

## Biogeokemi

Konceptet för biogeokemisk provtagning utvecklades från början av mineralprospekteringsföretag för områden där morän inte utgjorde ett lämpligt provmaterial. Karteringsprogrammet baserades på kemin hos bäckvattenväxter, med användning av växter som olika *Carex*-arter (rötter), *Filipendula ulmaria* (rötter) och *Fontinalis antipyretica* (hela växten) som provtogs från mindre bäckar med en provtäthet av 1 prov per 7 km<sup>2</sup>. I urbana miljöer, där tillgången på naturligt växande bäckvattenväxter är sparsam eller obefintlig, har transplantat av *Fontinalis antipyretica* använts. Provtagningsstätheten är högre i urbana områden, och prov har ofta tagits nära provtagningsplatser för jordprov. Bäckvattenväxter utsätts för både naturlig och antropogen påverkan, vilket är en skillnad från morän provtagen i C-horisonen.

Bäckvattenväxter (rötter) och mossor anses vara provmedier som utan åtskiljning tar upp spårelement och därför avspeglar bäckvattenkemin. På grund av kemiska vittringsprocesser visar metallkoncentrationerna i bäckvatten på den kemiska sammansättningen i omgivande berggrund och jord. Utbytet av metaller mellan vatten och växtrötter är en långsam process som inte påverkas av säsongsvariationer. Biogeokemiska prov visar biotillgängliga metallkoncentrationer i akvatiska växter.

Huvud- och spårelement i biogeokemiska växtprov kommer ursprungligen från de levande rötterna och bladmossan, samt från minerogent material och järn-manganhydroxider som är associerade med växten. Förekomsten av minerogent material och järn-manganhydroxider utgör ett kontaminationsproblem som kräver viss korrigering av analysresultat. Andra geokemiska källor, till exempel humuspartiklar, anses ha mindre betydelse. Kontaminering med organiskt och minerogent material kan minimeras genom att provet sköljs noggrant. Små skillnader i distributionen av element kan vara ett resultat av att olika växtarter använts som provmaterial, men denna faktor utvärderades tidigt i kartproduktionen och anses vara försumbar.

Växtproven har analyserats på 30 grundämnen med röntgenfluorescens (XRF), där Al, As, Ba, Ca, Cl, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Rb, S, Si, Sr, Ti, U, V, W, Y, Zn och Zr gett tillräckligt hög analyskvalitet för att kunna användas för tolkning. En delmängd av proven har också analyserats på Hg, Cd, Se, Au, Sb, Bi och Tl med syralakning kombinerat med atomabsorptionspektrometri (AAS) och induktivt kopplad plasmamasspektrometri (ICP-MS). Resultat från fjorton grundämnen (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, U, V, W och Zn) har regelbundet blivit publicerade på SGU i form av rapporter, kartor och databaser. Texten nedan beskriver elementens spridningsmönster som visas på de biogeokemiska kartorna i atlasen.

## Biogeochemistry

The concept of biogeochemical mapping was developed by the mineral exploration sector for applications in areas where access to till was limited. The mapping programme was based on stream plant chemistry, using plants of the *Carex* species (roots) as well as *Filipendula ulmaria* (roots) and *Fontinalis antipyretica* (whole plant) which were collected from small streams at an average density of 1 sample per 7 km<sup>2</sup>. In urban areas, where access to naturally growing stream plants often is difficult or impossible, transplants of *Fontinalis antipyretica* have been used. The sampling density in urban areas is higher, and samples have often been collected near sites of soil sampling. Stream plants are exposed to both natural and anthropogenic influence, and this is a distinction from glacial till collected from the C-horizon.

Water plants (roots) and mosses are considered to be barrier-free media for trace element uptake and therefore directly reflect the stream water chemistry. Due to chemical weathering processes, the metal concentrations in the stream water reflect the chemical composition of the surrounding bedrock and soil. The exchange of metals between the water and the roots is a slow process which is unaffected by seasonal variations. Biogeochemical samples provide information on bioavailable metal contents in aquatic plants.

Major and trace elements in the biogeochemical plant samples originate from the living root and the bryophyte tissue itself, and from minerogenic matter and iron-manganese hydroxides associated with the plant. The minerogenic matter and iron-manganese hydroxides present a contamination problem, which requires additional corrections of analytical results. Other sources of elements, for example humus particles, are assumed to be of minor importance. Contamination from organic and minerogenic matter can be minimised by careful rinsing of the plants. Small differences in element distribution could be a result of using different plant species. However, this potential influence was evaluated at an early stage of map production and regarded as negligible.

The plants have been analysed for 30 elements by x-ray fluorescence (XRF), of which Al, As, Ba, Ca, Cl, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Rb, S, Si, Sr, Ti, U, V, W, Y, Zn and Zr presented sufficiently high analytical quality and could be used for interpretation. In addition, a subset of samples has been analysed for Hg, Cd, Se, Au, Sb, Bi and Tl, using an acid leach method combined with atomic absorption spectrometry (AAS) and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). The results of fourteen elements (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, U, V, W and Zn) have been regularly published by SGU in the form of reports, maps and databases. The following text describes the element distribution patterns presented on the biogeochemical maps in the atlas.



Provtagning och sköljning av rötter.  
*Sampling and rinsing of roots.*

Foto: Anders Damberg.

Arsenik från berggrunden och från kvartära avlagringar har hög mobilitet i naturliga vattendrag, både under sura och basiska förhållanden. Arsenik bildar komplex, lättlösliga joner, som mobiliseras i dräneringssystem. I norra Sverige, där bäckvattenväxter växer i områden med naturligt sur jord, finns förhöjda arsenikhalter. Arsenikinnehållet kan kopplas till viss berggrund och morän. Höga arsenikkoncentrationer finns bland annat i områden med polymetalliska sulfidmineraliseringar, t.ex. Skelleftefältet. I Gästrikland, Uppland och Västmanland, med deras kalkstensrika jord, finns förhöjda koncentrationer av arsenik i vattensystemen. Liknande förhållanden finns i Närke, Östergötland, Västergötland och Skåne på grund av förekomsten av kambro-silurisk kalksten och skiffer. Arsenik anrikas ofta i finkorniga sedimentära bergarter, speciellt i skiffer med högt organiskt innehåll (svartskiffer). Antropogena faktorer kan lokalt påverka den naturliga biogekemiska utbredningen av arsenik genom tillskott från förbränning av fossila bränslen, avfallshantering, hantering av metallskrot samt utsläpp från träimpregneringsindustrin och gruvindustrin (huvudsakligen från malmförädlingsprocessen snarare än brytningsprocessen).

Kadmium och zink förekommer i många sulfidmineral och associeras med polymetalliska sulfidmalmer. Lösligheten hos kadmium och zink ökar signifikant under sura förhållanden då metallerna frigörs till vattendrag och grundvatten, speciellt från sura jordar (morän och myr) i barrskogar. Zink och kadmium har hög extraherbarhet och vid vittring under sura förhållanden bildas lösliga joner och komplex med hög mobilitet. En faktor som i viss mån minskar mobiliteten är tendensen hos zink och kadmium att binda till järn- och manganhydroxider och organiskt material. Båda grundämnena visar en stark tendens att adsorbera till lermineral. Detta är tydligt i regioner under högsta kustlinjen där höga halter av zink och kadmium förekommer i bäckvattenväxter som växer i lerig jord.

I gruvregioner (t.ex. Falun i Bergslagen och i Skelleftefältet) pekar höga zink- och kadmiumhalter i bäckvattenväxter ofta på förekomster av zink-bly-mineraliseringar, bland annat i metavulkaniter och skarn. Vid Vätterns norra strand finns en stor zinkanomali som sammanfaller med läget för Zinkgruvan. Bly-zink-silver-mineraliseringar i dolomit nära Sala förekommer tillsammans med en stor kadmiumanomali, vilket syns tydligt i analyserna av bäckvattenväxterna. De höga zink- och kadmiumhalterna i Skåne härrör delvis från den zink- och kadmiumrika kambriska sandstenen. Växtrötter från regioner med karbonatbergarter (kalksten, marmor) tenderar att ha höga zink- och kadmiumhalter.

Förekomster av zink och kadmium i urbana miljöer beror huvudsakligen på utsläpp från förbränning av biobränsle och sopor, samt från zinkhaltigt konstruktionsmaterial (rännor, tak och rör). Metallindustrin bidrar lokalt till förhöjda metallhalter i bäckvattenväxter. Gödningsmedel och rötslam utgör andra källor till kadmium och zink i bäckar.

Koppar förekommer i sulfidmineral och som spårelement, huvudsakligen i mafiska och intermediära magmatiska bergarter. Koppar är mobilt, speciellt under sura förhållanden men även i neutrala och svagt basiska miljöer. Koppar har en relativt liten jonradie och har därför en stark tendens att binda till lermineral. Detta syns tydligt på geokemiska kartor där stora kopparanomalier finns i områden under högsta kustlinjen, t.ex. i kustnära områden i norra delen av Bottniska viken och i Mälarenregionen. Sulfidmineraliseringar i östra Skellefte-

Arsenic released from the bedrock and Quaternary deposits has a high mobility in natural waters, both under acidic and alkaline conditions. Arsenic forms complexes, easily dissolved ions, which are mobilised in drainage systems. In northern Sweden, water plants growing in areas with naturally acidic soil have elevated arsenic concentrations. The arsenic content can be linked to certain bedrock and till cover. For example, high arsenic concentrations are found in water plants in regions with polymetallic sulphide mineralisations, e.g. the Skellefte district. Gästrikland, Uppland and Västmanland, with their lime-rich soil, have elevated concentrations of arsenic in the water system. Similar conditions are found in Närke, Östergötland, Västergötland and Skåne with the presence of Cambro-Silurian limestone and shale. Arsenic is often enriched in fine-grained sedimentary rocks, especially in shale with high organic matter content (black shale). Anthropogenic factors may locally influence the natural biogeochemical distribution of arsenic with enrichment caused by combustion of fossil fuels, waste disposal, handling of scrap metal and emissions from wood impregnation facilities. The mining industry is responsible for local arsenic pollution, mainly related to ore processing rather than mining.

Cadmium and zinc occur in many sulphide minerals and are associated with polymetallic sulphide ores. The solubility of cadmium and zinc increases significantly under acidic conditions, with elements being released into watercourses and groundwater, especially from the acidic soils (tills and mires) of coniferous forest. Zinc and cadmium have high extractability, and during weathering under acidic conditions they form soluble ions and complexes which are highly mobile. A factor, which to some extent hinders the mobility in the drainage system, is their tendency to bind to iron and manganese hydroxides and to organic matter. Both elements have a strong tendency to adsorb to clay minerals. This is apparent in regions located below the highest coastline where high zinc and cadmium contents occur in water plants growing on clayey soil.

In mining regions (e.g. Falun in Bergslagen and the Skellefte district), high zinc and cadmium concentrations in aquatic plants point to the numerous zinc-lead deposits, hosted mainly by metavolcanic rocks and skarn. At the northern end of Vättern, a large zinc anomaly shows the position of the Zinkgruvan mine. Lead-zinc-silver mineralisation in dolomite near Sala is accompanied by a major cadmium anomaly in water plants. The high zinc and cadmium concentrations in Skåne originate partly from the zinc- and lead-rich Cambrian sandstone. Plant roots from regions with carbonate rocks (limestone, marble) tend to have elevated zinc and cadmium concentrations.

The presence of cadmium and zinc in urban areas is mainly caused by atmospheric deposition from biofuel emissions and waste combustion, and from leaching of zinc coated construction materials (e.g. gutters, roofs and pipes). The metal industry only locally contributes to increased metal levels in aquatic plants. Fertilisers and sewage sludge are additional sources of cadmium and zinc in streams.

Copper occurs in sulphide minerals and as a trace element, mainly in mafic and intermediate igneous rocks. Copper is mobile, especially under acidic conditions but also in neutral and slightly alkaline environments. As a metal with a relatively small ion radius, copper shows a strong tendency to bind to clay minerals. This feature is visible on the biogeochemical maps where large copper anomalies are found in areas below the highest coastline, for example in the coastal regions of the Gulf of Bothnia and in the Mälaren region. Sulphide mineralisations in the eastern Skellefte district, Bergslagen, Jämtland and

fältet, Bergslagen, Jämtland och Småland är den huvudsakliga orsaken till kopparanomalier. Antropogen spridning av koppar kan vara signifikant i gruv- och industriområden där förhöjda kopparhalter kan förekomma i jord och vatten. Atmosfäriskt nedfall från metallindustrier kan påvisas i de flesta urbana områden. Förr tillsattes koppar ofta till gödningsmedel, vilket kan vara anledningen till att metallen förekommer i vattendrag nära åkermarker.

Den huvudsakliga källan till kvicksilver i Sverige är vulkaniska bergarter och sulfidmineraliseringar. Regionala spridningsmönster för kvicksilver liknar de som finns för bly. Lösligheten hos kvicksilver är mycket låg men ökar i vatten vid lågt pH. Kvicksilver bildar relativt stabila komplex med humusmaterial och kan transporteras av humuspartiklar, vilket leder till höga koncentrationer i bäcksystem i sura, barrträdrika moränområden. Kvicksilver binder dock lätt till karbonater och finkorniga sediment, vilket resulterar i låg mobilitet av kvicksilver i vattensystem. Därför visar bäckvattenväxter från områden dominerade av kalkhaltig och lerig jord låga halter av kvicksilver (t.ex. Gotland och Mälarenregionen). Kvicksilverhalter i bäckvattenväxter är högst i Ångermanland och södra Lappland på grund av berggrundens geologi och flertalet sulfidmineraliseringar. En stor del av det kvicksilver som cirkulerar i systemet luft-jord-vatten kommer från antropogena källor. Kvicksilver är en mycket flyktig metall som frigörs till atmosfären och vattendrag från bland annat förbränningsanläggningar, slam, metallindustri och kemisk industri.

Primärt nickel, kobolt och krom förekommer som spårelement i ultramafiska och mafiska bergarter. Sekundär anrikning förekommer i sulfidrika sediment med högt innehåll av organiskt material samt i finkorniga sediment. Vid vittring är mobiliteten hos krom väldigt låg medan nickel och kobolt är lättlösliga i oxiderande miljöer och kan transporteras via markvatten och grundvatten till vattendrag. Mobiliteten styrs av adsorptionen till lermineral, bildningen av organiska komplex och bindningar till järn- och manganhydroxider. De högsta koncentrationerna av nickel, kobolt och krom förekommer i bäckvattenväxter från områden med exponerade postglaciala leror, t.ex. i Mälardalen och de östra och västra kustregionerna. Förhöjda halter finns i barrskogsterräng, t.ex. i norra, västra och södra Sverige, och korrelerar ofta med förekomsten av ultramafiska och mafiska bergarter. Lokalt höga nickelhalter finns i områden med svartskiffer (Jämtland och Västergötland).

Bly är en av de mindre mobila metallerna, men dess mobilitet ökar i sura miljöer. Förhöjda blykoncentrationer i bäckvattenväxter förekommer oftast i regioner med lågt pH, speciellt i myrrika områden med barrskog. I Bergslagen korrelerar höga blyhalter med förekomsten av mineraliseringar av basmetaller. I södra och sydvästra Sverige har höga koncentrationer delvis sitt ursprung i atmosfärisk nederbörd som transporterats av i huvudsak västliga vindar. Blyanomalier finns även i områden där surt regn faller. Kalkhaltiga bergarter, som förekommer i centrala Sverige samt på Öland och Gotland, innehåller typiskt låga halter av bly. Blyutsläpp på grund av antropogena aktiviteter är väldokumenterade och både urbana miljöer och gruvområden kan utgöra lokala källor.

Selen är ett viktigt näringsämne och huvudsakliga selenkällor är sulfider, vulkaniska bergarter och finkorniga sedimentära bergarter. Selen är mobilt under oxiderande och basiska förhållanden samt har en stark tendens att binda till organiskt material och ler-

Småland är de huvudsakliga orsakerna till kopparanomalier. Antropogen spridning av koppar kan vara signifikant i gruv- och industriområden där förhöjda kopparhalter kan förekomma i jord och vatten. In addition, atmospheric fallout from metal industries can be detected in most urban areas. Copper was previously added to a number of fertilisers, which may explain the presence of copper in stream waters of agricultural plains.

The primary source of mercury in Sweden is volcanic rocks and sulphide deposits. The regional dispersal pattern of mercury is very similar to that of lead. The solubility of mercury is very low, but it increases in water with low pH. Mercury can form relatively stable complexes with organic matter, and can be transported by humus particles, which leads to high concentrations in stream systems in acidic, conifer-rich till areas. On the other hand, mercury is easily bound to carbonates and fine-grained sediments, which results in low mobility of mercury in the water system. Therefore, water plants from areas dominated by calcareous and clayey soils have generally low mercury concentrations (e.g. Gotland and the Mälaren region). The mercury levels in water plants are highest in Ångermanland and southern Lappland because of the bedrock geology and the presence of various sulphide mineralisations. A large proportion of the mercury circulating in the air-soil-water system is inferred to be of anthropogenic origin. Mercury is a highly volatile metal which is released into the atmosphere and water from, for example, combustion plants, sludge, and the metal and chemical industry.

Primary nickel, cobalt and chromium occur as trace elements in ultramafic and mafic rocks. Secondary concentrations occur in sulphide-rich sediments with a high content of organic matter and in fine-grained sediments. During weathering, the mobility of chromium is very low while nickel and cobalt become soluble under oxidising conditions and can be transported by soil water and groundwater into streams and watercourses. The mobility is controlled by adsorption to clay minerals, formation of organic complexes and binding to iron and manganese hydroxides. The highest nickel, cobalt and chromium concentrations are found in water plants growing in areas with exposed postglacial clay, for example in the Mälaren region and in the eastern and western coastal regions. Elevated concentrations of the elements are commonly found in the coniferous forest terrain, for example in areas of northern, western and southern Sweden, and often correlate with the occurrences of ultramafic and mafic rocks. Local high nickel contents can be explained by underlying black shale (Jämtland och Västergötland).

Lead is one of the least mobile metals, but its mobility increases in acidic environments. Elevated lead concentrations in water plants are commonly found in regions with low pH, especially in peatland areas with coniferous forest. In Bergslagen, high lead contents correlate with occurrences of base metal deposits. In southern and south-western Sweden, elevated lead concentrations may originate partly from atmospheric fallout, transported by westerly-dominated winds. Lead anomalies also coincide with areas of acid rain. The calcareous rocks and soils in parts of central Sweden and on Öland and Gotland typically have very low lead concentrations. Lead emissions due to anthropogenic activities are well known, and both urban areas and mining centres can be a major source of local lead pollution.

Selenium is an important nutrient and the main sources are sulphides, volcanic rocks and fine-grained sedimentary rocks. Selenium is mobile under oxidising and alkaline conditions and has a strong

mineral. I Jämtland, Lappland och Västerbotten korrelerar förhöjda selenhalter med svartskiffer, kalksten, finkorniga metasedimentära bergarter och sulfidmineraliseringar. De högsta koncentrationerna av selen i bäckvattenväxter förekommer i centrala och södra Sverige. I södra Sverige tenderar växter som växer i jord som utvecklats på fanerozoiska sedimentära bergarter att ha höga selenhalter (t.ex. i Skåne). En annan selenkälla är svartskiffer (t.ex. anomalier vid Billingen och på västra Öland). Intensivt jordbruk som använder gödningsmedel och tillsatser av selen kan förklara förhöjda selenhalter i bäckvattenväxter i t.ex. Skåne och Mälardalen. Kalkning för att neutralisera pH i marken kan lokalt öka den biologiska tillgängligheten av selen.

Wolfram är ett knappt rörligt och ganska olösligt element som ursprungligen härrör från sen-magmatiska bergarter och som kan ackumulera i finkorniga sediment. Wolfram blir mobilt i oxiderande och basiska miljöer men mobiliteten kontrolleras av adsorption till lermineral och organiskt material. Höga wolframhalter i bäckvattenväxter förekommer i områden som överlagras graniter och pegmatiter, och korrelerar ofta med wolfram- och molybdenmineraliseringar i skarn och kvartsgångar, t.ex. i Bergslagen och längs Västerbottenskusten. I centrala Jämtland kommer högre wolframhalter i bäckvattenväxter från underliggande finkorniga sedimentära (kaledoniska) bergarter samt sen-paleoproterozoiska intrusivbergarter på den Fennoskandiska skölden. Områden med karbonatbergarter och icke-försurade vattendrag tenderar att ha högre halter av biologiskt tillgängligt wolfram. Förekomsten av torvrik jord kan också påverka wolframhalter i vattendrag och växter.

Huvudsakliga källor till uran och molybden i Sverige är felsiska magmatiska bergarter (graniter och pegmatiter). Svartskiffer kan ha mycket högt innehåll av uran. Både uran och molybden har högst mobilitet vid basiska förhållanden men mobiliteten hindras av tendensen att binda till lermineral och organiskt material. Förhöjda koncentrationer av uran och molybden i akvatiska växter förekommer i centrala Sverige i Mälarenregionen. En kombination av lerrika jordar med höga karbonathalter och underliggande mangelsten och välutvecklade graniter har antagits utgöra den primära källan till dessa anomalier. En annan viktig källa till uran och molybden är kambrisk–ordovicisk svartskiffer. Bäckvattenväxter från Jämtland, Västergötland, Östergötland och sydöstra Skåne har påtagligt höga uran- och molybdenhalter som kommer från underliggande svartskiffer och jord innehållande svartskiffer som transporterats lokalt av inlandsisen så långt som 100 km (t.ex. området kring Billingen). Många lokala anomalier markerar kända mineraliseringar med uran och molybden, t.ex. i Jämtland och Lappland. I sydöstra Skåne korrelerar urananomalier i bäckvattenväxter med mineraliseringar av uran, torium, sällsynta jordartsmetaller och fluorit i kambrisk sandsten. Lokala förekomster av kalkrik jord bidrar till höga halter av uran i vattenväxter (t.ex. på Gotland och i Skåne). Uran kan också spridas genom antropogena aktiviteter, t.ex. användningen av importerade gödningsmedel som innehåller naturliga fosfater.

Den primära källan till vanadin är mafiska och ultramafiska bergarter, men sekundära höga koncentrationer förekommer i finkorniga sedimentära bergarter som är rika på organiskt material, t.ex. svartskiffer. Vanadin är mobilt under oxiderande och basiska förhållanden, men adsorberas lätt till järn-manganoxider och -hydroxider, lermineral och organiskt material. I bäckvattenväxter

tendency to bind to organic matter and clay minerals. In Jämtland, Lappland and Västerbotten, elevated selenium concentrations correlate with occurrences of black shale, limestone, fine-grained metasedimentary rocks and sulphide mineralisations. Water plants with the highest content of selenium are found in central and southern Sweden. In southern Sweden, plants growing on soils developed on the Phanerozoic sedimentary rocks tend to have high selenium contents (e.g. in Skåne). Another source of selenium is black shale (e.g. anomalies at Billingen and on western Öland). Intense agriculture with the use of fertilisers and selenium supplementation can explain enhanced selenium contents in water plants, for example in Skåne and the Mälaren region. Liming practices to prevent acidification of soil may locally enhance selenium bioavailability.

Tungsten is a barely mobile and rather insoluble element, which originates mainly from late magmatic rocks and can be concentrated in fine-grained sediments. Tungsten becomes mobile under oxidising and alkaline conditions, but its mobility is controlled by the adsorption to clay minerals and organic matter. High tungsten concentrations in water plants occur in areas underlain by granitic rocks and pegmatites, and often correlate with tungsten and molybdenum mineralisations in skarn and quartz veins, e.g. in Bergslagen and along the coast of Västerbotten. In central Jämtland, high tungsten contents in water plants originate from the underlying fine-grained sedimentary rocks of the Caledonian orogen and late Paleoproterozoic intrusive rocks of the Fennoscandian Shield. Areas with carbonate rocks and non-acidic watercourses tend to have enhanced levels of bioavailable tungsten. The presence of peaty soil may also influence the tungsten concentrations in watercourses and plants.

The main sources of uranium and molybdenum in Sweden are felsic igneous rocks (granites and pegmatites). Black shale may have a very high content of uranium. Both uranium and molybdenum are most mobile under alkaline conditions, but their mobility is hindered by their affinity to bind to clay minerals and organic matter. Aquatic plants with high contents of uranium and molybdenum occur in the Mälaren region in central Sweden. A combination of clay-rich soils with high carbonate contents and underlying marble and evolved granites has been inferred to constitute the primary source of these anomalies. Another important source of uranium and molybdenum is Cambrian–Ordovician black shale. Water plants collected in Jämtland, Västergötland, Östergötland and south-eastern Skåne have distinctly high uranium and molybdenum concentrations originating from underlying black shale and from soil containing black shale, which was locally transported by the inland ice as far as 100 km (e.g. at Billingen). Many local anomalies point to known uranium and molybdenum mineralisations, for example in Jämtland and Lappland. In south-eastern Skåne, uranium anomalies in water plants also correlate with mineralisations of uranium, thorium, rare earth elements and fluorite in Cambrian sandstone. Local occurrences of calcareous soil contribute to elevated levels of uranium in water plants (e.g. on Gotland and in Skåne). Uranium can also be spread through anthropogenic activities, e.g. by the use of imported fertilisers containing natural phosphates.

The primary source of vanadium is mafic and ultramafic rocks, but secondary high concentrations occur in fine-grained and organic-rich sedimentary rocks, such as black shale. Vanadium is mobile under alkaline and oxidising conditions but can readily be adsorbed to iron-manganese oxides and hydroxides, clay minerals and organic

förekommer de högsta vanadinhalterna i centrala Sverige (Dalarna och norra Bergslagen) och i sydöstra Sverige (Småland). I Dalarna utgör källan till vanadin post-svekokarelska vulkaniska bergarter (främst basalt) och yngre diabasgångar. Lokalt höga koncentrationer av vanadin sammanfaller med förekomster av svartskiffer (i närheten av Östersund i Jämtland), höggradiga metamorfa bergarter (t.ex. Halland) och järnmineraliseringar i skarn (norr om Gävle). Det generella distributionsmönstret för vanadin i bäckvattenväxter skiljer sig märkbart från det för morän, vilket indikerar att berggrundsgeologin inte har så stor betydelse för vanadins spridningsmönster i vattendrag och växter. Sannolikt är vittringsprocesser och jordmånsbildande processer viktiga faktorer som styr vanadinhalterna i bäckvattenväxter.

matter. In water plants, the highest vanadium concentrations occur in central Sweden (in Dalarna and northern Bergslagen) and in south-eastern Sweden (in Småland). In Dalarna, the source of vanadium is inferred to be post-Svecokarelian volcanic rocks (mainly basalts) and younger dolerite dykes. Local high contents of vanadium coincide with occurrences of black shale (e.g. near Östersund in Jämtland), high-grade metamorphic rocks (e.g. Halland) and iron mineralisations in skarn (north of Gävle). The general distribution pattern of vanadium in water plants is noticeably different from that of till, which indicates that the bedrock geology plays a secondary role in the dispersal pattern of vanadium in watercourses and plants. Weathering and soil forming processes are probably important factors controlling vanadium contents in water plants.

Arter som använts vid regional biogeokemisk provtagning. Överst till vänster: Älggräs, *Filipendula ulmaria*. Överst till höger en starr-art, *Carex*. Underst Näckmossa, *Fontinalis antipyretica* (båda bilderna).

Species used in the regional biogeochemical sampling programme. Top left: Meadowsweet, *Filipendula ulmaria*. Top right: a *Carex*-species. Below: the aquatic moss *Fontinalis antipyretica* (both pictures).

