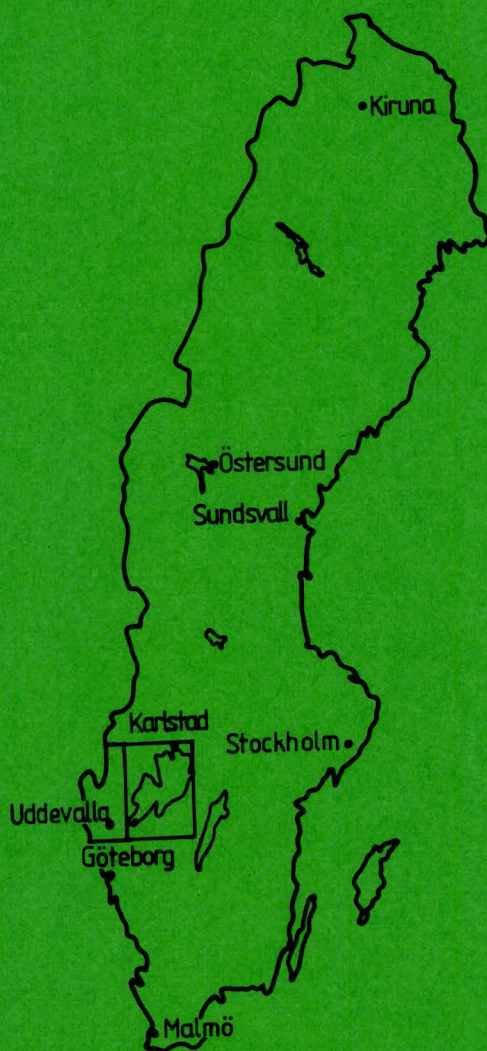




Biogeokemiska kartan

Tungmetaller i bäckvattenväxter



Biogeokemiska kartor i skala
1:1 miljon över området

8-10, A-D

Arsenik	As	Molybden	Mo
Bly	Pb	Nickel	Ni
Kadmium	Cd	Selen	Se
Kobolt	Co	Uran	U
Koppar	Cu	Vanadin	V
Krom	Cr	Volfram	W
Kviksilver	Hg	Zink	Zn

Harald Ressar, Lena Ekelund och
Sten-Åke Ohlsson

Uppsala 1990

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING

Rapporter och meddelanden nr 63

Biogeokemiska kartan

Tungmetaller i bäckvattenväxter

Harald Ressar, Lena Ekelund och
Sten-Åke Ohlsson

Uppsala 1990

ISBN 91-7158-483-8

ISSN 0349-2176

Innehållsförteckning

Geokemisk kartering vid SGU	4
Provmaterialet bäckvattenväxter	4
Provberedning och analysering	5
Databearbetning och kartframställning	6
Utgivningsplan för de biogeokemiska kartorna	9
Biogeokemiska färgkartor 1:1 miljon för 14 element	10
Biogeokemiska kartprodukter	25
Användningen av de biogeokemiska kartorna	25
Kommentarer till biogeokemiska kartan 8–10, A–D	27
Referenser	31

Föreliggande rapport utgör en delpresentation av den rikstäckande biogeokemiska kartering som påbörjades 1982.

GEOKEMISK KARTERING VID SGU

Den geokemiska karteringen av Sverige bedrivs i syfte att visa fördelningen av kemiska huvudämnen och spårelement i mark och vatten. Vid kartläggningen används i huvudsak två typer av provmaterial för att åskådliggöra detta.

Den ena är bäckvattenväxter, som visar metallupptagningen i växt-rötter och vattenlevande mossor och som återspeglar den genomsnittliga kemiska sammansättningen hos grundvattnet. Utgivningsplan över dessa biogeokemiska kartor visas på sidan 9.

Den andra är moränmaterial från C-horisonten, som återspeglar markens naturliga kemiska sammansättning. De första sådana markgeokemiska kartor utgavs 1988 över delar av mellersta Norrland.

Som komplement till de befintliga berggrundskartorna och för att underlätta tolkningen av de geokemiska kartorna, utförs spårelementanalyser av dominerande bergarter. SGU:s geokemiska enhet har även ett antal fasta referensstationer utplacerade i landet, där kemiska förändringar i miljön registreras.

Den biogeokemiska kartläggningen av hela landet beräknas med nuvarande resurser vara genomförd om ca 15 år.

PROVMATERIALET BÄCKVATTENVÄXTER

Biogeokemiska provtagningar av organiskt material i mindre vattendrag påbörjades i slutet av 1960-talet. Man startade i övre Norrland med syfte att spåra malmförekomster. Sedan dess har provtagningsmetoden utvecklats och förfinats till dagens provmaterial, bäckvattenväxter.

Ett prov av bäckvattenväxter består huvudsakligen av vattenlevande mossor, t.ex. näckmossa och av växtrötter, framför allt av gräs, halvgräs, tåg och älgört. Provsammansättningen har valts så att växterna i stort uppvisar samma upptagningsförmåga och är allmänt förekommande i landet. Till skillnad från minerogena bäcksedimentprover indikerar bäckvattenväxter på ett bättre sätt utsläpp av föroreningar. En annan viktig fördel med ett levande provmaterial, en s.k. bioindikator, är att resultaten visar den biotillgängliga metallhalten i grundvattnet.

Proverna tas i mindre vattendrag som till största delen består av grundvatten. Den kemiska sammansättningen hos detta vatten beror på en naturlig påverkan av mineralsammansättningen hos omgivande berggrund och lösa avlagringar samt på antropogena aktiviteter såsom utsläpp och nedfall av kemiska ämnen. Växter i och vid vattendragen får sin näring från det förbibrinnande vattnet. Utbytet av kemiska ämnen, t.ex. tungmetaller, mellan vattnet och växtrötterna är en

långsam process där inverkan av t.ex. årstidsvariationer är av underordnad betydelse. Metallhalterna i varje prov representerar härigenom vattendragets genomsnittliga metallhalt och avspeglar indirekt grundvattnets metallinnehåll och kvalitet.

En naturlig anrikning av tungmetaller sker vid utfällning och upptag av järn och mangan i växtmaterialet. Halterna av järn och mangan är inte direkt betingad av den geologiska miljön utan av pH-Eh-förhållanden i vattnet. För en geologisk tolkning av de geokemiska mönstren måste denna typ av variation av tungmetallerna korrigeras. Vidare måste hänsyn tas till den organiska halten för att man skall få en acceptabel jämförelse mellan proverna.

Varje provpunkt representerar ett relativt stort dräneringsområde. Provpunkterna har valts så att var och en av dem avspeglar tillförsel av metaller från en yta motsvarande 5–7 km². Den lokala kemiska variationen minimeras genom att material från en kortare sträcka längs bäcken blandas till ett s.k. kompositprov. Provet rensas och sköljs noggrant i fält för att undvika inblandning av mineraljord.

Utvärdering pågår för att utröna bäckvattenväxternas förmåga att återspegla förhöjda halter av klorerade miljögifter. Senare kommer också upptagningsförmågan av olika slags bekämpningsmedel att utvärderas.

PROVBEREDNING OCH ANALYSERING

Bäckvattenväxterna torkas vid 105° C, vägs, inaskas vid 450° C under 12 timmar och vägs på nytt. Viktskillnaden används för beräkning av provets organiska halt. Provdelen som analyseras på kvicksilver och selen torkas endast vid rumstemperatur. Efter homogeniseringsmalning går proverna till analys.

Alla prover analyseras med röntgenfluorescens (XRF) på ett 30-tal element. För vart femte prov bestäms dessutom halterna av kadmium, kvicksilver och selen med atomabsorption (AA). I tabell 1 nedan anges analyserade ämnen och lägsta detekterbara halt.

En omfattande kvalitetskontroll är nödvändig vid hantering av stora mängder av analysresultat. I det fortlöpande analysarbetet finns kontrollprover inlagda, för att resultaten skall bli helt jämförbara.

Tabell 1. Analyserade huvudämnen och spårelement samt lägsta detekterbara halt.

XRF –	Al ₂ O ₃	0.05	%	As	10 ppm	Rb	10 ppm
	BaO	0.005	%	Cl	50 ppm	S	50 ppm
	CaO	0.01	%	Co	5 ppm	Sr	10 ppm
	Fe ₂ O ₃	0.01	%	Cr	5 ppm	U	5 ppm
	K ₂ O	0.01	%	Cu	5 ppm	V	10 ppm
	MgO	0.02	%	Mo	5 ppm	W	5 ppm
	MnO	0.005	%	Nb	10 ppm	Y	10 ppm
	Na ₂ O	0.03	%	Ni	5 ppm	Zn	5 ppm
	P ₂ O ₅	0.005	%	Pb	10 ppm	Zr	20 ppm
	SiO ₂	0.05	%				
	TiO ₂	0.005	%				
	AA –	Cd	0.2	ppm	Hg	0.025 ppm	Se

DATABEARBETNING OCH KARTFRAMSTÄLLNING

Sedan analyser, organiska halter och lägeskoordinater för proverna lagrats i databanker vidtar en omfattande databehandling. Varje prov ger en ansevärd mängd information, bl.a. analysresultat av 32 olika ämnen, som skall genomgå statistiska och matematiska beräkningar.

Som tidigare nämnts, har utfällningar som järn- och manganhydroxider samt den organiska halten en direkt inverkan på halten av olika tungmetaller i proverna. För att få analysresultaten (råvärdena) jämförbara, korrigeras de för ovan nämnda naturliga anrikningsfaktorer med hjälp av multipel stegvis regression.

Rutinmässigt framställs haltkartor av cirkelmodell i skala 1:250 000 och färgkartor i skala 1:1 miljon för 14 element.

Cirkelkartorna visar provpunkternas geografiska läge med angiven halt intill i ppm. På dessa kartor har de 40% högsta analysvärdena enligt percentilberäkning markerats med cirkelsymbol i ökande storlek ju högre elementhalt som uppmätts.

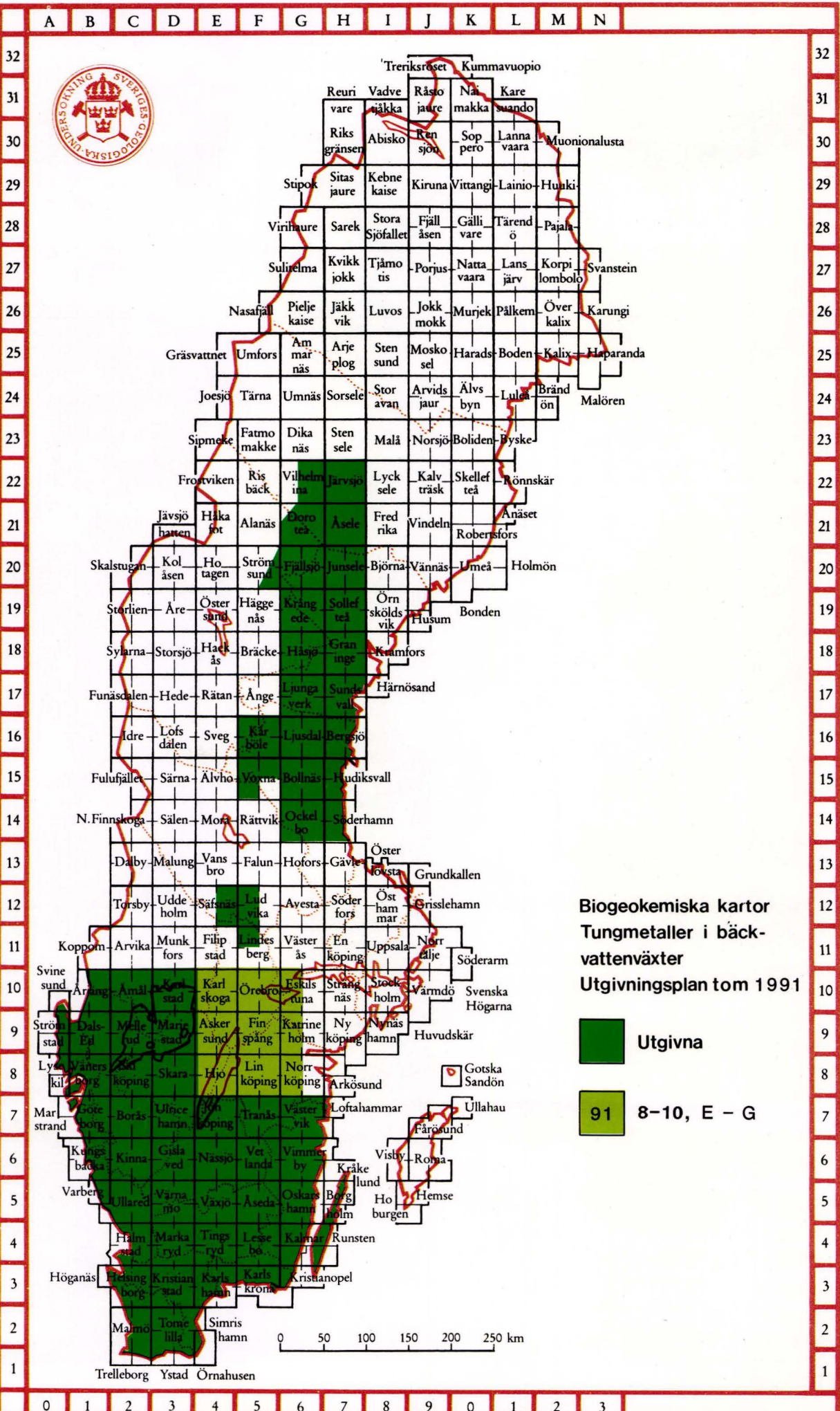
De färgkartor i skala 1:1 miljon som redovisas i rapporten ger en övergripande bild av områden med såväl höga som låga värden. Vid framställningen av färgkartorna används ett UNIRAS-relaterat dataprogram, som räknar om de geografiskt oregelbundet placerade provpunkternas analysvärden till ett regelbundet punktnät med interpolerade värden. Färgklassernas indelning är även här gjord med percentilberäkning, men den har utförts på punktnätets interpolerade värden.

Haltfördelningarna på kartorna är baserade på ett analysunderlag från drygt 17 000 prover och omfattar i stort alla tidigare karterade områden. I tabell 2 nedan, anges percentilvärden för analyserna från årets utgivning och från den hela karterade arealen t.o.m. 1987 benämnd "Riket".



Inom den redovisade kartan har 2514 prover tagits vilket ger en provtäthet på 1 prov per 7 km². Vart femte prov har analyserats på elementen kadmium, kvicksilver och selen.

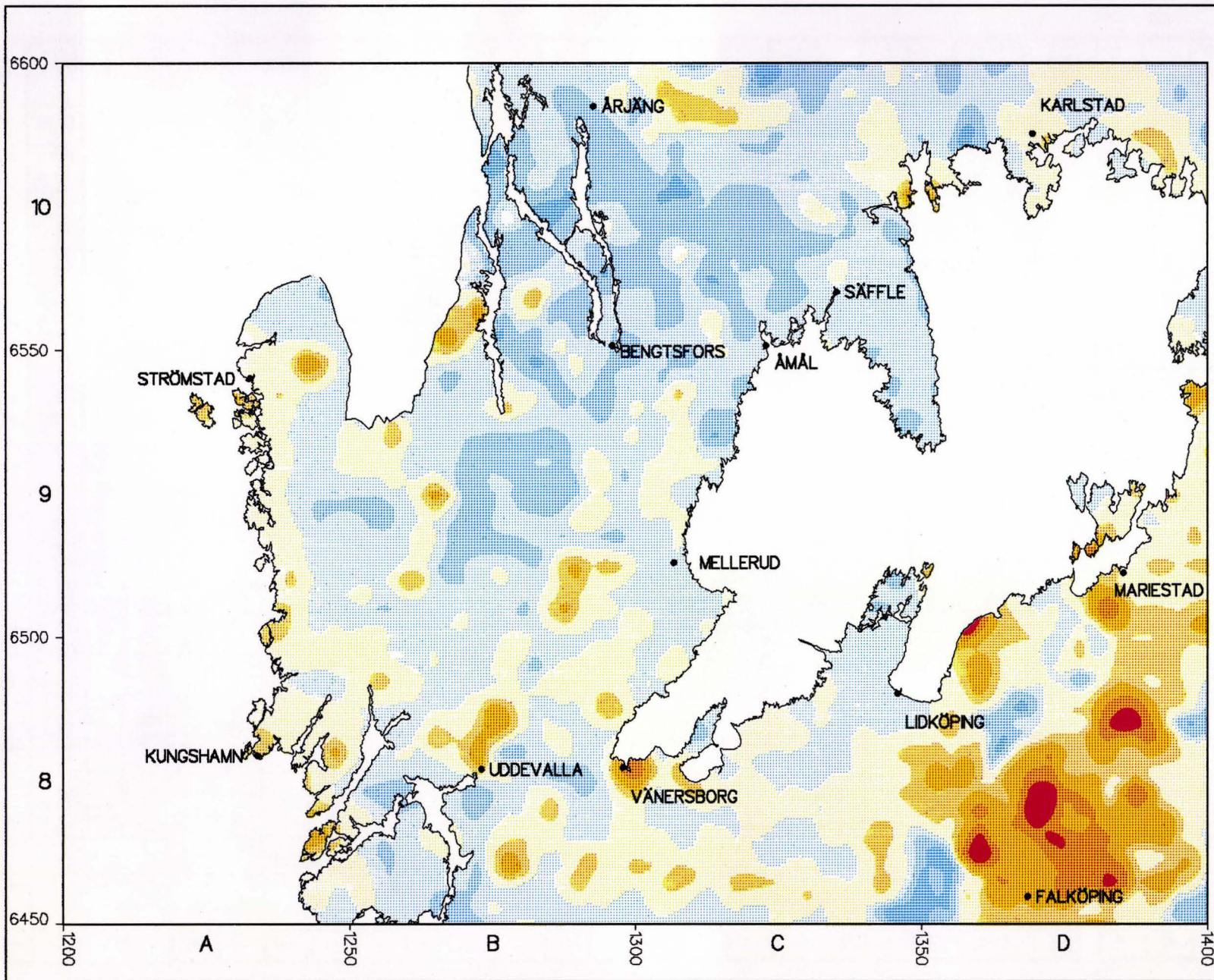
Tabell 2. Percentiler i ppm för respektive område och element. Området RIKET är den karterade arealen t.o.m. 1987 inom kartbladen 1-7, A-H och 14-22, F-H.

Elem- ent	Område	Antal analyser	Percentiler										
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	99
As	8-10, A-D	2514	<10	13	17	20	22	26	32	40	60	89	196
	RIKET	17487	<10	11	16	20	25	31	40	58	113	213	703
Cd		440	0.10	0.98	1.8	2.3	3.0	3.8	5.3	7.3	16	26	42
		2893	0.71	1.6	2.1	2.5	2.9	3.3	4.1	5.6	8.9	17	53
Co		2514	40	49	54	60	68	78	99	139	226	377	884
		17487	24	40	49	54	59	65	77	99	156	258	512
Cu		2514	28	35	41	46	52	60	70	84	108	137	233
		17487	29	35	40	44	48	54	62	77	102	132	252
Cr		2514	25	30	33	36	39	42	46	51	59	70	162
		17487	23	29	33	38	42	47	53	60	72	88	128
Hg		440	0.007	0.018	0.025	0.032	0.039	0.050	0.059	0.070	0.095	0.129	0.174
		2897	0.036	0.048	0.058	0.066	0.073	0.083	0.094	0.111	0.131	0.154	0.209
Mo		2514	<5	<5	5	6	7	8	11	14	23	41	131
		17487	<5	<5	5	6	8	10	13	17	29	43	87
Ni		2514	18	23	27	31	36	41	48	60	83	117	279
		17487	16	21	25	29	33	39	47	59	84	118	256
Pb		2514	<10	26	39	51	63	80	108	167	312	491	1012
		17487	30	46	57	67	77	90	106	141	219	325	699
Se		440	0.14	0.18	0.21	0.25	0.28	0.31	0.36	0.43	0.60	0.76	1.50
		2895	0.21	0.28	0.34	0.39	0.46	0.54	0.64	0.78	1.08	1.47	3.25
U		2514	<5	<5	<5	<5	5	8	12	19	34	52	125
		17487	<5	<5	<5	6	8	11	14	22	38	62	154
V		2514	68	84	94	103	113	122	133	148	179	219	333
		17487	67	80	90	99	108	118	131	148	185	242	413
W		2514	<5	<5	<5	<5	6	7	9	11	14	19	34
		17487	<5	<5	<5	5	6	7	9	11	15	19	34
Zn		2514	130	204	247	288	344	415	518	694	1116	1637	3308
		17487	112	179	221	251	280	322	398	528	819	1254	3259



Biogeokemiska kartor
Tungmetaller i bäckvattenväxter
Utgivningsplan tom 1991

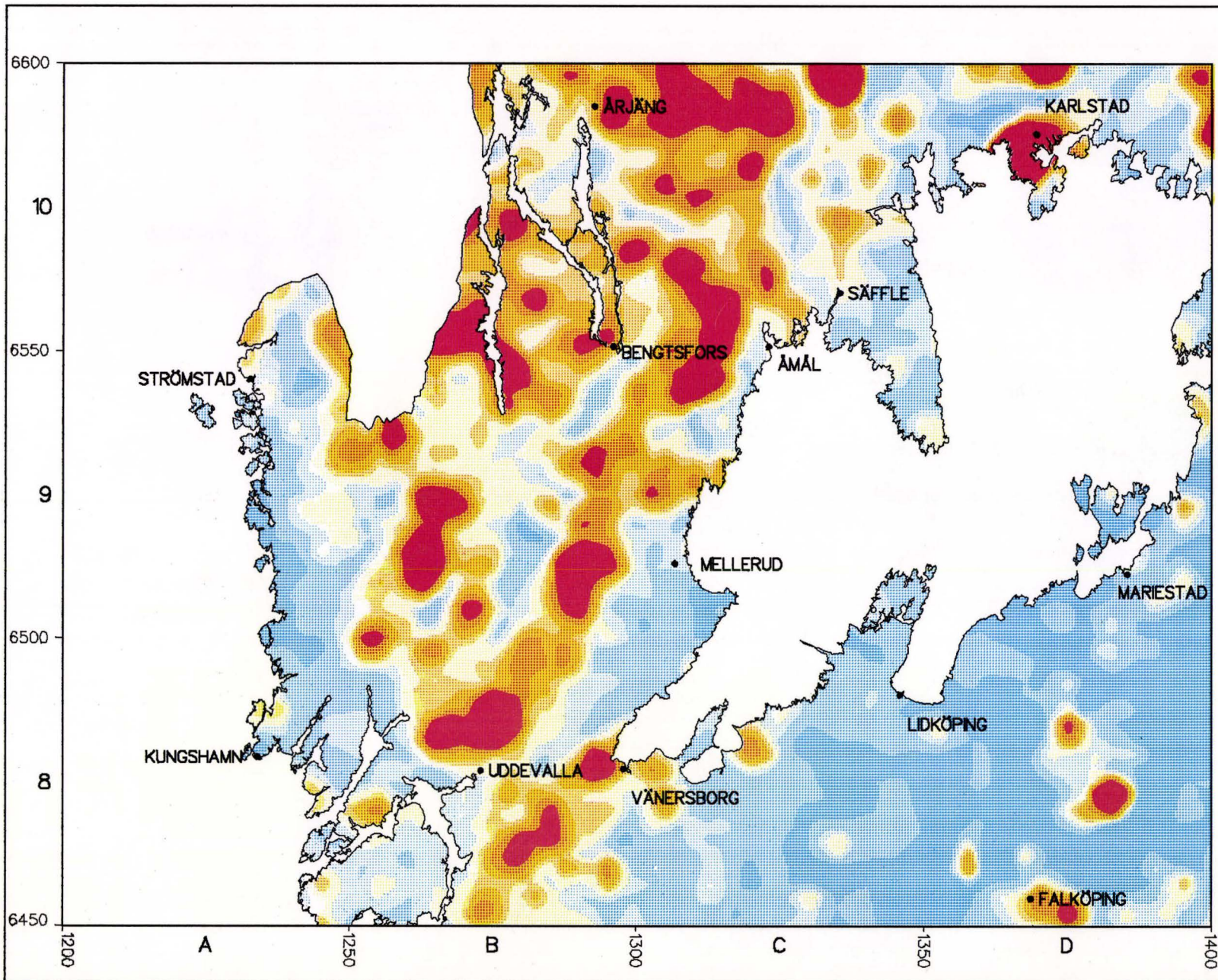
-  Utgivna
-  91 8-10, E - G



Biogeokemisk karta
 skala 1:1 miljon
Arsenik (As)
 i bäckvattenväxter, 2514 prov

Kartans färger motsvarar halter i ppm.
 Halternas klassindelning (enligt perc-
 entiler) gäller för hela landet.

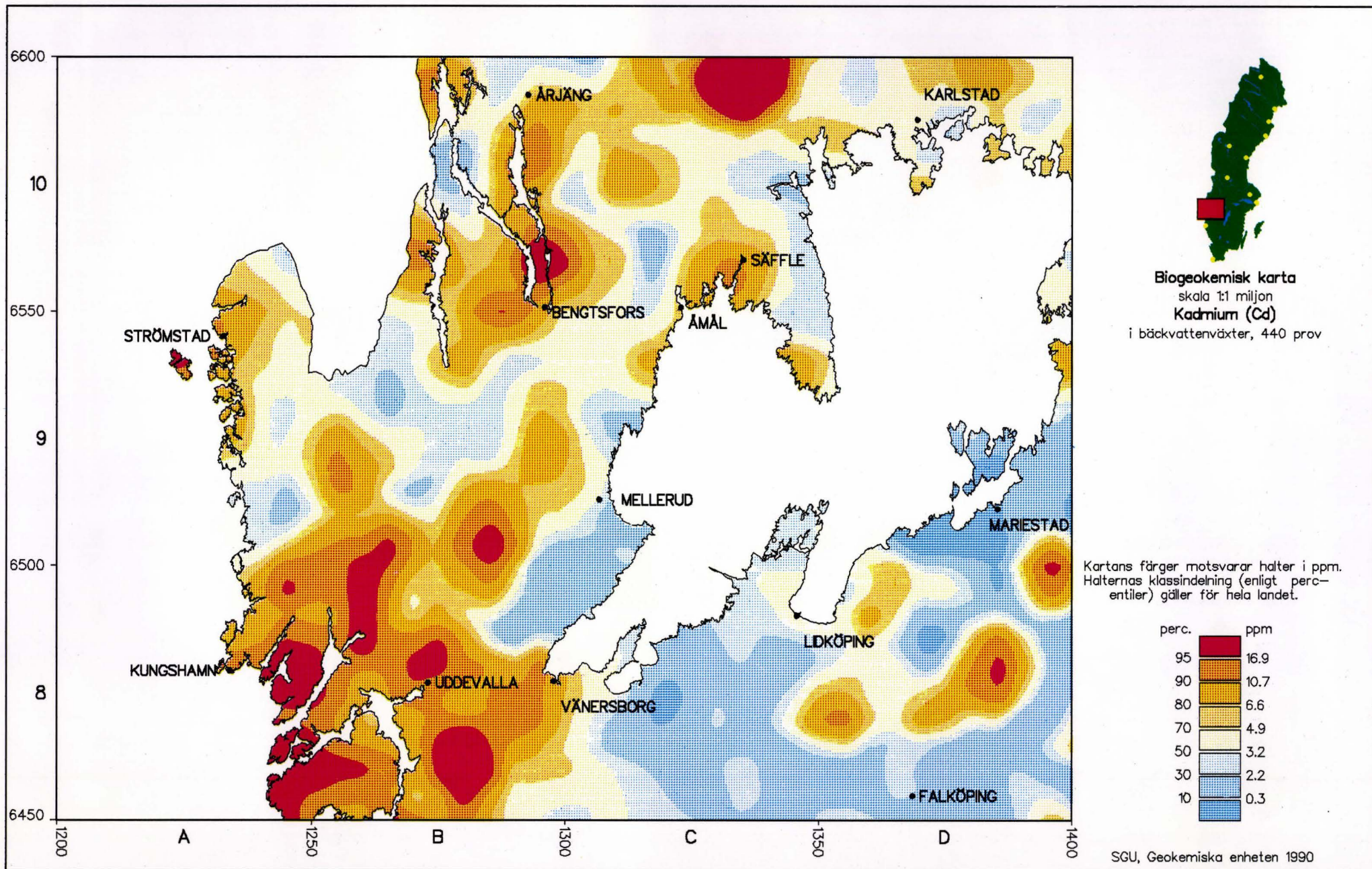
perc.	ppm
95	205
90	122
80	68
70	46
50	27
30	16
10	4

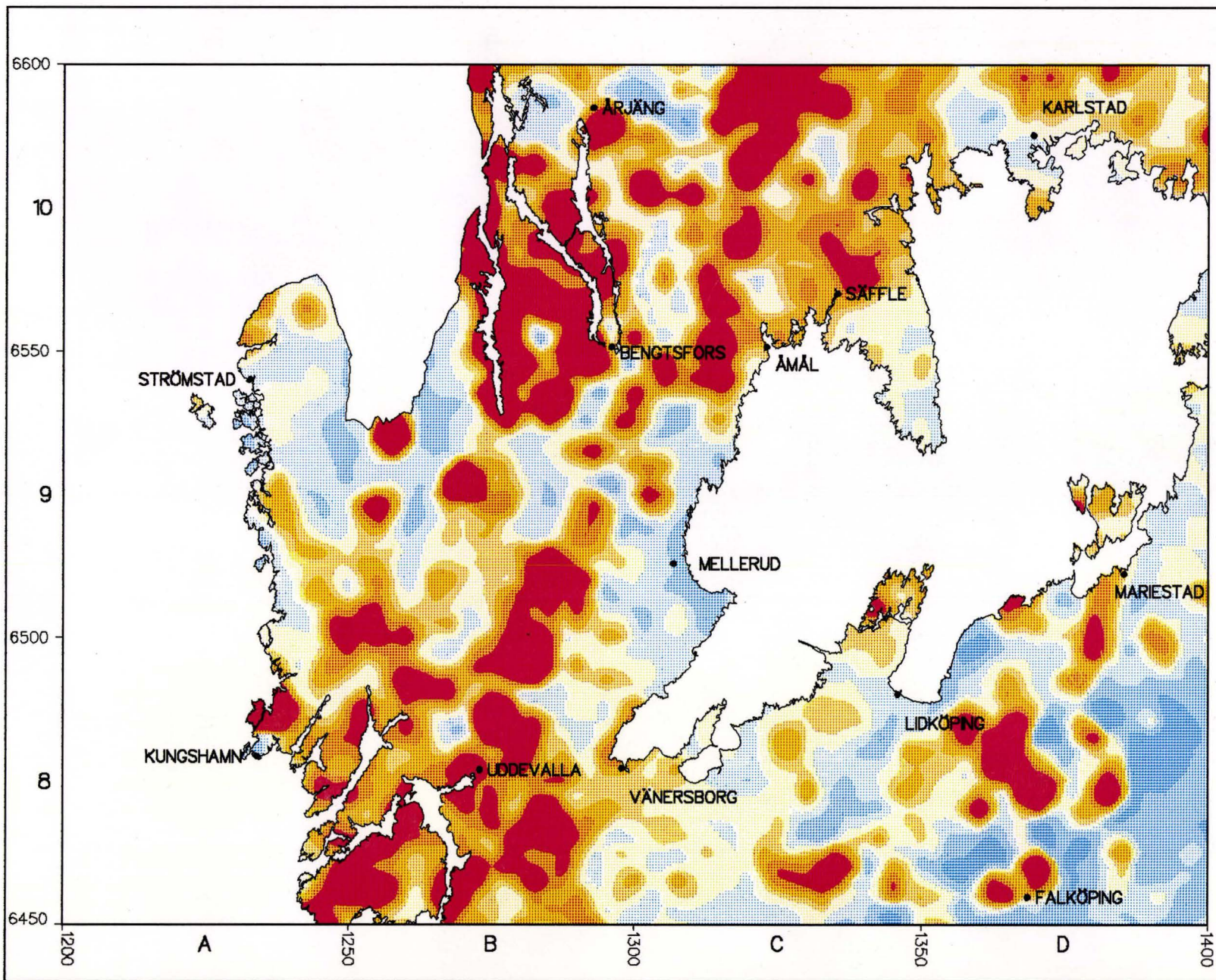


Biogeokemisk karta
 skala 1:1 miljon
 Bly (Pb)
 i bäckvattenväxter, 2514 prov

Kartans färger motsvarar halter i ppm.
 Halternas klassindelning (enligt perc-
 entiler) gäller för hela landet.

perc.	ppm
95	333
90	242
80	170
70	132
50	90
30	65
10	32

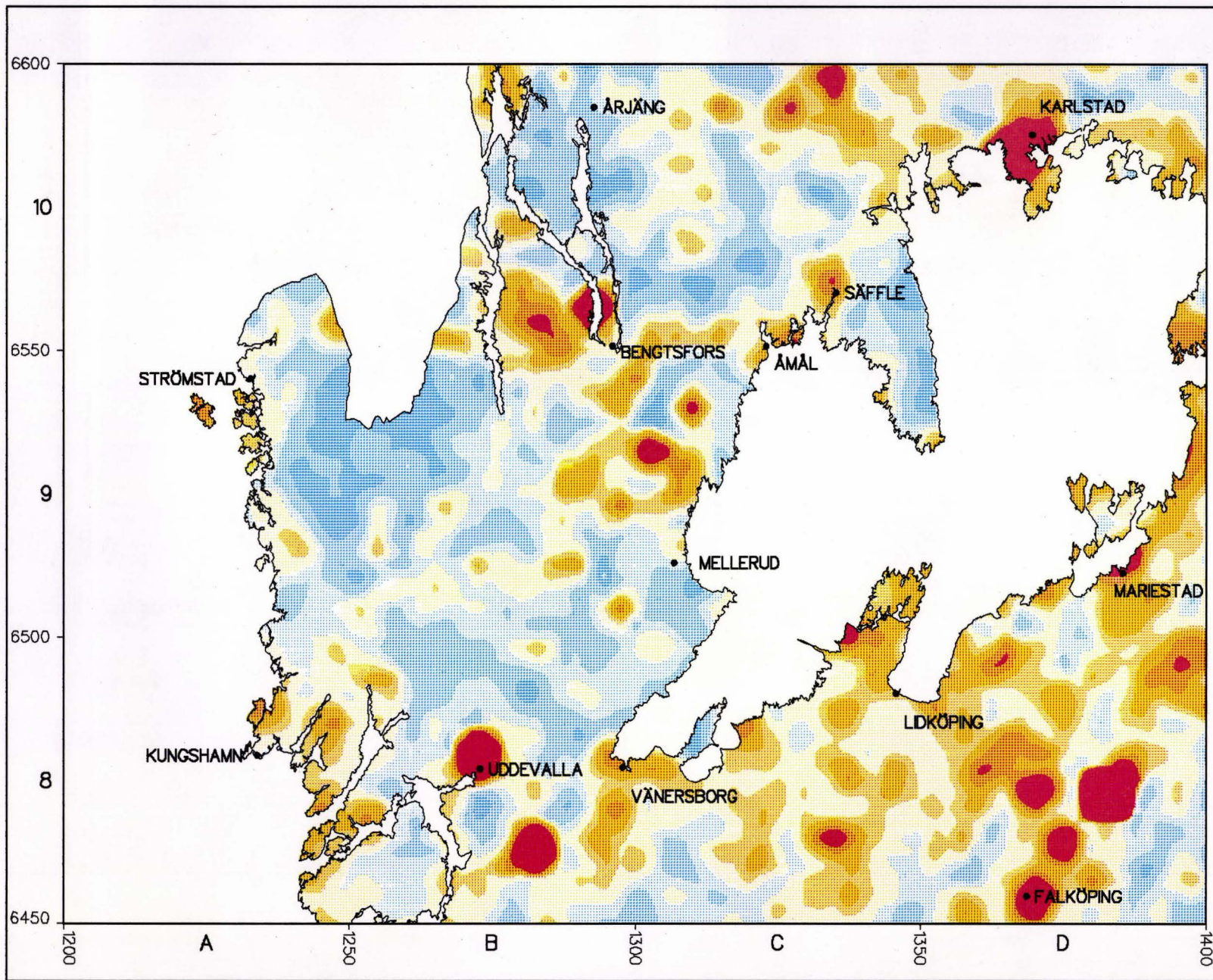




Biogeokemisk karta
 skala 1:1 miljon
Kobolt (Co)
 i bäckvattenväxter, 2514 prov

Kartans färger motsvarar halter i ppm. Halternas klassindelning (enligt procentiler) gäller för hela landet.

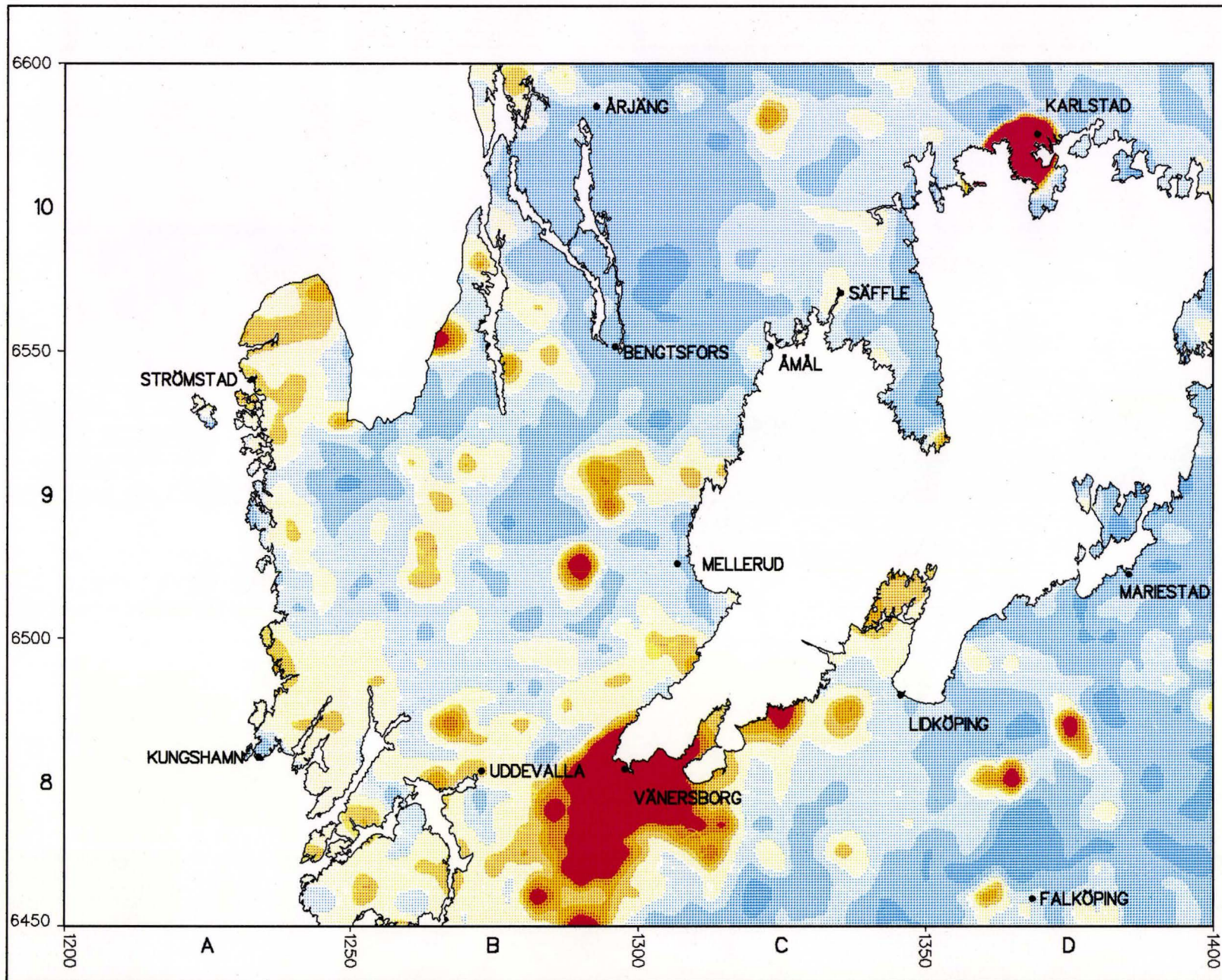
perc.	ppm
95	175
90	138
80	106
70	88
50	69
30	53
10	27



Biogeokemisk karta
 skala 1:1 miljon
 Koppar (Cu)
 i bäckvattenväxter, 2514 prov

Kartans färger motsvarar halter i ppm. Halternas klassindelning (enligt perc-entiler) gäller för hela landet.

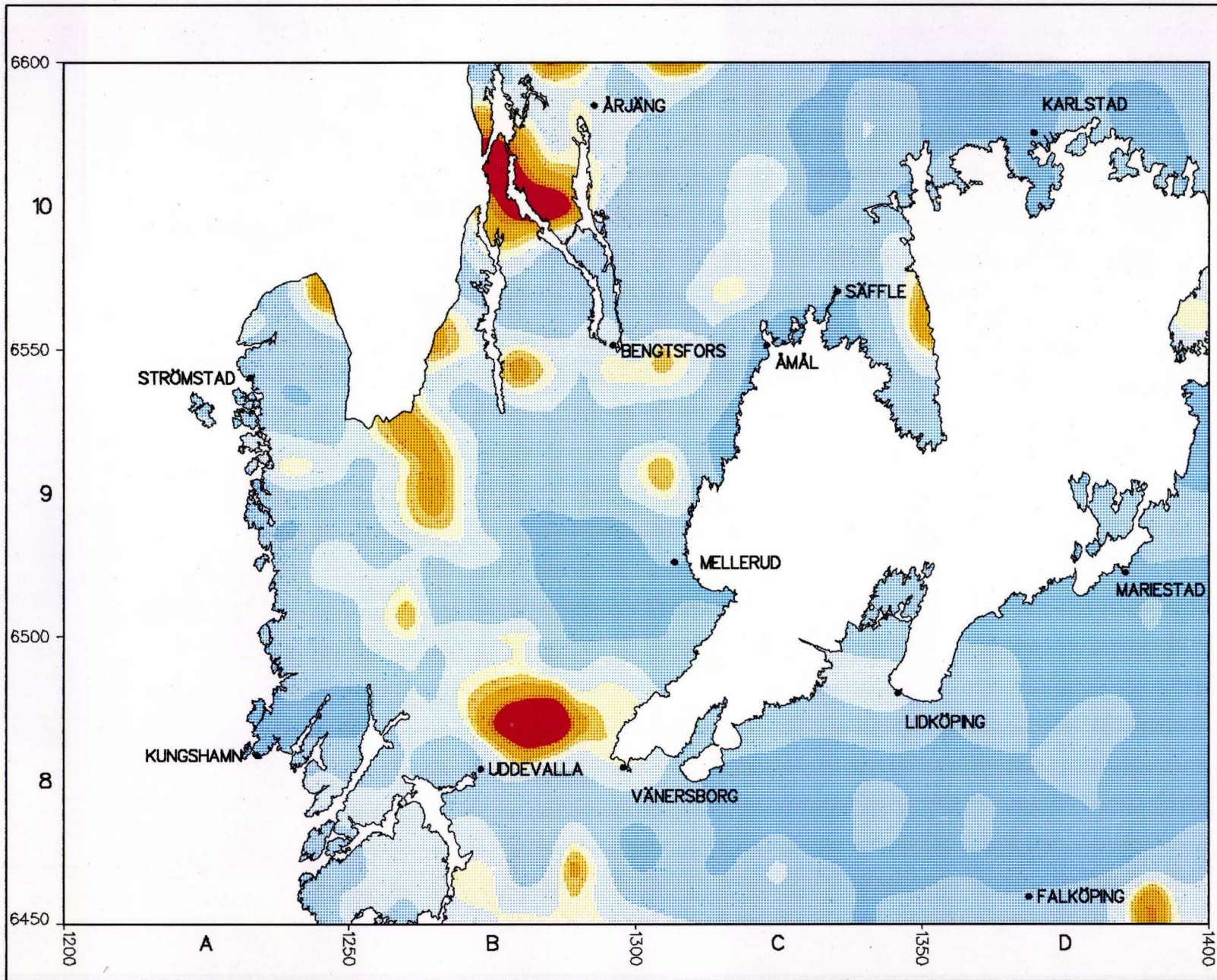
perc.	ppm
95	142
90	111
80	84
70	71
50	56
30	46
10	34



Biogeokemisk karta
 skala 1:1 miljon
Krom (Cr)
 i bäckvattenväxter, 2514 prov

Kartans färger motsvarar halter i ppm.
 Halternas klassindelning (enligt perc-
 entiler) gäller för hela landet.

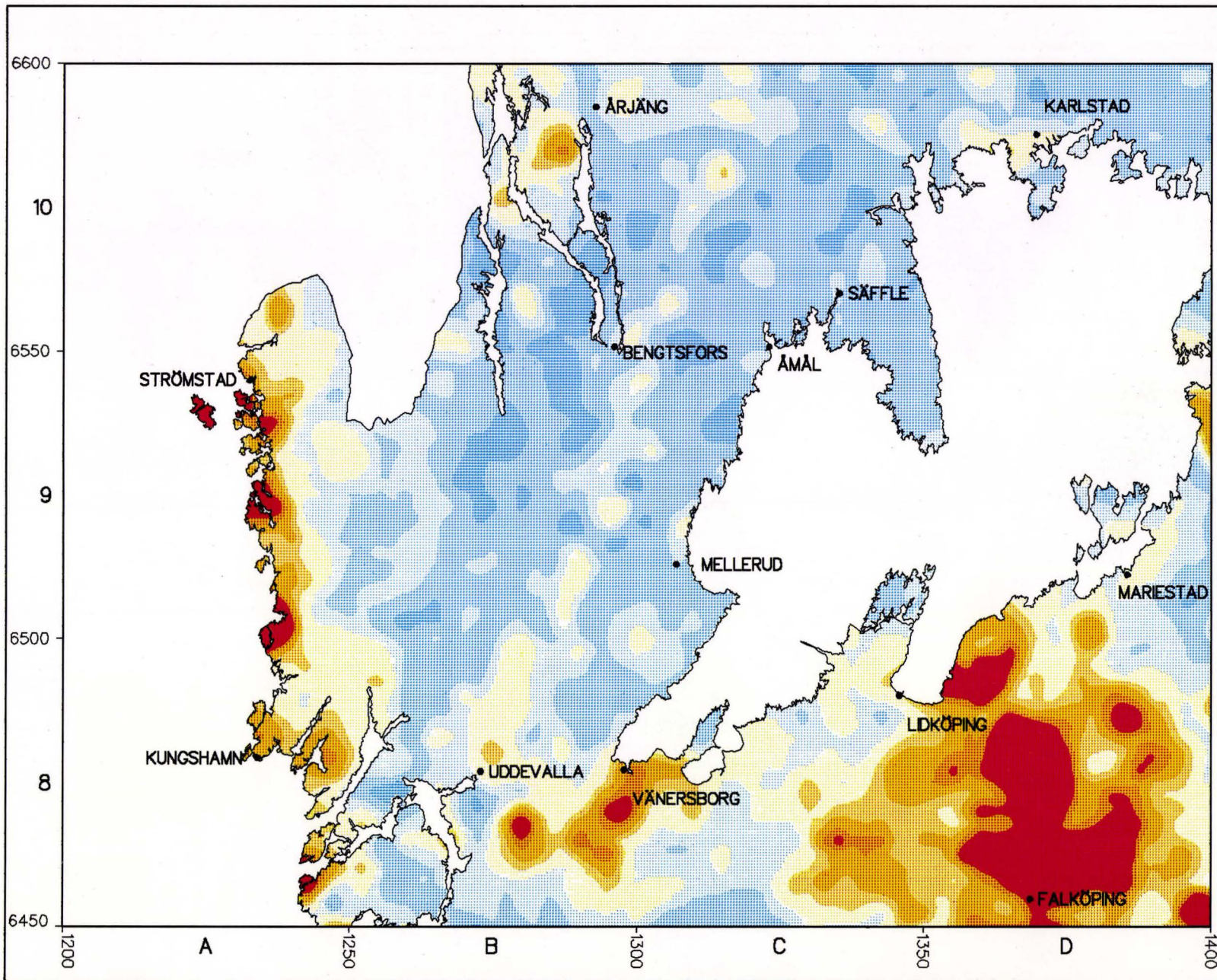
perc.	ppm
95	87
90	74
80	63
70	55
50	45
30	37
10	27



Biogeokemisk karta
 skala 1:1 miljon
Kviksilver (Hg)
 i bäckvattenväxter, 440 prov

Kartans färger motsvarar halter i ppm.
 Halternas klassindelning (enligt perc-
 entiler) gäller för hela landet.

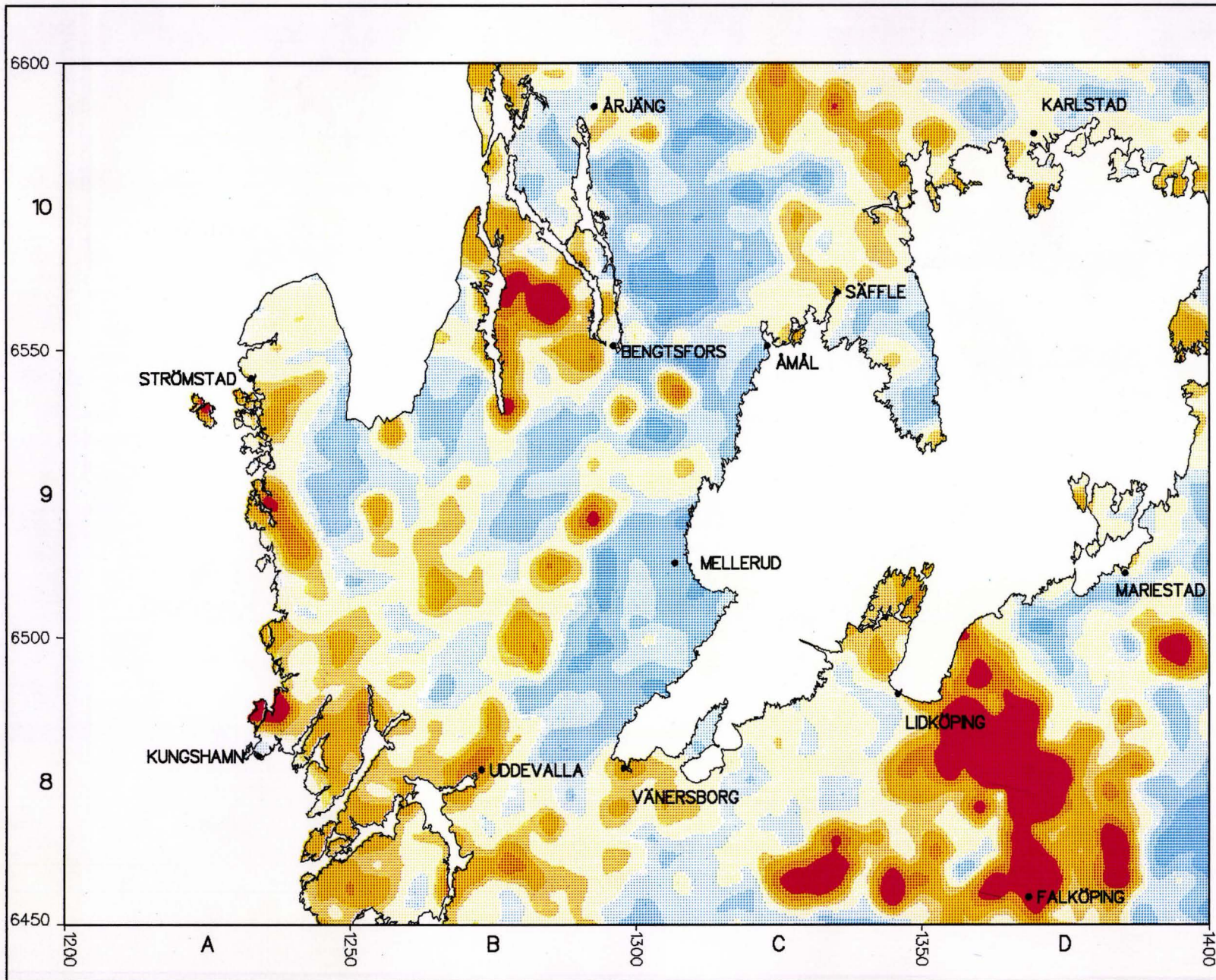
perc.	ppm
95	0.13
90	0.12
80	0.10
70	0.09
50	0.08
30	0.06
10	0.03



Biogeokemisk karta
 skala 1:1 miljon
Molybden (Mo)
 i bäckvattenväxter, 2514 prov

Kartans färger motsvarar halter i ppm.
 Halternas klassindelning (enligt perc-
 entiler) gäller för hela landet.

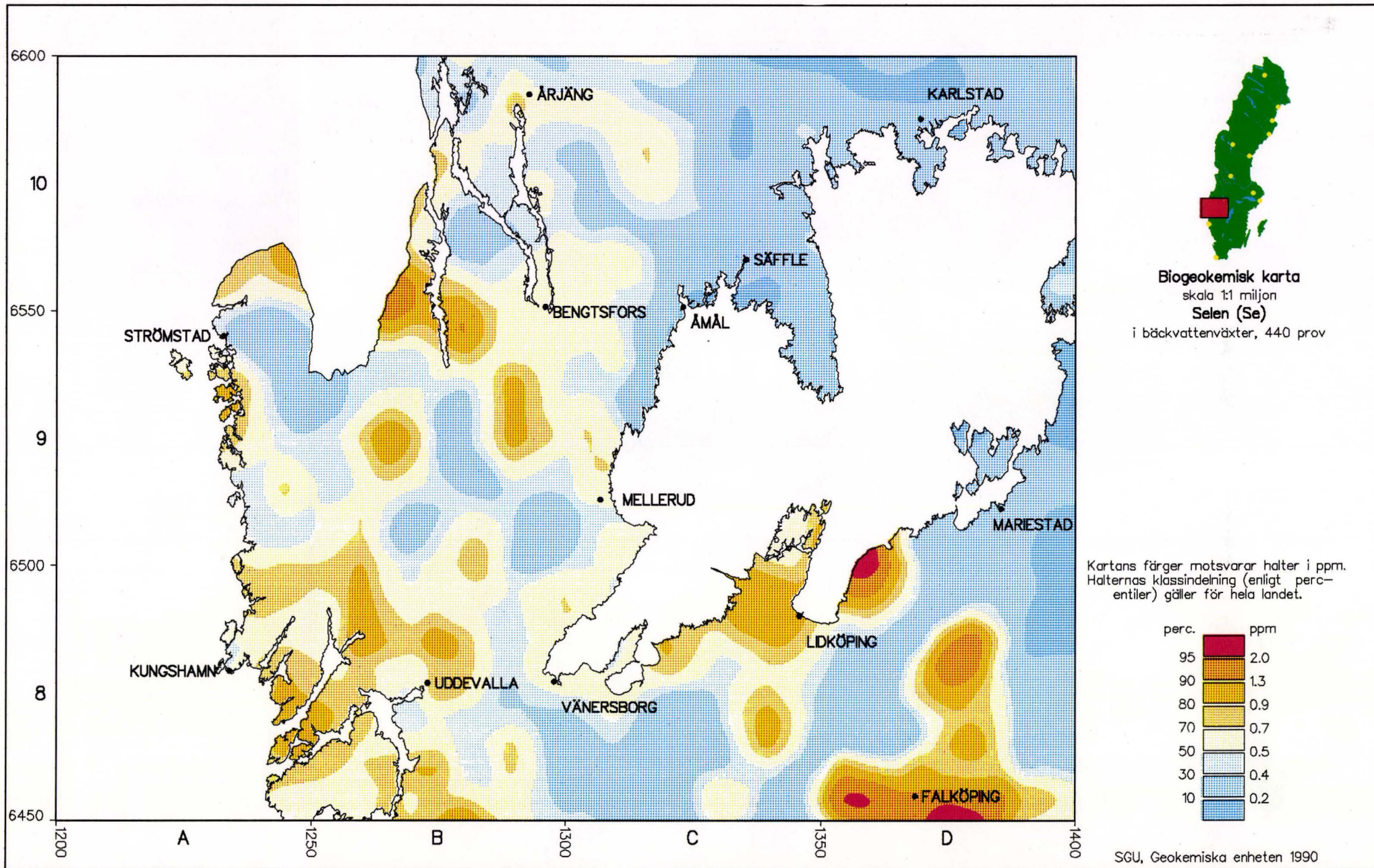
perc.	ppm
95	46
90	34
80	22
70	16
50	10
30	7
10	4

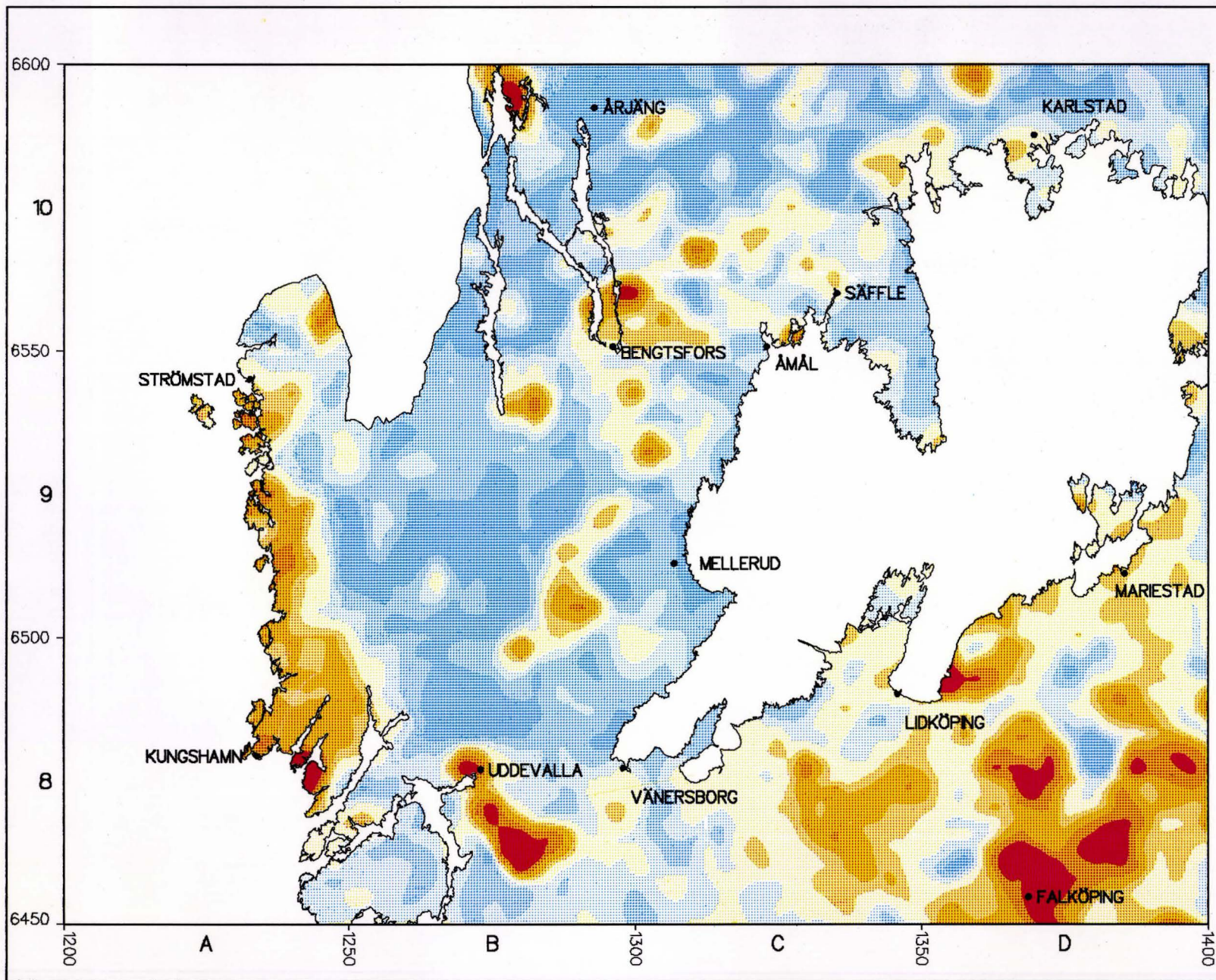


Biogeokemisk karta
 skala 1:1 miljon
 Nickel (Ni)
 i bäckvattenväxter, 2514 prov

Kartans färger motsvarar halter i ppm.
 Halternas klassindelning (enligt perc-
 entiler) gäller för hela landet.

perc.	ppm
95	118
90	88
80	63
70	51
50	37
30	29
10	20

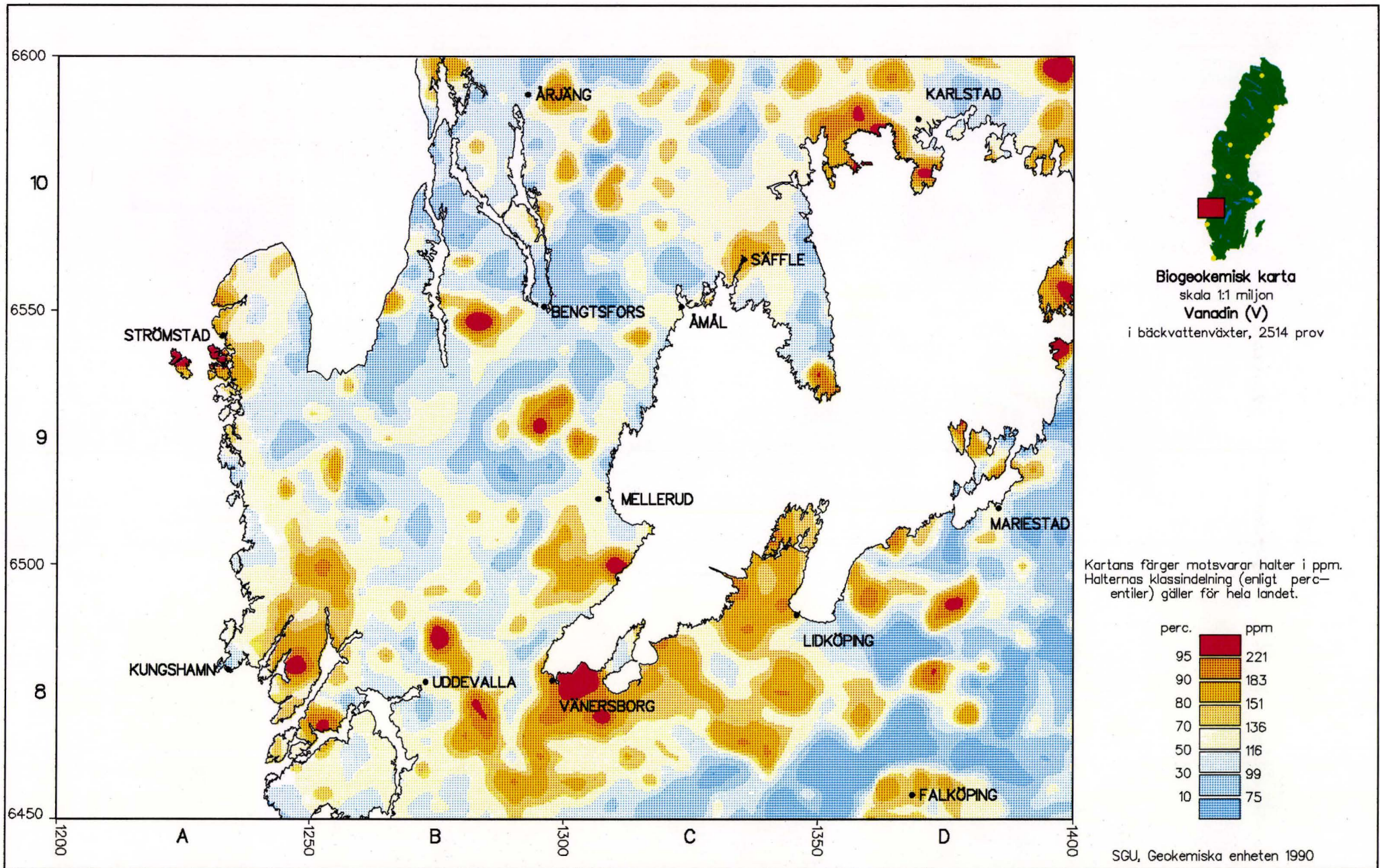


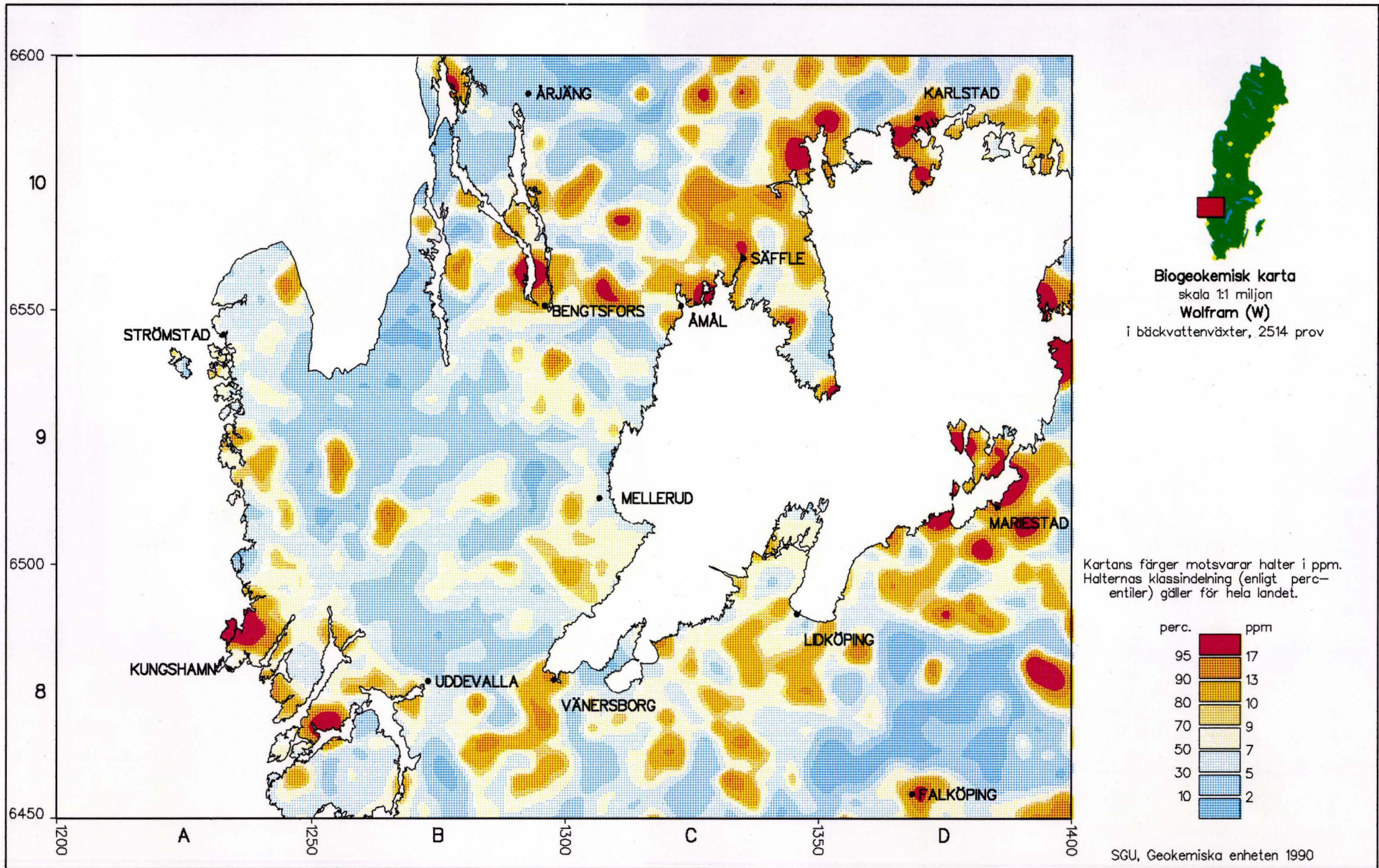


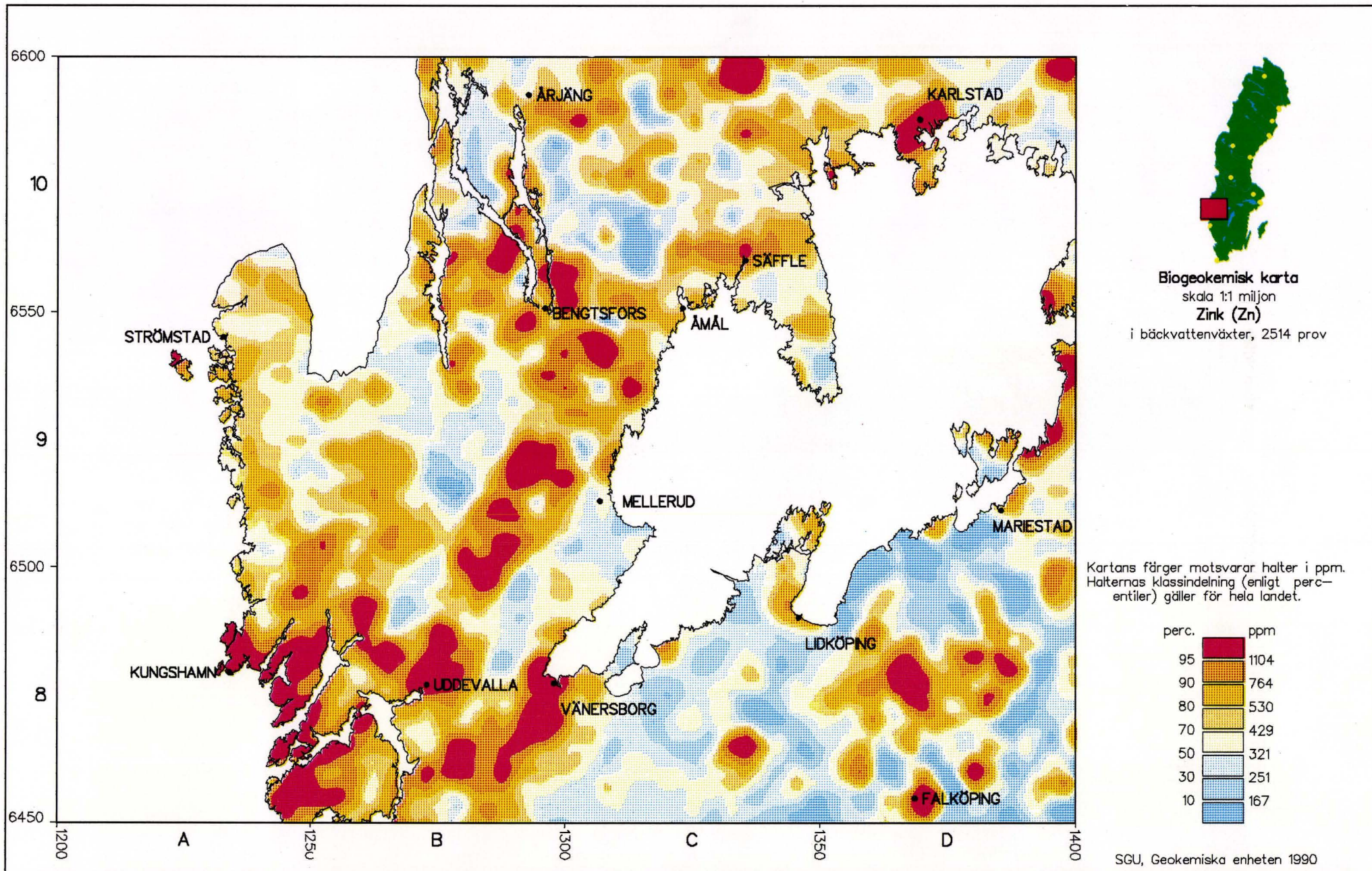
Biogeokemisk karta
 skala 1:1 miljon
Uran (U)
 i bäckvattenväxter, 2514 prov

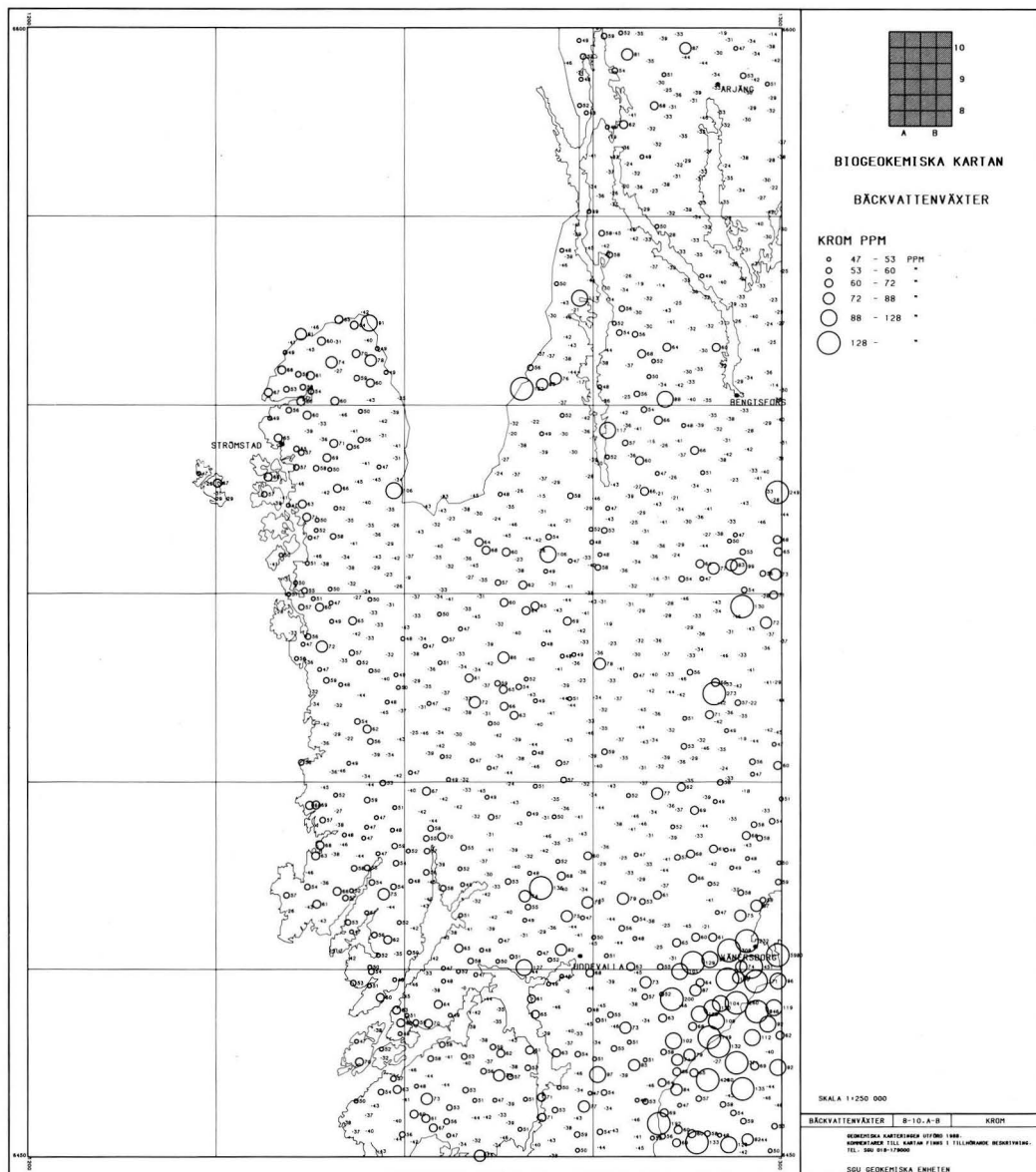
Kartans färger motsvarar halter i ppm.
 Halternas klassindelning (enligt perc-
 entiler) gäller för hela landet.

perc.	ppm
95	71
90	47
80	29
70	20
50	10
30	5
10	1









Biogeochemisk haltkarta av cirkelmodell för elementet krom. Kartan är förminskad 4 ggr till 1:1 miljon.

BIOGEOKEMISKA KARTPRODUKTER

De biogeokemiska färgkartorna i denna rapport i skala 1:1 miljon omfattar 14 spårelement (sid. 10–23). De geokemiska mönstren visas för elementen arsenik, bly, kadmium, kobolt, koppar, krom, kvicksilver, molybden, nickel, selen, uran, vanadin, volfram och zink.

Parallellt framställs också kartor av cirkelmodell (sid. 24) i skala 1:250 000 för ovanstående element. Dessa kartor, som visar provpunkternas geografiska läge och analysvärde, utges med ett element per karta. Kostnaden är 40 kronor per karta och element och kan beställas hos Geokemiska enheten, SGU, Box 670, 751 28 Uppsala eller per telefon 018-179 000.

Ovanstående kartskalor är standard vid publicering. Vid behov ombesörjs även kartframställning i andra skalor, för andra element eller elementkombinationer (t.ex. kvoter) till självkostnadspris.

ANVÄNDNINGEN AV DE BIOGEOKEMISKA KARTORNA

Tungmetallhalterna i våra marker och vattendrag beror dels på hur mineralsammansättningen i jordlagren och berggrunden ser ut, dels på hur ett område är exponerat för miljöförstörning som t.ex. tungmetallutsläpp och försurning. Dessa parametrars samverkan påverkar de olika ämnenas förekomst och spridning vilket återges i de biogeokemiska kartorna. Kartorna kan därför utgöra basinformation för ett flertal användare med vitt skilda intressen och inriktning.

Den sedan 1 juli 1987 gällande plan- och bygglagen (PBL) samt naturresurslagen (NRL) ställer stora krav på kommunernas långtidsplanering. För att kunna fullgöra sina åligganden på ett tillfredsställande sätt måste kommunerna i sin tur tillhandahålla aktuell basinformation om miljön och våra naturresurser. Det är i sammanhanget viktigt att ha de geologiska och geokemiska förhållandena klargjorda i kommande miljövårdsdiskussioner. De biogeokemiska kartorna och undersökningarna ger information om dessa förhållanden.

Denna rapport ger endast en övergripande förklaring till de olika ämnenas spridningsmönster. För en detaljerad tolkning erfordras oftast uppföljningsarbeten med en förtätad provtagning vars resultat tolkas tillsammans med god lokal kännedom om de olika påverkande faktorerna.

Den svenska berggrunden uppvisar stora naturliga variationer i mineralsammansättning. Det medför att tungmetallförekomsterna inom en region ibland kan vara så stora att de tolkas som föroreningar. I det omvända fallet då höga tungmetallhalter inom ett område inte kan förklaras av metallinnehållet i berggrunden eller i jordlagren kan man på goda grunder anta att de är orsakade av mänsklig aktivitet.

Erfarenheter från tidigare undersökningar har visat att bäckvattenväxternas metallinnehåll till stor del reflekterar den omgivande berggrundskemin. Metallanalyser från de olika bergarterna inom området finns blott sparsamt. Däremot visas i tabell 3 de generella elementassociationer man kan förvänta sig i olika bergarter. Man måste ta i

beaktande att elementhalterna 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 3. Schematisk översikt av viktigare elementassociationer i olika bergartstyper.

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

Metoden att provta växtmaterial i syfte att spåra malmer är använd i Sverige sedan 1960-talet. Resultaten från dessa undersökningar har för malmprospektörerna lett till upptäckter av nya fyndigheter. Speciellt inom uranprospekteringen har fyndigheterna varit många genom att uranförlöjningar i växtmaterialet har kunnat följas upp med direktmätning av radioaktiv strålning i fält.

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. Inom Norrlands inland förekommer förhöjningar av bl.a. Pb, Mo och Ni orsakade av motsvarande förhöjda halter i långtransporterad morän innehållande material av sandstenar, skiffrar och grönstenar från fjällkedjan.

Inom områden med lerjordar erhålls förhöjda elementhalter då lerpartiklar är kollektorer för många element. Lerjordar är ofta uppodlade och där påverkas elementmönstret genom förekomsten av spårelement i gödnings- och bekämpningsmedel. Stora mängder tungmetaller har under senare tid spridits vid gödning med rötslam från reningsverk, samt vid kalkning med förorenat kalk innehållande bl a höga halter av vanadin.

Andra mänskliga aktiviteter som orsakar förhöjda tungmetallhalter är huvudsakligen utsläpp i mark, vatten och luft. En del av de industriella utsläppen i vatten återspeglas vanligtvis inte på de biogeokemis-

ka kartorna, eftersom dessa utsläpp ofta sker i större vattendrag. Uppgifter om utsläpp och deras källor finns många gånger att tillgå hos miljö- och naturvårdsenheterna i länen och kommunerna.

Andra faktorer att ta hänsyn till vid tolkningen är förhållanden som berör topografi, grundvatten och dränering. För vissa län finns översiktliga hydrogeologiska kartor över grundvattenförhållandena.

Många ämnen som är giftiga i alltför höga doser är samtidigt livsnödvändiga i små mängder för både människor och djur. De biogeokemiska kartorna ger inte bara information om var det finns mycket av ett ämne, utan även vilka områden som är bristområden för ämnet i fråga. En överexponering eller en brist av ett ämne kan i vissa fall ge en ökad frekvens av vissa sjukdomar inom en region. Denna s.k. geomedicinska koppling innebär att man med kännedom om en regions geokemiska förhållanden kan se samband mellan dessa och människors och djurs hälsotillstånd. Koppar och selen behövs för kroppens försvar mot s.k. fria radikaler som kan skada cellerna. Selenbrist kan ge upphov till hjärtbesvär, chocktillstånd m.m. Zinkbrist kan förorsaka hudförändringar och försämrat immunförsvar. Höga halter av kadmium kan ge t.ex. njurskador då kadmium lagras i njurarna.

KOMMENTARER TILL BIOGEOKEMISKA KARTAN 8-10, A-D

Kartbilden omfattar ett stort område med olika typer av landskapsformer och geologi. För att underlätta beskrivningen av metallfördelningen i bäckvattenväxterna har kartbilden delats in i tre regioner:

- 1 - Slättlandet mellan Vänern och Vättern och Dalboslätten mellan Vänersborg och Mellerud.
- 2 - Dalsland, utom Dalboslätten, och södra Värmland.
- 3 - Bohuslän med sitt kustlandskap.

Region 1

Berggrunden inom denna region består huvudsakligen av en plan yta (peneplan) av urberg med gammal granit som geokemiskt sett innehåller relativt låga halter av tungmetaller. På denna plana berggrundsytta framträder sedimentära bergarter som mindre bergformationer s k platåberg, dels vid trakten av Skövde såsom Kinnekulle, Billingen, Mösseberg och dels vid Väterns sydspets såsom Halle- och Hunneberg. Platåbergens uppbyggnad utgörs av horisontella lager av kalkstenar, ler- och alunskifferar och överst vilar ett mäktigt lager av diabas. Den överlagrande diabasen har fungerat som ett skyddande lager mot erosion, främst av inlandsisen och därmed har en komplett lagerserie kunnat bevarats åt eftervärlden. Det är de kambriska lagren av alunskiffer som är de mest intressanta med sina förhöjda halter av främst uran men där finns även andra tungmetaller som t ex arsenik, molybden och nickel. Inom lagerserien finns också mäktiga lager av kalkstenar som är relativt fria från tungmetaller men

innehåller bl a förhöjda halter av selen. Huvuddelen av de sedimentära bergarter som en gång i tiden överlagrade den plana urbergsytan har eroderats och spridits ut av inlandsisen och materialet ingår nu i det omkringliggande jordtäcknet. Detta innebär att tungmetallrika fragment från alunskifferar och pH-höjande fragment från kalkstenslagren geokemiskt påverkar ett betydligt större område än bergarternas nuvarande utbredning, vilket tydligt framgår av resultaten från den biogeokemiska kartläggningen.

Förhöjda halter av arsenik, kadmium, kobolt, koppar, molybden, nickel, selen, uran och zink som framträder på de biogeokemiska kartorna söder om Väneren, kan huvudsakligen härledas till geologin enligt ovan nämnda orsaker. När det gäller förekomsten av bly i bäckvattnet inom motsvarande område, uppvisar resultaten endast lokala förhöjningar i nära anslutning till platåbergen. Orsaken till att blyet i de utspridda fragmenten av alunskiffer inte påverkar blyhalten i bäckvattnet beror på att bly fastläggs hårdare i finsediment och i kalkrika jordar. Blyets migration styrs i hög grad av sedimentens kemiska och fysikaliska egenskaper och av tillgången på humusämnen i mark och grundvatten. Jordtäcknet inom regionen domineras av finsediment och detta framträder tydligt på den biogeokemiska blykartan med generellt låga halter inom slättnområden.

Det finns en god överensstämmelse med resultaten från den biogeokemiska kartläggningen över södra Sverige som visar att områden med dominerande inslag av finsediment har generellt lägre blyhalter i vattnet än motsvarande områden med övervägande del moränjordar.

Även Dalboslättan uppvisar relativt låga tungmetallhalter i bäcksystemen och finsedimentens inverkan framkommer tydligt på blykartan. Ett område som i stora drag sammanfaller med Göta älvs dalgång, från Vänerens sydspets i riktning söderut, framträder med kraftigt förhöjda metallhalter. Förutom den geologiska påverkan från Halle- och Hunneberg är den dominerande orsaken antropogen påverkan från metallindustrier vid Vargön och Trollhättan. Resultat från mossundersökningar (1984) visar spridningsmönster för kadmium, krom och molybden, vilka överrenstämmer väl med de maxima som framträder på de biogeokemiska kartorna för respektive metall. Även metallerna arsenik, koppar, nickel, vanadin, wolfram och zink uppvisar likartade mönster. Med tanke på den industriella verksamheten som bedrivs vid Vargön och Trollhättan, är det naturligt att dessa metaller sprids via rökgaser till omgivningen. Med de resultat som nu finns för handen bedöms tungmetallförhöjningarna inom området vara av antropogent ursprung.

Ett problem vid tolkningen av resultaten från bäckvattenväxter, är att skilja på vad som är antropogent påverkat från det som härrör naturligt från de geologiska förhållandena. En metod som SGU använder vid uppföljningsarbeten då man misstänker att metalldeposition från luft är en bidragande orsak till förhöjda metallhalter i mark och grundvatten, är att kemiskt undersöka husmossa. När det gäller kemiska analysdata på bergarter och jordprov (morän) har SGU ett stort referensmaterial som täcker större delen av landet. I detta fall där vi dels har en kraftig emission i luft och dels en naturlig påverkan från de närliggande platåbergen, Halle- och Hunneberg, ger nedfallsdata tillsammans med geologisk data en god vägledning vid tolkningsarbetet.

Region 2

Regionen omfattar Dalsland, förutom Dalboslätten, och södra delen av Värmland. Berggrunden är här variationsrik och landskapet är kuiperat. Här förekommer Dalslandsgruppens bergarter som innehåller bl a kvartsiter, skiffrar och vulkaniska bergarter. Av intresse är skifferrarna och de vulkaniska bergarterna eftersom det förekommer smärre kopparmineraliseringar inom dessa utbredningsområden. På den biogeokemiska kartan uppträder förhöjda halter av koppar och zink inom motsvarande områden, strax väster och norr om Mellerud, som sannolikt reflekterar metallhalten i berggrunden.

I Dalslandsgruppen finns fyndigheter av kvartsiter med extremt hög renhetsgrad. Fyndigheterna är huvudsakligen lokaliserade till trakten norr om Mellerud och är av stor ekonomisk betydelse och en viktig råvara till flertal industrier. Eftersom kvartsiten är extremt ren från tungmetaller kan ingen påverkan spåras i de biogeokemiska kartorna över tungmetaller.

Strax väster om Mellerud utbreder sig ett sammanhängande höjdområde bestående av olika gnejser. Geokemiskt kan detta område inte betraktas som en homogen massa, utan det förekommer mindre band eller linser med anrikade zoner av metaller men sällan i brytvärda koncentrationer. Områdets höga topografiska läge medför en kraftig exponering av västliga vindar med våt och torr deposition som kan vara en betydande källa till antropogen påverkan av grundvattnet. Förutom att tillskottet av metaller kan förekomma som ett nedfall i partikelform kan även naturligt förekommande tungmetaller i jord och berggrund få ökad mobilitet genom att surt regn sänker pH-nivån i mark- och grundvatten. Betydelsen av detta tillskott märks tydligt i den biogeokemiska kartläggningen inom området Göteborg-Borås-Halmstad.

När det gäller selen över södra Sverige är det främst sedimentära bergarter, som kalkstenar och alunskiffrar, som förorsakar naturligt förhöjda halter i bäckvattnet. Förhöjda selenhalter förekommer också i områden där berggrunden innehåller sulfidmineraliseringar t ex i Bergslagen och i Skelleftefältet, då selen är associerat med svavel. I övrigt är den svenska berggrunden relativt selenfattig. Undersökningar visar att de svavelföreningar som deponeras tillsammans med det sura regnet innehåller mätbara halter av selen. Detta framkommer tydligt i biogeokemiska kartan i områden där marken utsätts för kraftig exponering av sådant nedfall. De förhöjda selenhalter som framträder inom sydvästra delen av region 2 och inom hela region 3 har sannolikt ett antropogent ursprung.

Inom den norra delen av regionen som huvudsakligen ligger inom Värmlands län finns ett antal kända mineraliseringar. De uppträder inom två stråk dels strax söder om Arvika, Glava fältet och dels längre söderut vid Nysäter, Harnäs och Intakan. Huvudmineralen är bornit, koppar- och svavelkis som uppträder tillsammans med kvarts i smala gångar. På senare tid har dessa fyndigheter rönt ett visst riksintresse eftersom en del fyndigheter har visat sig innehålla guld. Geokemiskt kan dessa utspridda fyndigheter ge upphov till förhöjda halter av ett flertal tungmetaller som bl a bly, kadmium, kobolt, koppar, kvicksilver, selen och zink. Dessa mineraliseringar har sannolikt en avgörande

de betydelse till de förhöjda metallhalter som framträder på de biogeokemiska kartorna för ovan nämnda metaller. Det gäller den delen av Värmland som sträcker sig från norska gränsen i väster till Karlstad i öster.

Vid Karlstad och i dess nära omgivningar framträder en typisk antropogen påverkan av miljön. Det är metallerna bly, koppar, krom, vanadin och zink som framträder med kraftiga maxima inom detta område. När det gäller att leta fram den antropogena källan eller källorna är det främst mot verksamheter med luftemission av metaller man skall rikta sitt intresse. Även lokala markföroreningar kan påverka kartbilden såsom lakvattenpåverkan från avfallstippar, bensinstationer eller från avfall deponerat direkt i bäckfåran. Utsläpp från industriell verksamhet via avlopp, sker ofta till större vattendrag och framträder inte vid denna kartläggning.

Region 3

Region omfattar kustområdet från Orust i söder till norska gränsen i norr. Berggrunden domineras här av Bohusgranit som är en relativt ung granit. Mot öster avgränsas den av Stora Le-Marstrandsseriens bergarter, som huvudsakligen består av olika gnejser. Utmärkande för Bohusgraniten är bl a att den innehåller förhöjda halter av uran och molybden. Detta framträder tydligt på de biogeokemiska kartorna för respektive metall. Det finns även förutsättningar för att bly ska påverka de biogeokemiska resultaten, dels berggrundsbetingade från graniten och dels antropogent från källor inom och utom landet. Jordtäcket beskaffenhet utefter bohusländska kustområdet är likartad med region 1. Relativt låga blyhalter följer även här finjordarnas utbredning och blyhalterna ökar mot öster med en ökad utbredning av moränmark. Resultaten visar att marken har hittills kunna buffra blyet som dels finns som mineralkorn i marktäcket och som dels faller ner på markytan. Områden med likartade markförhållanden, men där blynedfallet är kraftigare som t ex vid Göteborg och kring de större tätorterna utefter den skånska västkusten framträder däremot med förhöjda blyhalter i vattnet. Vad resultaten där visar är att summan av det naturliga blyet i jordtäcket och det antropogena blytillskottet är större än vad finjordarna förmår buffra så att blyet lakas ut och förs via grundvattnet till bäcksystemen.

De förhöjda halter av främst kadmium, kobolt, koppar, nickel, selen, vanadin och zink som förekommer utefter Bohuskusten är huvudsakligen av antropogent ursprung. Den allmänna trend med höga tungmetallhalter i väster med avklingning mot öster som inom regionen förekommer på de biogeokemiska kartorna gäller för hela västkusten. Detta är ett resultat förorsakad av både luftutsläpp och surt regn med västliga vindar från källor såväl inom som utom landet.

Den biogeokemiska kartan visar på relativt låga kvicksilverhalter över hela kartbilden. De lokala förhöjningar som uppträder inom norra delen av Dalsland och södra Värmland är sannolikt berggrundsbetingade av utspridda förekomster av sulfidmineraliseringar. Den kraftiga kvicksilverförhöjningen som uppträder mellan Uddevalla

och Vänersborg har troligen förorsakats av antropogen påverkan. Kvicksilver förekommer i många olika former vilket gör att metallens geokemiska kretslopp är mycket komplext och därmed svårt att kartlägga. En stor del (ca 50%) av det kvicksilver som är i omlopp i systemet luft-mark-vatten är av antropogent ursprung. Den svenska berggrunden innerhåller allmänt låga halter av kvicksilver. Medelvärdet för landet är 3.9 ppb. Naturligt förhöjda kvicksilverhalter förekommer främst i områden med sulfidmineraliseringar t ex i Bergslagen där sulfidmalmen innehåller upp till 5000 ppb kvicksilver.

REFERENSER

- Berg och malm i Värmlands län, SIND 1983:8: Sammanställning utförd av Statens Industriverk.
- Ek, J., Ohlsson, S.-Å. och Selinus, O., 1988: Bly, kadmium, selen – Hela Sverige kartläggs. Forskning och Framsteg 2/88.
- Grip, H. och Rodhe, A., 1985: Vattnets väg från regn till bäck. Forskningsrådets förlagstjänst.
- Monitor 1982: Naturvårdsverkets årsbok.
- Monitor 1987: Naturvårdsverkets årsbok.
- Ressar, H., m fl, 1988: Biogeokemiska kartan. Översiktskartbladen Göteborg och Borås. SGU Rapporter och meddelanden nr 51.
- Shaikh, N.A., m fl, 1986: Malmer, industriella mineral och bergarter i Älvsborgs län. SGU Rapporter och meddelanden nr 45.
- Vänersborg-Trollhättere regionens luftvårdsförbund, 1984: Tungmetaller i cypressmossa i Vänersborg-Trollhättere regionen.

I SGUs 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 Kristianstadsslätten. 1979.
13. **Hörnsten, Å.** Sand och övriga jordarter i Öresund. Maringeologiska kartor över Öresund. 1979.
- *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-bentonitskikt. 1980.
18. **Karlqvist, L. och Qvarfort, U.** Gruvhanteringens inverkan på Bersboområdet, Åtvidabergs kommun. 1980.
19. **Wilson, M.R. and 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. 1982.
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 hammarborring. 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. **Akerblom, 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. and Malmquist, E.** Lower Jurassic biostratigraphy of the Oppegård Bore No. 1, NW Scania, Sweden. 1985.
41. **Andersson, M.** Geokemisk kartering. Tungmineralanrikad morän. Kartbladen 15–16, C–D och 16–17, G. 1985.
42. **Ressar, H. och Ohlsson, S.-Å.** Geokemisk kartering. Bäcktorv. Bilaga: Beskrivning av de fjorton spårelementens exogena geokemiska kretslopp av John Ek. 1985.
43. Grundvattennätet. Svenskt vattenarkiv. 1985.
44. Grundvattenkvalitet. Svenskt vattenarkiv. 1985.
45. **Shaikh, N.A., Samuelsson, L., Sundberg, A. och Wik, N.-G.** Malmer, industriella mineral och bergarter i Älvsborgs län. 1986.
46. **Fredén, C.** Quaternary marine shell deposits in the region of Uddevalla and Lake Vänern. 1986.
47. **Ahlberg, P.** Den svenska kontinentalsockelns berggrund. 1986.
48. **Ressar, H., Ohlsson, S.-Å. och Ekelund, L.** Geokemiska kartan. Tungmetaller i Bäcktorv. Översiktskartbladen Kalmar, Oskarshamn, Sundsvall och Vilhelmina. 1986.
49. **Ressar, H., Ohlsson, S.-Å. och Ekelund, L.** Geokemiska kartan. Tungmetaller i Bäcktorv. Översiktskartbladen Malmö och Sundsvall. 1987.
50. **Shaikh, N.A., Persson, L., Sundberg, A. och Wik, N.-G.** Malmer, industriella mineral och bergarter i Jönköpings län. 1989.
51. **Ressar, H., Ekelund, L. och Ohlsson, S.-Å.** Biogeokemiska kartan. Tungmetaller i Bäckvattenväxter. Översiktsbladen Göteborg och Borås. 1988.
52. **Gustafsson, O., Jonasson, S.A. och Andersson, C.** Grundvattenundersökningar på Kristianstadssläätten 1976–1987. 1988.
53. **Andersson, M.** Markgeokemiska kartan 18–22, G–I. 1988.
54. **Shaikh, N.A., Karls, L., Kumpulainen, R., Sundberg, A. och Wik, N.-G.** Kalksten och dolomit i Sverige. Del 1. Norra Sverige. 1989.
55. **Shaikh, N.A., Karls, L., Snäll, S., Sundberg, A. och N.-G. Wik.** Kalksten och dolomit i Sverige. Del 2. Mellersta Sverige. 1989.
56. **Shaikh, N.A., Bruun, Å., Karls, L., Kjellström, G., Sivhed, U., Sundberg, A. och Wik, N.-G.** Kalksten och dolomit i Sverige. Del 3. Södra Sverige. 1990.
57. **Modig, H., Miller, U. och Robertsson, A.-M.** Karbonat i jord. Del 4. Försurning i äldre sedimentlagerföljder med anknytning till och i jämförelse med nutid. 1990.
59. **Andersson, M.** Markgeokemiska kartan 16–18, G–I. 1989.
60. **Ressar, H., Ekelund, L. och Ohlsson, S.-Å.** Biogeokemiska kartan. Tungmetaller i bäckvattenväxter. 1990.
61. **Kornfält, K.-A., Samuelsson, L., Sundberg, A., Wik, N.-G. och Wikman, H.** Malmer, industriella mineral och bergarter i Kronobergs län. 1990.
62. **Andersson, M.** Markgeokemiska kartan 18–21, H–J. 1990.