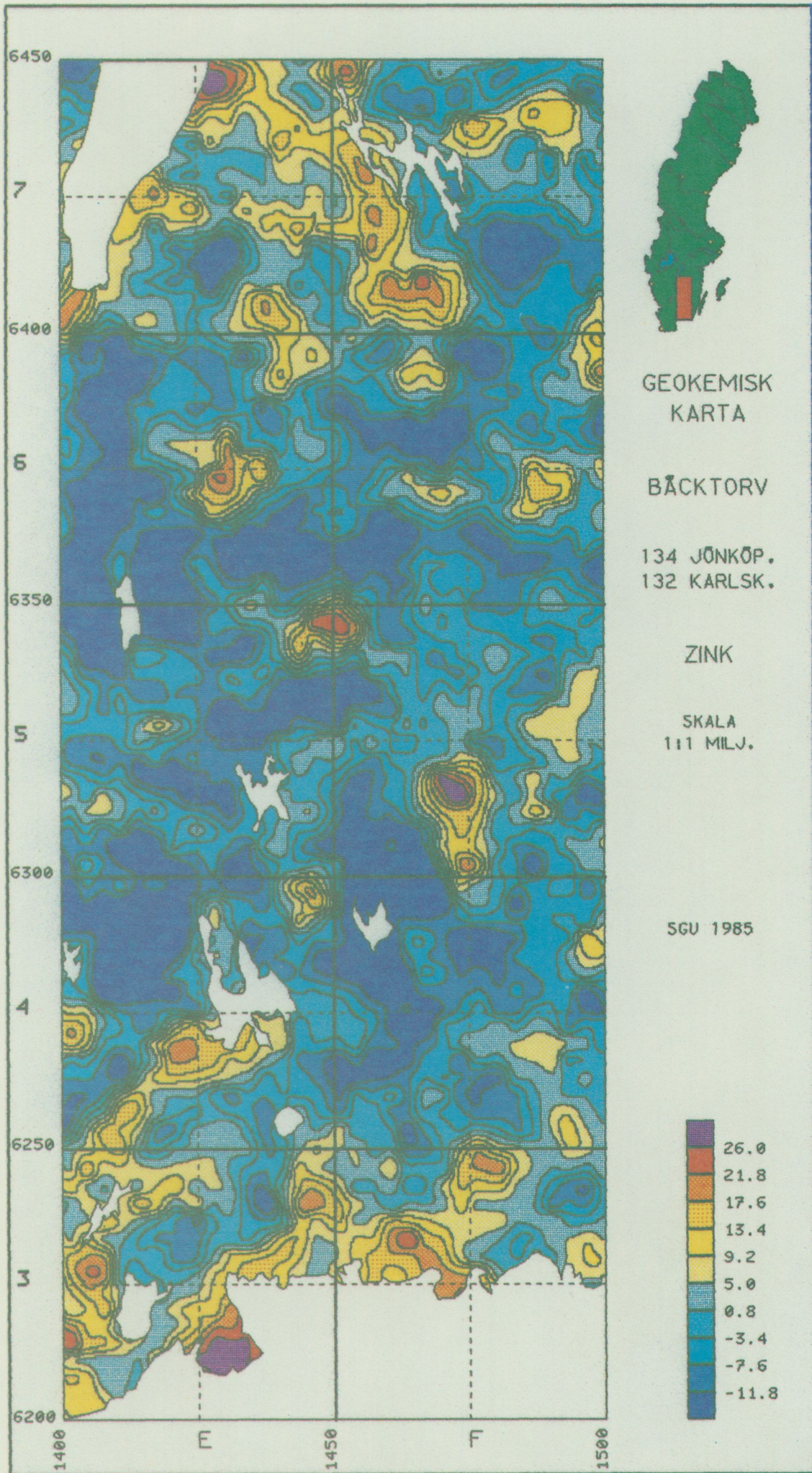


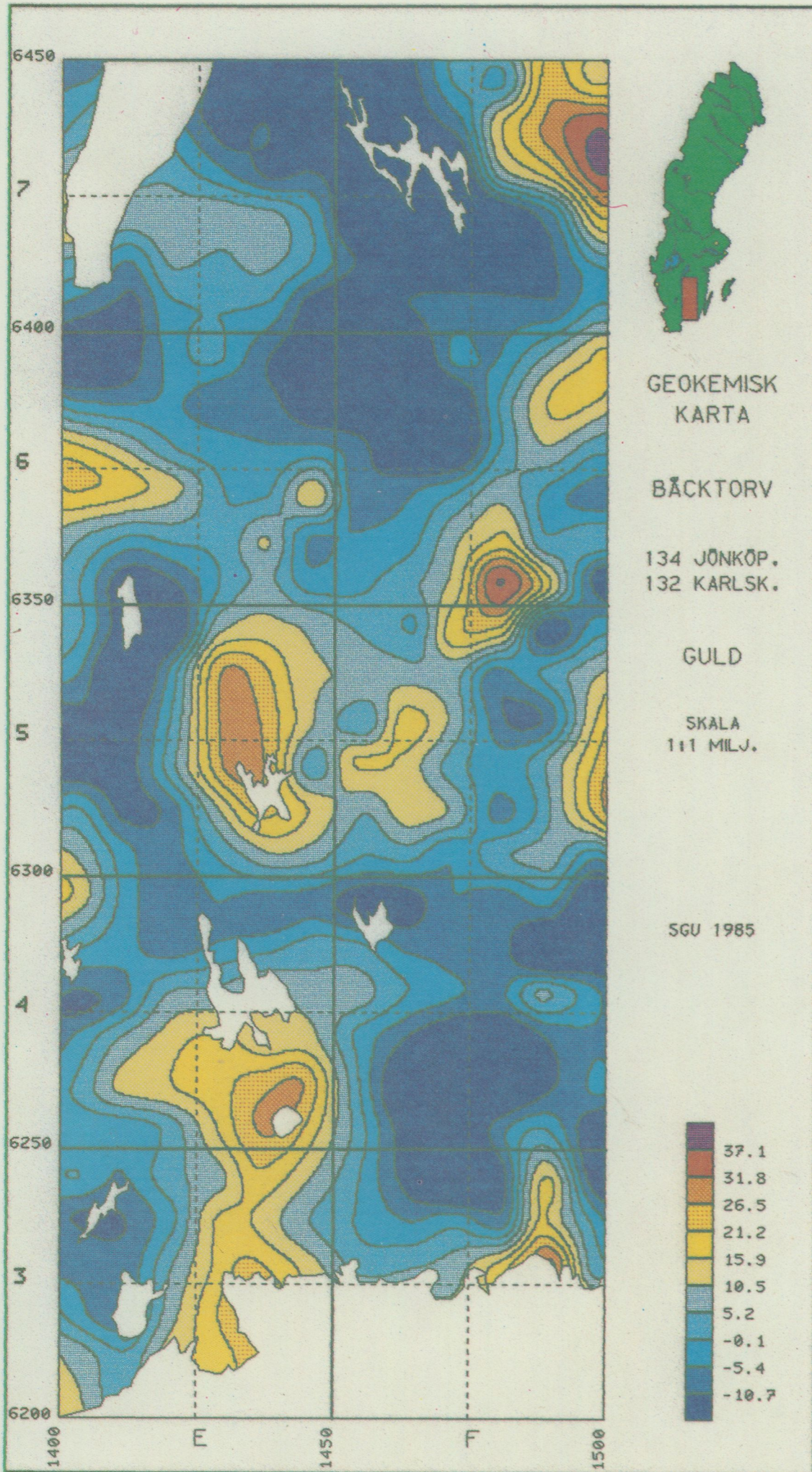


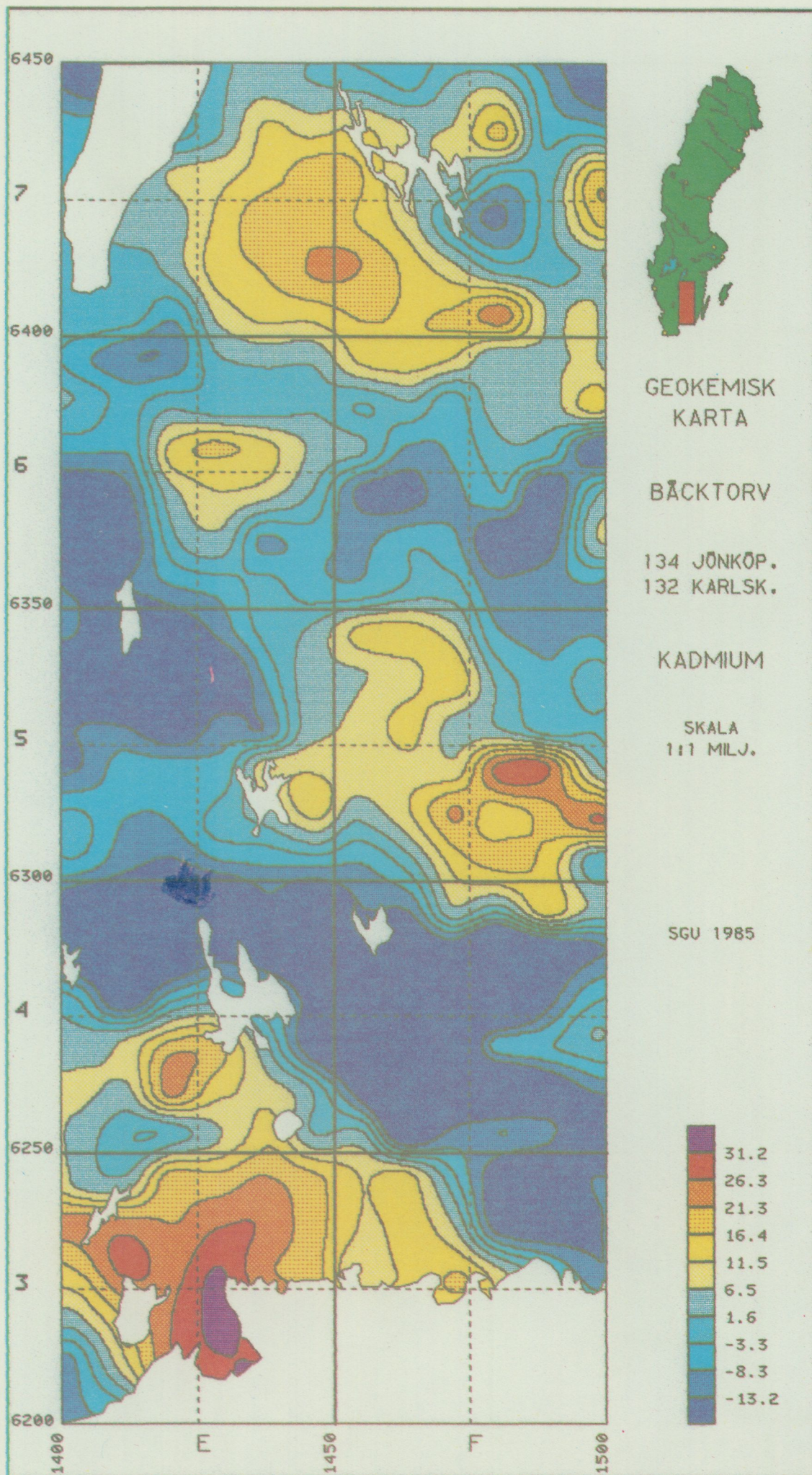


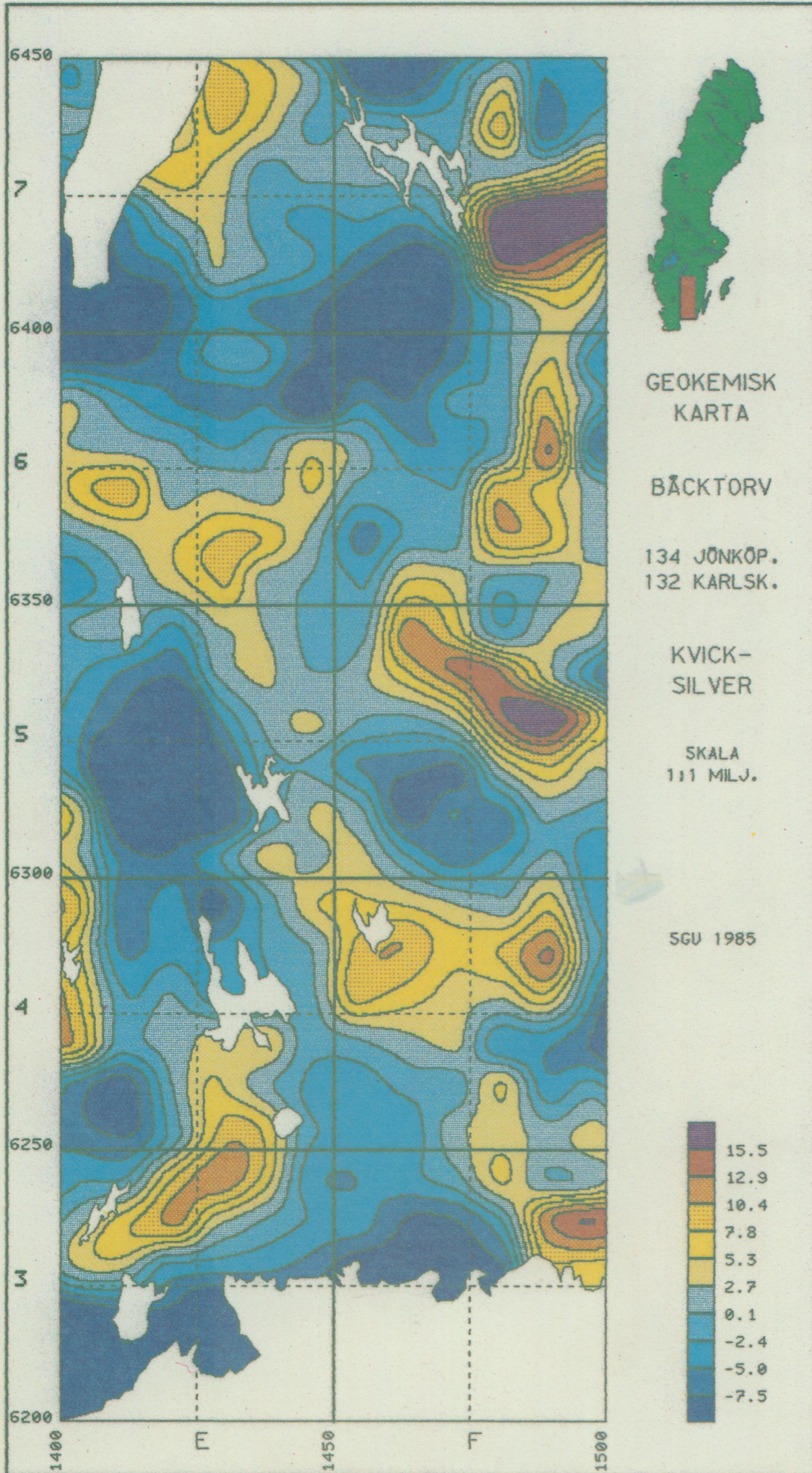


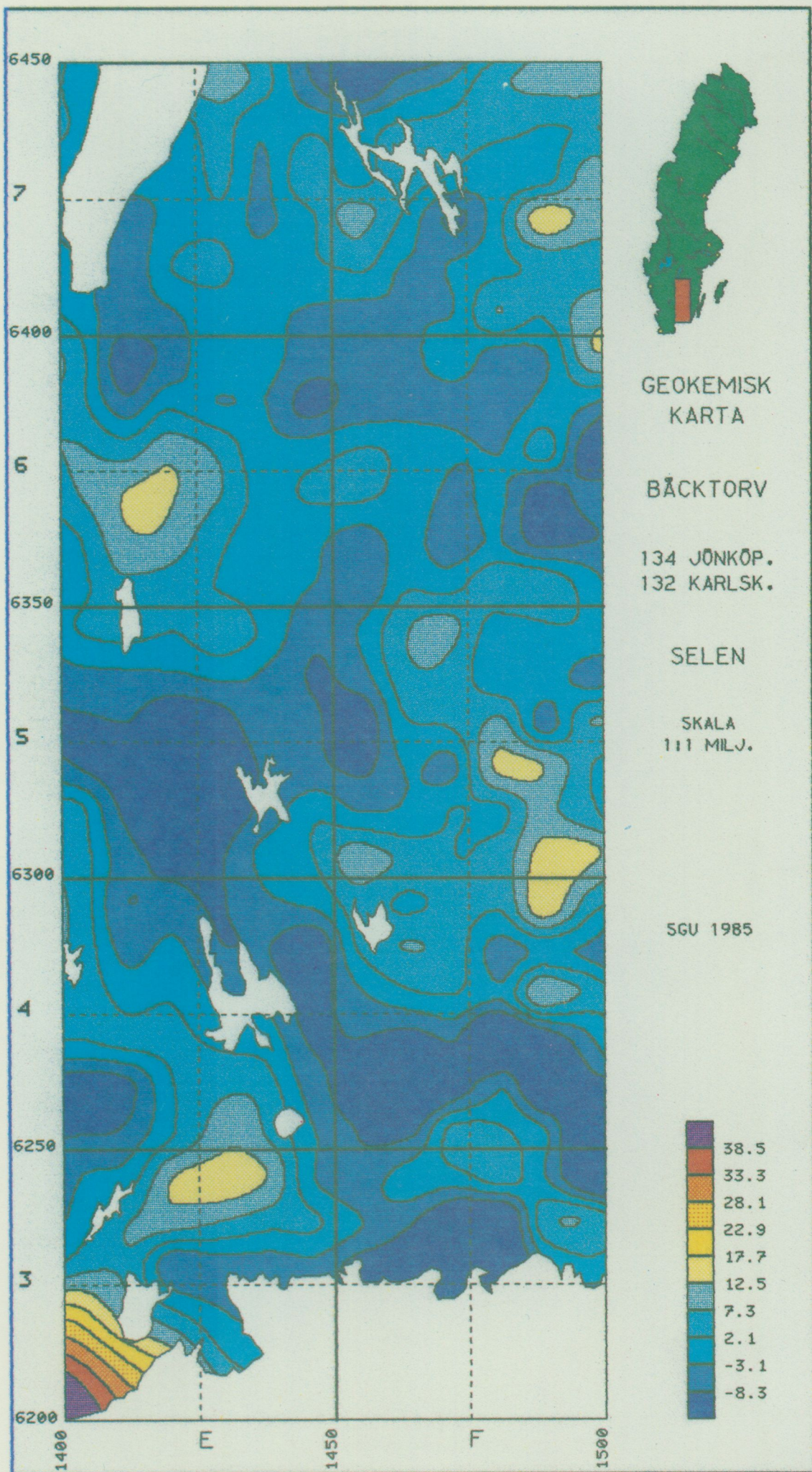


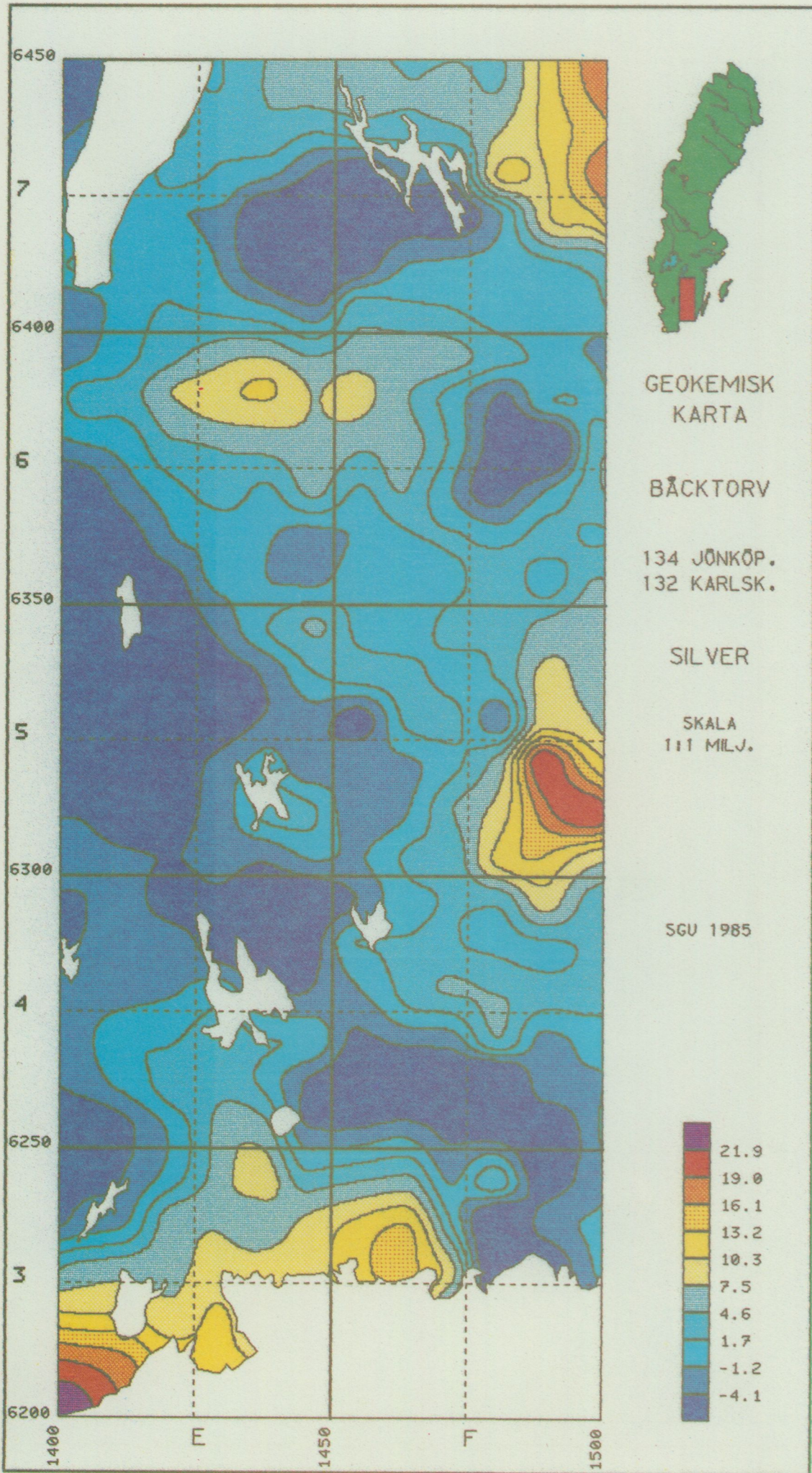














BERGGRUNDSKARTA


Kenozoiska bergarter

B M D B = basalt, D = Dellenandesit,
M = Mienryolit


















Mesozoiska bergarter


 Krita äldre än danien
 Spridda kritlokaler

Paleozoiska bergarter

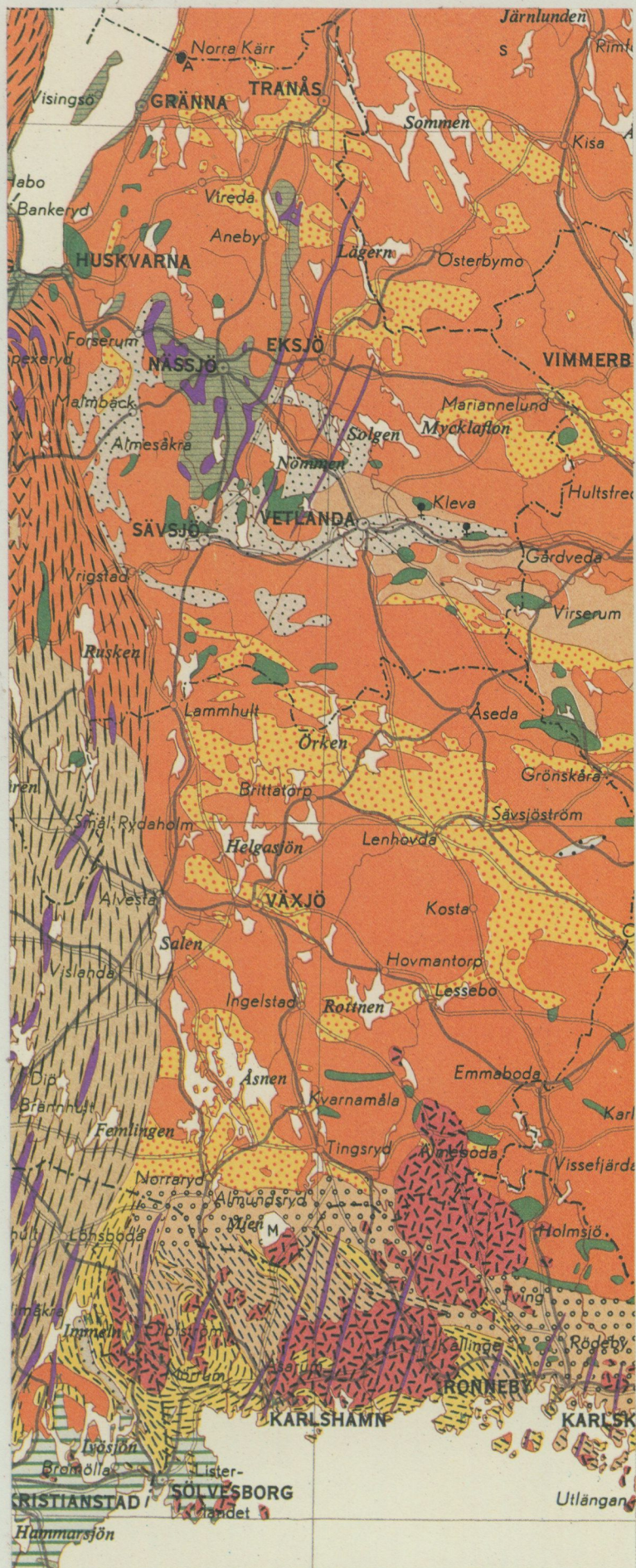
 A Alkalina bergarter (ålder osäker)

Prekambriska bergarter

 Visingsöformationen
 Almesåkraformationen (jotnisk)
 Diabaser
 Bohus- och Karlshamnsgraniter
 Smålands- och Värmlandsgraniter
 Gabbror och dioriter i gotisk miljö
 Sediment
 Smålandsporfyr m.m.
 Barnarpsgranit o. a. förskifrade graniter
 Hyperiter i Barnarpsgranit
 Vaggerydssyenit
 Förskifrade gnejser
 Hyperitdiabaser
 Tvingsgranit, starkt förskifrad
 Tvingsgraniten i Blekinge och Småland
 Blekinge och Linderödsåsens kustgnejs
 Äldre granit

 Sulfidmalmsfyndigheter

Skala 1:1 miljon



Bilaga

BESKRIVNING AV DE FJORTON SPÅRELEMENTENS EXOGENA GEOKEMISKA KRETSLOPP
JOHN EK

För att man skall kunna förstå och tolka de geokemiska mönster som erhålls vid bäcktorvkartering är det viktigt att känna till tungmetallernas ungefärliga halter och förekomstsätt i olika bergartstyper. Det är också viktigt att känna till huvuddragen av tungmetallernas beteende vid vittringen, d v s både deras naturliga och antropogena flöden i mark, grundvatten, ytvatten och organiskt material.

I den följande beskrivningen av de fjorton tungmetallerna har utgått från deras specifika förekomstsätt i berggrunden, nämligen som

- Litofila element: Element vilka förekommer som oxider i association med vanliga bergartsbildande mineral, t ex silikater.
- Siderofila element: Element som förekommer i association med järnrika oxid- och silikatmineral.
- Kalkofila element: Element som främst förekommer i sulfidmineral.

I nedanstående genomgång av de olika spårelementen har mycket information hämtats ur referenserna (1), (2) och (3).

Arsenik, As

Arsenik förekommer som spårelement i de flesta magmatiska bergartstyper i halter som varierar mellan 0.5 och 2.5 ppm. I vissa sedimentära bergarter, t ex alunskifferar, kan halten gå upp till 13 ppm, och inom kismineraliserade områden kan halterna vara förhöjda, eftersom arsenik är ett kalkofilt element och ingår i flertalet sulfidmineral.

Arsenik i olika primära och sekundära former i berggrund och jordlager går lätt i lösning i form av komplexa anjoner såsom AsO_2^- , AsO_4^{3-} , HAsO_4^{2-} och H_2AsO_3^- och kan transporteras med grundvattnet. De olika arsenatjonerna har emellertid en stark tendens att bindas till järn- och aluminiumhydroxider (4) samt även till humusämnen. Detta gör att bäcktorv är en god indikator på elementets förekomst i omgivande berggrund och jordlager.

Den antropogena utspridningen av arsenik är främst betingad av kolförbränning samt av utsläpp från metallindustrin. Detta har visat

sig inverka på de storskaliga geokemiska mönstren i bäcktorv.

Kobolt, Co

I berggrunden förekommer kobolt som spårelement med de högsta halterna i ultrabasiter (100-200 ppm), medan halterna i sura magmatiska bergarter är lägre (1-15 ppm). I sedimentära bergarter varierar halterna mellan 0.1 ppm och 20 ppm med de högsta halterna i bergarter med organogent innehåll (svartskiffrar) eller med lermineralinnehåll. Kobolt är ett i hög grad kalkofilt element och ingår i sulfidmineral tillsammans med främst järn, mangan, arsenik och selen. Vid vittringen oxideras kobolt till lättlösliga Co^{2+} - och Co^{3+} - joner samt bildar även negativa $\text{Co}(\text{OH})_3^-$ -komplex. I oxiderande sur miljö är kobolt mycket mobil, men i neutral till alkalisk miljö begränsas mobiliteten av kobolts starka affinitet till manganhydroxider. Även järnhydroxider samt lermineral är starka sorbenter av Co^{2+} . Kobolt är livsnödvändig för både växter och djur, och kemiska analyser av växtmaterial (främst rötter) har visat en god korrelation till halterna i marken. Tidigare bäcktorvprovtagningar har visat en nära korrelation mellan kobolt-anomala mönster och bergartstyper med förhöjd kobolthalt.

Krom, Cr

Krom är ett utpräglat litofilt element och har de högsta halterna i ultrabasiter såsom dunit, peridotit, pyroxenit (1600-3400 ppm). I dessa är krom starkt associerat med nickel och magnesium.

Sura till intermediära magmatiska bergarter håller 4-50 ppm, och i sedimentära bergarter varierar halterna mellan 5 och 120 ppm med de högsta halterna i skiffrar med lermineral eller organogent innehåll. Det vanligaste krommineralet är kromit (FeCr_2O_4) som är vitt-ringsresistent, varför krom är att betrakta som geokemiskt svårmobilt. Emellertid förekommer i naturen två oxidationsstadier för krom, nämligen Cr^{3+} som är svårlösligt och Cr^{6+} som är lättlösligt (6). I sin 6-värda form är krom mobil i mark och grundvatten som kromatjoner (CrO_4^{2-}). Detta gäller både för sura och alkaliska förhållanden, och det är sålunda redoxpotentialen i mark och grundvatten som främst bestämmer kroms löslighet (7).

Humushaltiga material (t ex bäcktorv) fungerar som absorbenter för krom, främst genom reduktion av lättlösligt Cr^{6+} till svårlösligt

Cr^{3+} . Bäcktorv utgör därför en naturlig indikator på mobiliserat krom i omgivande mark och grundvatten. Tidigare bäcktorvprovtagningar har visat att kromanomalier förekommer över bergartstyper med förhöjd kromhalt.

Krom anses ej vara nödvändigt för växter men är det för djur. Det är toxiskt när det förekommer i för höga halter i mobil, tillgänglig form. Eftersom bäcktorvkartorna avspeglar variationen av mobilt krom i miljön, bör de ha ett stort miljöintresse vid sidan av prospekteringsintresset.

Koppar, Cu

Koppar är en av de mest studerade tungmetallerna i berggrund, mark, grundvatten och vegetation på grund av sin stora betydelse som industriråvara samt som mikronäringsämne för växter och djur.

I berggrunden förekommer koppar som spårelement med de högsta halterna i basiska och intermediära magmatiska bergarter (max 120 ppm) och i lägre halter i såväl ultramafiska som sura bergarter (max 40 resp 30 ppm). I sedimentära bergarter är halterna högst i lerskiffrar (max 60 ppm) och lägre i sandstenar och kalkstenar (max 30 resp 10 ppm). Koppar är utpräglad kalkofilt och förekommer i sulfidmalmer tillsammans med sulfider av järn, zink, bly, arsenik, nickel, antimon, selen, silver och guld. Det vanligaste förekommande kopparmineralet i Sverige är kopparkis (CuFeS_2), som vittrar mycket lätt, varvid vattenlösliga Cu^+ - och Cu^{2+} -joner frigörs. Försök har visat att koppar är relativt mobil i marken i form av vattenlösliga organiska s k chelat, som är stabila multipelbindningar mellan metalljoner och humusmolekyler (8). Samtidigt har koppar en stark tendens att adsorberas på humusämnen.

Bäcktorv har visat sig vara en mycket god indikator på kopparhalten i berggrund och jordlager, både vid lokala och regionala undersökningar. Det är framförallt den sulfidbundna kopparn i berggrunden som avspeglas på bäcktorvkartorna. Luftburet nedfall av Cu har också visat sig framträda klart på bäcktorvkartorna. Det är även sannolikt att användandet av Cu-haltiga gödningsmedel inom jordbruksområden påverkar den geo-kemiska anomalibilden för koppar i bäcktorv.

Molybden, Mo

Molybden förekommer som spårelement i berggrunden i halter som varierar

mellan 2 och 0.2 ppm. Halterna är högst i granitiska och lägst i ultrabasiska bergarter. Molybden har även i viss mån ett kalkofilt uppträdande och förekommer då främst som malmineralet molybdenglans (MoS_2) i associationer med koppar, rhenium, wolfram och tenn.

Vid vittringen bildar molybden vattenlösliga negativa molybdatjoner, MoO_4^{2-} i neutral till alkalisk miljö och HMnO_4^- i sur miljö. Molybden är mycket svårörligt i sura miljöer (pH 3-6) (9), men har en starkt ökande löslighet med ökande pH-värden i naturliga vatten. Detta innebär att molybden i form av MoO_4^{2-} har en hög geokemisk mobilitet i neutrala till alkaliska grundvatten och kan transporteras med dessa till bäckarna. Molybdatjoner har en stark tendens att adsorberas av järnhydroxider under bildande av svårörligt ferrimolybdit ($\text{Fe}(\text{MoO}_4)_3 \times 8\text{H}_2\text{O}$). Även humusämnen har en fixerande förmåga gentemot MoO_4^{2-} -joner. Detta förklarar varför bäcktorv är en känslig indikator på mängden av mobiliserat molybden i mark och grundvatten. Tidigare regionala bäcktorvprovtagningar har visat att de geokemiska molybdenmönstren på ett mycket känsligt sätt avspeglar höga och låga halter i berggrunden.

Molybden är ett viktigt mikronäringsämne för växter och spelar bl a en viktig roll vid kvävefixeringen. Försurning innebär att molybden blir svårtillgängligt för växter, och en regional kartering av mobiliserbart molybden med bäcktorvmetoden bör vara av stort intresse för t ex jordbruket och skogsvården.

Nickel, Ni

Nickel har i berggrunden ett såväl siderofilt som kalkofilt uppträdande. I det första fallet förekommer nickel i nära association med järn, magnesium och kobolt och i det senare fallet i sulfidmineral tillsammans med främst järn, koppar, arsenik, kobolt. Bakgrundshalterna för siderofilt nickel är högst i ultrabasiska bergarter (1400-2000 ppm) för att avta med successivt ökande SiO_2 -halt. Graniter håller t ex bara 5-15 ppm. I sedimentära bergartstyper varierar halten mellan 5 och 90 ppm med de högsta halterna i lerskiffrar och svartskiffrar samt de lägsta i sandstenar och kalkstenar.

Vid vittringen går nickel lätt i lösning i markvattnet som Ni^{2+} , men den geokemiska mobiliteten begränsas genom adsorption på humusämnen, lermineral samt järn- och manganhydroxider i marken. Det har dock visat sig att Ni^{2+} är relativt stabilt i grundvattnet och kan

migrera med detta relativt långa sträckor.

Bäcktorv är ett naturligt material där nickel har hög tendens att fastläggas och bindas i proportion till det förbiströmmade vattnets nickelhalt. Tidigare regionala provtagningar har visat en mycket god korrelation mellan nickelanomalier i bäcktorv och nickelförhöjda bergartsområden.

Bly, Pb

Bly förekommer som spårelement i magmatiska och metamorfa bergarter i halter som avtar med avtagande SiO_2 -halt. Sålunda är genomsnittshalterna i graniter, gnejser m fl sura bergarter 10-24 ppm, medan halterna i ultrabasisiska bergarter varierar mellan 0.1 och 1.0 ppm. Orsaken till de högre halterna i sura bergarter är att bly kan substituera (ersätta) kalium i kalifältspater samt även barium, strontium och kalcium i andra bergartsbildande mineral, t ex lermineral. I sedimentära bergarter är halterna i lerskiffrar och svartskiffrar 6-10 ppm och i sandstenar och kalkstenar c:a 0.5 ppm. Bly är kalkofilt, och det i svensk berggrund vanligaste malmineralet är blyglans (PbS) som ofta förekommer i association med silver samt med järn-, zink-, koppar- och antimonulfider.

Bly är en av de minst mobila tungmetallerna vid vittringen och den naturliga halten i olika jordarter är till övervägande del betingad av moderbergarternas Pb-halter. Ett karaktäristiskt drag för markprofilen är maximivärden för Pb i det översta skiktet (humuslagret). Detta beror på två faktorer:

- Naturlig upptransport och accumulation av bly i organisk substans (humus)
- Luftburen deposition av antropogent Pb (10), (11).

Den senare faktorn är den dominerande inom industrialiserade områden samt i områden med tät biltrafik.

Bäcktorv har visat sig anrika bly i samma proportion som metallen finns i omgivande mark. Detta beror på att samtliga i provet ingående komponenter, nämligen humus, limonit och växtrötter, är starka Pb-absorbenter. Såväl svenska som ryska undersökningar har visat att växtrötter anrikar bly i förhållandet ungefär 1:1 till halten i marken.

Det är sannolikt att de geokemiska mönster man erhåller på bäck-

torvkartorna till en stor del avspeglar den starka antropogena utspridningen av bly.

Uran, U

Urans förekomst i svensk berggrund samt därav betingade halter i mark och grundvatten är mycket väl känd tack vare de omfattande uranprospekteringsarbeten som utfördes under åren 1975-1982. En stor del av den regionala prospekteringen var då baserad på bäcktorv som visade sig vara ett utmärkt provtagningsmedium vid kartläggningen av bergartstyper med förhöjd uranhalt eller för lokalisering av uranmineraliseringar (12).

Det nära sambandet mellan uranhalt i bäcktorv och i berggrunden beror på följande. I berggrunden förekommer uran i fyrvärd, svårlöslig form, främst som mineralet uraninit (UO_2). När detta mineral kommer i kontakt med syrehaltigt grundvatten i berggrundens översta delar sker en upoxidering av uranet till sexvärd valens, och vattenlösliga uranyljoner (UO_2^{2+}) bildas. Dessa har en hög tendens att hålla sig i lösning och kan transporteras långa sträckor med grundvattnet utan att adsorberas på t ex lermineral i marken. En viktig orsak till detta är att uranyljoner bildar relativt stabila, vattenlösliga komplex med i grundvattnet allmänt förekommande anjoner, t ex CO_3^{2-} , OH^- , HPO_4^{2-} , F^- och SO_4^{2-} . När uranylhaltigt grundvatten kommer i kontakt med humusämnen, t ex i bäcktorv, bildas s k uranylhumater. Dessa är svårlösliga inom pH-intervallet 2.2-6.0, vilket innebär att humusmaterial i naturen (t ex bäcktorv) kan binda uranet även vid mycket låga pH-värden.

Uran förekommer med förhöjda halter inom relativt stora delar av Sveriges berggrund. Den största utbredningen har de s k radioaktiva graniterna, i vilka uranet sitter som spårelement i halter som varierar mellan 8 och 27 ppm (13). Uran förekommer även i de kambriska alunskiffrarna i halter som varierar mellan 10 och 300 ppm. Dessutom förekommer uranmineraliseringar på ett mycket stort antal platser, både inom ovannämnda bergartstyper och utanför dem. Inom samtliga dessa områden kan uranhalt i humushaltiga naturliga material vara mycket hög och halter på flera procent uran i torvaska har uppmätts. Sammanfattningsvis kan sägas att uranhaltsmätningar i bäcktorv är en mycket känslig indikator på uranhalt i omgivande berggrund, jordlager och grundvatten.

Zink, Zn

Som spårelement förekommer zink i relativt likartade halter i alla magmatiska bergarter, och man har endast observerat en obetydlig förhöjning i basiska bergarter (80-120 ppm) jämfört med sura bergarter (40-60 ppm). Betydligt lägre halter förekommer i sandstenar och kalkstenar (10-30 ppm Zn). Zink är kalkofilt och föreligger nästan alltid sulfidbunden, men kan även substituera Mg^{2+} i silikater och spineller. Det vanligaste malmineralet är zinkblände (ZnS).

Vid vittring av zinkmineral bildas Zn^{2+} -joner som är mycket mobila i sur oxiderande miljö. Atskilliga andra jonföreningar bildas också såsom $ZnCl^+$, $ZnOH^+$, $ZnHCO_3^+$, ZnO_2^- , $Zn(OH)_3^-$ och gemensamt för dessa är att de har en hög tendens att fastläggas av i marken förekommande manganhydroxider och humusämnen. Zink är emellertid mera mobil i marken jämfört med de flesta andra tungmetaller. I försurade jordar tenderar zink därför att bli utarmad i markens ytskikt (humuslagret) och transporterad till djupare nivåer i marken eller till grundvattnet (14), (15).

Bäcktorv har visat sig vara en känslig indikator på det förbi-strömmande vattnets zinkinnehåll. Av materialets komponenter är mangan- och järnhydroxider de starkaste zinkupptagarna men även humusmaterial och växtrötter är zinkanrikare.

De geokemiska mönstren på bäcktorvkartor avspeglar i första hand berggrundens zinkinnehåll, men utspridning från gruvindustrier och smältverk påverkar dessutom bilden. Det är också sannolikt att bäcktorvprov från lerslättsområden har förhöjd zinkhalt eftersom lermineral är en viktig depå i marken för lakbart zink och eftersom zink tillförs odlingsjordar med vissa gödningsmedel.

Guld, Au

Guld är en ädelmetall och förekommer som spårelement i alla bergartstyper i halter som varierar mellan 0.5 ppb och 7 ppb. De högsta bakgrundshalterna har genomgående noterats för sedimentära bergarter (sandsten, kalksten, skiffer), vilket avspeglar det förhållandet att guld är vittringsresistent. Guld är i viss mån ett kalkofilt element och ingår i ädelmetallförekomster tillsammans med silver, arsenik, antimon, selen och tellur samt i basmetallförekomster tillsammans med koppar, järn och zink.

I olika typer av minerogena jordar varierar guldhalt mellan 0.8 ppb och 8 ppb, d v s inom ungefär samma haltintervall som i olika bergarter. Inom guldmineraliserade områden i USA har visats att humushorizonten kan ha guldhalter på mellan 50 och 5000 ppb. Detta beror på att humusämnen är kraftiga guldabsorbenter, vilket har visats i ett flertal undersökningar.

Under vissa förhållanden kan guld bilda vattenlösliga komplex såsom AuCl_2^- , AuBr_4^- , $\text{Au}(\text{CN})_2^-$, $\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$. Guld har också visat sig kunna migrera i naturliga vatten i form av organometalliska föreningar och chelat (16). Vissa forskare hävdar att humusämnen förmår reducera guldklorid till metalliskt, kolloidalt guld som sedan omger sig med ett skyddande lager av organiska (fulvo)-molekyler, vilket leder till att guldet blir mobilt både i mark och i naturliga vatten. (17). Man har vid laboratorieförsök också funnit att såväl humussyror som fulvosyror i närvaro av syre förmår lösa upp guld om metallen föreligger i kolloidal form. De därvid bildade AuCl_4^- -jonerna visade sig bilda stabila, vattenlösliga guldhumat- resp guldfulvat-komplex (18). Dessa forskningsresultat visar att guld kan gå i lösning och bli geokemiskt mobilt i såväl jordlager som naturliga vatten. De visar också att en avgörande faktor för guldets mobiliserbarhet är reaktioner med humus- och fulvoföreningar.

Bäcktorv är ett material som geokemiskt domineras av humusämnen och som står i ständig kontakt med strömmande vatten. Den bör vara en naturlig kollektor för sådant guld som mobiliserats. I ett land som Sverige, där ej uppodlade markområden så gott som alltid har ett humusskikt på ytan finns goda förutsättningar för guld att mobiliseras till markvatten och grundvatten. Sådant vatten når förr eller senare en bäck, där bäcktorven uppfångar det mobiliserade guldet.

Silver, Ag

I berggrunden har silver ett geokemiskt uppträdande som liknar koppars, men genomsnittshalterna av spårelementbundet silver är generellt ca 1000 gånger lägre än av koppar i olika bergartstyper. Silver har ett utpräglat kalkofilt uppträdande och förekommer i kismineral i association med guld, antimon, arsenik, bly, zink, koppar och kvicksilver (19).

Vid vittringen bildar silver åtskilliga anjon- och katjonformer såsom Ag^+ , Ag^{2+} , AgO^+ , AgO^- , $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ och $\text{Ag}(\text{SO}_4)_2^{3-}$. Samtliga dessa förekomstformer har låg geokemisk mobilitet, men silvers mobi-

litet i mark- och grundvatten kan avsevärt ökas genom bildandet av vattenlösliga organiska föreningar, kolloider av olika oorganiska föreningar samt halogenkomplex. På grund av silvers starka tendens att bindas av humusämnen förekommer ofta förhöjda Ag-halter i humuslagren inom mineraliserade områden (20). En bidragande orsak till detta är sannolikt att silver har en relativt hög tendens att tas upp och ytanrikas av växter via rotsystemet.

Bäcktorv bör vara en god indikator på silverhalten i omgivande mark och berggrund, eftersom både humusmaterial, järn och manganutfällningar som levande rottrådar är Ag-absorbenter.

Kadmium, Cd

Kadmiumhalten i alla bergartstyper är låg. De flesta magmatiska bergarter håller under 0.2 ppm, kalkstenar 0.035 ppm, sandstenar 0.05 ppm och skiffrar 0.3 ppm. Normalhalten i ej kontaminerad mark är 0.1-0.5 ppm. Inom industrialiserade områden har betydligt högre kadmiumhalter uppmätts. Halter upp till 468 ppm i markens ytskikt har uppmätts i Storbritannien.

Kadmium bildar ytterst sällan egna mineral. Däremot ingår alltid kadmium som spårelement i sulfidmineral, framförallt i zink-, bly- och kopparsulfider. Man kan därför generellt säga att kadmiumhalten i mark och berggrund är förhöjd i kismineraliserade områden (t ex Bergslagen och Skelleftefältet).

Kadmium följer zink i det geokemiska kretsloppet men har högre löslighet än zink i sur miljö. Kadmium har därför en större tendens än zink att läcka till grundvattnet vid ett pH-intervall i marken av 4.5-5.5. Vid ett pH-värde större än 7.5 fastläggs kadmium i marken.

I likhet med zink har kadmium en mycket hög tendens att adsorberas av järn- och manganutfällningar, humusämnen samt lermineral. Kadmium anrikas också mycket lätt av växter, framförallt i rötterna, om ämnet finns löst i markvätskan (21), (22). Detta gör att kadmiummätningar i bäcktorv är en mycket god indikator på ämnets förekomst i berggrund, mark och grundvatten.

Kadmium avgår med rökgaserna från vissa metallindustrier (framför allt smältverk) och förbränningsanläggningar. Vidare ingår kadmium som spårelement (upp till 28 ppm kadmium) i vissa fosfatgödningsmedel. Försurning innebär sannolikt att en ökad mängd kadmium lakas från markens ytskikt och tillförs bäcktorven via mark- och grundvattnet. Det

är därför sannolikt att ovan nämnda antropogena faktorer påverkat de geokemiska mönstren i bäcktorv inom vissa områden i Sverige.

Kvicksilver, Hg

Berggrundens genomsnittliga kvicksilverinnehåll i Sverige har kartlagts i en regionalt upplagd undersökning omfattande ca 1800 bergartsprover. Dessa representerar större delen av Sveriges berggrund (23). Undersökningen visade följande:

- Såväl sedimentära som magmatiska och metamorfa bergarter utmärks av låga kvicksilverhalter, som regel under 10 ppb Hg. Endast kambrisk alunskiffer har hög medelhalt (234 ppb).
- Medelvärdet för berggrundens kvicksilverfördelning varierar länsvis mellan 1.8 och 5.8 ppb (vägt medelvärde). Lägsta värdet har Hallands län och högsta Kristianstads län. Medelvärdet för hela landet är 3.9 ppb.
- Sulfidmalmsområdena i Sverige (Bergslagen och Skelleftefältet) har högre halter. De mellansvenska sulfidmalmen innehåller maximalt 5000 ppb och malmen i Skelleftefältet maximalt 220 000 ppb Hg.

Kvicksilvers löslighet är låg i grundvattnet och halterna överstiger sällan 1 ppb. De i naturen vanligast förekommande kvicksilverformerna är elementärt kvicksilver (Hg^0) samt katjon- och anjonkomplex med Cl^- , OH^- , S^{2-} . Dessa kvicksilverformer bildar i marken relativt starka bindningar med humusämnen (24), (25). Detta innebär att kvicksilvret är relativt hårt bundet i bäcktorv. Man måste dock vara medveten om att elementärt kvicksilver är flyktigt och därigenom har ett utbyte med atmosfären främst betingat av temperaturväxlingar. Vid metylering ökar kvicksilvers flyktighet och vattenlöslighet avsevärt, och denna process kan ske både mikrobiellt och abiotiskt.

De många olika förekomstformerna av kvicksilver gör att metallens exogena geokemiska kretslopp är mycket komplext och därmed svårt att kartlägga. Man måste också vara medveten om att mycket stor del (globalt c:a 50%) av det kvicksilver som är i omlopp i systemet atmosfär-mark-vatten är av antropogent ursprung. Antropogent kvicksilver frigörs till atmosfären från t ex förbränningsanläggningar och metallindustrier. Naturligt kvicksilver frigörs genom avdunstning från havet samt vid vulkanutbrott. I båda fallen sprids kvicksilvret lokalt eller regionalt samt deponeras som torr- eller våtdeposition (26).

Av ovan nämnda orsaker är det sannolikt att kvicksilver i bäcktorv endast till en del avspeglar naturliga halter i mark och berggrund. En mycket stor del av variationen är sannolikt betingad av olika antropogena faktorer, samt av kvicksilvers olika förekomstformer och därmed varierande geokemiska mobilitet.

Selen, Se

Selenhalten i olika magmatiska bergartstyper är låg, som regel under 0.1 ppm Se. I vissa sedimentära bergarter, t ex alunskiffrar kan halten vara högre, upp till 0.9 ppm. Vidare kan selenhalten vara något förhöjd i kismineraliserad berggrund, eftersom selen är associerat med svavel i kismineralen. I lösa avlagringar som avsatts i havet, t ex marina leror, är selenhalten något förhöjd jämfört med terrestriskt bildade jordarter.

Som helhet kan dock fastslås, att vid en internationell jämförelse är urbergsområdena i Sverige utpräglade selenbristområden. Detta är allvarligt, eftersom selen är ett livsnödvändigt mikronäringsämne för alla djur inklusive människan (27).

I alkalint grundvatten går selen lätt i lösning och kan med detta transporteras som SeO_4^{2-} . När grundvattnet övergår till ytvatten i bäckarna, fixeras SeO_4^{2-} -jonerna av humusämnen och limonit samt fastläggs i form av svårslösliga selenider och selensulfider. I försurade jordar minskar selenföreningarnas löslighet avsevärt, och de tenderar att anrikas i markens ytskikt (humuslagret) i för växter och djur otillgängliga former.

REFERENSER

1. Wedepol, K.H., Ed. Handbook of Geochemistry. 1969 - Present. Springer Verlag, Berlin. (Several editions).
2. Kabata - Pendias, A., and Pendias, H., 1984. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press Inc. Boca Raton, Florida, USA.
3. Rose, A.W., et al. 1979. Geochemistry in Mineral Exploration. Academic Press.
4. Norrish, K., 1975. The geochemistry and mineralogy of trace elements. In Trace Elements in Soil- Plant- Animal Systems. Nicholaus, D.J.D., and Egon, A.R., Eds. Academic Press. New York.
5. Mc Kenzie, R.M., 1975. The mineralogy and chemistry of soil cobalt. In Trace Elements in Soil- Plant- Animal Systems. Nicholaus, D.J.D., and Egon, A.R., Eds. Academic Press. New York.
6. Barlett, R.J., and James, B., 1979. Behaviour of chromium in soils. III. Oxidation. J. Environmental Qual., 8, 31.
7. El-Bassam, N., Poelstra, P., and Fisher, M.J., 1975. Chrom und Quecksilber in einem seit 80 Jahren mit städtischer Abwasser bereiserten Boden. Z. Pflanzenernaehr. Boden Kd. 3, 309.
8. Hodgson, J.E., Geering, H.R., and Norvall, W.A., 1965 - 1966. Micronutrient cation complexes in soil solution. Soil. Sci. Soc. Am. Proc., I. 29, 665, 1965. II. 30, 723, 1966.
9. Mengel, K., and Kirby, E.A., 1978. Principles of Plant Nutrition. International Potash. Institute. Worblaufen-Bern. 593.
10. Tyler, G., 1975. Effect of Heavy Metal Pollution on Decomposition in Forest Soil. SNV/PM, Lund University. Sweden. 47.
11. Tyler, G., 1976. Heavy metal pollution, phosphatase activity and mineralization of organic phosphorous in forest soil. Soil Biol. Biochem., 8, 327.
12. Ek, J., 1981. Bearbetning av uranhaltsmätningar i vatten och bäcktorv från bäckar i Sverige. SKBF/KBS TR 81-11.
13. Wilson, M.R., and Akerblom, G., 1980. Uranium enriched granites in Sweden. SGU. Rapporter och meddelanden nr 19.
14. Tyler, G., 1978. Leaching rates of heavy metal ions in forest soil. Water Air Soil Pollut., 9, 137.
15. Tyler, G., 1981. Leaching of metals from the A. horizon of a spruce forest soil. Water Air Soil Pollut., 15, 353.

16. Boyle, R.W., Alexander, W.M. and Aslin, G.E.M., 1975. Some observations on the solubility of gold. *Geol. Surv. Can. Pap.* 75, 24.
17. Ong, H.L., and Swanson, V.E., 1969. Natural organic acids in the transportation, deposition and concentration of gold. *Colo. Sch. Mines, Q.* v64. No 1, P 395-425.
18. Fisher, E.I., et al. 1974. Nature of the interaction of natural organic acids with gold. *Sov. Geol.* No 7. p 142-146 (chem Abstr. v. 82. 19513 g).
19. Boyle, R.W., 1968. The geochemistry of silver and its deposits. *Geol. Surv. Can. Bull.* 160, 264.
20. Boyle, R.W., et al 1968. Research in geochemical prospecting methods for native silver deposits, cobalt area, Ontario, 1966. *Geol. Surv. Can. Paper* 67 - 35.
21. Forbes, E.A., Posner, A.M., and Quink, J.P., 1976. The specific adsorption of divalent Cd, Co, Cu, Pb and Zn on goethite. *J. Soil Sei.* 27. 154.
22. Street, J.J., Lindsay, W.L., and Sabey, B.R., 1977. Solubility and plant uptake of cadmium in soils amended with cadmium and sea-wage sludge. *J. Environ. Qual.*, 6. 72.
23. Henriques, Å., 1969, 1970, 1971. Rapportert till Statens Naturvårdsverk.
24. Jonasson, I.R., 1970. Mercury in the environment: a review of recent work. *Geol. Bull. Can.* 70/73, 37.
25. Landa, E.R., 1978. The retention of metallic mercury vapor by soils. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 42, 1407.
26. Lindqvist, O., et al. 1984. Mercury in the Swedish Environment. Global and Local Sources. SNV PM 1816.
27. Allaway, W.H., 1968. Control of the environmental levels of selenium. In *Trace Subst. Environ. Health. Vol. 2.* Hemphill, D.D. Ed. Univ. of Missouri, Columbia. 181.

I SGU:s serie Rapporter och meddelanden har tidigare utgivits:

- *1. Utredning rörande det svenska jordbrukets kalkförsörjning 1–2. 1931.
- *2. **Sahlström, K. E.** Sveriges lodade sjöar. 1945.
- *3. **Ödman, O. H.** Rapport över manganmalmsletningen i Jokkmokks socken 1940–48.
4. **Stålhös, G.** Bidrag till kännedomen om den radioaktiva strålningens fördelning inom den svenska berggrunden. 1959.
5. **Johansson, H. G., och Ericsson, B.** Grusutredningen -74. Översiktlig inventering av sand- och grusförekomster – Försöksverksamhet. 1976.
- *6. **Knutsson, G., m fl.** Grustillgångarna i Östersundsområdet. Del 1 inventering. 1976.
- *7. **Ericsson, B.** Svallgrustillgångar längs Kilsbergen, Örebro län. 1977.
8. **Gustafsson, O., och De Geer, J.** Skånes större grundvattentillgångar. 1977.
9. **Knutsson, G., och Fagerlind, T.** Grundvattentillgångar i Sverige. 1977.
10. **Modig, S., Knutsson, G., Nordberg, L., och Persson, G.** Särtryck ur Ymer 1978 – Bebyggelsen och vattnet. 1978.
11. **Guy-Ohlson, D.** Jurassic biostratigraphy of three borings in NW Scania. (A brief palynological report.) 1978.
12. **Gustafsson, O., Andersson, J.-E., och De Geer, J.** Sammanställning av hydrogeologiska data från Kristianstadssläätten. 1979.
13. **Hörnsten, Å.** Sand och övriga jordarter i Öresund. Kommentar till SGU:s maringeologiska karta över Öresund. (Under tryckning.)
- *14. Hydrogeologi vid SGU. Särutgåva av Vannet i Norden. 1979.
15. **Knutsson, G., Lindén, A., och Rudmark, L.** Grus och moräntillgångar i Nybroregionen. 1979.
16. **Wilson, M. R., och Sundin, N. O.** Isotopic age determinations on rocks and minerals from Sweden. 1960–1978.
17. **Karlqvist, L., och Qvarfort, U.** Modell för simulering av utbytesförlopp i ett sand – betonitskikt. 1980.
18. **Karlqvist, L., och Qvarfort, U.** Gruvhanterings inverkan på Bersboområdet, Åtvidabergs kommun. 1980.
19. **Wilson, M. R., och Åkerblom, G.** Uranium enriched granites in Sweden. 1980.
20. **Cato, I., och Engdahl, M.** Beskrivning till temakartor utvisande var särskild uppmärksamhet av stabilitetsförhållanden erfordras inom vissa bebyggda eller detaljplanerade områden med lerjord.
21. **Olsson, T.** Ground-water-level fluctuations as a measure of the effective porosity and ground-water recharge. 1980.
22. **Bergström, J., och Shaikh, N.A.** Malmer, industriella mineral och bergarter i Kristianstads län. Projekt i länsplanering 1980. 1980.
23. **Lilja, A.** Störning av berggrundens temperaturförhållanden vid hammarborrning. 1981.
24. **Agrell, H.** Gotska Sandöns kvartärgeologi. (Summary: The Quaternary geology of the island of Gotska Sandön in the Baltic.) 1981.
25. **Laufeld, S., (Ed.)**. Proceedings of Project Ecostratigraphy Plenary Meeting, Gotland, 1981. 1981.
26. **Fredén, C., m fl.** Tuveskredet, 1977-11-30. Geologiska undersökningar. Särtryck av SGI Rapp. 11 B. 1981.
27. SWIM 81. Intruded and relict groundwater of marine origin. Proceedings of Seventh Salt Water Intrusion Meeting, Uppsala, Sweden, 14–17 September 1981. 1981.
28. **Aastrup, M., Aneblom, T., Henriksson, B., och Persson, G.** PMK-grundvatten. Lägesrapport mars 1982. 1982.
29. Energigeologi. Exempel på verksamhet inom energisektorn vid SGU. April 1982.
30. **Åkerblom, G., and Wilson, C.** Radon – geological aspects of an environmental problem. 1982.

31. **Bergström, J., och Shaikh, N. A.** Malmer, industriella mineral och bergarter i Malmöhus län. 1982.
32. **Ericsson, B., och Grånäs, K.** SGU:s grusdataarkiv. 1983.
33. **Sivhed, U.** Upper Cretaceous Ostracodes from the Malen Limestone quarry and the river Stensån, southern Sweden. 1983.
34. Berggrundsgeokemi som prospekteringsmetod i Sveriges urberg. Föredrag och inlägg från ett symposium i Uppsala den 17–18 mars 1983 anordnat av Sveriges geologiska undersökning och Svenska Gruvföreningen. O. Selinus (Red.). 1983.
35. Vanadin. 1984.
37. **Andersson, M., och Ohlsson, S.-Å.** Geokemisk kartering. 1984.
38. **Lundqvist, Th.** Färg- och teckenschema för SGU:s berggrundskartering. 1984.
39. **Lindewald, H.** Salt grundvatten i Sverige. 1985.
40. **Guy-Ohlson, D., och Malmquist, E.** Lower Jurassic biostratigraphy of the Opegård Bore No. 1, NW Scania, Sweden. 1985.
41. **Andersson, M.** Geokemisk kartering. Tungmineralanrikad morän. Kartbladen 15–16, C–D och 16–17, G. 1985.

*Utgången

Singelementkartor av cirkelmodell i skala 1:250 000 kan köpas separat. Ett element (2 kartor) prisklass B.

Arsenik	ISBN 91-7158-339-4 A
Bly	ISBN 91-7158-339-4 B
Kobolt	ISBN 91-7158-339-4 C
Koppar	ISBN 91-7158-339-4 D
Krom	ISBN 91-7158-339-4 E
Molybden	ISBN 91-7158-339-4 F
Nickel	ISBN 91-7158-339-4 G
Uran	ISBN 91-7158-339-4 H
Zink	ISBN 91-7158-339-4 I
Guld	ISBN 91-7158-339-4 K
Kadmium	ISBN 91-7158-339-4 L
Kvicksilver	ISBN 91-7158-339-4 M
Selen	ISBN 91-7158-339-4 N
Silver	ISBN 91-7158-339-4 O

Distribution
LIBER DISTRIBUTION
162 89 STOCKHOLM
Telefon 08-739 91 30

Prisklass B