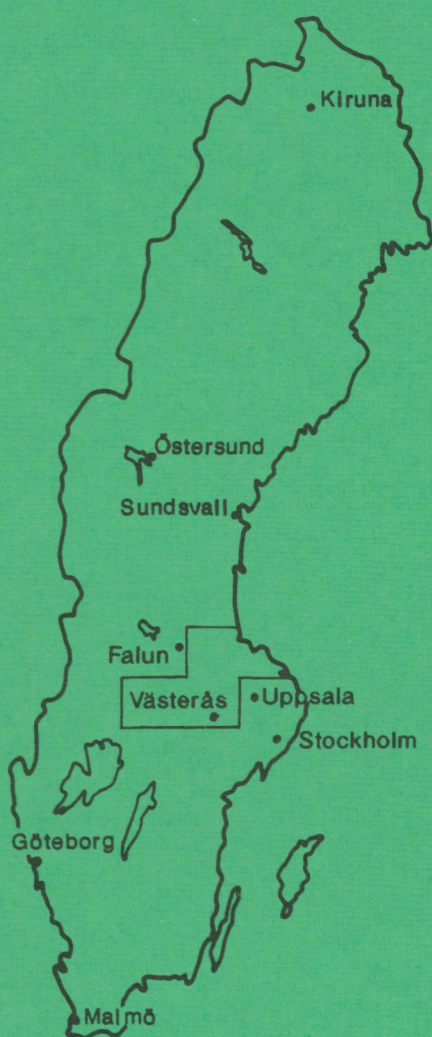


Biogeokemiska kartan

Tungmetaller i bäckvattenväxter



Biogeokemiska kartor i skala
1:1 miljon över området
11-12, E-H
12-13, G-J

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

Carl-Allan Nilsson och Harald Ressar

SGU
Sveriges Geologiska Undersökning

Uppsala 1995

Rapporter och meddelanden nr 78

Biogeokemiska kartan

Tungmetaller i bäckvattenväxter

Carl-Allan Nilsson och Harald Ressar

SGU
Sveriges Geologiska Undersökning

Uppsala 1995

ISBN 91-7158-540-0
ISSN 0349-2176

© Sveriges Geologiska Undersökning

Tryck: TK i Uppsala AB, 1995

Innehållsförteckning

Geokemisk kartering vid SGU	4
Provmaterialet bäckvattenväxter	4
Provberedning och analysering	5
Databearbetning och kartframställning	5
Biogeokemiska kartprodukter	6
Användningen av de biogeokemiska kartorna	6
Utgivningsplan för de biogeokemiska kartorna	11
Biogeokemiska färgkartor 11–12, E–H, 12–13, G–J, 1:1 miljon	12
Topografi och jordarter	26
Berggrundsgeologi	27
Biogeokemiska kartans elementfördelningar som kan sättas i samband med geologiska faktorer	28
Biogeokemiska kartans elementfördelningar som kan sättas i samband med mänsklig verksamhet	31
Summary	34
Referenser	36

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 växtrötter och vattenlevande mossor i mindre bäckar och som återspeglar den genomsnittliga kemiska sammansättningen hos vattnet. Utgivningsplan över dessa biogeokemiska kartor visas på sidan 11.

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. SGUs geokemiska enhet har även ett antal fasta referensstationer utplacerade i landet, där kemiska förändringar i miljön registreras.

Tre fjärdedelar av landets yta beräknas med nuvarande resurser vara biogeokemiskt karterad om ca 20 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 halvgräs, älgört och tåg. 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 vattnet.

Proverna tas i mindre vattendrag som till stor del 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 kan avspegla indirekt grundvattnets metallinnehåll och kvalitet.

En naturlig anrikning av tungmetaller sker vid utfällning och upptag av järn och mangan i växtmaterial. 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.

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	0.05	ppm

DATABEARBETNING OCH KARTFRAMSTÄLLNING

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

Som tidigare nämnts, har utfällningar som järn- och mangan-hydroxider 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. För klassindelningen har 10:e, 30:e, 50:e, 70:e, 80:e, 90:e och 95:e percentilerna för hela landets punktnät använts.

Haltfördelningarna på kartorna är baserade på ett analysunderlag från drygt 25 000 prover och omfattar alla tidigare karterade områden. I tabell 2 (sid.7), anges percentilvärden för analyserna från årets utgivning och från den hela karterade arealen benämnd "Riket".

Inom den redovisade kartan har 3160 prover tagits vilket ger en provtäthet på ca 1 prov per 7 km². Vart femte prov har analyserats på elementen kadmium, kvicksilver och selen.

BIOGEOKEMISKA KARTPRODUKTER

De biogeochemiska färgkartorna i denna rapport i skala 1:1 miljon omfattar 14 spårelement (sid. 12–25). 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 i skala 1:250 000 för ovanstående element. Dessa kartor, som visar provpunkternas geografiska läge och analysvärde, utges med ett element per karta. Det redovisade området är uppdelat på 2 kartor (sid. 8) och kostnaden är 40 kronor per karta och element och kan beställas hos Geokemiska enheten, SGU, Box 670, 751 28 Uppsala eller per telefon 018-17 90 00.

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 biogeochemiska 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 miljövardsdiskussioner. De biogeochemiska 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.

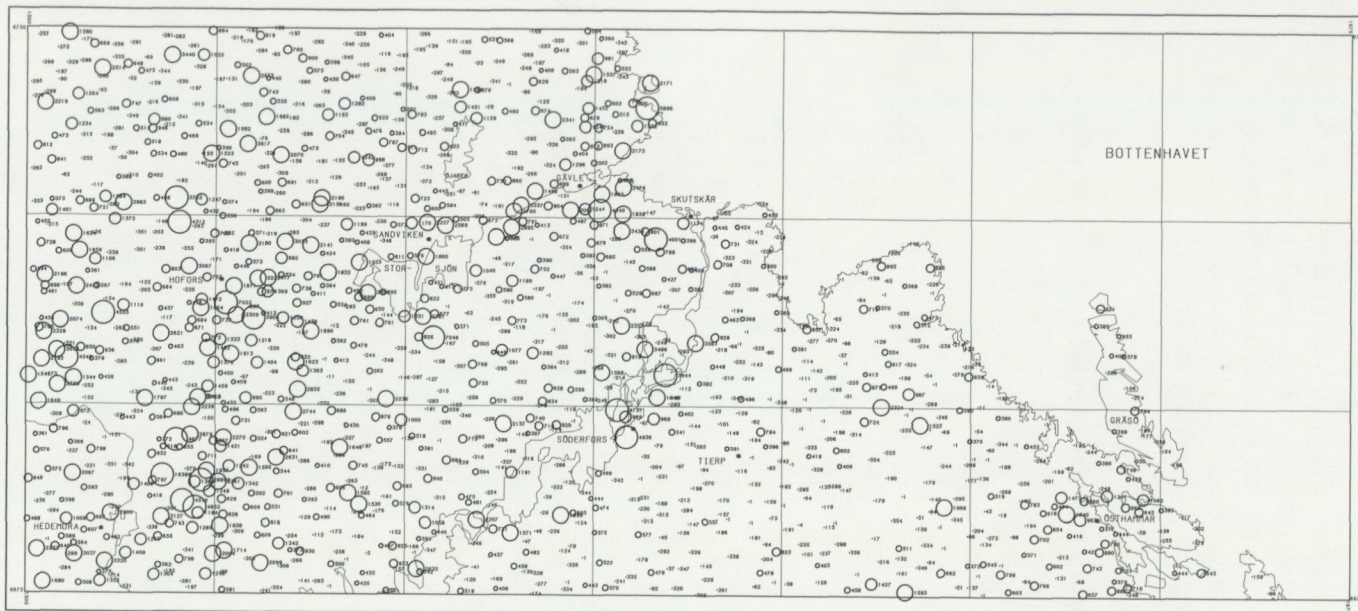
Den svenska berggrunden uppvisar stora naturliga variationer i mineralsammansättning. Det medför att tungmetallförekomsterna inom en region ibland kan vara så stora att de tolkas som föroreningar. I det omvända fallet då höga tungmetallhalter inom ett område inte kan förklaras av metallinnehållet i berggrunden 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 2. Percentiler i ppm för respektive element inom karteringsområdet och inom hela den karterade arealen i riket.

Elem- ent	Om- råde	Antal analyser	Percentiler										
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	99
As	11-13, E-J RIKET	3160	11	18	26	33	42	53	67	84	117	150	266
		25201	<10	14	19	23	29	37	47	63	99	166	498
Cd		565	<0.20	0.73	1.8	2.7	3.6	5.4	8.3	14	23	37	97
		4391	<0.20	1.1	1.8	2.3	2.7	3.3	4.3	6.1	13	22	59
Co		3160	18	34	44	50	57	68	87	126	226	373	789
		25201	26	41	49	55	61	71	87	121	207	325	643
Cr		3160	26	31	35	38	42	46	51	58	67	75	95
		25201	24	29	34	38	42	47	53	60	71	85	123
Cu		3160	25	31	37	45	53	64	79	101	146	188	422
		25201	29	36	41	47	53	62	76	94	128	166	299
Hg		565	0.002	.009	.015	.022	.027	.035	.045	.059	.080	.097	.131
		4397	0.011	.022	.031	.039	.048	.057	.067	.083	.106	.128	.184
Mo		3160	5	6	8	10	12	15	19	24	35	48	92
		25201	<5	5	6	7	8	11	14	19	30	43	88
Ni		3160	7	12	16	20	24	29	36	48	77	115	343
		25201	16	22	26	30	36	43	52	69	114	181	515
Pb		3160	<10	19	36	54	77	109	160	242	378	542	1085
		25201	17	34	46	56	66	78	95	129	211	322	709
Se		565	0.13	0.16	0.19	0.23	0.26	0.30	0.37	0.42	0.57	0.73	1.03
		4397	0.18	0.24	0.29	0.33	0.39	0.46	0.56	0.70	0.96	1.35	2.83
U		3160	<5	7	10	13	17	21	28	38	60	86	167
		25201	<5	<5	<5	7	9	13	20	30	52	79	186
V		3160	66	84	98	113	128	145	169	203	264	332	524
		25201	65	79	90	99	108	119	131	147	179	224	385
W		3160	<5	<5	<5	5	7	8	10	13	17	22	46
		25201	<5	<5	<5	5	6	7	9	12	16	20	40
Zn		3160	98	188	246	299	370	461	614	860	1527	2398	5122
		25201	98	176	224	260	299	360	458	624	959	1480	3649

Biogeokemiska haltkartor av cirkemodell över karteringsområdet för elementet zink.
 Kartorna är här förminskade 4 ggr till skala 1:1 miljon.



BIOGEOKEMISKA KARTAN
 BÄCKVATTENVÄXTER

ZINK PPM

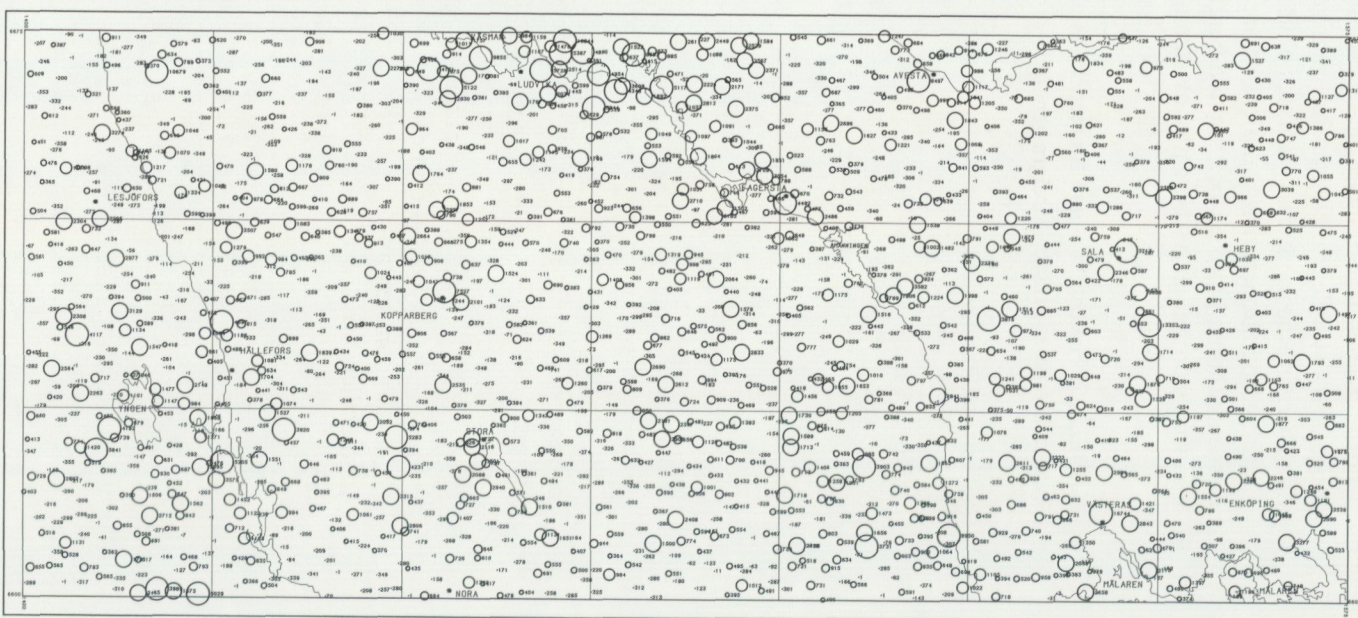
- 360 - 458 PPM
- 458 - 624 "
- 624 - 959 "
- 959 - 1480 "
- 1480 - 3649 "
- 3649 - "

SKALA 1:250 000

BÄCKVATTENVÄXTER	12-13, G-J	ZINK
------------------	------------	------

BIOGEOKEMISKA KARTORNA UTGIVNA 1981. ÖSK. 1982.
 ÖSKENFORSKETS TILLÄGGNING FÖR 1982. ÖSKENFORSKETS TILLÄGGNING FÖR 1982. ÖSKENFORSKETS TILLÄGGNING FÖR 1982.
 TEL. 080 938-17000

SOU GEOKEMISKA ENHETEN



BIOGEOKEMISKA KARTAN
 BÄCKVATTENVÄXTER

ZINK PPM

- 360 - 458 PPM
- 458 - 624 "
- 624 - 959 "
- 959 - 1480 "
- 1480 - 3649 "
- 3649 - "

SKALA 1:250 000

BÄCKVATTENVÄXTER	11-12, E-H	ZINK
------------------	------------	------

BIOGEOKEMISKA KARTORNA UTGIVNA 1981. ÖSK. 1982.
 ÖSKENFORSKETS TILLÄGGNING FÖR 1982. ÖSKENFORSKETS TILLÄGGNING FÖR 1982. ÖSKENFORSKETS TILLÄGGNING FÖR 1982.
 TEL. 080 938-17000

SOU GEOKEMISKA ENHETEN

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	
Skifferar	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, skifferar 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 biogeokemiska 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.

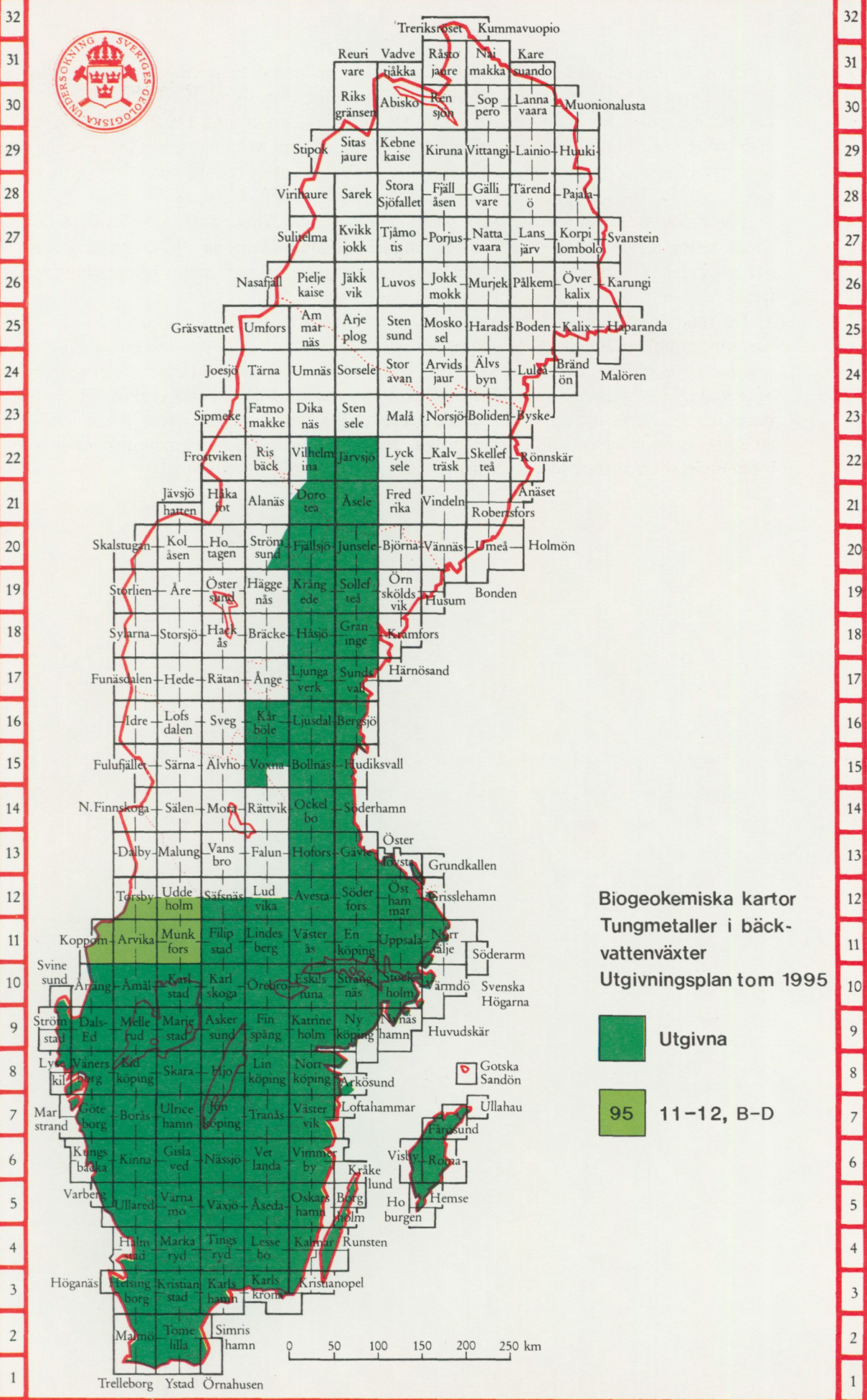
Tungmetaller som på olika sätt frigjorts ur jord och berg eller tillförts marken genom t.ex. vittring, utsläpp eller nedfall kommer att cirkulera mellan luft, vatten, mark och berggrund i ett evigt kretslopp. Utmärkande för tungmetaller är att de till skillnad från organiska miljögifter aldrig kan brytas ned eller förstöras. Det betyder att de tungmetaller som tillförs miljön i princip har evigt liv och när de en gång inlett sina kretslopp i naturen kommer de att fortsätta att finnas där i evig tid.

Detta är inte, som det kanske kan låta, enbart av ondo utan tvärtom nödvändigt för allt liv. De flesta metaller, även tungmetaller, är essentiella, eller livsnödvändiga, och behövs för att biologiska processer skall fungera. Det är i höga doser som ämnena blir toxiska, eller giftiga, för organismerna. Därför är det viktigt att veta var tungmetallförekomsterna är störst eftersom naturen där med sina levande organismer kanske inte tål så mycket mer.

För närvarande pågår forskningsarbeten i syfte att sätta "fingeravtryck" på tungmetallförekomsterna. Med kännedom om hur tungmetallhalterna varierar i jord och berg samt hur upptaget eller tillgången för bäckvattenväxterna ser ut, kan man förhoppningsvis i framtiden bättre skilja utsläpp från naturlig förekomst.

De redovisade korrigerade kemiska analysvärdena av bäckvattenväxtproverna från karteringsområdet återspeglar *de relativa haltnivåerna av biotillgängliga tungmetaller i områdets vattendrag*. Då denna kemi till största delen har samband med underliggande berggrund, jordarter och jormån, men också kan relateras till mänsklig aktivitet såsom industrinedfall och utsläpp, jord- och skogsbruk, urban miljö, m.m, är det här nödvändigt att först ge en bakgrund till den naturliga, geologiskt betingade tungmetallfördelningen inom undersökningsområdet (sid. 26).

A B C D E F G H I J K L M N

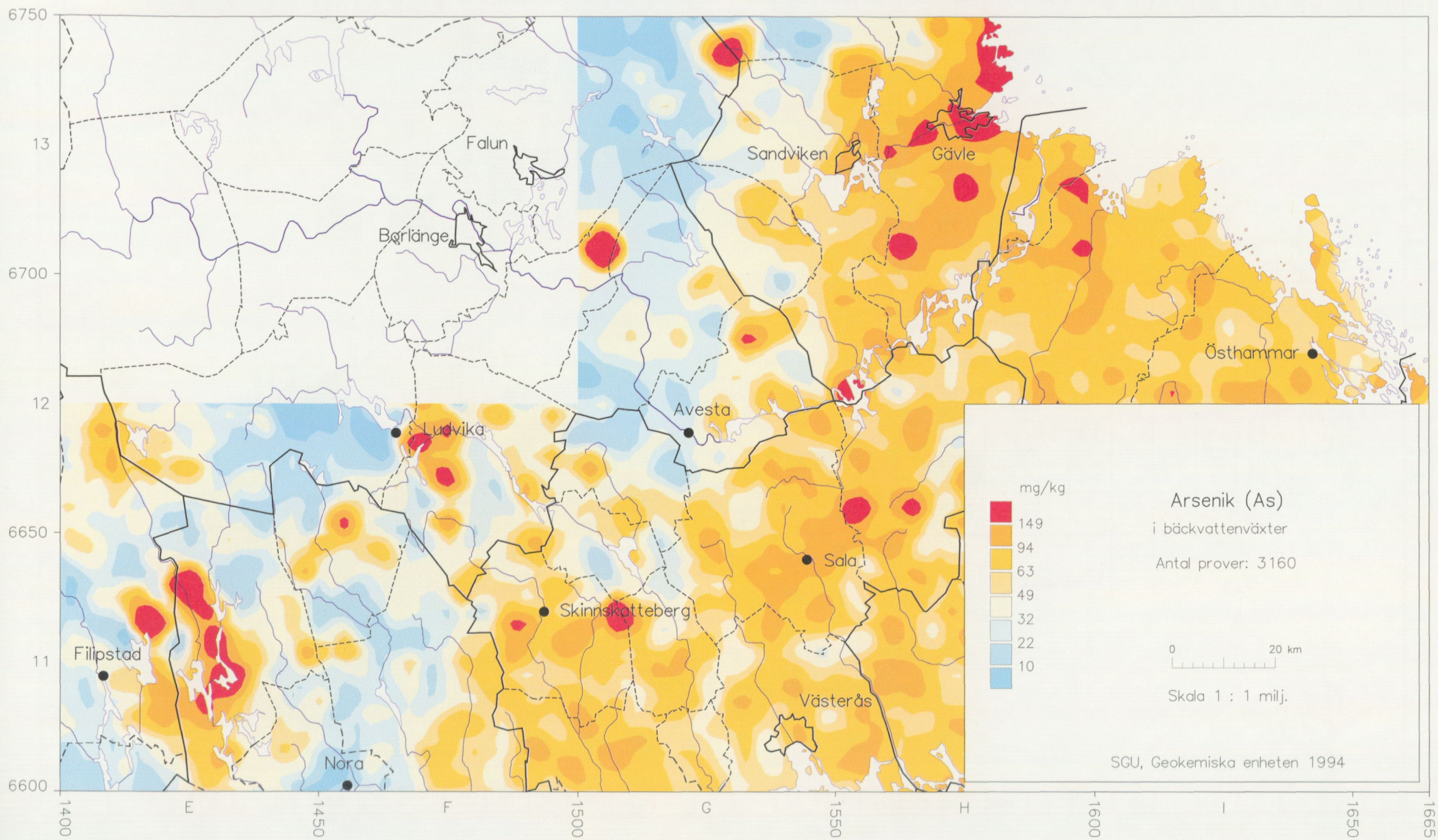


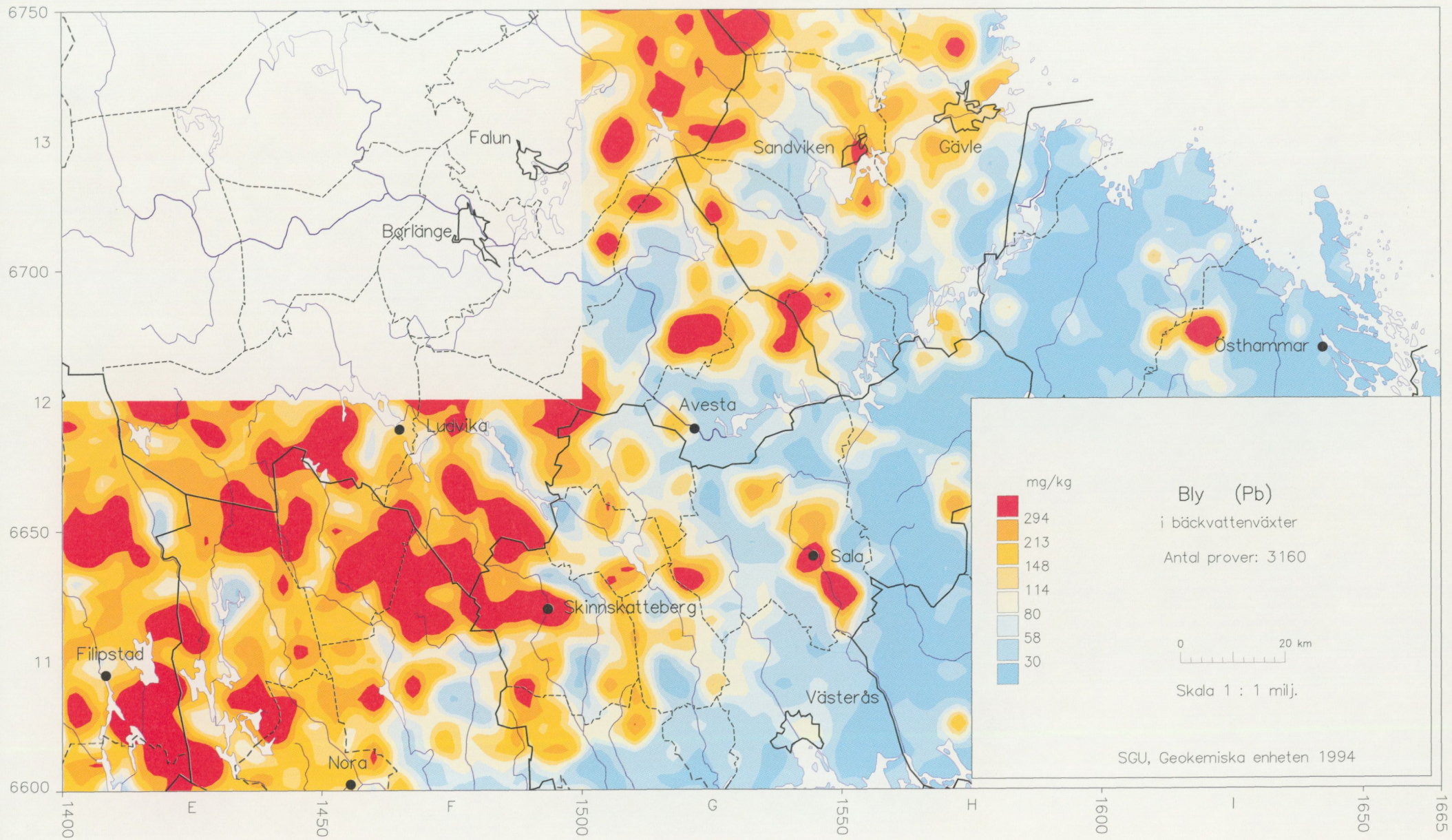
Biogeokemiska kartor
Tungmetaller i bäck-
vattenväxter
Utgivningsplan tom 1995

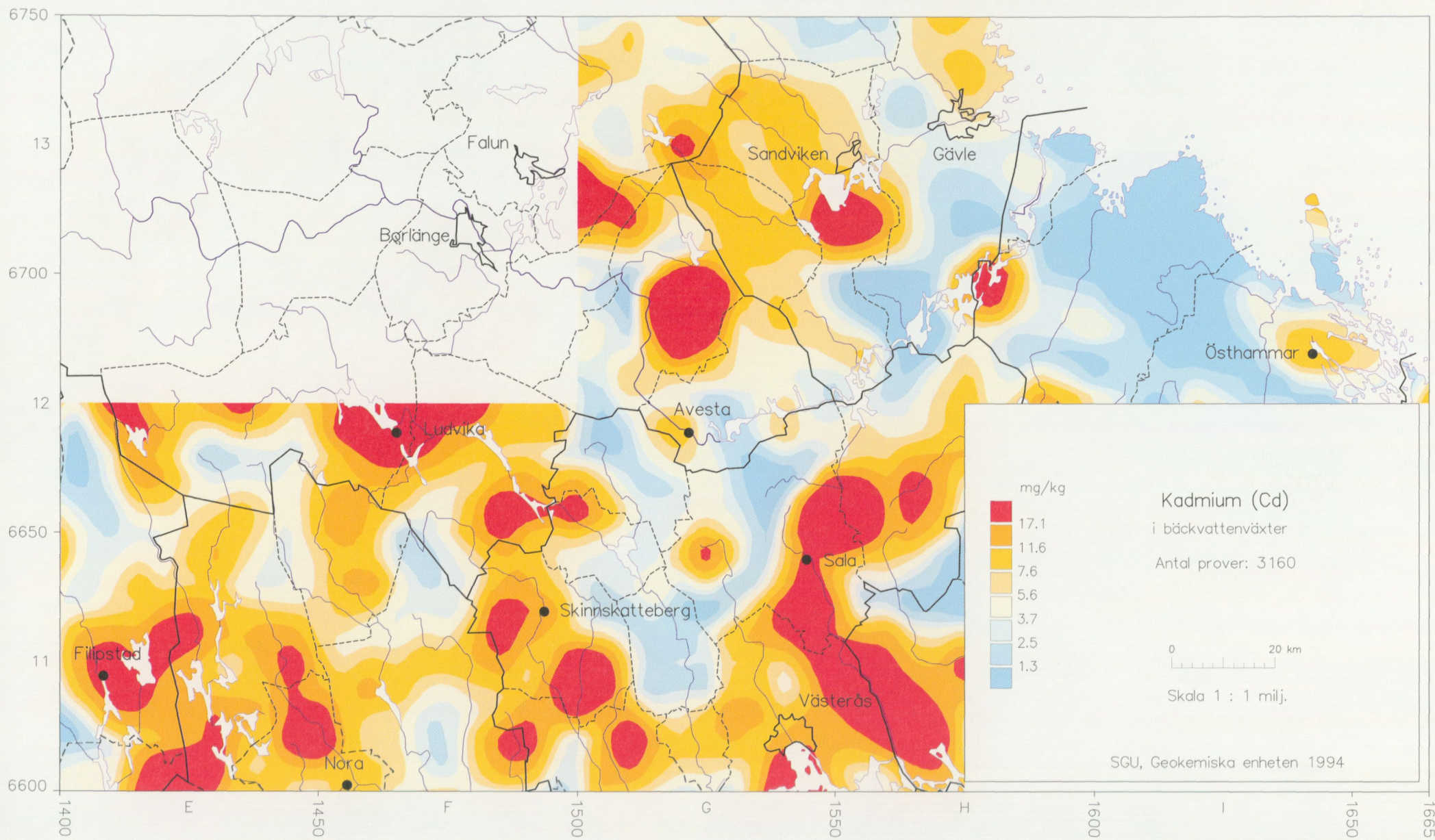
- Utgivna
- 95 11-12, B-D

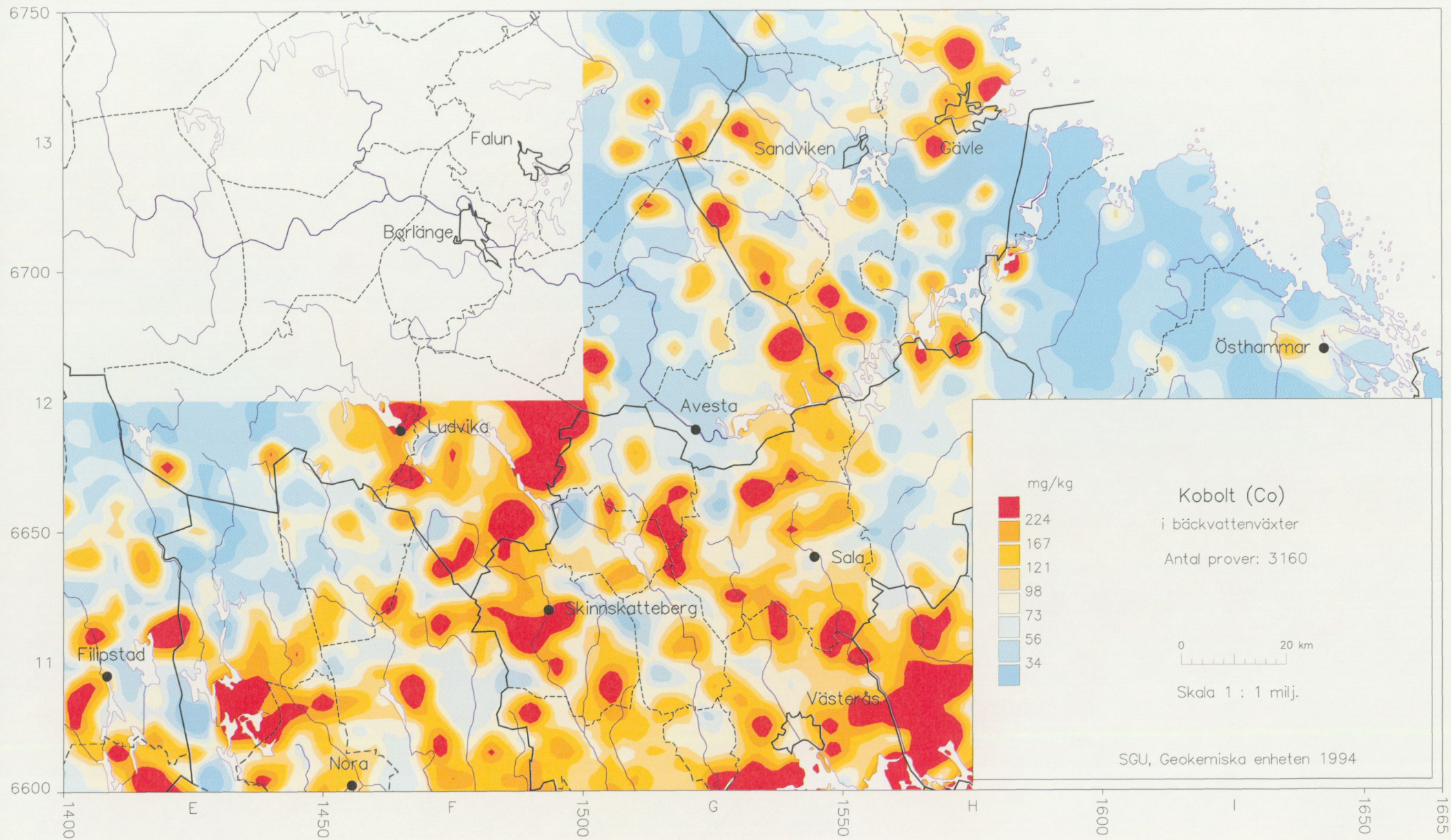
0 50 100 150 200 250 km

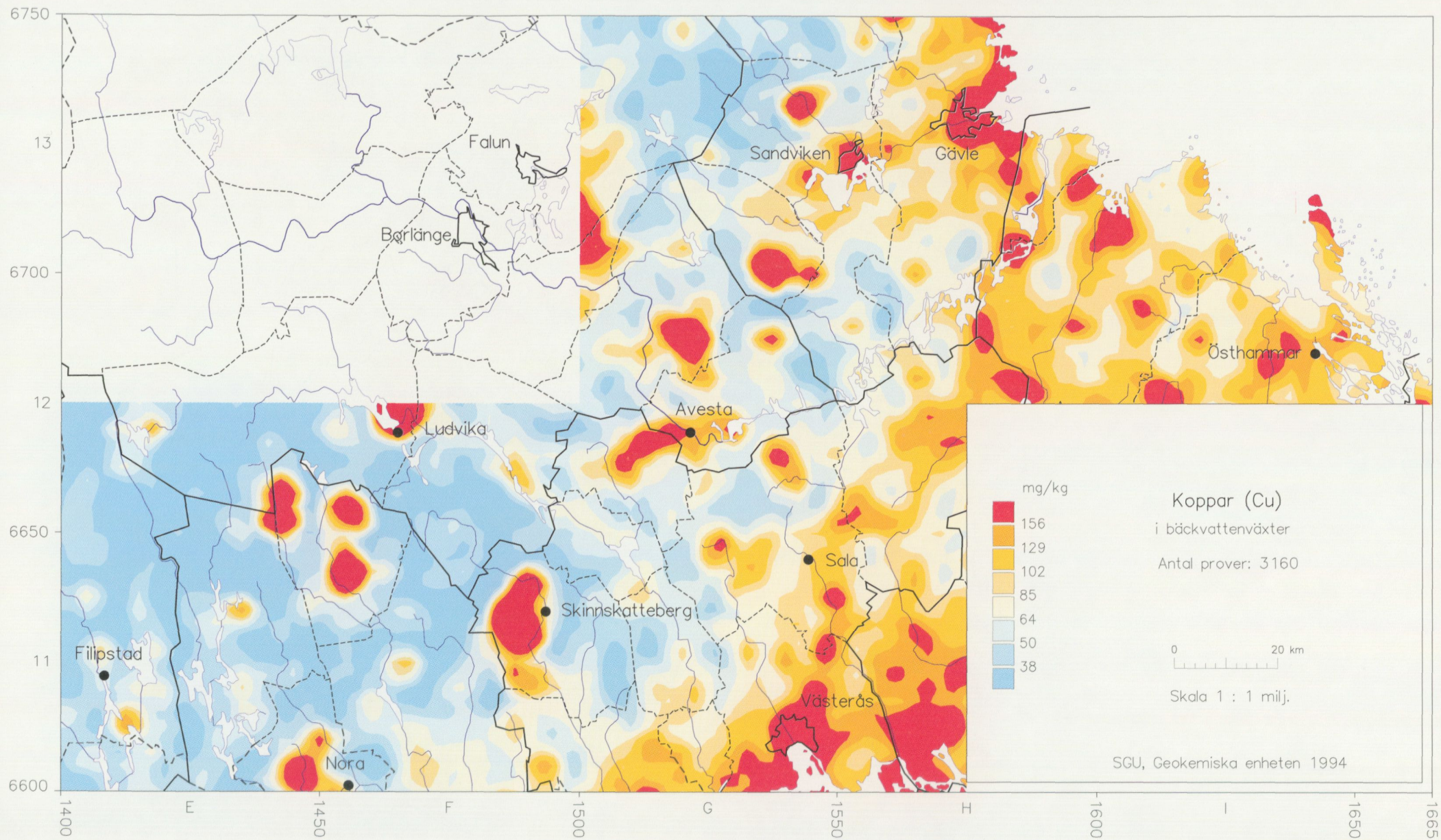
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3

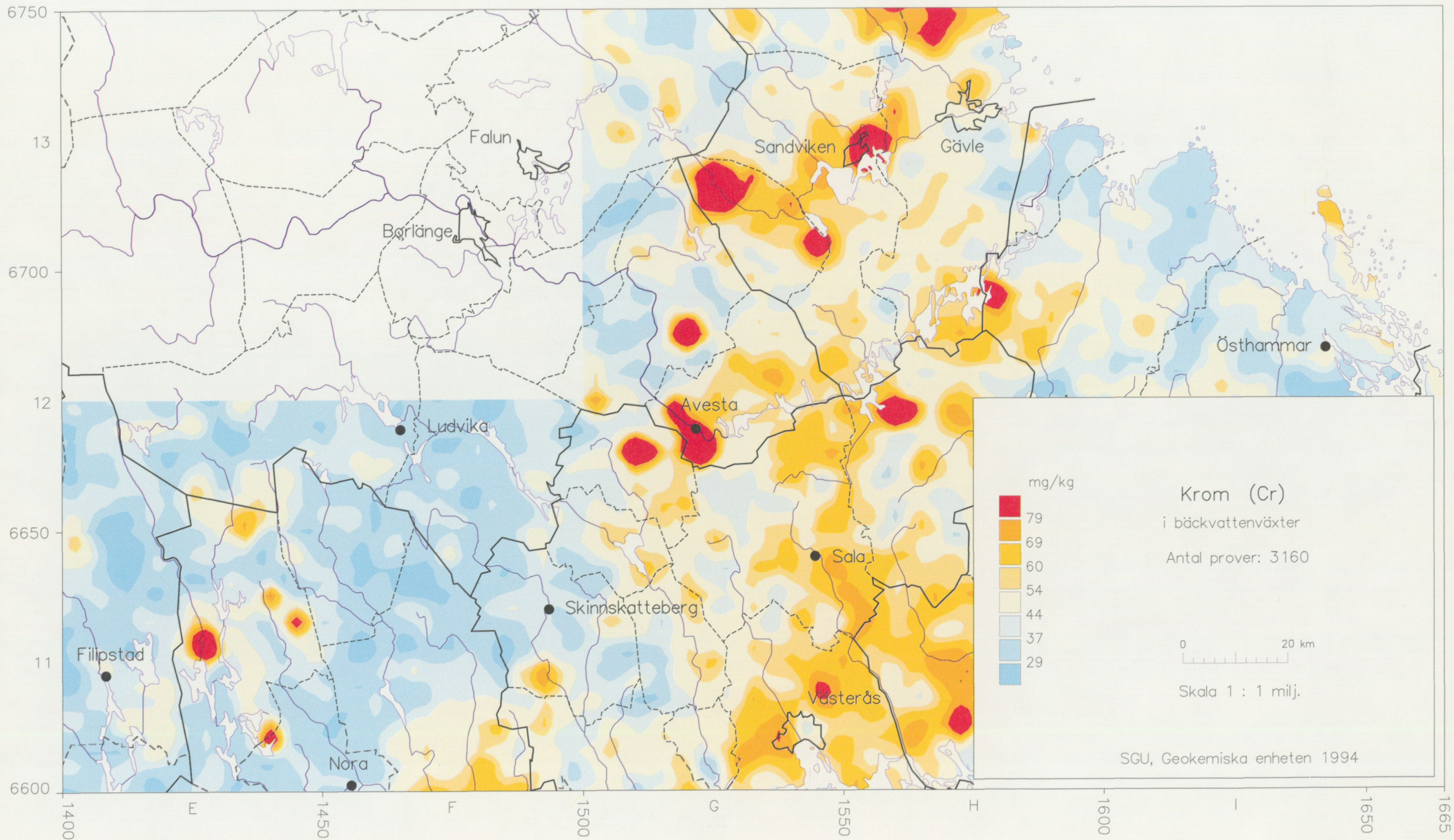


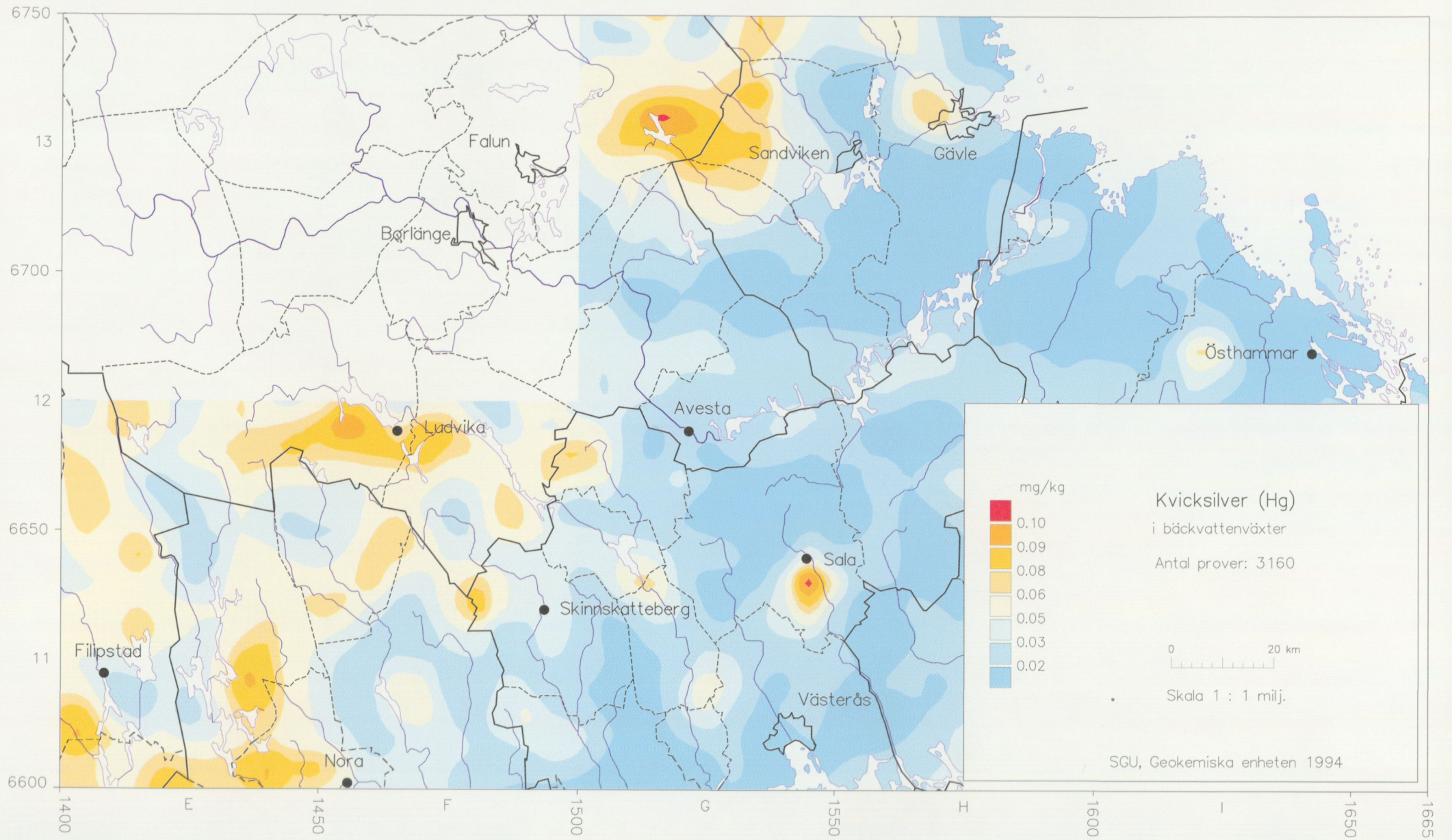


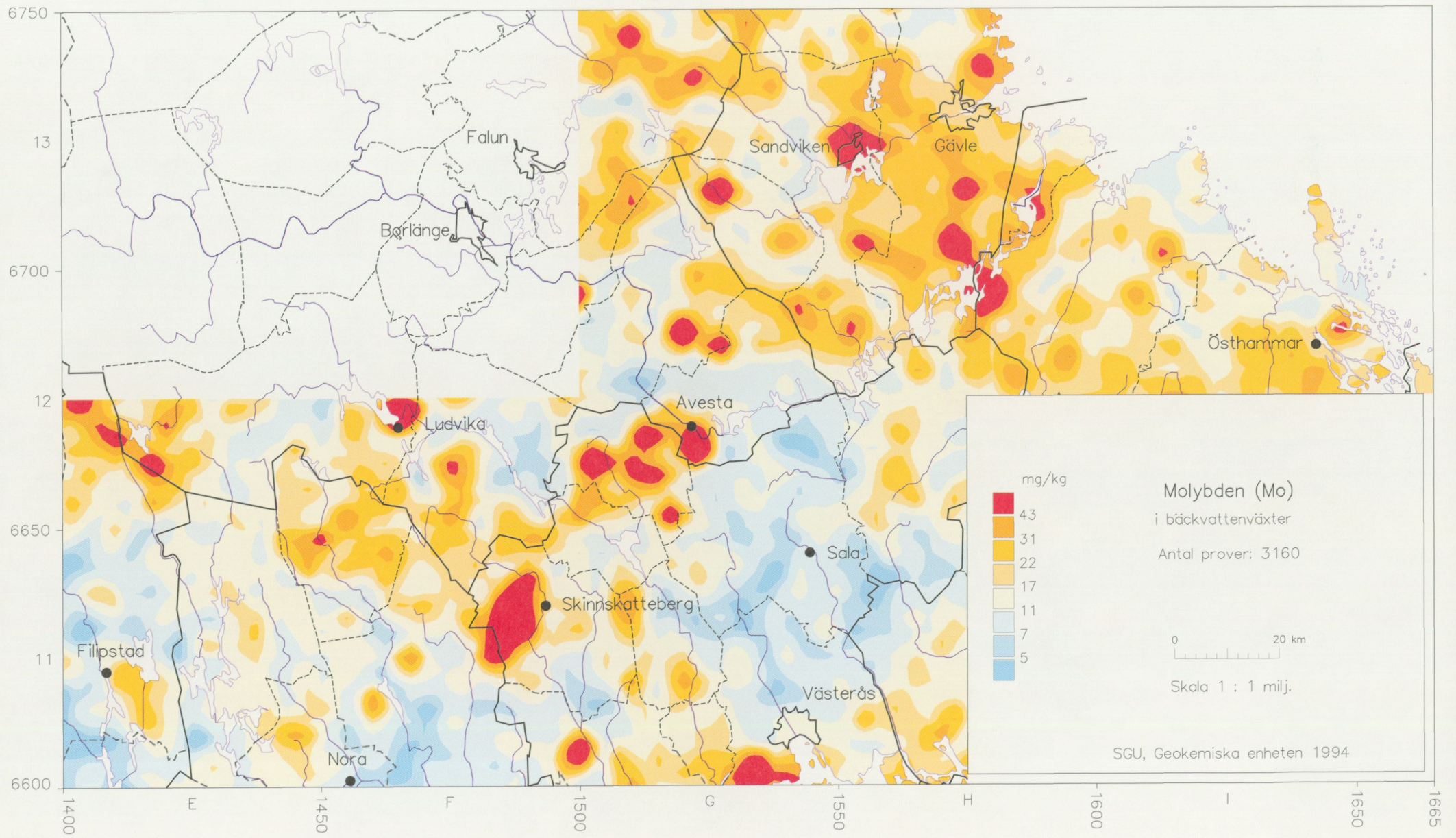


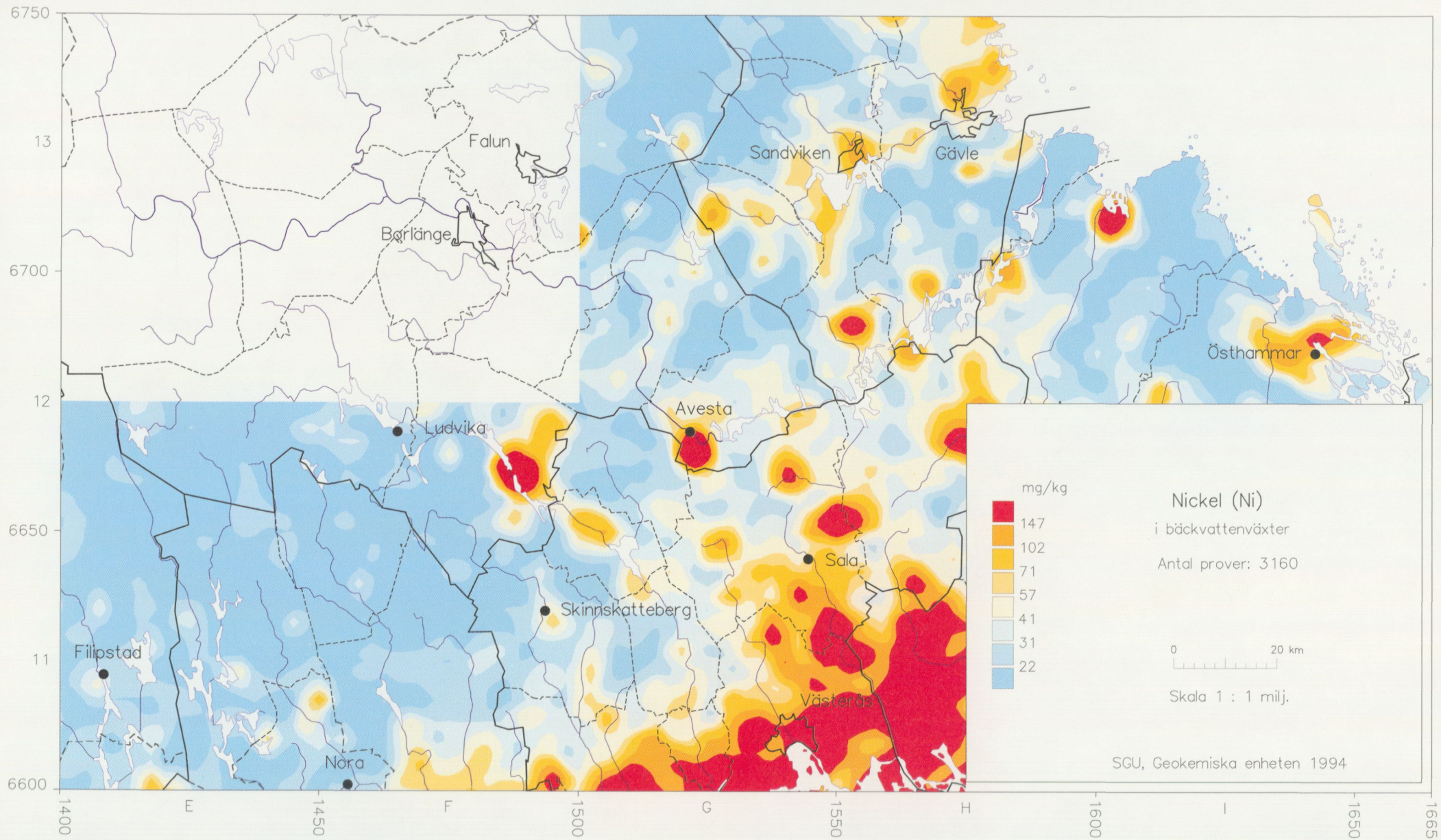


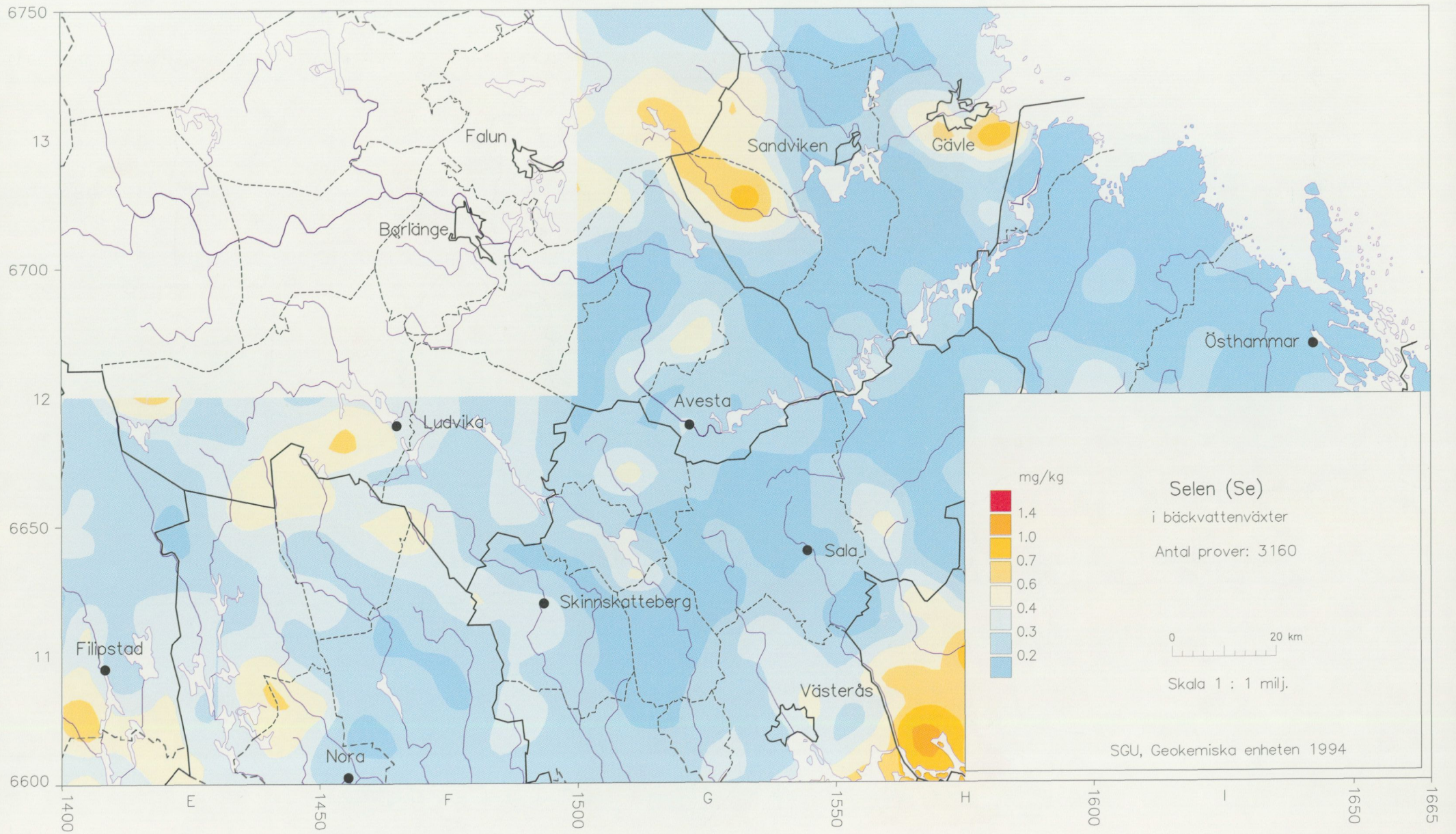


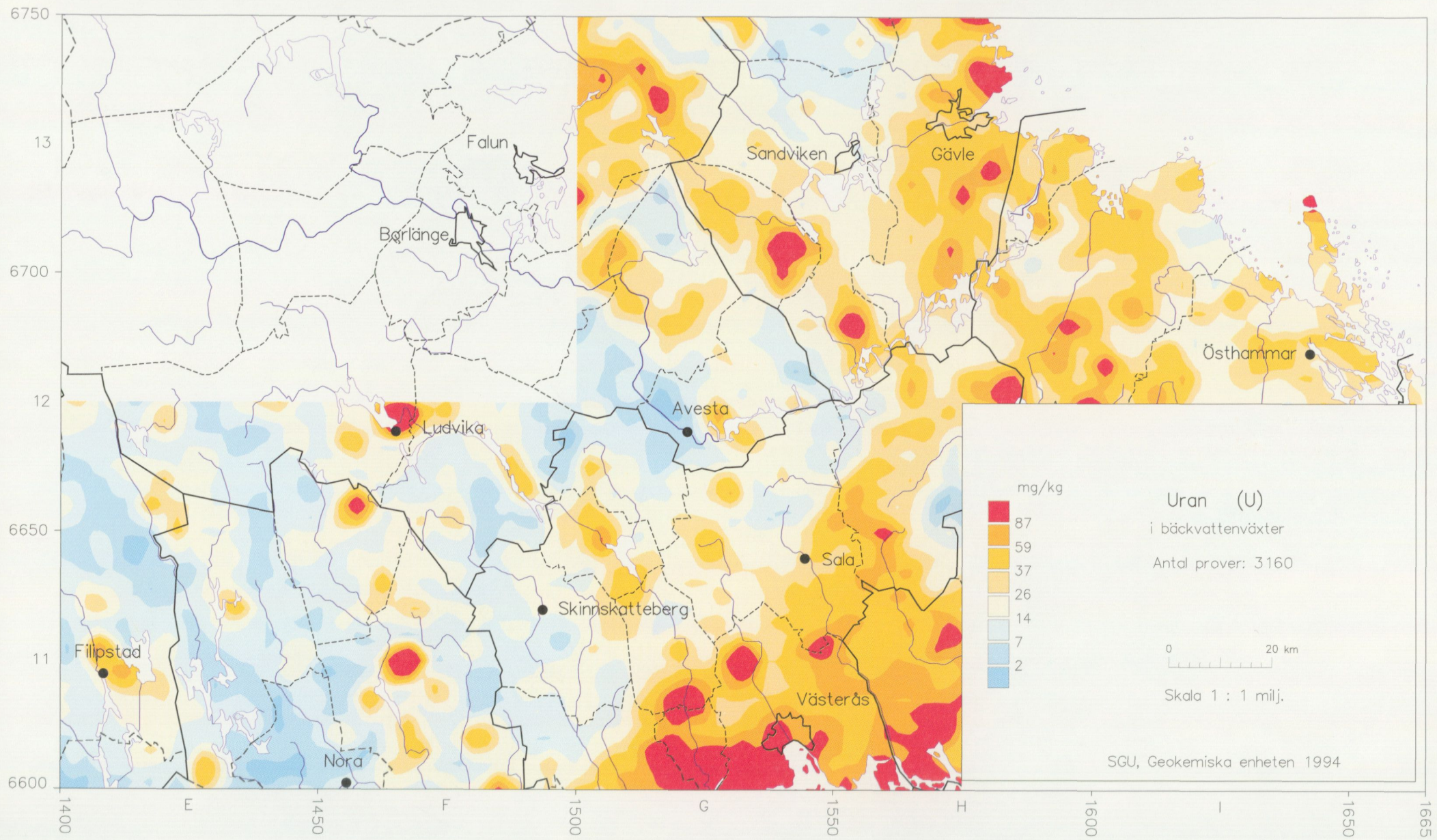


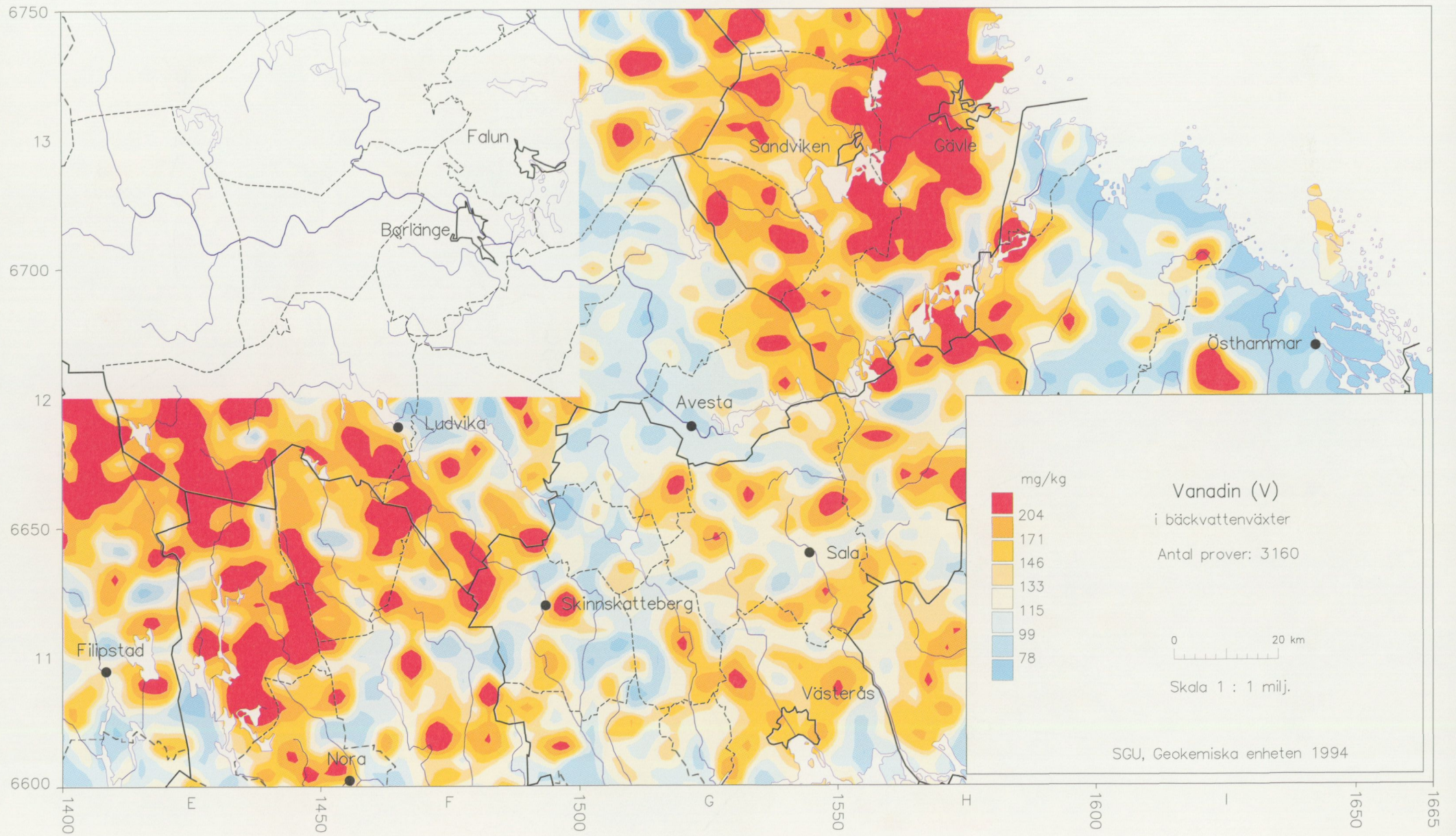


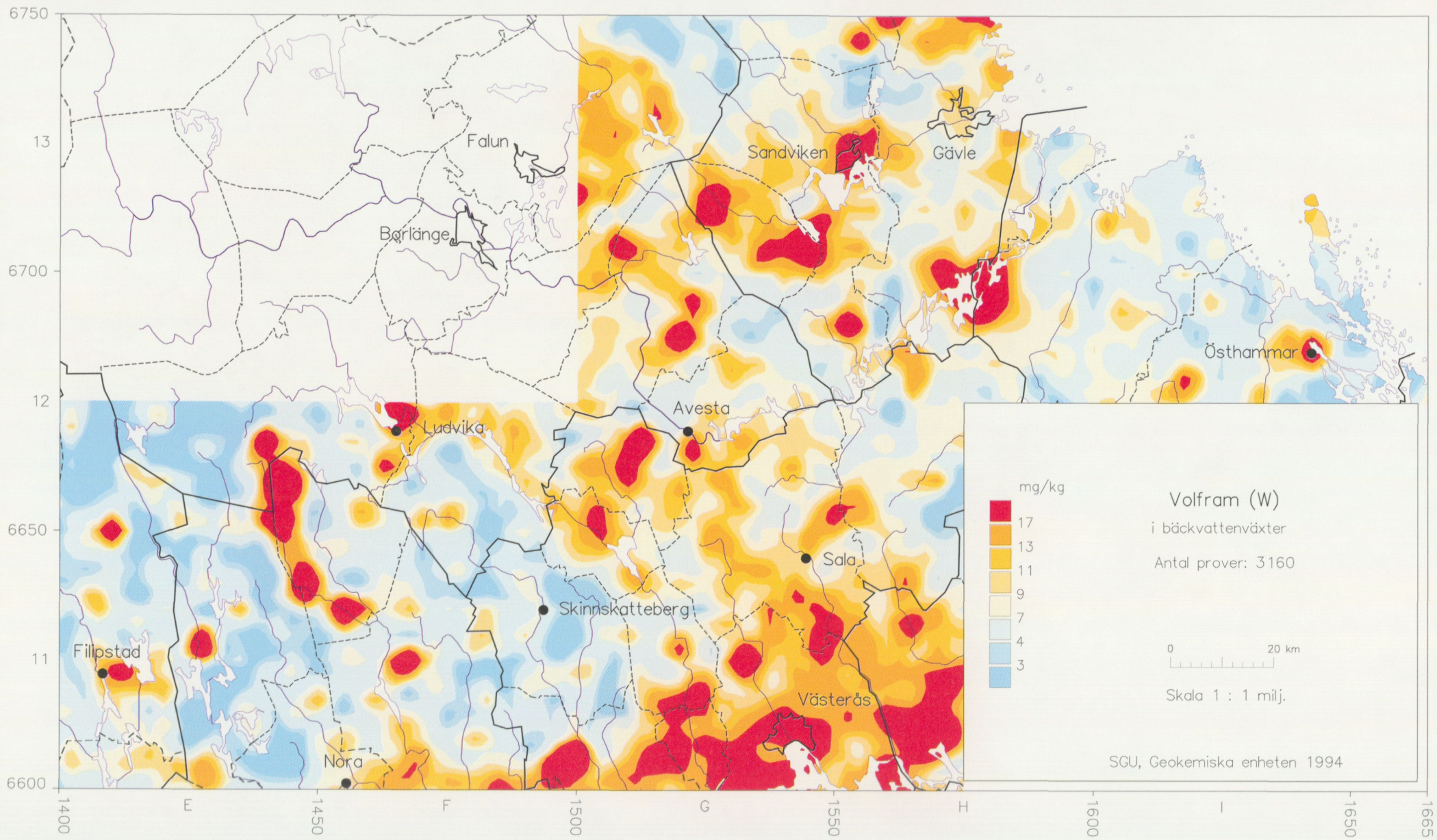


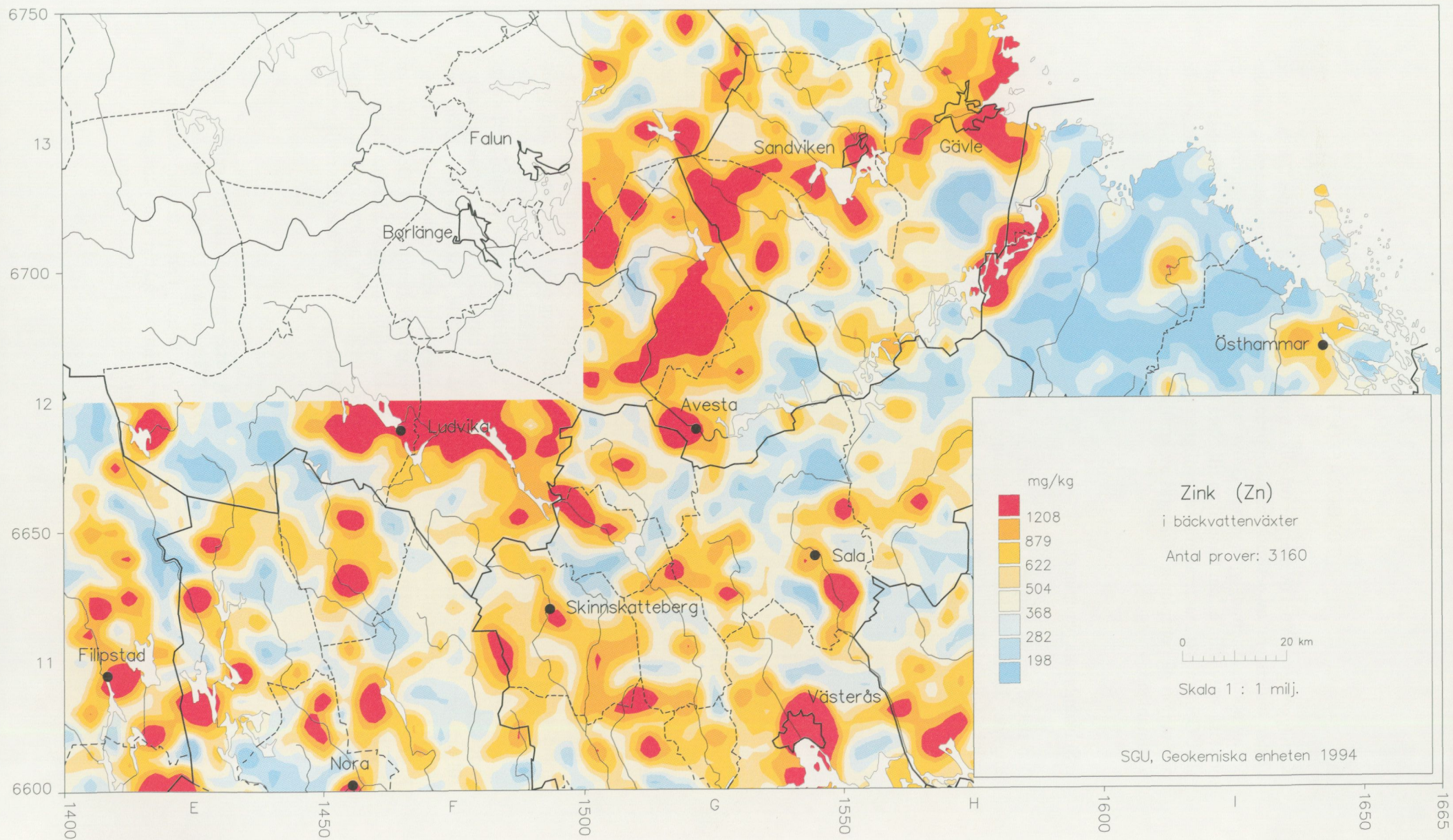












TOPOGRAFI OCH JORDARTER

Kartläggningsområdet överlappar två olika topografiska regioner, dels det flacka området i öster, underlagrat av det subkambriska peneplanet, och dels det mer kuperade landskapet av norrlandsterrängtyp i väster. Grovt sett löper gränsen mellan regionerna efter en nordost-sydvästlinje från Sandviken till Nora och är lätt urskiljbar på topografiska kartblad. Geokemiskt markeras gränsen tydligt av t.ex. uran, vars rörlighet i den relativt kalkrika miljön på peneplanet illustreras av kraftiga metallförhöjningar i Uppland och östra Västmanland.

1. Subkambriska peneplanet

Den flacka landskapstypen beror på att det underliggande urberget utgörs av en avjämningsyta, den s.k. subkambriska avjämningsytan. Denna nästan vågräta yta med obetydliga lokala nivåskillnader är resultatet av en långvarig erosion som föregick avlagrandet av bergarter yngre än urberget (d.v.s. av paleozoisk och mesozoisk ålder). Dessa yngre bergarter har i sin tur eroderats bort (senast av inlandsisen), och den flacka ytan bildar nu underlaget för de lösa avlagringar som bildats under och efter den sista nedisningen.

Inom den här aktuella delen av avjämningsytan brukar man urskilja följande jordartsregioner: Mälarbäckens ler- och moränområde (40 % lera och 30% morän), norra Upplands myrområde (35 % myr och 45 % morän) samt södra delen av norrländska kustzonen (25 % morän och 35 % myr).

Jordarterna i detta lågland domineras således av morän samt leror och andra sediment som avsatts under de olika stadierna i Östersjöns utveckling, d.v.s. de skeden som utvecklades i komplicerade samspel mellan israndens lägen, havs- eller insjöytans nivå samt landhöjningen. Lerorna har således skilda ursprung och karaktär. Glacialeran avsatt i Baltiska Issjön är varvig och brun, Yoldiahavets lera varvig och grå till gråröd medan Ancylussjöns och Littorinahavets leror är ovarviga och grå. De olika lerorna har skilda geokemiska egenskaper vad metallinnehållet beträffar. Det faktum att samtliga varianter förekommer inom provtagningsområdet, speciellt i Mälarbäckens lerområde, gör tolkningen komplicerad.

En kemisk parameter som har stor betydelse för en del tungmetallers transport i grund- och ytvattensystemen är förekomsten av kalk i berg och jord. Som en följd av inlandsisens uppbrytning och transport av de paleozoiska kalkstenarna i södra Bottenhavet är kalkhalten förhöjd i jordarna söder därom. Kalkförhöjningarna är solfjäderformigt spridda från Bottenhavet in mot Köping-Eskilstuna i sydväst. Kalkförekomster knutna till urberget inom karteringsområdet spelar också en viktig geokemisk roll i jordar och vatten. Den kemiskt alkalina miljö som kalkhalten förorsakar i jordar och vatten inverkar hämmande på vissa metallers rörlighet i yt- och grundvattensystemen. Detta gäller en lång rad element (t.ex. zink och kadmium) som bl.a. fälls ut som svårslösliga karbonater och hindras att spridas vidare i vatten med höga pH-värden. För andra tungmetaller, som t.ex. uran, molybden och arsenik, inverkar den kalkrika miljön främjande för rörligheten.

2. Norrlandsterrängen, södra delen

Där det subkambriska peneplanet slutar i norr och väster tar norrlandsterrängen vid. Inom karteringsområdet omfattar den Värmland, västra Västmanland, Dalarna samt västra Gästrikland och utmärker sig här av bergkullterräng. Det är troligt att detta område låg utsatt för vittring under mesozoisk tid, då klimatet var varmt och fuktigt och vittringen kunde tränga djupt ner i berget och skapa angreppsytor för senare mekanisk och kemisk erosion som orsakat utbildningen av terrängtypen.

Jordartsregionen inom denna del av norrlandsterrängen betecknas som inlandets morän- och myrområde, södra delen, med 45 % morän, 35 % myr samt 10 % kalt berg.

Avsaknaden av större mängder marina och lakustrina leror med ofta höga koncentrationer av tungmetaller som koppar, nickel, kobolt och krom (jämför Mälarbäckenet!) gör den geokemiska tolkningen av norrlandsterrängen inom karteringsområdet mindre komplicerad. Vidare saknas inflytandet av paleozoiska kalkstenar (jämför Norra Uppland med dess alkalina vatten och jordar!).

Jordartsregionen karakteriseras av en geologi och en vegetationstyp som i huvudsak favoriserar naturlig utveckling av kemiskt relativt sura vatten och jordar. Jordmånstypen utgörs av podsol med smärre inslag av brunjord framför allt efter vattendrag och i övrigt i lågt belägna delar av landskapet. Avsaknaden av alkalina jordar och vatten i kombination med den dominerande barrskogsvegetationen med myrinslag innebär att en transport av metaller med humusämnen blir möjlig. En del metaller kan lätt bindas av humussyror, bland dem bly och kvicksilver.

BERGGRUNDSGEOLOGI

Allmänt för Sverige kan sägas att den huvudsakliga direkta, naturliga källan till de metallmängder som via yt- och grundvatten bildar de fördelningsmönster som redovisas på den biogeokemiska kartan, är att härleda till den fasta, relativt lokala berggrunden och dess moräner. Det viktigaste naturliga undantaget till detta är de metallhalter som registreras i områden under högsta kustlinjen (HK) och som närmast härrör från företrädesvis marina leror från Östersjöns utvecklingsstadier. Berggrundsursprunget till dessa lerbundna metaller är att söka i ytmässigt mer vidsträckt sammanhang, saltvattnets sammansättning vid olika geologiska perioder, o.s.v.

Det aktuella karteringsområdet omfattas till största delen av den södra regionen i den svekofenniska delprovinsen, men underlagras längst i väster även av delar av den transkandinaviska granit-porfyrbältet (Värmlandsgraniter).

Den södra regionen i den svekofenniska provinsen sträcker sig från Norrlands sydgräns ned till Västervikstrakten och dess bergarter kan inom kartläggningområdet kortfattat beskrivas som följer. De äldsta ytbergarterna domineras av utbredda formationer av sura (kiselsyrarika) vulkaniter (ryoliter och daciter) som sammanfattas under benämningen leptiter vilka har sin tyngdpunkt i Bergslagens malmrika provins. Vulkaniterna bildar ett bågformat bälte från norra Uppland till södra Dalarna och vidare mot söder genom västra Västmanland till Närke och sydöstra Värmland. Bältet böjer sedan åter av mot sydöst och öst och fortsätter genom Södermanland och norra Östergötland. Basiska vulkaniter (basalter), basiska gångar samt intermediära vulkaniter (daciter och andesiter) förekommer underordnat i leptiterna.

I de sura vulkaniterna förekommer olika typer av inlagringar. Framför allt märks urkalksten (marmor), som utgörs av kristallina karbonatstenar (kalksten och dolomit), samt lagerbundna järn-, mangan- och sulfidmalmer. Sulfidmalmsdistrikten med deras dokumenterade innehåll av tungmetaller är viktiga geologiska hållpunkter vid tolkningen av den biogeokemiska bilden av undersökningsområdet. Karteringsområdet innefattar t.ex. malmfyndigheter som Garpenberg, Svärdsjö och Saxberget med mineral som kopparkis, zinkblände, svavel- och magnetkis. I Salaförekomsten uppträder silverhaltig blyglans och zinkblände i dolomitmalm och dess malm innehåller även antimon och kvicksilver. Sulfidmineral förekommer också ofta underordnat i järn- och manganmalmen. Så är manganfyndigheten Långban i Filipstads bergslag berömd för sin rikedom på bly och antimonmineral.

Förutom de äldre vulkaniterna med dess inlagringar kännetecknas den svekofenniska delprovinsen i karteringsområdet av dels tidiga (tidigorogena) granodioriter och graniter, t.ex. Uppsalagraniten samt Vängegraniten väster om Uppsala. I västra Bergslagen finns dessa äldre granitbergarter mer sparsamt och massiven är här betydligt mindre än österut. Ett exempel är Horrsjögraniten i trakten av Filipstad.

Yngre graniter (sen- till postorogena) förekommer i Bergslagen. De är i princip av två slag, dels pegmatitrika, fin- till medelkorniga, grå eller rödaktiga graniter och dels grövre, ofta porfyriska graniter. Till de förstnämnda hör Malingsbograniten söder om Ludvika, till de senare Hedesundagraniten kring gränsen Gästrikland – Uppland och den porfyriska Fellingsbrograniten mellan Köping och Lindesberg. Både Malingsbo- och Fellingsbrograniterna är förhållandevis rika på uran. Vidare har flera mineraliseringar av volfram och molybden påträffats i Bergslagen och dessa anses bildningsmässigt vara knutna till de yngre graniterna. Volframmineraliseringarna (scheelit åtföljt av flusspat) förekommer oftast i skarn- och kalkbergarter intill graniterna. Exempel är Yxsjöbergs gruvor i Ludvikatrakten och Wigströmmalmen mellan Grängesberg och Ställdalen. Molybdenmineraliseringar finns i likartad miljö, t.ex. vid Hörkens station söder om Grängesberg.

BIOGEOKEMISKA KARTANS ELEMENTFÖRDELNINGAR SOM KAN SÄTTAS I SAMBAND MED GEOLOGISKA FAKTORER

Vid en översiktlig studie av de biogeokemiska kartorna över det aktuella området synes en ibland tydlig kemisk gräns som överensstämmer med övergången från det subkambriska peneplanet i öster till norrlandsterrängen i väster. Inom inventeringsområdet har vi således att göra med två skilda geokemiska regioner, vilkas geologi och topografi förorsakar elementens olika respons vad beträffar löslighet och rörlighet.

1. Spårelementfördelningar inom norrlandsterrängen väster om linjen Sandviken–Nora, där en oftast naturligt sur miljö ger upphov till en mer direkt relation mellan berggrunden med dess nära anslutna moräner och halterna av tungmetaller i yt- och grundvatten. Här uppvisar t.ex. bly (Pb) och kvicksilver (Hg) stor rörlighet.

2. Spårelementfördelningar inom det flacka området öster om linjen Sandviken–Nora, underlagrat av den subkambriska avjämningsytan, omfattande norra Uppland, södra Gästrikland, östra Västmanland samt södra Dalarna och östra Värmland. Sambanden mellan berggrund och biogeokemiska markeringar inom området, helt beläget under högsta kustlinjen (HK), kan här ofta vara diffusa på grund av inslagen av de marina och lakustrina lerorna med dess relativt höga halter av tungmetaller. Närvaron av kalk i områdets jordar och vattendrag (med ursprung i de av isen uppbrutna paleozoiska bergarterna i södra Bottenhavet) påverkar också de olika metallernas löslighet och mobilitet i yt- och grundvatten. Här uppvisar element som arsenik (As), koppar (Cu) och uran (U) stor rörlighet.

Bly (Pb) och kvicksilver (Hg)

Dessa två metaller (båda med stora jonradier) är inom karteringsområdet typiska ämnen som lätt binds till humusföreningar och härmed får ökad löslighet och rörlighet i vatten med lågt pH. Jämför deras markerade uppträdande i norrlandsterrängen i väster med deras generellt sett mycket låga haltnivåer i jordbruksbygderna i öster. Kviksilver före-

kommer sporadiskt i små mängder i samband med sulfidmineraliseringarna i Bergslagen och det förefaller troligt att många av haltmarkeringarna på den biogeokemiska kartan utgörs just av genom humussyror lätt mobiliserad naturlig metall. Ett exempel på detta är den från öst till väst utdragna kvicksilverförhöjningen vid Ludvika som innefattar sulfidkoncentrationer som Saxberget och Stollbergsfältet. Även blyhalten är där förhöjd. En ytterligare berggrundsgeologisk källa till bly är vissa graniters kalifältspater, vilka vid vittring kan frigöra denna tungmetall till yt- och grundvattensystemen. En del av blykoncentrationerna är klart lokaliserade till närheten av de yngre postorogena graniterna, som t.ex. vid Malingsbo, och har även påverkats av delar av det transskandinaviska granitbältet i väster, som t.ex. i områdena norr och söder om Filipstad. I dessa trakter har även Filipstads bergslag med t.ex. Långbans mineraliseringar påverkat den biogeokemiska kartans blymönster.

Bly-kvicksilverkombinationer orsakade av geologiska faktorer inom låglandet i karteringsområdets östra del är som framhållits mindre vanliga, men Salaområdet med Sala silvergruva har tydligt förhöjd halt. Metallförhöjningarna i ytvattensystemen beror troligen på en kombinationseffekt av underlagrande mineraliseringar från berggrunden och från de varphögar som lagrats sedan brytningens början under 1500-talet.

Koppar (Cu), zink (Zn), arsenik (As) och kadmium (Cd)

Dessa metaller, tillsammans med bly (Pb) och kvicksilver (Hg), hänförs berggrundsmässigt vanligen till sulfidmineraliseringar och dess malmer (komplexmalmer, vars huvudsulfidkomponent vanligen utgörs av svavelkis, FeS_2). I Bergslagens prekambrika miljö återfinns dessa i de sura vulkaniterna (leptiter), ofta i lägen med kontakt till urbergskalksten och dolomit. De metallförande mineralen inkluderar kopparkis (med Cu, ibland med något Au), zinkblände (med Zn, Cd och Hg), blyglans (med Pb, ibland med Ag) samt arsenikkis (med As, ibland med något Au). I norrlandsterrängen kan den biogeokemiska kartans förhöjningar av denna metallkonstellation (eller delar av denna) knytas till Bergslagens malmer och till det otal mineraliseringar (ej brytbara) som förekommer inom provinsen. Av välkända malmer inom karteringsområdet kan nämnas Långban, Saxberget, Stollberg, Ljusnarsberg, Kaveltorp, Svärdsjö samt Garpenberg. Man måste också ha i minnet att många malmer med beteckningen järnmalm till vissa delar kan innehålla sulfidmineraliseringar med åtföljande tungmetaller. Bra exempel på detta är Ridrarhyttefältet och Stollberg.

Öster om linjen Sandviken–Nora ser metallernas spridningsmönster helt annorlunda ut. Immobiliteten hos bly och kvicksilver emanerande från berggrundskällor i detta område har berörts, men även zink och kadmium tycks uppvisa en liknande tendens (se t.ex. nordöstra Uppland). Däremot framträder Sala silvergruva och dess varphögar mycket väl genom förhöjning av halterna zink och kadmium tillsammans med bly och kvicksilver. Dräneringsområdet från Salaområdet mot Mälardalen är starkt kontaminerat av kadmium enligt den biogeokemiska bilden.

Tillgängligheten av kalk i jordarna inom det östra området (förorsakad av den kvartära uppbyggnaden av paleozoiska bergarter i södra Bottenhavet) har givit koppar och arsenik större rörlighet, vilket klart framgår av deras relativt höga nivå och jämna, utslätade fördelningsmönster. I fallet koppar kompliceras bilden av västra Mälardalens leror, som vid deras bildande under Östersjöns utvecklingsstadier anrikade denna metall (tillsammans med nickel, kobolt, krom, uran samt volfram och molybden). Samstämmigheten i metallens utbredning öster om Västerås med selen (Se) antyder att koppar adsorberades till marina lerpartiklar.

Selen (Se)

Selen är ett spårelement som relativt snabbt faller ut i marin miljö och förhöjda halter i leror innebär således närvaro av havssediment. Vid landhöjningen efter istidens slut har lerorna som avsattes under Östersjöns utvecklingsstadier utsatts för kemisk och mekanisk erosion varvid selen gjorts tillgängligt för de växter från vilka biogeokemiska prov tas. I västra delen av Mälardalen syns på biogeokemiska kartan denna typ av selenförhöjning. Ett liknande fenomen, även detta väl väster om linjen Sandviken-Nora, åskådliggörs av elementets förhöjda halt i prover söder om Gävle.

Väster om slättlandet, i norrlandsterrängen, är läget annorlunda. Här har vi oftast den mer direkta kopplingen berggrund – morän – yt- och grundvatten – bioprov. Selen är ett grundämne som mycket liknar svavel i sitt kemiska uppträdande och kretsloppsmönster och man kan förvänta sig elementet i de partier av berggrunden som genom olika geologiska processer (t.ex. malmbildning under prekambrisk tid) anrikats på sulfidkroppar, med andra ord koncentrationer av svavel- eller magnetkis eventuellt tillsammans med sulfider av koppar, zink och bly. Inom provtagningsområdets västra del härrör troligtvis de flesta selenförhöjningarna från sådana källor (se t.ex. Saxbergsområdet sydväst om Ludvika). Sannolikt är även ursprunget till elementförhöjningen mellan Falun och Sandviken att hänvisa till någon liknande källa. De förhöjda halter som finns i sydväst, i trakterna av Filipstad och Grythyttan, kan däremot inte direkt knytas till svavelkoncentrationer utan verkar geografiskt mer ha samband med det transskandinaviska granitbältet och i det senare fallet med urbergsskiffrar (Grythyttserien).

Nickel (Ni), kobolt (Co), krom (Cr) och vanadin (V)

Denna elementkombination, ofta tillsammans med koppar, är framför allt kännetecknande för basiska och intermediära bergarter (t.ex. gabbro, diabas och diorit). Metallerna förekommer i dessa bergarter som fint fördelade sulfidmineral som svavelkis och magnetkis, men även som spårelement i bergarternas mörka mineral (amfiboler och biotiter). Framträdande på berggrundsgeologiska kartor är svärmar av grönstensförekomster från Gävletrakten över Sandviken – Hofors – Avesta samt i ett område öster om Avesta i östra Västmanland. Här kan den basiska metallsekvensen spåras genom haltförhöjningar i det biogeokemiska materialet, men försiktighet måste iaktas vid tolkningen av variationerna av Ni, Co, Cr och V då äldre och nyare järn- och stålverk har använt och använder dessa metaller till ferrolegeringar vid tillverkning av olika typer av specialstål.

Nickel-, krom- och koboltvariationen påverkas också starkt av de metallanrikade lerorna i kartområdets låglänta östra delar. Detta är, liksom för koppar, mest uttalat i Mälardalsregionen, där troligen marina leror orsakat den kraftiga effekten.

Koboltfördelningen inom Bergslagens norrlandsterräng är således mest betingad av förekomsten av basiska bergarter men dessutom även av metallens spårvisa uppträdande i t.ex. svavelkis och kopparkis. En viss överensstämmelse kan inom detta område noteras i kobolts och koppars spridningsmönster.

Uran (U), volfram (W) och molybden (Mo)

Denna elementkombination kännetecknar vanligtvis urbergets granitiska bergarter, ofta tillsammans med bly. I den östra delen av undersökningsområdet visar även dessa metaller en utökad generell rörlighet tack vare kalkkomponenten i jordar och vattendrag. De stora diffusa förhöjningarna som illustreras av den biogeokemiska kartan är här ofta svåra att direkt knytas till speciella bergarter i regionen, men med all sannolikhet är de yngre postorogena graniterna i området ansvariga för de tre elementens närvaro i vattendragen.

De kraftiga markeringarna som i synnerhet för uran och volfram uppträder i Mälardalsområdet måste tillskrivas de postglaciala lerorna.

I den västra delen av undersökningsområdet med norrlandsterräng och ytvatten med relativt lågt pH kan källorna till förhöjningarna i metallhalter lättare spåras. Yxsjö volframmalm med anslutande mindre mineraliseringar (Hörken, Wigström mfl) markeras tydligt i ett nord-sydligt strykande bälte med volfram och något molybden. En kraftig molybdenförhöjning återfinns i trakten av Riddarhyttfältet med Skinnskatteberg. De uranhaltsförhöjningar som återfinns på biogeokemiska kartan kan även i denna region knytas till unga graniter (t.ex. Malingsbogramiten), speciellt till dessas randområden.

BIOGEOKEMISKA KARTANS ELEMENTFÖRDELNINGAR SOM KAN SÄTTAS I SAMBAND MED MÄNSKLIG VERKSAMHET

Som beskrivits har således den större delen av de metaller som uppträder inom områdets jordar och vattendrag ett naturligt och direkt (via morän) eller indirekt (via leror) ursprung i underlagets olika bergarter. Utöver dessa geologiskt betingade metallfördelningsmönster på den biogeokemiska kartan tillkommer effekterna av människans aktiviteter under århundradenas lopp, aktiviteter som stört det naturliga kretsloppet och ändrat och förstärkt spridningen av tungmetallerna i mark samt yt- och grundvatten.

Det är naturligtvis svårt att i en översiktlig undersökning som denna ange mer detaljerade historiska och nutida mänskliga ingrepp i miljön i det aktuella området. Det finns ännu inte något centralt databassystem att konsultera för att få samlad information från all miljöövervakning som nu pågår i landet, ej heller något centralt system som arkiverat historiska data som har betydelse för tolkningen av tungmetallspridningen (t.ex. äldre gruvbrytning och metallhantering).

Ett databassystem som på sikt kan bli användbart är naturvårdsverkets ADB-system KRUT (kalknings-, recipient- och utsläppsdata) som nu är under uppbyggnad och installerat hos länsstyrelserna. Systemet innehåller uppgifter om miljöfarlig verksamhet som industrier, förbränningsanläggningar m.m., vilka direkt påverkar metallomsättningen lokalt och regionalt. Dessa uppgifter kan sedan kombineras med resultaten från den biogeokemiska kartan och den markgeokemiska kartan (provtagning av C-horisont i morän) och leda till en avvägd tolkning av balansen mellan naturliga och antropogena effekter i miljöns metallbelastning.

Nedan ges en grov sammanfattning av effekterna från några viktiga mänskliga aktiviteter som stört det naturliga tungmetallkretsloppet i miljön.

1. Samband med gruvindustri

En stor del av det redovisade området berör Bergslagen, det mellansvenska kärnområdet för gruvbrytning och malmförädling som påverkat landskapet sedan 1000-talet. Malmerna (med bl.a. Cu, Pb, Zn, Cd, Hg och As) bryts och har brutits i dagbrott och under jord och dessa aktiviteter har i sig medfört störningar och påskyndat den naturliga vittringen av de mineral som binder metallerna. De flesta av de inom karteringsområdet aktuella metallerna är bundna till sulfidmineral (kopparkis, zinkblände, blyglans, arsenikkis, molybdenglans, o.s.v.) vilkas svavelkomponent vid transport till oxiderande miljö ökar syraeffekten.

Utöver gruvhanteringens inverkan på metallspridningen tillkommer krossning och anrikning av malmen och de stora mängder rester som uppstår vid hanteringen och som läggs i varphögar (brytningsrester) eller tippas i dammar (anrikningsavfall). I dessa lägen där luft och vatten lätt kan nå sulfidmineralen accelereras vittringen och följden blir en ökad metallspridning till mark- och grundvatten.

Sammanfattningsvis kan man säga att själva gruvbrytningsverksamheten förstärkt redan existerande, naturliga metallförhöjningar i mineraliseringsområdena, t.ex. anomalier vid Långban, Saxberget, Stollberg, Ljusnarsberg, Kaveltorp, Svärdsjö och Garpenberg. Detta är särskilt framträdande i norrlandsterrängen där det mer direkta sambandet berggrund – morän – grund – ytvattensystem föreligger.

I fallet Sala silvergruva med ett läge under HK (och med komplicerande Östersjösediment i jordtäcket) kan man förmoda att de naturliga förhöjningarna av halterna biogeokemiskt sett varit betydligt mindre påfallande än de som nu framträder på den biogeokemiska kartan. Varphögar, övriga anrikningsprodukter och lokala rostnings- och smältverk har accentuerat metalltillskottet i vatten- och markmiljön.

2. Samband med metallförädlingsindustri

a) Industri med inhemskt producerad basmetall (Cu, Pb, Zn med spår av Cd och Hg)

Metallförädlingsindustrierna, d.v.s. smältverk, gjuterier och verkstäder där metaller eller metallföreningar används som råvaror vid tillverkning av olika produkter, behöver inte vara lokaliserade i närheten av metallernas ursprungskälla. Detta gäller inte bara moderna industrianläggningar utan var ofta regel under bergshandlingens tidiga århundraden då stora delar av förädlingsverksamheten var förlagd till Mälardalen. Denna typ av industrier lämnar sina tydliga spår efter utsläpp till både luft, vatten och mark. Utsläpp av metallhaltigt stoft kan föras med vindar och nederbörd långt bort från själva emissionskällan. Tungmetallförhöjningarna runt Sandviken, Gävle, Sala och Västerås talar sitt tydliga språk.

b) Stålintusti med till stor del importerad ferrolegeringsmetall (Cr, Ni, Co, Mo och W)

Bergslagen har ju förutom de beskrivna basmetallerna producerat en väsentlig kvantitet järnmalm, d.v.s. grunden för den mellansvenska stålintustri. Handelsståls- och kvalitetsstålltillverkningen (hårdstål, rostfritt stål o.s.v.) har genom de legeringsmetaller som använts och användes förorsakat spridning av krom, nickel, kobolt, molybden och volfram till luft, vatten och mark inom det redovisade området. Exempelvis kan nämnas att ca 15 % av Sveriges totala kromimport förbrukas vid stålltillverkningen i regionen. Orter som Kolsva, Hallstahammar, Surahammar, Fagersta, Avesta, Österby, Sandviken och Hofors har alla lämnat sina bidrag till emission och följande nedfall av ofta betydande kvantiteter av ferrolegeringsmetallerna.

I detta sammanhang måste framhållas att stålintustri inte är den enda verksamhet som är storförbrukare av krom. Större garverier lämnar spår i miljön och som exempel kan nämnas att denna typ av industri lämnat kraftiga kromförhöjningar i bäckvattenväxtproven vid Hällefors i den västra delen av kartområdet.

Som förut framhållits måste man ta i beaktande att kraftigt förhöjda halter av ferrolegeringsmetallerna tillsammans med koppar helt naturligt kan förorsakas av grönstensbergarter (gabbro, diorit, basalt, diabas m.fl). Källan till vanadinförhöjningarna i södra Gästrikland är troligen att finna någonstans i det grönstensbälte som sträcker sig från Gävle i sydvästlig riktning mot Hofors.

3. Samband med tätorter och dess industrier, fordonstrafik, förbränningsanläggningar och soptippar

Vidarebearbetningen och förädlingen av de diskuterade tungmetallerna i mekaniska verkstäder medför naturligtvis ytterligare källor till utsläpp. Verkstäderna är vanligen lokali-

serade i tätorter eller i deras närhet och tillsammans med övrig urban och kommunal verksamhet (trafik, förbränning av kol, torv, olja, sopor, m.m.) bidrar de till samhällenas totala, breda register av tungmetallutsläpp till den urbannära miljön. Detta gäller samtliga de metaller som redovisas på de biogeokemiska kartorna, naturligtvis med den variation som ges av de olika samhällenas skilda typer av industrier och art av förbränningsanläggningar.

När olja eldas frigörs förutom svavel stora mängder vanadin och nickel. Problemet med de försurande svavelutsläppen i samband med oljeförbränning har ökat användningen av lågsvavliga oljor, vilka tyvärr i stället innehåller högre vanadinhalter.

I kolet är metallhalterna ännu högre än i olja. Dess förbränning ger framför allt utsläpp av zink, koppar, nickel, vanadin, arsenik och bly. Kolet innehåller också små, men långt ifrån försumbara mängder av kvicksilver.

Torv är ett material som lätt anrikar metaller och fungerar därför som en naturlig fälla för tungmetaller i rörelse i luft och vatten (torv har av SGU använts som biogeokemiskt provmaterial). Torvmossarna tjänar således som naturens läskapper som fångar upp, lagrar och förhindrar vidare spridning av metallerna i omgivningen. När torven sedan används som bränsle sprids dess upplagrade tungmetaller med röken och förs med vindar och nederbörd vida omkring. Den vid förbränningen resterande askprodukten utgör vidare i sig ett miljö- och lagringsproblem då den innehåller substansiella mängder av de mer svårflyktiga metallerna.

Runt sopförbränningsanläggningar uppstår självfallet förhöjningar av de flesta av de här redovisade metallerna beroende på utsläpp i form av gaser eller rökpartiklar.

Korrosionen av metallindustrins produkter gör att metallspridningen i princip fortsätter under hela tiden de är i bruk. Inte ens när användningen upphört slutar spridningen, utan metalläckaget till mark- och grundvatten fortsätter från landets många soptippar.

4. Samband med jord- och skogsbruk

Som tidigare framhållits dominerar den östra, flacka delen av det inventerade området av lerjordar avsatta under glacial och postglacial tid. Lermineralens förmåga att under vittning, vattentransport och sedimentation attrahera och binda vissa tungmetaller (grundämnen med stora jonradier som t.ex. koppar, nickel, kobolt och krom) har resulterat i naturliga koncentrationer av dessa element i t.ex. Mälardalen. När sedan effekter av jordbruket med avsiktlig (tillsatser av mikronäringsämnen som koppar, zink och molybden i handelsgödsel) och oavsiktlig (hela spektrat av tungmetaller, t.ex. kadmium, i rötslam) tillförsel av metaller från gödselmedlen läggs därtill, kan det ytliga grundvattnet bli belastat med ansevärd mängder tungmetaller. Vissa typer av handelsgödsel innehållande importerad fosfat kan förutom medvetet tillsatt koppar, molybden och zink även uppvisa förhöjda uranhalter vilka lätt sprids i vattensystemen om högt pH är förhärskande.

Metalläckaget från marken påverkas också av mängden humus som finns i det översta markskiktet. Genom att humusämnen kan binda och transportera vissa metaller ökas grundvattnets metalltillförsel i områden där tillgången på humusämnen är god. Två ämnen som har bra förutsättning att transporteras på detta sätt är bly och kvicksilver (metaller med stora jonradier) och det betyder att dessa två element lättast sprids till sjöar och vattendrag i barrskogsområden. Den biogeokemiska kartan visar tydligt denna tendens med stort metalläckage i inventeringsområdets västra del (norrländsterrängen över Högsta Kustlinjen). Det omvända förhållandet råder i områden med leriga jordar under Högsta Kustlinjen, där den ofta uppodlade marken uppvisar sämre humustillgång och blyet och kvicksilvret oftast förblir bundet i jordarten (stora delar av Uppland och Västmanland).

Stora ansträngningar görs för att minska bly- och kvicksilvertillförseln till naturen. Med en ändrad markanvändning, t.ex. skogsplantering på åkermark, kan motsatt effekt

uppnås genom att bly- och kvicksilverläckaget till grundvattnet kan öka.

Kalhuggning av stora skogsarealer medverkar naturligtvis till att accelerera urlakning-
en av de ofta magra markerna och i kombination med surt nedfall ökar metalläckaget från
jord och berg ytterligare. Följden blir då en allmänt ökad halt av bl.a. zink och kadmium i
sjöar och vattendrag i försurningskänsliga områden i de västra delarna av det här invente-
rade området (t.ex. delar av Värmland och Dalarna).

SUMMARY

In 1982, a national biogeochemical mapping programme based on plant roots from the
banks of small streams (where the main part of the water consists of ground water) was
initiated by the Geological Survey of Sweden. So far, including the present study,
200 000 square kilometers have been covered with systematic sampling in a relatively
wide net, where one sample represents six square kilometers (equals 15 samples per
100 square kilometers). In the early seventies the biogeochemical sample type replaced
the minerogenic stream sediments in the regional prospecting surveys carried out by the
Geological Survey

The main objective of the programme is to quantify regional variation of heavy metals
in the surface and ground waters of the country. This provides data for use in agriculture,
forestry, veterinary and human medical research ("geomedicine"), and also to support en-
vironmental research projects. An important environmental issue is the assessment of the
heavy metal redistribution when the surface environment is exposed to the effects of acid
rain. Also, and this was the original purpose when the Geological Survey started to de-
velop the method in 1970, the programme is to provide basic information for and support
prospecting efforts involving base and ferroalloy metals and gold.

The bulk of the sample consists of roots of grasses (mainly *Carex* species) and aquatic
mosses. The plant sample includes only species which show approximately the same
metal uptake. In Sweden the sample type has proved itself to be far more effective than
the traditional minerogenic stream sediments. This includes geochemical mapping, geo-
chemical prospecting and environmental studies with the tracing of sources of industrial
and urban waste products. The fact that the sample consists of living material also proves
that the heavy metal contents of the stream water is biologically available. The chemical
interaction groundwater – soil – roots is a slow process, so the resulting biogeochemical
maps can be used as a regional water quality check without having to take into considera-
tion the strong seasonal variation of the analytical levels in water itself (with expensive
resampling and analyses as a consequence).

The samples are dried at 105°C, weighed, ashed at 450°C during 12 hours and
weighed anew. The difference in weight is used to calculate the organic contents of the
sample. The separate samples to be analyzed for mercury and selenium is dried at room
temperature only. After grinding, the material is analyzed by X-ray fluorescence (XRF,
about 30 elements). Every fifth sample is furthermore analyzed for cadmium, selenium
and mercury by atomic absorption (AA).

Chemical analyses, organic content and sample coordinates are stored for fast retriev-
al. The amount of organic material and iron and manganese hydroxides has a direct influ-
ence on the variation of the heavy metals. To take these into consideration, correction of
the analytical values (raw values) are made, using stepwise multiple regression analysis.

Single element black and white maps in the scale of 1:250 000 are produced. The
single element coloured maps in this report are in the scale of 1:1 000 000 and give an
overall view of the map area. A UNIRAS-related program is used in the production of
these maps. The technique includes recalculation of the slightly irregular sample point
distribution into a regular net with interpolated analytical values.

The surveyed area is underlain by Precambrian rocks of Svecofennian age, dominated by granites (syn- and postorogenic), gneisses and various intermediate and basic rocks. It also includes the silicic volcanic sequences containing the bulk of the base metal and iron ores of the central Swedish mineralization region (Bergslagen). The volcanics are often accompanied by limestones, dolomites and skarn. The various ore-forming processes resulting in copper, lead and zinc sulfide deposits also included the formation of molybdenum and tungsten mineralizations.

The biogeochemical maps show that the studied area consists of *two distinct geochemical regions*, roughly divided by a line running NE-SW through the towns of Sandviken and Nora.

The *eastern part* is dominated by lowlands and is situated below the highest shore line of the Baltic Sea, which means that the land was covered by alternate marine and ice lake waters during the different stages of development of the Baltic. Thus, much of the Precambrian bedrock and the till of the area is now covered by marine and lacustrine clays, a fact which to some extent complicates the surface geochemical interpretation concerning the direct source of the heavy metals accumulated in the stream plant samples. The adsorption of heavy metals on the surface of clay minerals – a process started already at the time of the weathering of primary rock material – continued during the mineral transport and sedimentation into lacustrine and marine environments of the Baltic. The renewed erosion and chemical weathering of the present cover of clay sediments, exposed by the isostatic uplift after the retreat of the continental ice sheet, thus introduces high additional levels of Cu, Ni, Co, Cr, U, W and Mo in the surface environment of the surveyed area. However, the basic rock sequence of the region is the natural source of Cu, Ni, Co and Cr of the region, while the young granitic rocks are responsible for the high values of U, W and Mo. The “clay effect” is most evident in the southern part of the eastern region, in the Lake Mälaren district, where selenium (Se) indicates the presence of a post-glacial marine environment.

The occurrence of calcium carbonate in till and clays of the eastern region is a second factor influencing the distribution patterns of certain elements. The source of this pH-enhancing material was removed by the continental ice from the Paleozoic limestones of the Bothnian Bay and distributed throughout the eastern part of the investigated area. The biogeochemical maps show the high mobility of uranium, arsenic and molybdenum.

The *western part* of the surveyed area is almost totally situated above the highest coastline of the Baltic Sea and shows a more simple main soil distribution and a different topographic profile. The geological and geochemical maps show that the relationship between bedrock and till is much more distinct and that the local increase of metal contents in the ground and surface waters, as shown by the biogeochemical samples, is more easily related to specific mineralizations of base and ferroalloy metals.

In the eastern part of the surveyed area the high levels of elements originating from weathered clay material are enhanced by the effects of anthropogenic additions of metals. The clay regions coincide with areas of agriculture where a number of heavy metals are added to the environment with fertilizing agents. Also, as mentioned, large quantities of base metals and iron ore have been mined in these parts of Central Sweden (the Bergslagen region). The major mining districts are situated in the western part of the investigated area and here the natural biogeochemical anomalies have been accentuated by mining activities, resulting in high values of copper, lead, zinc, molybdenum and tungsten in the ground- and surface waters. A large part of the mined products has been refined in the urban centers of the region. Commercial and high grade steel has added ferroalloy metals, such as chromium, nickel, cobalt, molybdenum, vanadium and tungsten to the amounts supplied by the bedrock, till and clay cover. Combustion of gasoline, oil, coal, peat and incineration of refuse has resulted in metal additions in the areas surrounding the urban areas of the region.

REFERENSER

- Adriano, D.C., 1986: Trace Elements in the Terrestrial Environment. – Springer -Verlag, New York Inc.
- Bergbäck, B., 1992: Industrial Metabolism. The Emerging Landscape of Heavy Metal Emission in Sweden. – Linköping Studies in Arts and Science No 76.
- Kabata-Pendias, A. & Pendias, H., 1984: Trace elements in Soils and Plants. – CRC Press, USA.
- Lindström, M., Lundquist, J. & Lundquist, Th., 1991: Sveriges Geologi från Urtid till Nutid. – Studentlitteratur, Lund.
- Ressar, H., & Ohlsson, S.-Å., 1985: Geokemisk Kartering. – Sveriges geologiska undersökning, Rapporten och meddelanden nr 42.
- Ressar, H., Eklund, L., & Ohlsson, S.-Å., 1987: Geokemiska Kartan. – Sveriges geologiska undersökning, Rapporten och meddelanden nr 51.
- Ressar, H., Eklund, L., & Ohlsson, S.-Å., 1988: Biogeokemiska Kartan. – Sveriges geologiska undersökning, Rapporten och meddelanden nr 63.
- Ressar, H., Eklund, L. & Ohlsson, S.-Å., 1991: Biogeokemiska Kartan. – Sveriges geologiska undersökning, Rapporten och meddelanden nr 68.
- Ekelund, L., Nilsson, C.A. & Ressar, H., 1993: Biogeokemiska Kartan. – Sveriges geologiska undersökning, Rapporten & meddelanden nr 75.
- Tegengren, F.R. m.fl., 1924: Sveriges Ädlare Malmer och Bergverk. – SGU Ca 17.
- Wedepohl, K.H., 1969-79: Handbook of Geochemistry. – Springer-Verlag.

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. **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. 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 Kristianstadsslätten 1976–1987. 1988.
53. **Andersson, M.** Markgeokemiska kartan 18–22, G–I. 1988.
54. **Shaikh, N.A., Karis, L., Kumpulainen, R., Sundberg, A. och Wik, N.-G.** Kalksten och dolomit i Sverige. Del 1. Norra Sverige. 1989.
55. **Shaikh, N.A., Karis, 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., Karis, 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 14–16, G–H. 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.
63. **Ressar, H., Ekelund, L. och Ohlsson, S.-Å.** Biogeokemiska kartan 8–10, A–D. Tungmetaller i bäckvattenväxter. 1990.
64. **Cato, I.** Sedimentundersökningar i Brofjorden särskilt Trommekilen 1989, samt förändringar efter 1972 och 1984. 1990.
65. **Bruun, Å., Kornfält, K.-A., Sundberg, A., Wik, N.-G., Wikman, H. och Wikström, A.** Malmer, industriella mineral och bergarter i Kalmar län. 1991.
66. **R. Frietsch, A. Sundberg och N.-G. Wik.** Register över svenska fyndigheter av malmmineral och industriella mineral och bergarter. 1991.
67. **Robertsson, A.-M.** Strandförskjutningen i Eskilstunatrakten för ca 9000 till 4000 år sedan. 1991.
68. **Ressar, H., Ekelund, L. och Ohlsson, S.-Å.** Biogeokemiska kartan 5–7, I–K och 8–10, E–G. Tungmetaller i bäckvattenväxter. 1991.
69. **Selinus, O.** (ed.). 2nd International Symposium on Environmental Chemistry. (Abstracts). 1991.
70. **Andersson, M.** Från Falkenberg till Blomstermåla; nuläge och framtida effekter av syrabelastning. 1992.
71. **Hopsu, V.** Norbergs gruvor på 1960-, 70- och 80-talen. 1992.
72. **Gustafsson, O.** Radonhalten i grundvatten från granitområden i Malmöhus län. 1992.
73. **Andersson, M. och Nilsson, C.A.** Markgeokemiska kartan 3–7, F–H. 1992.
74. **Cato, I.** Sedimentundersökningar längs Bohuskusten 1990 – Göteborgs och Bohus läns kustvattenkontroll. 1992
75. **Ekelund, L., Nilsson, C.-A. och Ressar, H.** Biogeokemiska kartan 8–10, G–J och 11–12, H–J. Tungmetaller i bäckvattenväxter.
76. **Stephens, M.B. and Wahlgren, C.-H. (Conveners).** Workshop. Ductile shear zones in the Swedish segment of the Baltic Shield. Abstracts and excursion guide. Uppsala 1993.
77. **Sander, A.** Värderingsmodell för naturresurser. Tillämpning på ballasttillgångar. 1993.

* Utgången



Distribution

SGU
Box 670
751 28 UPPSALA
Tel 018-17 90 00
Fax 018-17 93 70