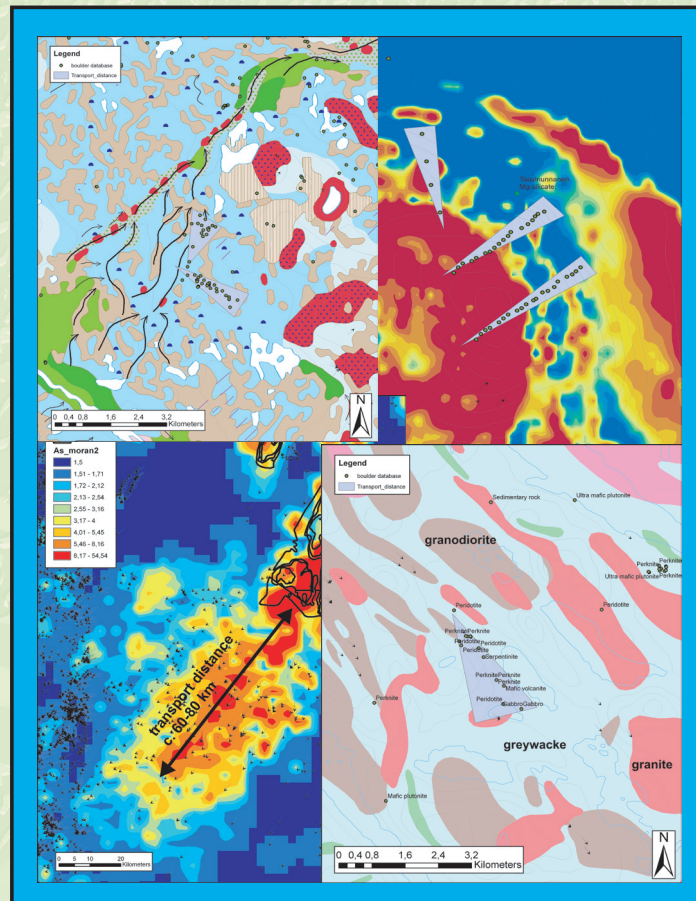


Kan SGUs data användas för att uppskatta moränens transportlängd?



Gustav Sohlenius, Kaj Lax
& Anna Ladenberger

Kan SGUs data användas för att uppskatta moränens transportlängd?

Transport distances of till

Summary

The information from SGU database was used to evaluate ice transport directions and distances in Sweden. Till geochemistry, boulder counting and glacial striae were applied to detect source rocks and mineralization in various regions of the country. In many areas the transport directions varied during the different glaciations that Sweden has experienced. The till at one site may consequently consist of several beds deposited from different directions and with different transport length. That complicates the attempts to estimate the transport distance of till. The preliminary ice transport distances have been estimated in one region in middle Sweden (Bergslagen) and in two regions in northern Sweden (Västerbotten and Norrbotten). Boulder dispersal trains have been recognized, classified based on lithology and morphology after which the maximum ice transport distance has been evaluated. In most areas the transport is short, up to 2-3 km. In Bergslagen, Cu-Zn and W mineralization can be traced in boulders from c. 300 m to c. 7 km. In Västerbotten, the transport distances range from 400 m to 3 km for sulphide mineralization. In Norrbotten, a majority of known Ni mineralization can be detected in boulders located between 0.5 and 3 km.

The source bedrock can be found based on outcrop record, ice direction indicators, presence of geophysical anomalies and glacial morphological landforms. The morphological information may, however, provide contradicting information when compared with independent ice direction indicators such as striae on the bedrock.

Till geochemistry provides information about local and regional anomalies, however, quality of information depends on the methodology (e.g. sampling density) and the grid used, which sometimes is larger than the largest boulder train observed in the studied area. On the other hand, application of boulder trains can be difficult in areas with long transport distances. While boulder trains provide exact information about the mineralization, the till geochemistry carries uncertainty about exact ore type. Geochemical anomalies can be both very local or widely spread out, e.g. in southwestern Sweden (Falbygden) large Ni and As anomalies can be correlated with distribution of Cambro-Silurian gravel over the distance of 60 km, while in Västerbotten, geochemical anomalies for Cu and Zn are very small (up to 3 km) and they often do not correlate with boulder trains.

Knowledge of transport distances gained from this project provides additional complementary information mainly for mineral exploration.

At SGU there are several types of data that could be used to estimate the direction and transport length of till. One way to make these data more available would be to gather all these data in a database.

Inledning

Moränens petrografiska sammansättning är ofta en effekt av de bergarter som förekommer uppströms i inlandsisarnas rörelseriktning. Moränens bergarter kan följaktligen användas för att hitta bergarter som ligger dolda under jordtäcknet. Detta är av speciellt intresse då det gäller att hitta bergarter vilka är av intresse för gruvindustrin. För att göra detta måste man ha kännedom om från vilket håll inlandsisen transporterat moränmaterialet. Det är dessutom av vikt att känna till hur långt moränen kan förväntas ha transporterats från den plats där bergarten förekommer i fast klyft. I många fall kan enskilda block eller stenar ha transporterats tiotals mil medan den huvudsakliga moränmassan återspeglar de bergarter som finns på platsen eller i närområdet. Den sträcka moränen transporterats varierar dock både regionalt och lokalt, vilket gör att det ibland är svårt att lokalisera en bergarts fasta klyft för de bergarter som finns i en morän. En ytterligare faktor som kan försvåra lokalisering av en bergarts fasta klyft är att Sverige varit nedisat flera gånger och på många platser har isens rörelseriktning varierat under eller mellan de olika nedisningarna.

Det SGU-finansierade FoU-projektet "Moränens transportlängd" pågick 2007-2008 och denna rapport sammanfattar de viktigaste resultaten från den studien. Inom det projektet har vi undersökt om det är möjligt att sammanställa den kunskap som finns angående moräners transportlängd och rörelseriktning hos de inlandsisar som avsatt moräner. Arbetet är helt inriktat på att studera de moräner som förekommer i Sverige. Om det går att systematisera de data som finns är det vara möjligt att sammanställa en databas. I den databas skulle det finnas information som anger hur långt moränen är transporterad samt från vilket håll den inlandsis som avsatte moränen rört sig. En sådan databas skulle vara användbar för att lokalisera bergarter som är av ekonomiskt intresse. Informationen har även ett vetenskapligt intresse eftersom den kan användas för att få en uppfattning om den glaciala utvecklingen i olika områden.

Litteraturgenomgång

Det finns ett stort antal publikationer från både Finland och Sverige där man har försökt att på olika sätt kvantifiera moränens transportlängd. Exempelvis studerade Lundqvist (1935) moränens transportlängd genom att bestämma den petrografiska sammansättningen hos block. En intressant slutsats är att materialet är mer korttransporterat nära läsidan på hällar samt i dalgångarna. I rapporten finns en karta som visar spridningen av block från områden i mellersta Sverige med förekomster av jotnisk sandsten. I Dalarna finns ett stort geografiskt område som utgörs av sådan sandsten. Mer än 10 mil söder om det område där sandstenen förekommer utgörs en hög andel av moränens block av denna sandsten. Mindre områden med sandsten som de kring Gävle har endast en mer lokal påverkan på moränens blocksammansättning. Enstaka block har dock transporterats många mil.

Flera undersökningar bekräftar att det grova materialet i morän ofta är av mer lokalt ursprung än det finkorniga. Olika bergarter har dock olika benägenhet att krossas till en viss kornstorlek.

Det är även så att olika bergarter har plockats upp i olika utsträckning av inlandsisarna. Det innebär att en lätteroderad bergart kommer att signifikant påverka moränens sammansättning mycket längre nedströms det fasta klyftet jämfört med en svåreroderad bergart. Detta trots att de samma glaciologiska förhållanden kan ha varit likartade i de områden där bergarterna förekommer.

Lundqvist (1952) undersökte den petrografiska sammansättningen hos moränens grus i Dalarna. Syftet med undersökningen var att ta reda på om man kan använda grusräkning i stället för sten och blockletning för att fastställa moränens petrografiska sammansättning. Han har undersökt samma område där Lundqvist (1935) tidigare undersökt spridningen av block. Lundqvist (1952) menar att det inte är någon större skillnad på de resultat om erhålls från grusräkning och de som erhålls från undersökningar av block. Det finns dock skillnader mellan olika bergarters benägenhet att krossas ner till finare fraktioner vilket återspeglas i resultaten från grusräkningen. Exempelvis är det så att porfyren i Dalarna relativt snabbt har krossats ner till grus av inlandsisen medan det verkar ha varit svårare att krossa sandstenen till grusfraktionen. Om man vill hitta en bergarts fasta klyft menar Lundqvist att det är bättre att använda blockletning om klyftet finns lågt borta men grusräkning är att föredra om klyftet finns i närheten. Det är nog ganska svårt att idag med någon större noggrannhet koordinatsätta de platser där Lundqvists prover tagits. Resultaten presenteras i form av kartor över Dalarna vilka visar de olika bergarternas procentuella fördelning i moränens grusfraktion.

Lindén (1975) undersökte moränens petrografiska sammansättning längst två, drygt 40 km långa profiler, väster om Uppsala. De olika kornstorleksfraktionerna analyserades separat. Profilerna ligger parallellt med isrörelseriktningen men vinkelrätt mot ett antal bergartskontakter. Lindén fann att 60 % av matrix bestod av lokalt material som transporterats 3,5 km eller mindre. Efter samma transportlängd består 90 % av blocken 85-90 % av stenarna och 70 % av gruset av lokalt bergartsmaterial. Resultaten presenteras bl a i form av diagram som visar hur moränens bergartssammansättning varierar i förhållande till den underliggande berggrundens sammansättning. Platserna är koordinatsatta och resultaten bör ganska så lätt kunna plockas in i en databas.

Robert Lagerbäck (SGU) har i flera arbeten studerat kvartärgeologin i Norrbotten (t. ex. Lagerbäck 1978, Lagerbäck och Robertsson 1989). Dessa arbeten ger viktig information om utvecklingen i nordligaste Sverige under den senaste istiden. Moränen i detta område har avsatts vid flera nedisningar och med olika transportriktningar. Kunskapen om områdets kvartärgeologiska utveckling är därför extra viktig när moränens sammansättning används för att identifiera mineraliseringar i berggrunden. Moränens genes i nordligaste Fennoskandia undersöktes även inom Nordkalottprojektet som var ett samarbete mellan de geologiska undersökningarna i Sverige, Finland och Norge (Hirvas m. fl. 1986, Hirvas m. fl. 1988). Inom det projektet bestämdes moränens transportriktning genom fabric-analyser (sten- och gruspartiklars strykning och stupning), glacialmorfologi och räffelmätningar.

I södra Finland gjorde Perttunen (1991) en studie som liknar Lindén's, men som dock är något mindre ambitiöst upplagd. Resultaten visar att det finkorniga materialet i moränen har transporterats en längre sträcka än det grövre. Transportlängden varierar även mellan olika bergarter. Exempelvis har innehållet av granit halverats efter en transportsträcka på 3,7 kilometer från bergartens fasta klyft. Samma siffra för metavulkaniska bergarter är 5,6 kilometer.

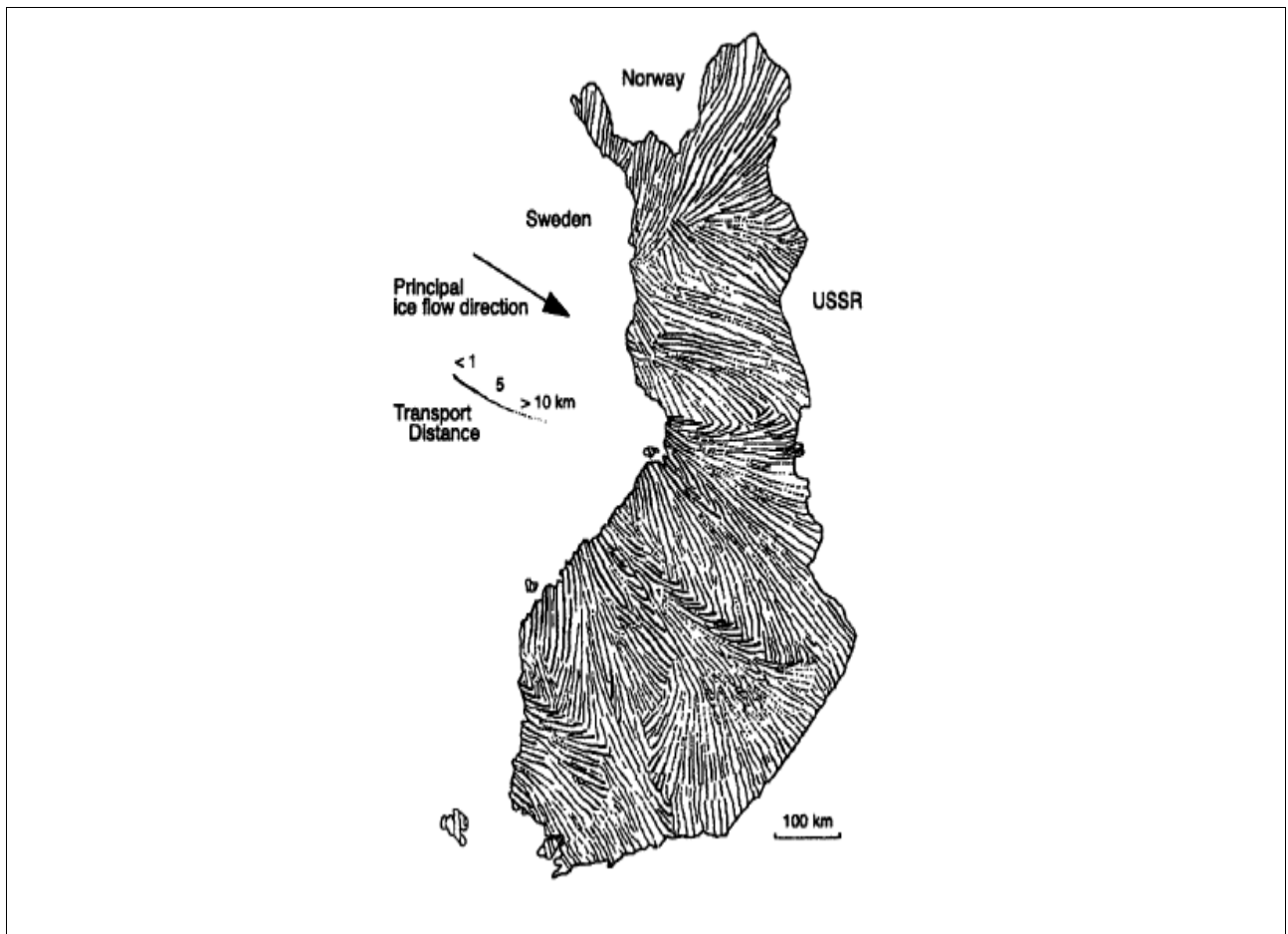
Lehmuspelto (1987) har undersökt moränens transportlängd i norra Finland med hjälp av dess kemiska sammansättning. Enligt honom ger de flesta mineraliseringar upphov till kemiska anomalier i moränen som är mycket lokala. Ofta ligger anomalin på eller endast ett par hundra meter från det fasta klyft där det finns en mineralisering. En orsak till den korta transportsträckan är att de flesta mineraliseringar ligger i topografiskt låga lägen där moränen ofta är mer lokal än i höjdområdena. Antagligen är denna slutsats giltig även för svenska förhållanden.

Det finns ett stort antal artiklar i tidskriften *"Journal of Geochemical exploration"* vilka beskriver olika metoder för att med hjälp av moränens geokemiska sammansättning lokalisera fast klyft för bergarter med ekonomiskt intressanta mineraliseringar. Flera av dessa undersökningar har utförts av personer vilka tidigare varit anställda på SGU. Det skulle antagligen vara möjligt att plocka ut resultat från vissa av dessa artiklar och sammanställa dem i en databas.

Salonen (1987) har gjort en undersökning som berör blocktransport i Finland. Han har sammanfattat ett mycket omfattande material med data från hela Finland (Figur 1). Materialet omfattar data från nästan 500 solfjäderformade blocksvansar. Dessa når i median 3 km från den plats de härstammar ifrån. I vissa fall har dock blocken spritt sig över 100 kilometer från den plats varifrån de ursprungligen kommer. Skillnaderna i transportlängd förklaras av att inlandsisen påverka underlaget på varierande sätt i olika regioner. I vissa områden har den glaciala erosionen varit ringa medan isen i varit betydligt mer aktiv i andra. Det verkar inte vara så att blocken i en större region har transporterats en viss sträcka. En karta över blockens transportlängd visar istället ett relativt småplottrigt mönster. I de flesta områden verkar dock blocken spridning kunna förklaras av isens rörelse vid den senaste deglaciationen.

Sarala 2005 och Sarala 2006 har undersökt moränens transportlängd i områden med rogenmorän i nordligaste Finland. Resultaten från dessa undersökningar visar att moränen i dessa moränryggar har transporterats en mycket kort sträcka. Sammansättningen hos moränen i områden med rogenmorän speglar därför sammansättningen hos den underliggande berggrunden.

Även en översiktlig litteraturgenomgång som denna visar att finns många svårigheter med att använda moränens sammansättning för att lokalisera bergarters fasta klyft. I många fall är det dock möjligt att använda moränens sammansättning för att lokalisera sedan tidigare okända förekomster av en viss bergart. De osäkerheter som finns gör säkert att många okända förekomster av en viss bergart inte kan hitta genom studier av moränens sammansättning. Det viktiga i detta sammanhang är att använda de metoder som finns även om dessa inte nödvändigtvis alltid är framgångsrika. På SGUs kontor i Malå finns ett stort antal rapporter med information om moränens transportlängd. Dessa rapporter har dock inte studerats i detta projekt.



Figur 1. Schematisk karta som visar hur långt moränblock transporterats av inlandsisen i Finland (från: Bouchard & Salonen 1990).

Litteraturgenomgången visar att det finns en hel del äldre data som skulle kunna plockas in i en databas. En viktig sak är att klargöra för användarna av en sådan bas att materialet tagits fram med högst varierande tekniker. Dels har undersökningarna inriktat sig på olika kornstorleksfraktioner av moränen och dels har man använt olika analysmetoder. Vissa undersökningar är inriktade på moränens kemiska sammansättning medan andra har studerat dess mineralogiska eller petrografiska sammansättning.

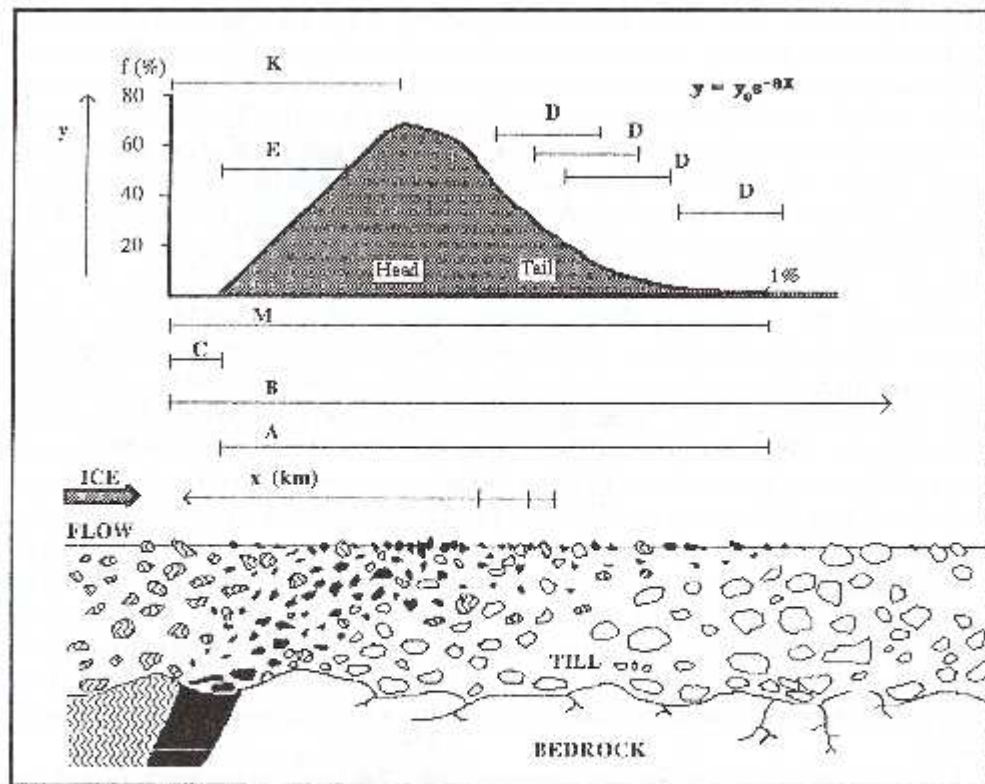


Figure 2. Different methods to determine the transport distance of glacially derived particles using a distinct indicator rock source (colored with black). A = The length of a boulder fan, B = The distance from proximal contact to farthest travelled particle, C = The reaching-surface distance, M = The maximum distance, D = The half-distance, K = The distance between the proximal contact and maximum frequency, E = The renewal distance, x = distance from observed particle to its source. For further explanations, see Table 1.

Figur 2. Moränens transportlängd kan definieras på flera olika sätt (från: Bouchard & Salonen 1990). De olika metoderna att bestämma transportlängd kan i många fall ge mycket olika resultat.

Resultat och diskussion

Utvärdering av SGUs data

Det finns en rad metoder som kan användas för att bestämma moränens transportlängd (Figur 2). Resultaten kan variera beroende på vilken metod som används. Dessutom varierar resultaten beroende på vilka moränegenskaper som studerats.

Till ytan stora områden med en viss bergart kan många gånger påverka moränens

sammansättning många mil från det område där bergarten förekommer. I många fall verkar det som om bergarter/mineraliseringar med en liten geografisk utbredning har en mer lokal påverkan på moränens sammansättning. En geografiskt liten anomali av moränens sammansättning (men som kan verifieras med fler än ett prov) tyder m a o på att moränen är korttransporterad och det borde finnas goda möjligheter att lokalisera den bergart som en sådan lokal anomali gett upphov till. Det är ofta de små områdena som är intressanta ur prospekteringssynpunkt eftersom dessa många gånger inte är kända sedan tidigare. I de fall moränen är långtransporterad är det antagligen svårt att med hjälp av moränens petrografiska eller geokemiska sammansättning lokalisera bergarter med liten utbredning eftersom den ”signal” dessa ger upphov till antagligen är alldeles för utspädd. Även en ganska ”grov” översikt utgör ett hjälpmedel för prospekteringsföretag i planeringskedet, dvs vilka undersökningsmetoder är sannolikt lämpliga i potentiellt intressanta områden.

På SGU finns en hel del information som på ett eller annat sätt kan användas för att uppskatta eller bestämma moräners transportlängd (Tabell 1). Metoderna som tidigare använts är många och skiftande och ger förmodligen olika svar på frågeställningen Det är t ex inte säkert att information om block kan användas för att direkt tolka geokemin i moränens finfraktion. De metoder som använts har också skiftat från område till område, dels beroende på olika frågeställningar, dels beroende på när undersökningen utförts.

Räfflor på hällar visar från vilket håll inlandsisen rört sig över. Ofta har moränen i ett område avsatta från samma håll som räfflorna visar. Ibland skiljer sig dock räffleriktningen i ett område från moränens transportriktning. Det kan exempelvis bero på att räfflorna bildats i samband med deglaciationen medan moränen i samma område avsattes vid ett tidigare skede.

Moränens morfologi visar många gånger från vilket håll inlandsisen rörde sig då den avsattes. Vissa moränformer, exempelvis rogenmoräner, indikerar dessutom att moränen endast transporterats en kort sträcka.

I SGUs blockdatabas finns information som visar moränblocks mineralogi. Det är ofta möjligt att med hjälp av uppgifter i denna databas göra en tolkning av hur långt blocken transporterats av isen. Uppgifterna som finns i denna databas bygger dock inte på information som samlats in vid systematiskt yttäckande fältstudier. I många områden kan därför moränblocken ha transporterats längre av inlandsisarna än vad som framgår av de uppgifter som finns i databaser. I Appendix finns några kartor där observationer från blockdatabasen plottats tillsammans med data från SGUs berggrunds- och jordartsgeologiska databaser. I de flesta av de områden som studerats här har moränen transporterats en kort sträcka, upp till 2-3 km.

| Tabell 1. Data från SGUs databaser vilken kan användas för att uppskatta moränens transportlängd samt från vilken riktning moränen transporterats. | | |
|---|--|---|
| Databas | Typ av data | Användning |
| Morängeokemi | Moränens geokemiska sammansättning (ICP MS, XRF) | Transportlängden hos moränens finmaterial |
| Blockdatabasen | Moränblocks mineralogi | Ger information om hur långt moränblock transporterats från fast klyft |
| Jordartsinformation | Räfflor | Ger information om den senaste och ibland äldre inlandsisars rörelseriktning |
| Jordartsinformation | Glacialmorfologi | Kan ge indirekt information om moränens transportlängd. Visar dessutom ofta från vilket håll inlandsisen rört sig |

Geokemiska analysresultat kan användas för att uppskatta transportlängd, och har den självklara fördelen att de är direkt applicerbara på geokemisk kartering, däremot kan det vara vanskligt att "översätta" information från blocksvansar, petrografiska studier etc. till morängeokemi. Problemen består närmast i att morängeokemi kräver speciella förutsättningar för att något sånär tydliga och säkra uppskattningar skall kunna göras. Berggrunden måste, förutom att vara väl och säkert kartlagd, samt bestå av bergarter som geokemiskt skiljer sig tillräckligt mycket från varandra. Sådana förhållanden är inte helt lätta att hitta, men där de finns kan resultaten vara mycket tydliga, se t ex platåbergarternas inverkan på moränen vid Billingen och Kinnekulle, samt metasedimenten i den öser om Skelleftefältet (Appendix).

Eftersom Sverige varit nedisat vid flera tillfällen har moränmaterialet i många fall säkert omlagrats av flera inlandsisar som kan ha haft olika transportriktning. Detta gör att det många gånger kan vara svårt att använda moränens sammansättning för att identifiera läget för en viss bergarts fasta klyft. I vissa områden, exempelvis i stora delar av Norrbottens inland, finns stora områden med där både moränen och dess morfologi bevarats sedan den senaste Weichselnedisningen. De gör att moränen på två geografiskt närbelägna platser kan var avsatt av skilda inlandsisar som transporterat materialet från olika riktning.

Våren 2009 presenterades en poster med vissa av de resultat som redovisas i Appendix på European Geosciences Union (EGU) mötet i Wien (Sohlenius m fl. 2009).

Besök på GTK

Under hösten 2009 besöktes GTK för att diskutera hur man i Finland gjort för att kvantifiera moränens transportlängd. Vid GTK har man tagit fram en stor mängd data som kan användas för att få en uppfattning om moränens transportlängd. Bland annat har man visat att moränen i områden med rogenmorän delvis är mycket korttransporterad, medan moränen i drumlinområden är mer långtransporterad. Detta har kunnat fastställas genom studier av moränens bergartsammansättning. Man har även använt halten av tunga mineral för att studera hur långt moränen har transporterats. Dessa resultat har väckt intresse bland företag i prospekteringsbranchen.

Vid mötet diskuterades hur man bäst definierar moränens transportlängd. I Finland har man till stor del studerat hur långt moränblock har transporterats av inlandsisarna. Idag finns en översiktlig karta över Finland som i grova drag visar från vilket håll och hur långt moränblock transporterats. I stor utsträckning har man haft tillgång till data som tagits fram av prospekterande företag.

En slutsats av mötet är att det vore värdefullt om SGU och GTK kunde samordna en exkursion i norra Sverige/Finland. Det skulle då vara möjligt att studera de lokaler som använts vid tidigare studier av moränens transportlängd. En sådan resa skulle dessutom ge möjligheter till ett fördjupat samarbete samt mer ingående diskussioner om de frågor som behandlades vid det här avrapporterade mötet.

Förslag på framtida studier

Det finns flera studier som i framtiden skulle kunna användas för att bestämma moränens transportlängd:

- 1) Att använda tungmineral för att bestämma moränens transportlängd. På SGU finns idag ett stort antal moränprover vilka anrikats på tungmineral. Det finns idag en rad tekniker, som inte tidigare testats på moränprover från Sverige, som skulle kunna användas för att fastställa från vilken bergart moränen kommer. Genom att analysera de anrikade proverna med dessa tekniker skulle det vara möjligt att bestämma mineralogin hos dessa tungmineral. Det skulle även vara möjligt att åldersbestämma de zirkoner som finns i proverna. Resultaten från en sådan pilotstudie kan användas som för att hitta nya metoder för att bestämma moränens transportlängd.
- 2) Att studera om moränens geokemiska sammansättning för att identifiera mineraliseringar i områden med rogenmorän. I Finland har sådana studier givit goda resultat (Sarala 2005). En sådan provtagning borde utföras i maskingrävda schakt eftersom det då är möjligt att provta morän från flera djup. Provtagningen skulle kunna ske i ett område där jordartskartering och geokemisk provtagning sker parallellt.

- 3) Att lägga in de data som idag finns på SGU i en databas som kan användas för att få information om moränens transportlängd. Även om de olika typerna av data ger lite olika värden för moränens transportlängd skulle det vara värdefullt att sammanställa befintlig information. Det skulle då vara möjligt att kunna få en uppfattning om ifall moränen i en viss region är lång eller korttransporterad.

Referenser

- Bouchard, M.A. and Salonen, V.-P. 1990: Boulder transport in shield areas. In *Glacial Indicator Tracing*. Edited by R. Kujansuu, and M. Saarnisto. A.A. Balkema, s 87-107.
- Hirvas H, Lagerbäck R, Mäkinen K, Minell H, Nenonen K, Olsen L, Rodhe L, Sutinen R, Thoresen M, 1986. Map of Quaternary Geology, sheet 4: Quaternary Stratigraphy, Northern Fennoscandia, 1:1,000,000. Geological Surveys of Finland, Norway, and Sweden.
- Hirvas H, Lagerbäck R, Mäkinen K, Nenonen K, Olsen L, Rodhe L, Thoresen M, 1988. The Nordkalott Project: studies of Quaternary Geology in Northern Fennoscandia. *Boreas* 17, 431-437.
- Lagerbäck R, Robertsson A-M, 1988. Kettle holes - stratigraphical archives for Weichselian geology and palaeoenvironment in northernmost Sweden. *Boreas* 17, 439-468.
- Lagerbäck R, 1978. Kvartärgeologi inom kartbladen 29K Vittangi NV, NO, SO Sv (norra delen) Sveriges geologiska undersökning.
- Lehmuspelto P, 1985. Some case histories of the till transport distances recognized in geochemical studies in northern Finland. Geological Survey of Finland. Special Paper 3. 163-168.
- Lindén A, 1975. The petrographical studies in an archean bedrock area in southern central Sweden. *Striae* 1, Uppsala University.
- Lundqvist G. 1935. Blockundersökningar historik och metodik. Sveriges geologiska undersökning C 390.
- Lundqvist J. 1952. Bergarterna i dalamoränens block och grusmaterial. Sveriges geologiska undersökning. C 525.
- Minell H, 1978. Glaciological interpretations of boulder trains for the purpose of prospecting till. Sveriges geologiska undersökning. C 743

Perttunen M, 1991. The transport of till in southern Finland. Geological Survey of Finland. Special Paper 9. 79-86.

Sarala P, 2005. Till geochemistry in the ribbed moraine area of Peräpohjola, Finland. Applied Geochemistry 20 (2005) 1714–1736.

Sarala p, 2006. Ribbed moraine stratigraphy and formation in southern Finnish Lapland. J. Quaternary Sci., Vol. 21 pp. 387–398.

Sohlenius G., Ladenberger A. & Lax K. (2009): Ice transport directions and distances as a tool for ore exploration in glaciated regions – a compilation in Sweden. EGU abstracts 2009, 19-24.04.2009 Vienna. EGU 2009-7185,

APPENDIX

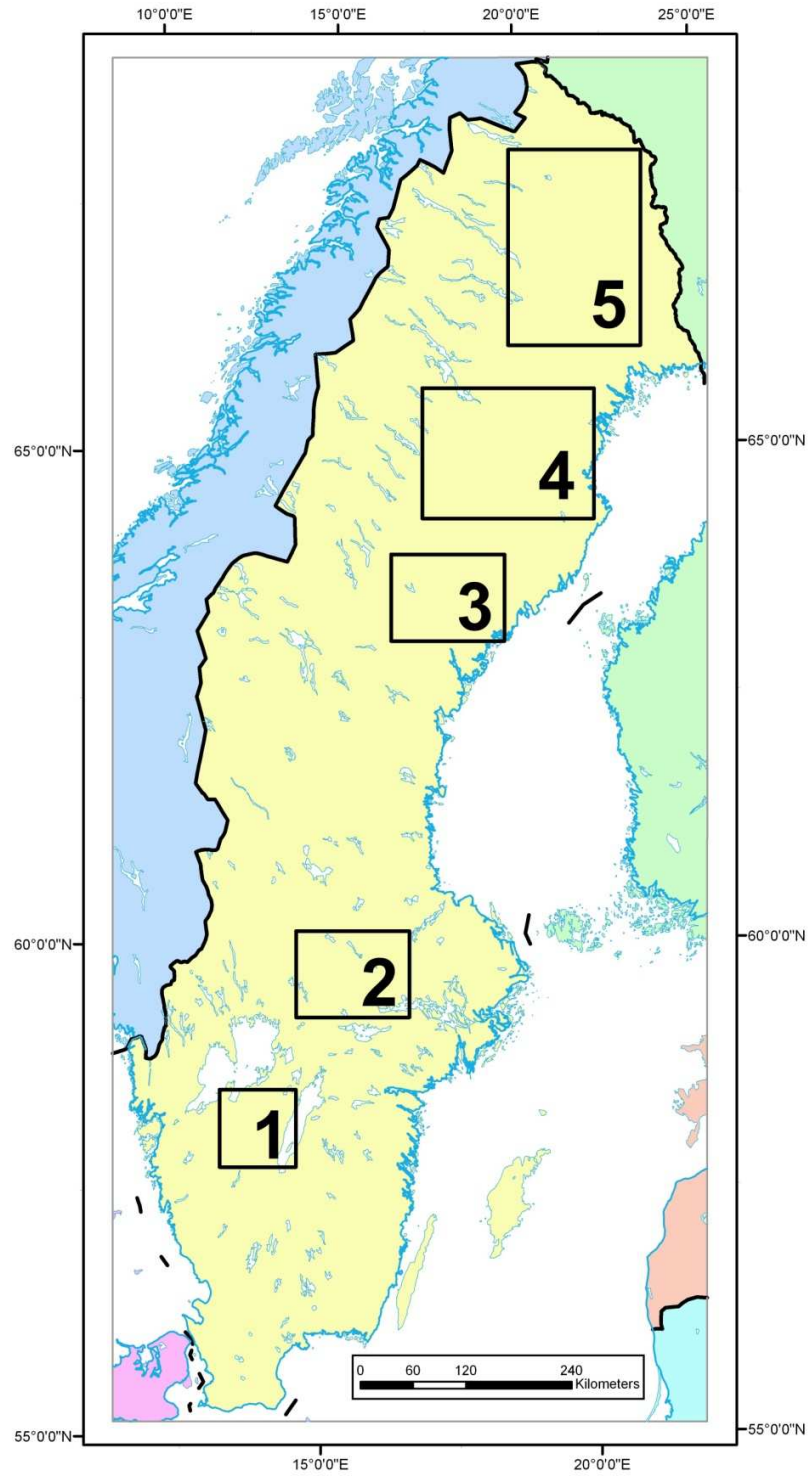


Fig.i. Map of Sweden with the five studied areas.

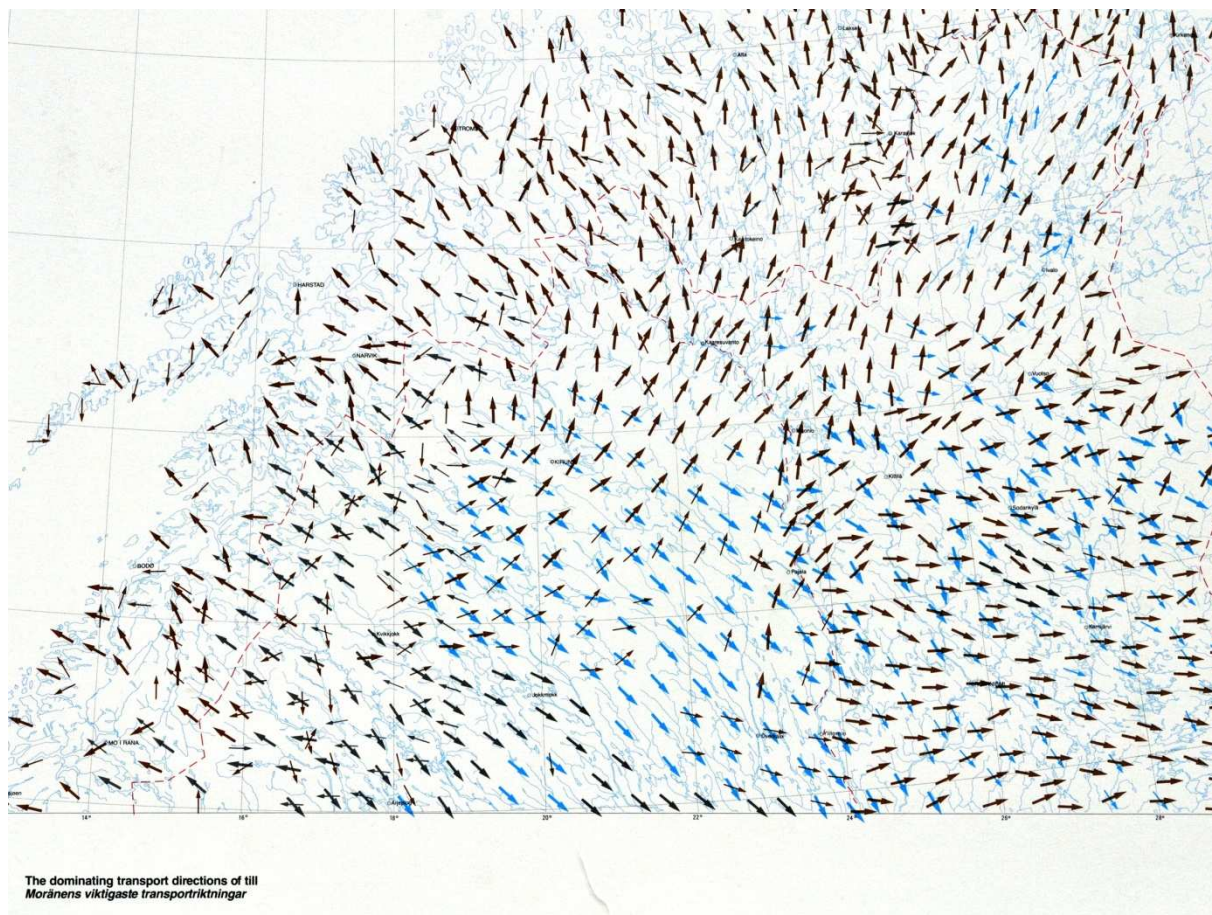


Fig.ii. Dominating ice directions in northern Sweden (from Hirvas et al. 1988).

1. Västragötland

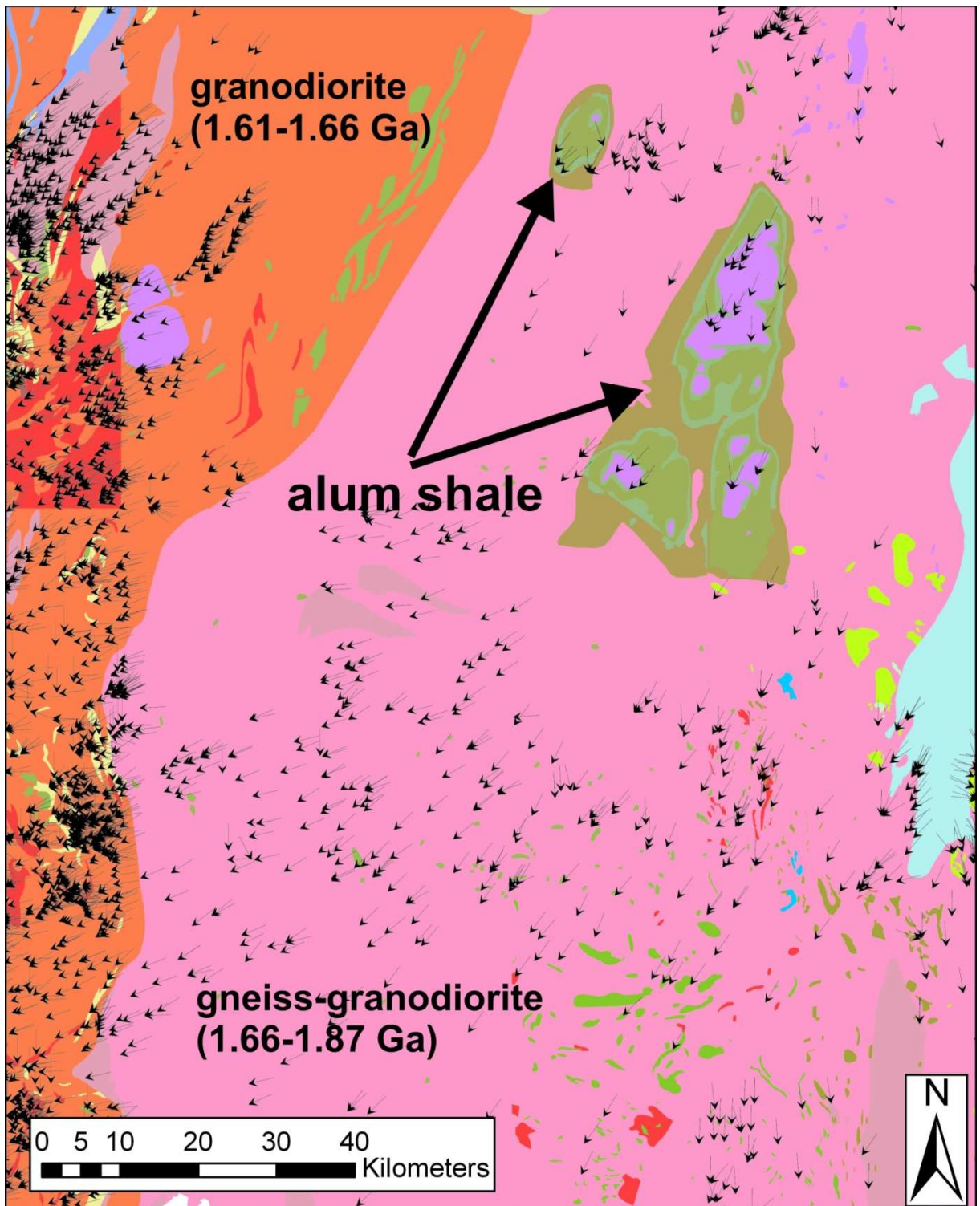


Fig.1A. Bedrock map with geographical distribution of Cambro-Silurian alum shale in Falbygden area, Västragötland. Small arrows indicate glacial striae measured on outcrops.

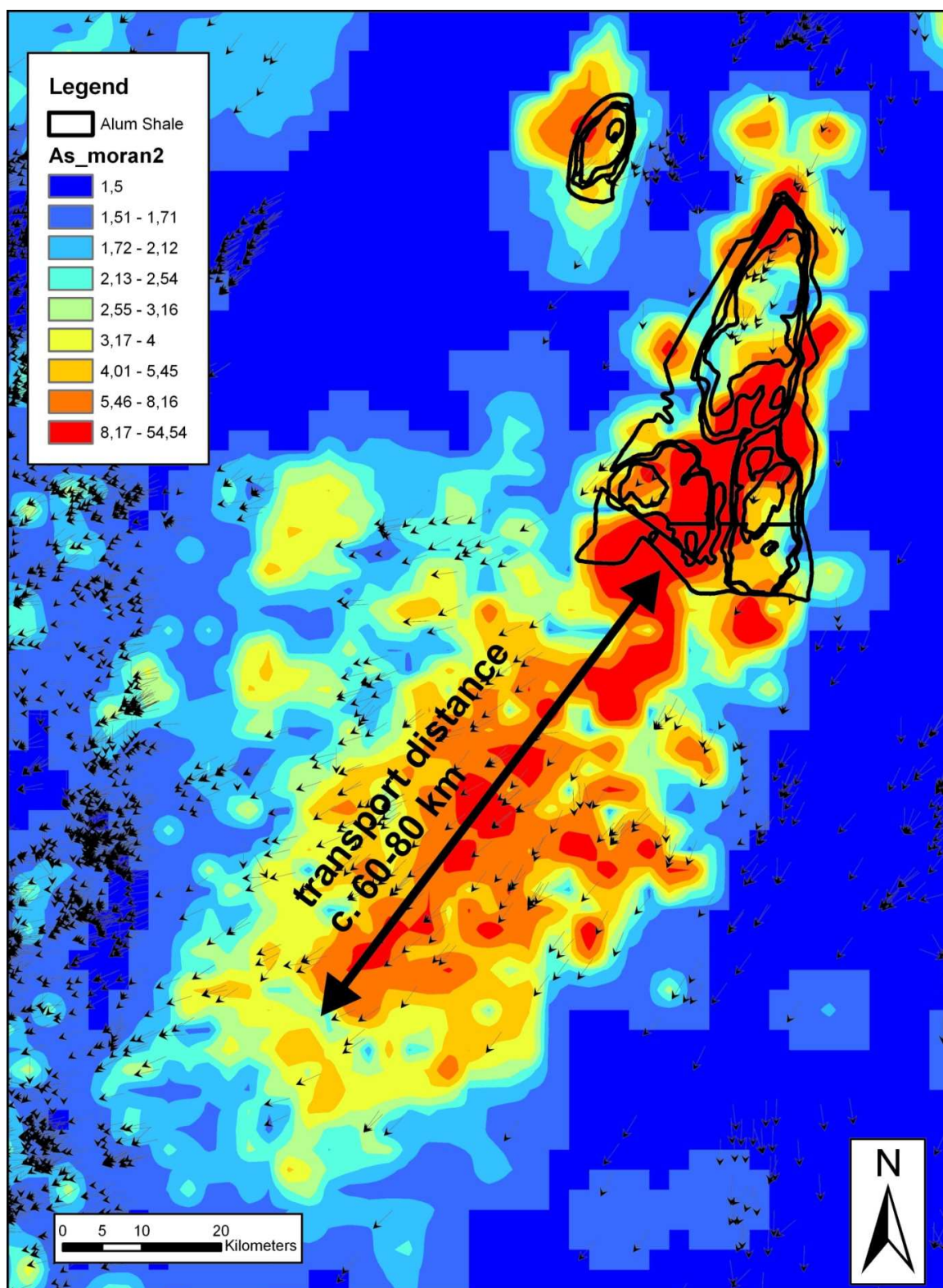


Fig.1B. Geochemical map of As contents (mg/kg) in glacial till. Long transport distance up to 60 - 80 km can be observed.

2. Bergslagen

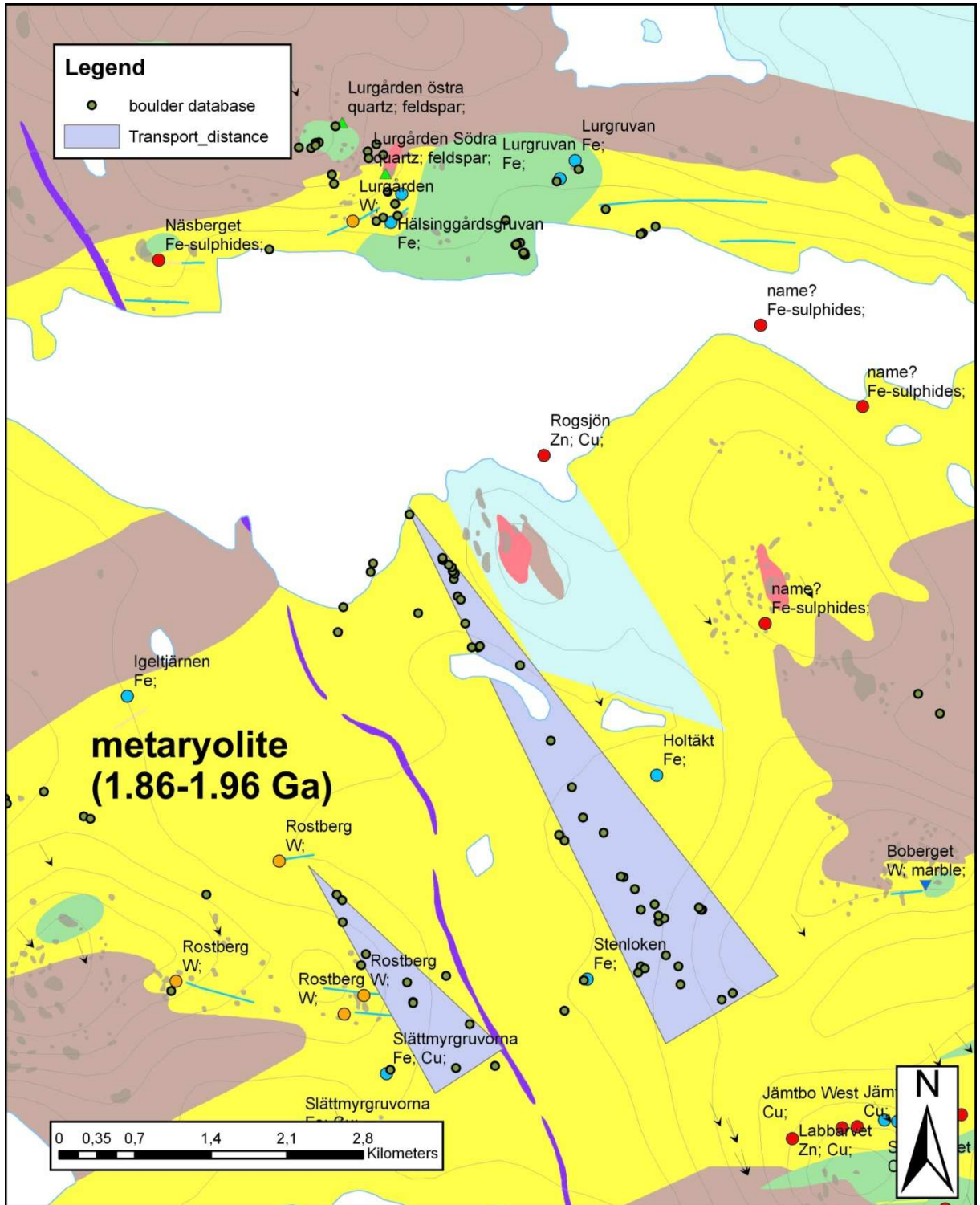


Fig.2A. Boulder trains in Falun region. Distribution of mineralized boulders is closely related to known ore deposit occurrences (Zn, Cu, Fe, W) located north of the lake.

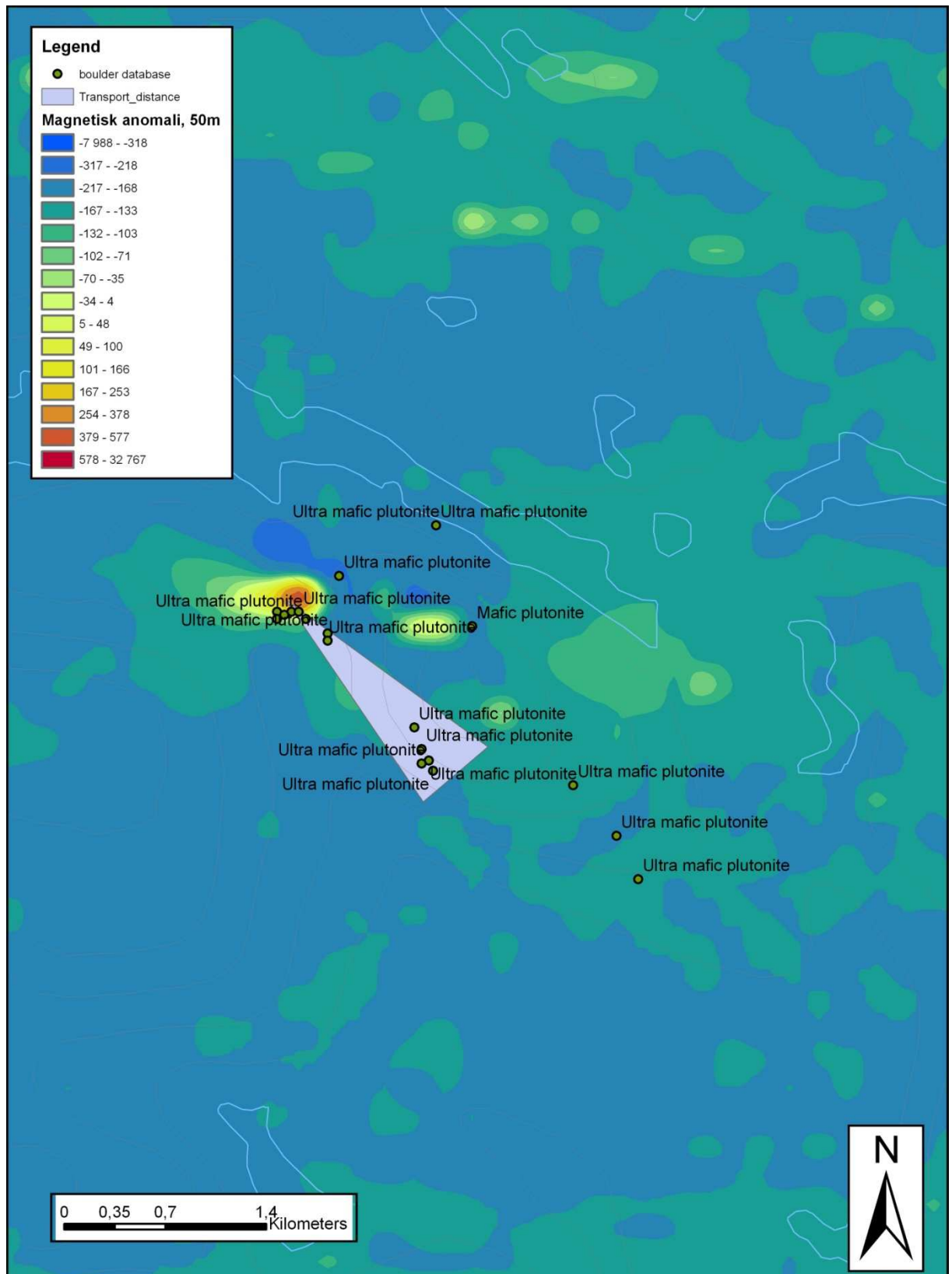


Fig.3B. The magnetic anomaly has been used to detect the source of ultramafic rocks in this area, where there are no recognized (mapped) outcrops of rocks with similar lithology.

4. Västerbotten

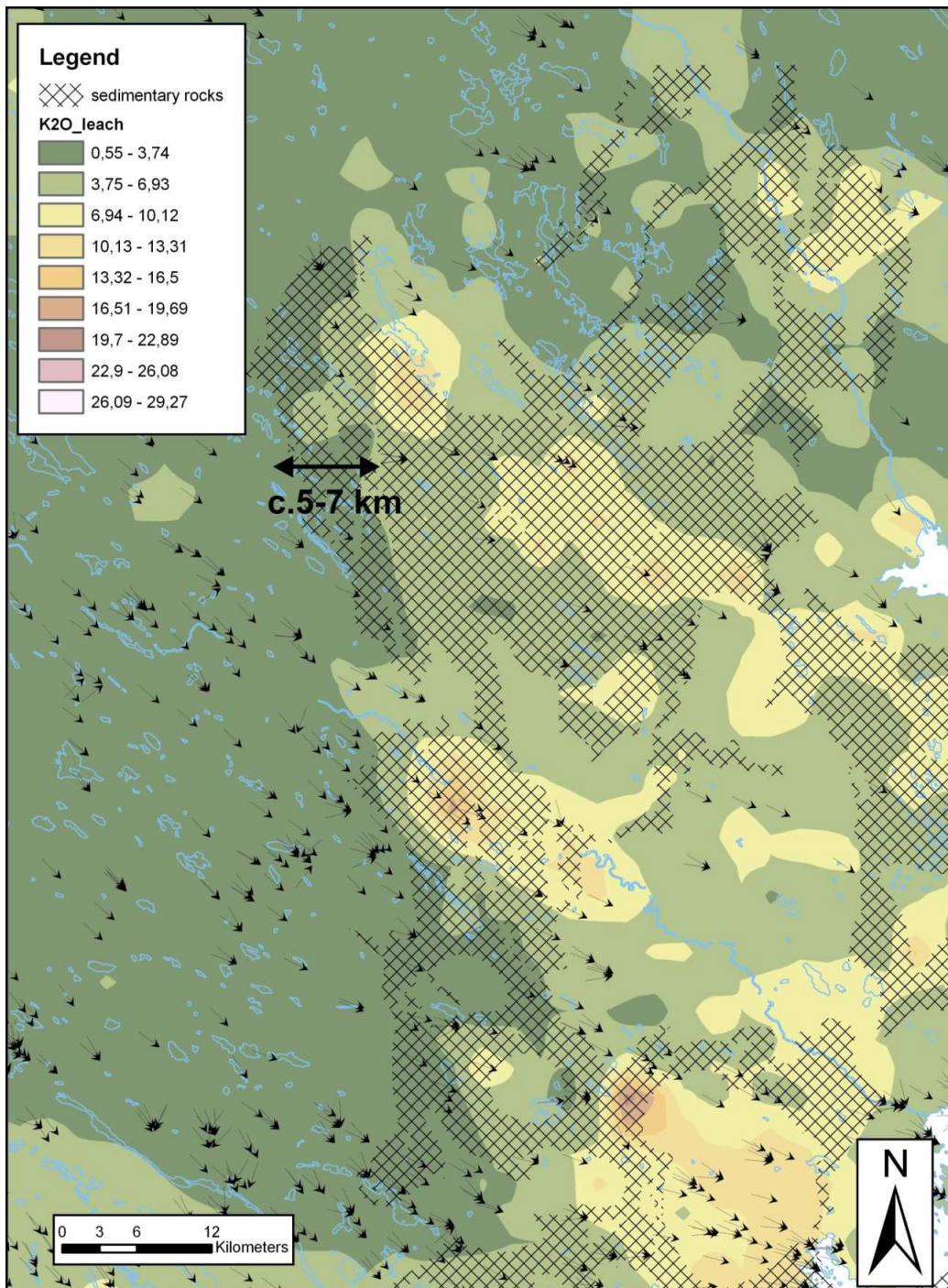


Fig.4A. Geochemical map of K₂O contents in till from Skellefteå region (W from Piteå). K₂O-poor till has been transported from an area dominated by felsic rocks (NW) to an area with argillitic rocks (SE). The transport distance varies from 1-2 km in the central part to up to 5-7 km in the northern part. Small arrows are observations of glacial striae on outcrops.

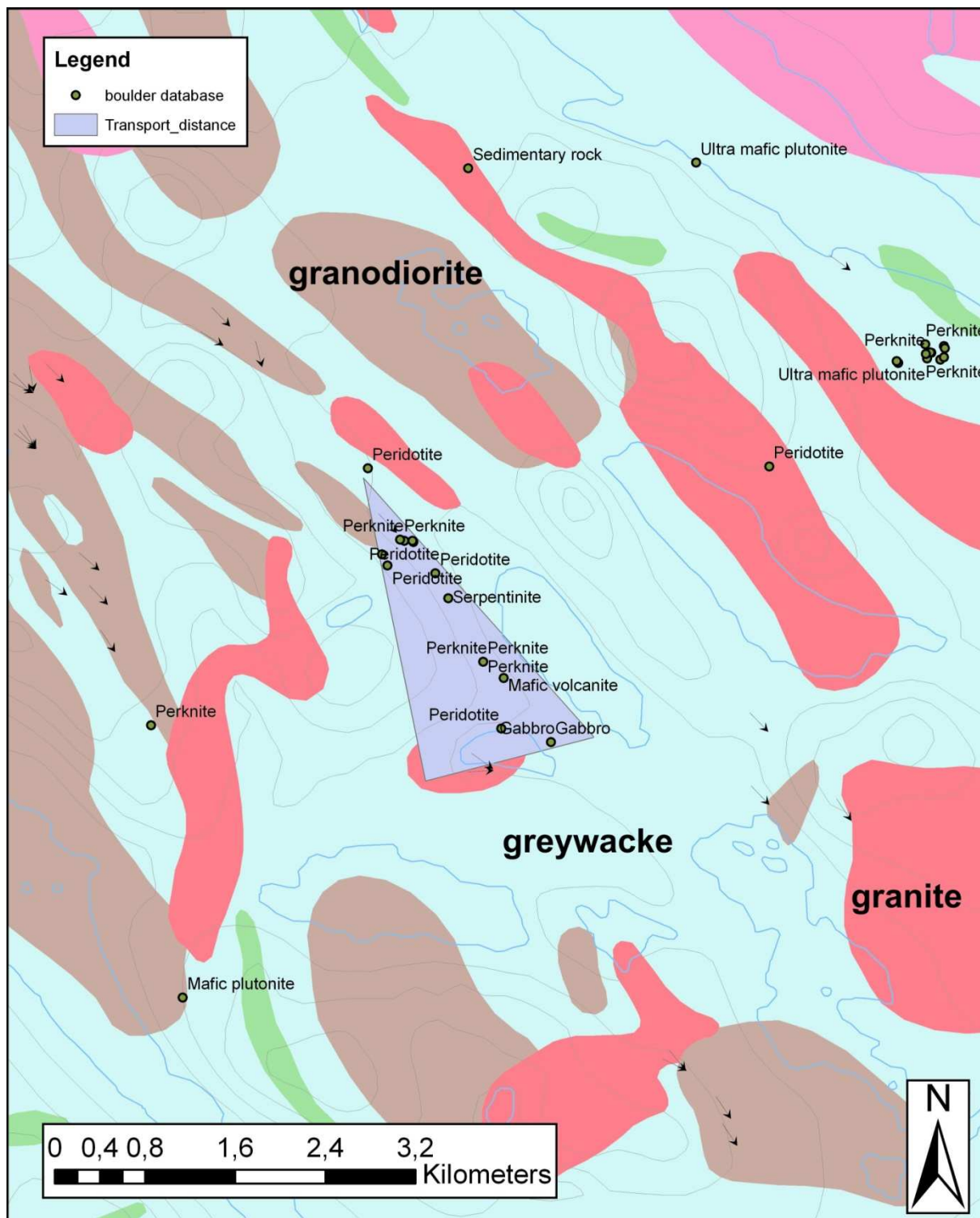


Fig.4B. Boulder trains of ultramafic rocks, SW from Nosjö. Short transport distances can be correlated with occurrence of ore deposits (Ni, Co, Cu).

5. Norrbotten

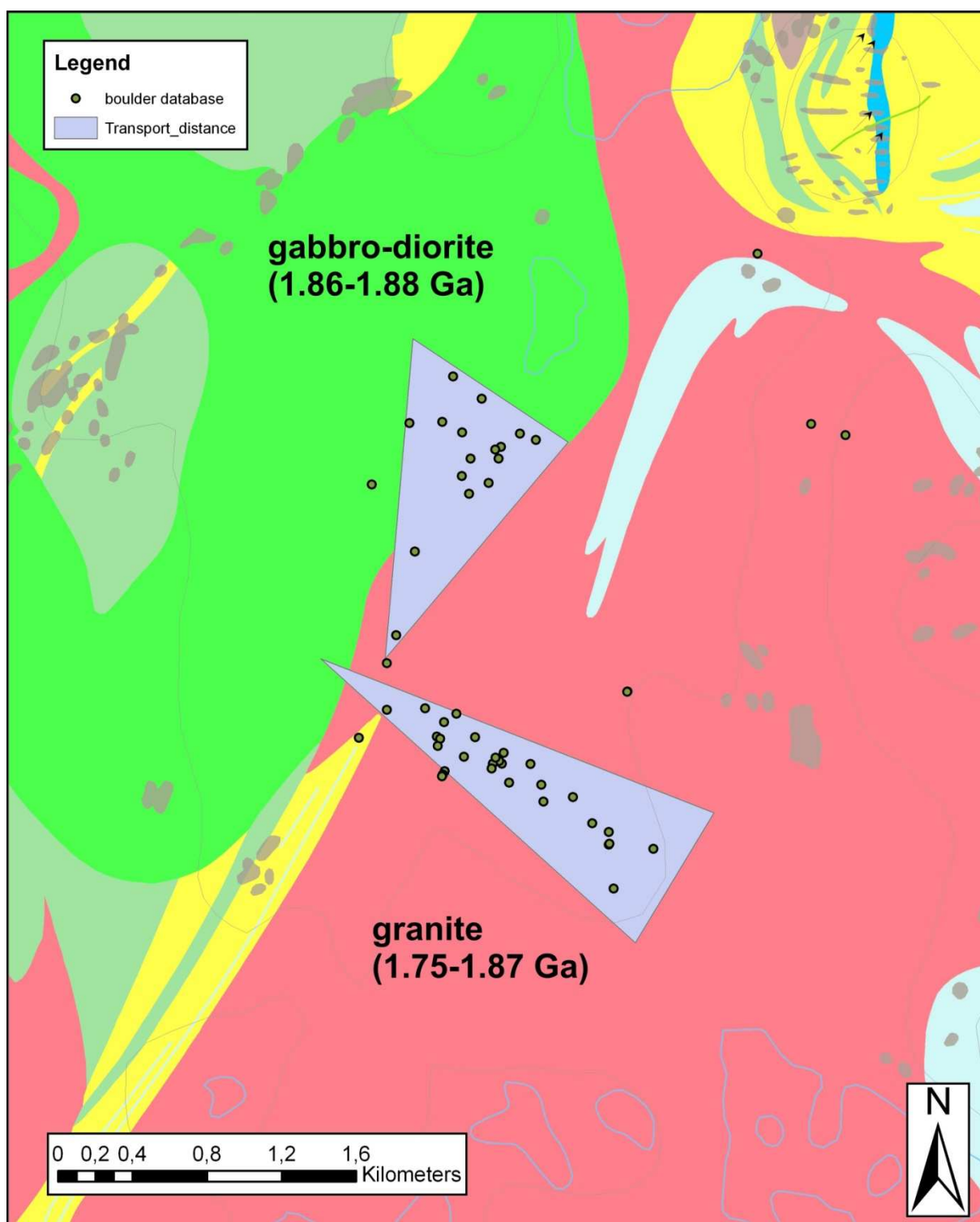


Fig.5A. Boulder trains with Cu (chalcopyrite, pyrite) mineralization located SW from Svappavaara.

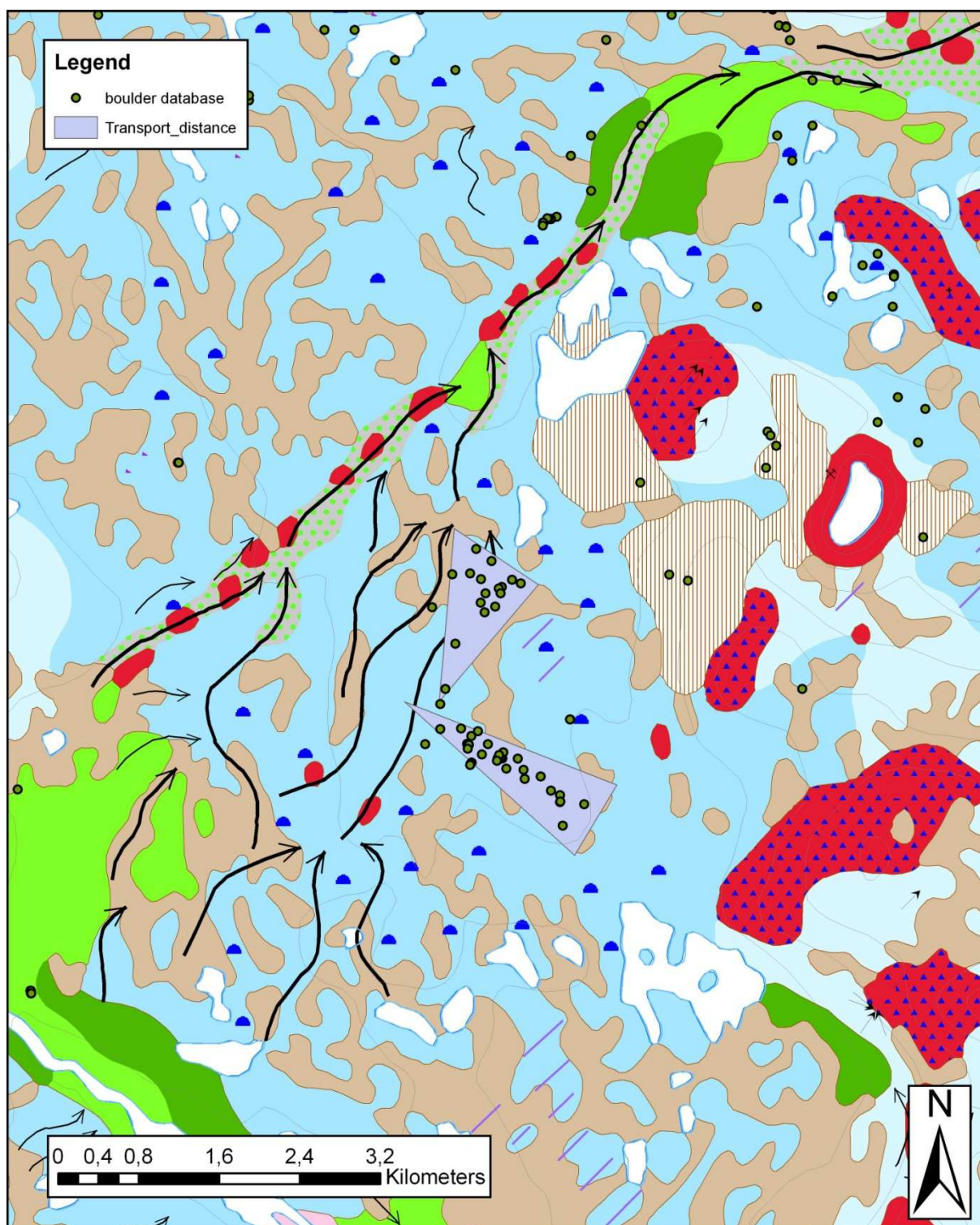


Fig.5B.Quaternary map of Svappavaara region with different types of overburden. Perpendicular orientation of boulder trains can be a result of varying directions of ice movement during different phases of the glaciations. Explanation of colours: light blue -till, brown - peat, red - bedrock outcrops, green - glaciofluvial deposits.

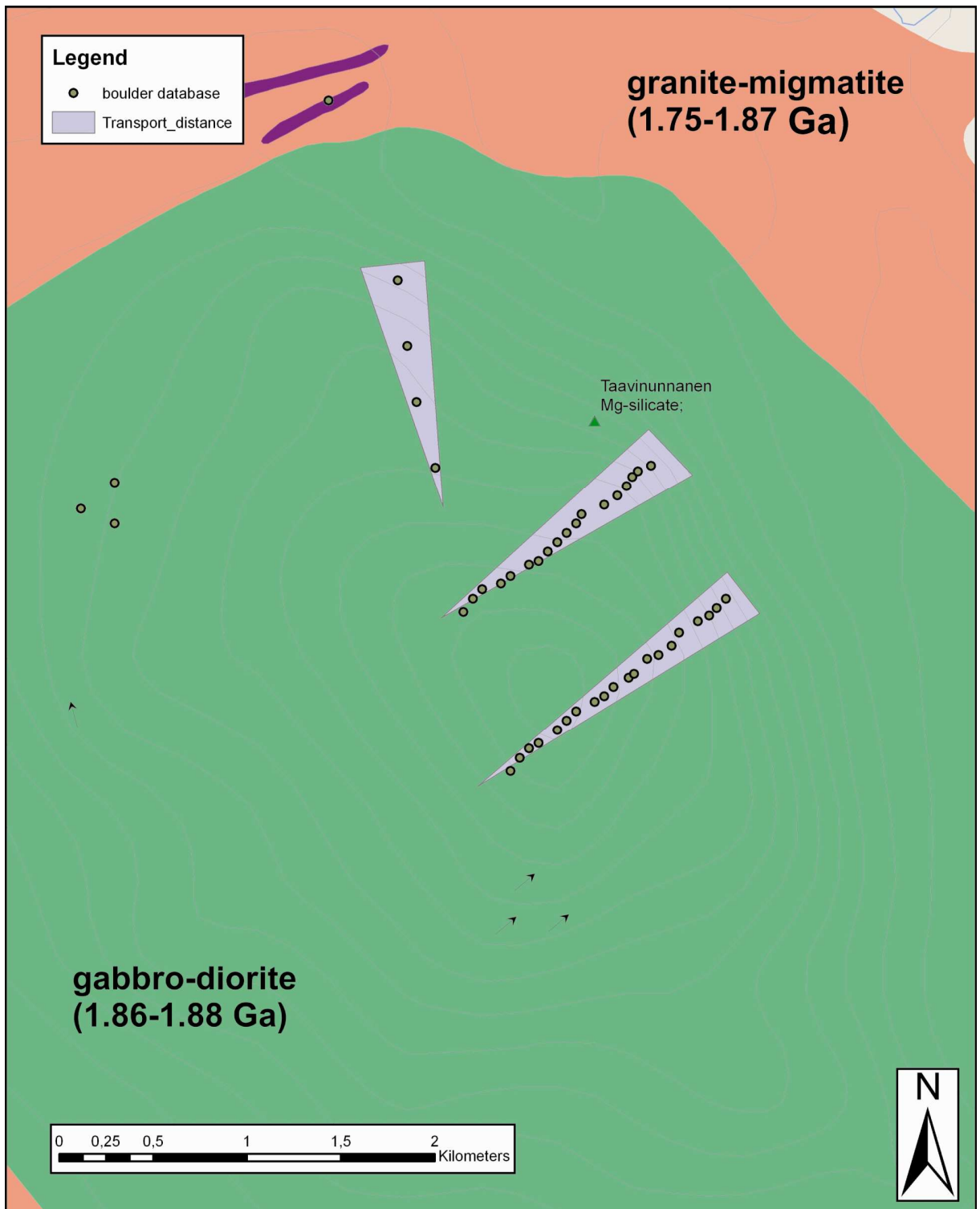


Fig.5C. Boulder trains of mafic rocks, 35 km NE from Kiruna. The boulders originate from a large mafic intrusion and their distribution is related to two directions of ice movement (arrows) and local topography.

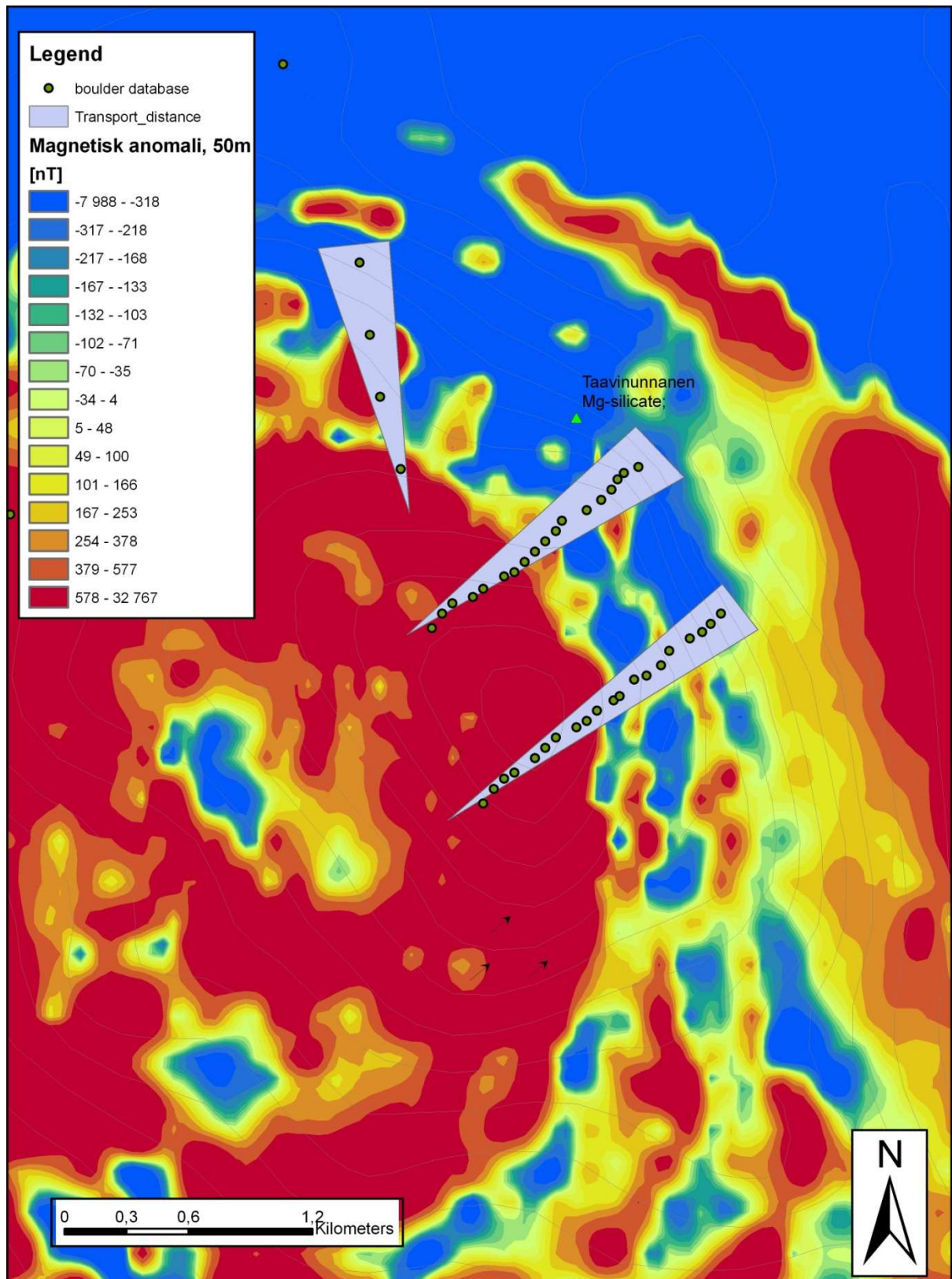


Fig.5D. Magnetic map of the large intrusion (see Fig.5C) – in the absence of outcrops the magnetic data can help to find the source area of ultramafic rocks occurring in boulders.