

Geofyzikálna detekcia a interpretácia strižných zón Spišsko-gemerského rudohoria

LUDOVÍT KUCHARIČ, ANDREJ STEINER, JÁN MIKUŠKA

Geofyzika, š. p., závod Bratislava, Geologická 18, 825 52 Bratislava

(Doručené 20. 6. 1989)

Geophysical detection and interpretation of the shear zones of the Spišsko-gemerské rudohorie Mts.

On the basis of regional and profile geophysical measurements (gravimetry, magnetometry, self-potential method, induced polarization, resistivity methods in the sounding and profile modification, field gamma-ray spectrometry) the geophysical reflection of the basic types of shear zones (overthrust fault, nappe, dip-slip fault, strike-slip fault) is presented. Geophysical indications have direct or indirect character and the individual cases are demonstrated.

The considerable differences in geophysical properties of rocks helped us to define left-handed transgeneric strike-slip fault system running diagonally through the region of the Spišsko-gemerské rudohorie ore Mts. (SGR). The bottom-boundary of the generic granite, placed in 3 800 m under sea-level and determined by gravimetry, represents in fact the sizable low-angle thrust along which this granite has been displaced on the fundament. The location of zones of graphitic-sericitic phyllites is further contribution of the geophysical methods and their interpretation. These are possible to follow across the whole area (length over 50 km) and they are interpreted as nappe boundaries. The possibilities of detection of dip-slip faults are documented on further examples not only in profile but also in areal form. The meaning of structures for solution of questions related to prognosis of raw material and tectonic style of the territory is stressed.

Úvod

Zóny obsahujúce drvené horniny, ktoré sú produktom dynamickej činnosti vo vrchných častiach zemskej kôry spôsobujúcej generovanie strižných zón, sa svojimi fyzikálnymi parametrami väčšinou podstatne líšia od hornín, ktoré táto činnosť vôbec nepostihla, alebo postihla menej. Z toho a priori vyplýva predpoklad, že takéto oblasti možno spoľahlivo detekovať bežnými geofyzikálnymi metódami. Z teoretického aspektu patrí vyhľadávanie strižných zón k najjednoduchším interpretačným problémom aplikovanej geofyziky.

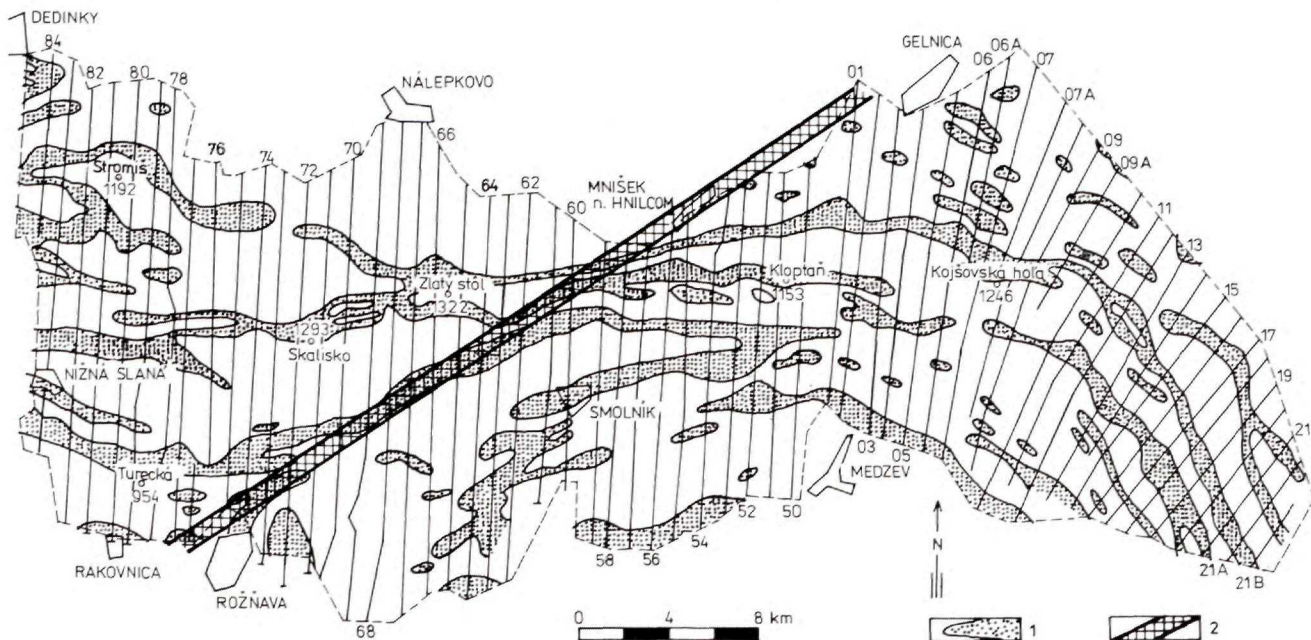
V našom príspevku sa zaoberáme problematikou detekcie a interpretácie strižných zón metódami, ktoré používame pri regionálnych i detailných výskumných a prieskumných prácach v oblasti Spišsko-gemerského rudohoria: Je to gravimetria, magnetometria, terénna gamaspektrometria a geoelektrické metódy — odporové metódy v sondážnej a profilovej modifikácii, metóda indukovanej polarizácie (IP) a spontánnej polarizácie (SP). Všetky detekované objekty sa overovali terénnou geologicko-geofyzikálnou verifikáciou.

Charakteristika problému

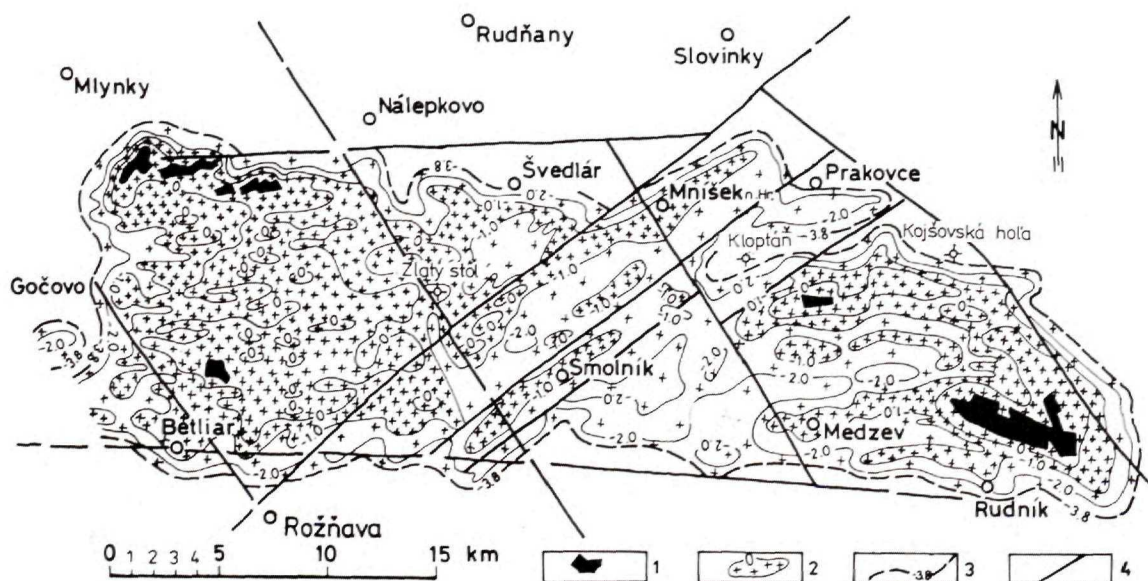
Predmetnú problematiku môžeme rozdeliť na dve skupiny:

1. Do prvej zaraďujeme prípady, keď detekujeme priamo tektonicky drvenú zónu (napr. odporovými metódami alebo gravimetriou). Z fyzikálneho hľadiska sú takéto objekty najjednoduchšie. V takých prípadoch (zvlášť ak ide o merania na malých plochách alebo samostatných profiloch) nie sme vždy schopní podať základnú klasifikáciu drvenej zóny (t. j. prešmyk, resp. príkrov, pokles, horizontálny posun), ale typ štruktúry interpretujeme na základe doterajších geologických poznatkov z daného územia.

2. Do druhej skupiny zaraďujeme indikácie, pri ktorých vyslovene na základe fyzikálnych interpretačných predpokladov môžeme jednotlivé strižné zóny kategorizovať, čím vlastne určujeme charakter pohybu blokov (vertikálny, resp. horizontálny). V takých prípadoch priama detekcia príkrovovo-prešmykovej, resp. zlomovej hranice nemusí byť nutnou podmienkou, pretože vychádzame z nepriamych príznakov (strata korelácie sledovanej inhomogenity na susedných profiloch a pod.). Pretože väčšina nepriamych geofyzikálnych príznakov vychádza z geologických zákonitostí stavby toho-ktorého územia, ani v tomto prípade sa nemôže vynechať geologická informácia. Napríklad niektoré susedné horninové komplexy majú také rozdielne fyzikálne vlastnosti, že by sme medzi nimi mohli predpokladať strižnú zónu, pritom často ide len o prirodzenú litostratigrafickú sekvenciu v príslušnej oblasti. Pri určovaní amplitúdy vertikálneho pohybu blokov využívame kvantitatívne inter-



Obr. 1. Schematická mapa oblastí so zvýšenou indukovanou polarizáciou (Kucharič in Šefara et al., 1987). 1 — oblasť s hodnotou koeficienta zdanej polarizácie $\eta_a > 4\%$ (A90M20N90B). 2 — interpretovaný horizontálny posun transgemickeho zlomového pásma.
 Fig. 1. Schematic map of areas with increased polarization (Kucharič in Šefara et al., 1987). 1 — area with value of apparent polarizability $\eta_a > 4\%$ (A90M20N90B). 2 — transgemic strike-slip fault system interpreted.

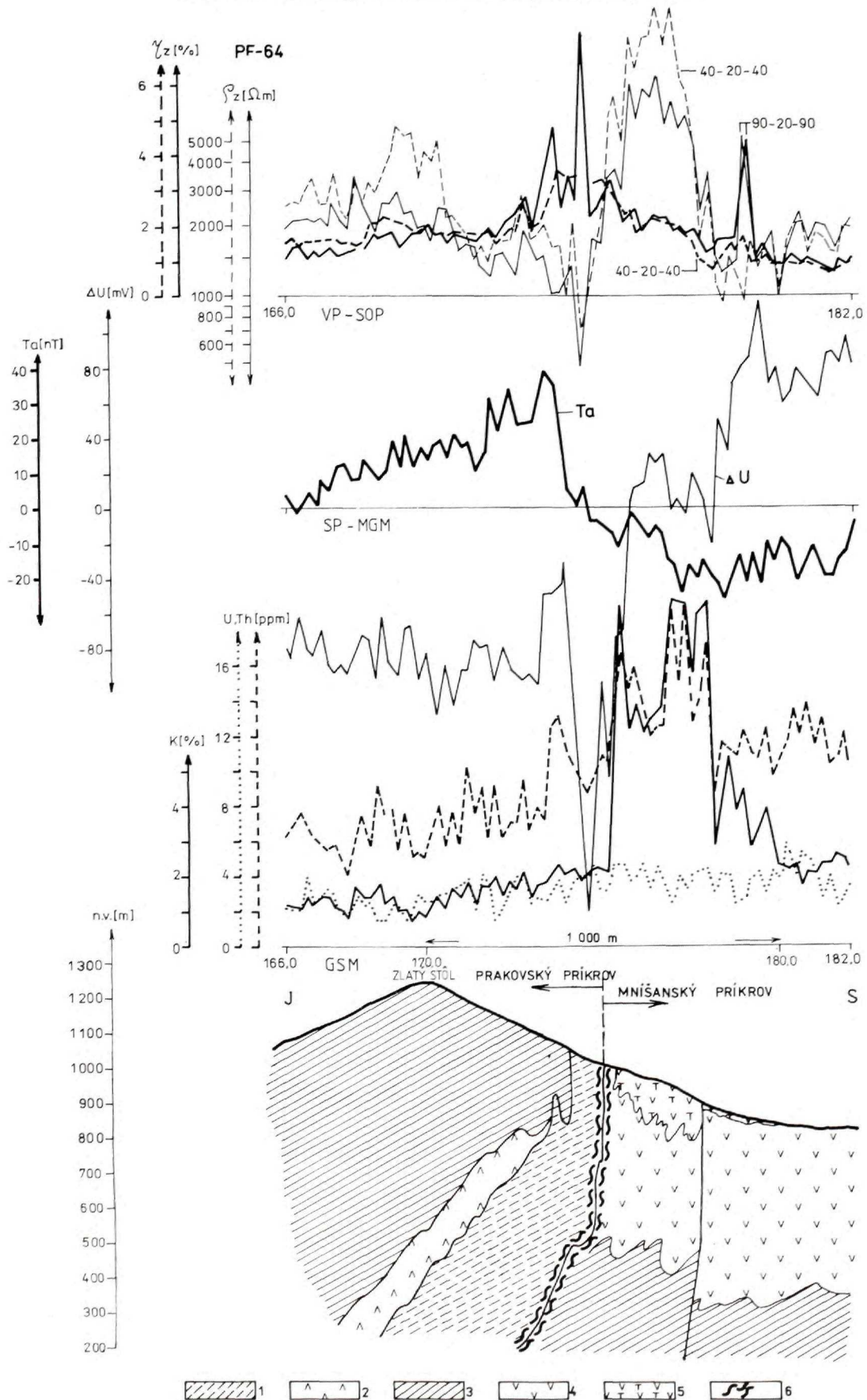


Obr. 2. Mapa hĺbok granitu (Mikuška in Šefara et al., 1987). 1 — východy granitu. 2 — približné ohraničenie a nadmorská výška horného okraja granitu. 3 — hĺbka spodného okraja granitu. 4 — strižné zlomy.

Fig. 2. Map of depth of granite (Mikuška in Šefara et al., 1987). 1 — outcrops of granite. 2 — top limitation of granite (a. s. l.). 3 — bottom limitation of granite (a. s. l.). 4 — shear faults.

Obr. 3. Geofyzikálna indikácia príkrovovej hranice na profile 64 (Kucharič, 1986). 1 — grafiticko-sericitické fylity. 2 — bázika spodného vulkanického komplexu. 3 — chloriticko-sericitické fylity. 4 — porfyroidy. 5 — K-trachyt. 6 — hranica príkrovu.

Fig. 3. Geophysical indication of nappe-boundary on the profile 64 (Kucharič, 1986). 1 — graphitic-sericitic phyllites. 2 — basic rocks of lower variegated volcanic complex. 3 — chloritic-sericitic phyllites. 4 — porphyroides. 5 — K-trachyte. 6 — nappe-boundary.



pretačné výstupy hlavne z gravimetrie, magnetometrie a čiastočne z vertikálnej elektrickej sondáže.

Výčleňovanie strižných zón je vo všeobecnosti problematickejšie v starších (variských) a jednoznačnejšie v mladších (alpínskych) zónach. Kým pri mladších zónach je ich detekcia vďaka výraznosti takmer jednoznačná a pri jej interpretácii vystačíme s geofyzikálnymi kritériami, pri starších zónach treba opäť pracovať s geologickou informáciou.

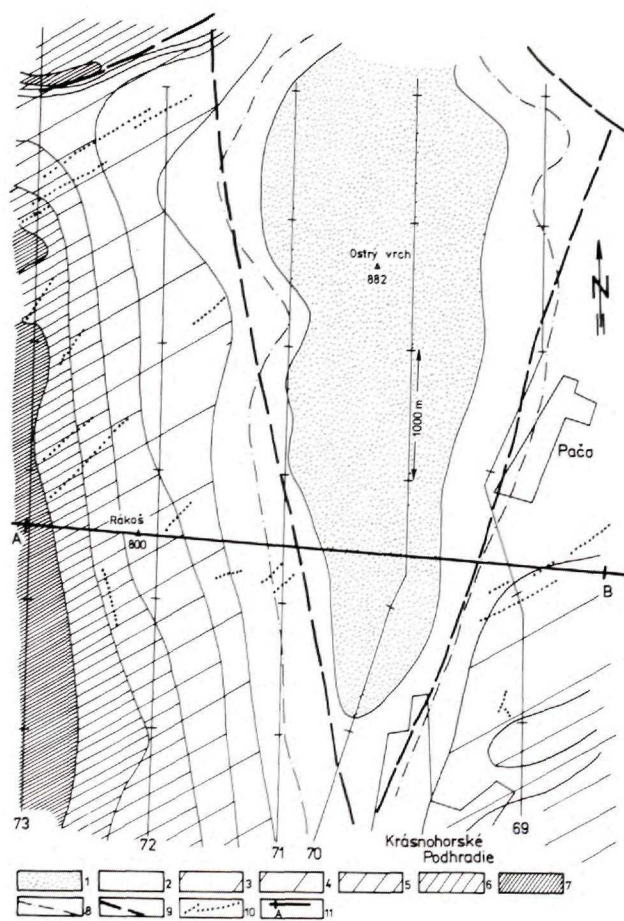
Diskusia

V nasledujúcich príkladoch sa zaoberáme skupinou uvedenou v bode 2. Zistené údaje predkladáme ako profilové krivky alebo anomálne polia. Snažili sme sa najskôr urobiť fyzikálnu interpretáciu, ktorú sme potom porovnávali s koncepciou litostratigrafickej stavby (Grecula, 1982). Táto koncepcia je v mnohých prípadoch v súlade s fyzikálnou interpretáciou, pri detekcii viacerými metódami možno anomálny objekt logicky vysvetliť.

Obr. 1 ukazuje priebeh anomálií indukovanej polarizácie (IP) s hodnotami väčšími ako 4 % (Kucharič in Šefara et al., 1987). Podľa terénnej geologicko-geofyzikálnej verifikácie anomálne polia spôsobili polohy grafiticko-sericitických fylitov betliarskeho súvrstvia (Grecula a Kucharski, 1981; Grecula a Kucharič et al., 1985). Anomálne účinky týchto hornín môžeme sledovať v celej oblasti Spišsko-gemerského rudohoria v dĺžke niekoľko desiatok kilometrov. Je preto logické, že takto sledovateľný a korelovateľný horninový komplex považujeme za jeden zo základných stavebných prvkov regiónu. Pri detailnejšom analyzovaní zistených štruktúr možno pozorovať (bez ohľadu na geologické predpoklady) v úseku medzi Rožňavou a Mníškom nad Hnilcom stočenie anomálnych polí do jz. smeru, ktoré po posune o niekoľko km ďalej pokračujú opäť v ekvatoriálnom smere. V mieste styku štruktúr sa dá teda predpokladať tektonická zóna, ktorú interpretujeme ako sinistrálny horizontálny posun. Takto sa geofyzikálne prejavuje transgemerské zlomové pásmo, ktoré na základe geologických príznakov vymedzil už Grecula (1982). Signifikantnosť tejto štruktúry potvrdzuje aj mapa reliéfu gemerského granitu (obr. 2) získaná z podrobných profilových ťažových meraní (Mikuška in Šefara et al., 1987). Tu možno opäť pozorovať, že v podstate ekvatoriálny priebeh morfológie granitoidného telesa sa v území Mníšek n/H.—Prakovce—Smolník—Rožňava zmenil do smeru SV—JZ. Okrem toho sú v mape znázornené ďalšie zlomové štruktúry, pozdĺž ktorých poklesli jednotlivé bloky. To znamená, že uvedené štruktúry môžeme klasifikovať ako strižné, poklesového charakteru. Ak si uvedomíme, že interpretovaná hĺbka spodného okraja granitového te-

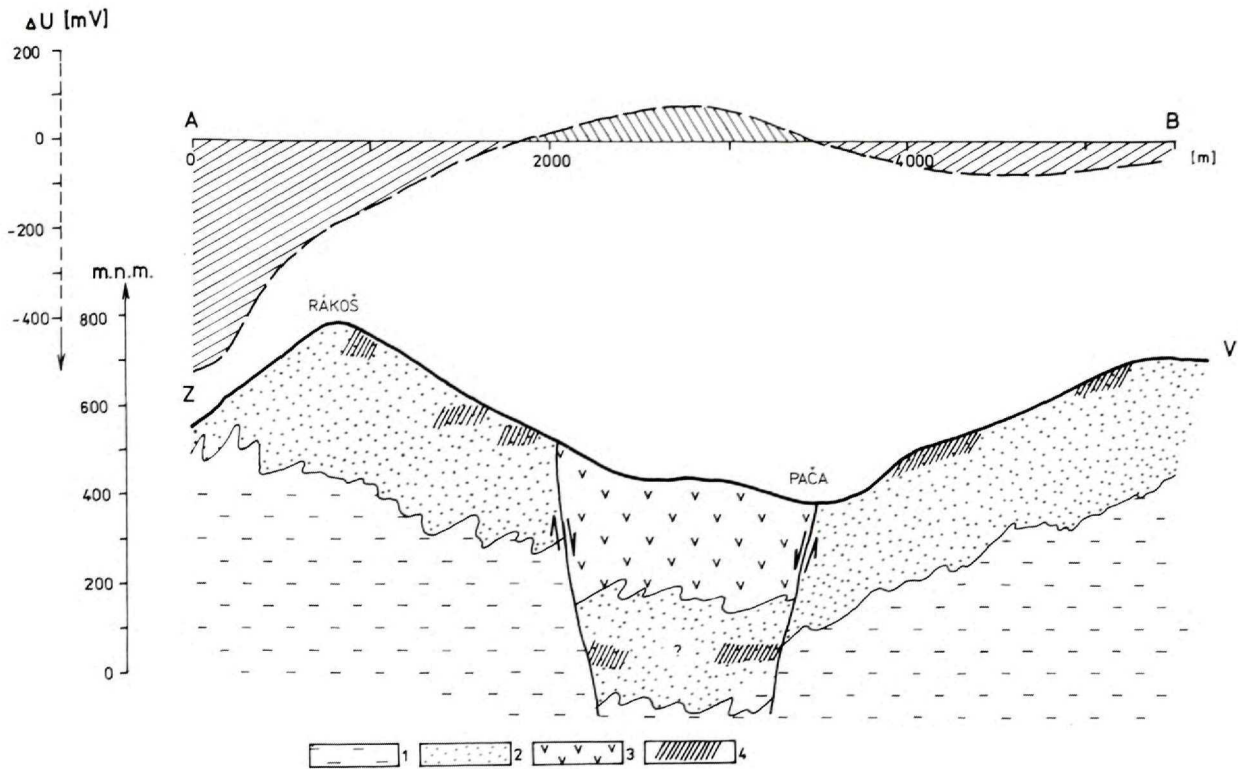
sa je 3 800 m pod hladinou mora, potom celú plochu pod granitovým telesom v tejto hĺbke môžeme v určitej aproximácii považovať za strižnú zónu príkrovového charakteru, pozdĺž ktorej bolo granitové teleso presunuté z juhu rožňavskej zóny diskontinuity na fundament (zdôrazňujeme, že jeho amputácia v hĺbke 3 800 m bola nutná kvôli dosiahnutiu zhody nameranej a vypočítanej krivky).

Ak naše doteraz čisto geofyzikálne úvahy skonfrontujeme s názorom na litostratigrafickú stavbu územia vyššie uvedeného autora, dochádzame k záveru, že vymedzené anomálne oblasti IP odrážajú bazálne členy litostratigrafickej sekvencie regiónu a ich severný okraj predstavuje, vo veľkej



Obr. 4. Výrez z mapy spontánnej polarizácie (Kucharič, 1984). Oblasti s hodnotami podľa SP: 1 — >100 mV, 2 — $50 - (-50)$ mV, 3 — $(-50) - (-100)$ mV, 4 — $(-100) - (-200)$ mV, 5 — $(-200) - (-300)$ mV, 6 — $(-300) - (-500)$ mV, 7 — >-500 mV, 8 — nulová izočiar, 9 — interpretované tektonické zóny, 10 — kremeno-sideritové žily, 11 — línia rezu.

Fig. 4. Part of map of self-potential method (Kucharič, 1984). Areas with value of natural electric field: 1 — >100 mV, 2 — $50 - (-50)$ mV, 3 — $(-50) - (-100)$ mV, 4 — $(-100) - (-200)$ mV, 5 — $(-200) - (-300)$ mV, 6 — $(-300) - (-500)$ mV, 7 — >-500 mV, 8 — zero isoline, 9 — tectonical faults interpreted, 10 — quartz-siderite veins, 11 — line of section.



Obr. 5. Geologicko-geofyzikálna interpretácia pozdĺž rezu A—B. 1 — grafiticko-sericitické fylity vcelku, 2 — metapsamity vcelku, 3 — porfyroidy vcelku, 4 — schéma priebehu rudných žíl.

Fig. 5. Geological-geophysical interpretation along cross section A—B. 1 — graphitic-sericitic phyllites, 2 — metapsammites, 3 — porphyroides, 4 — sketch of ore veins course.

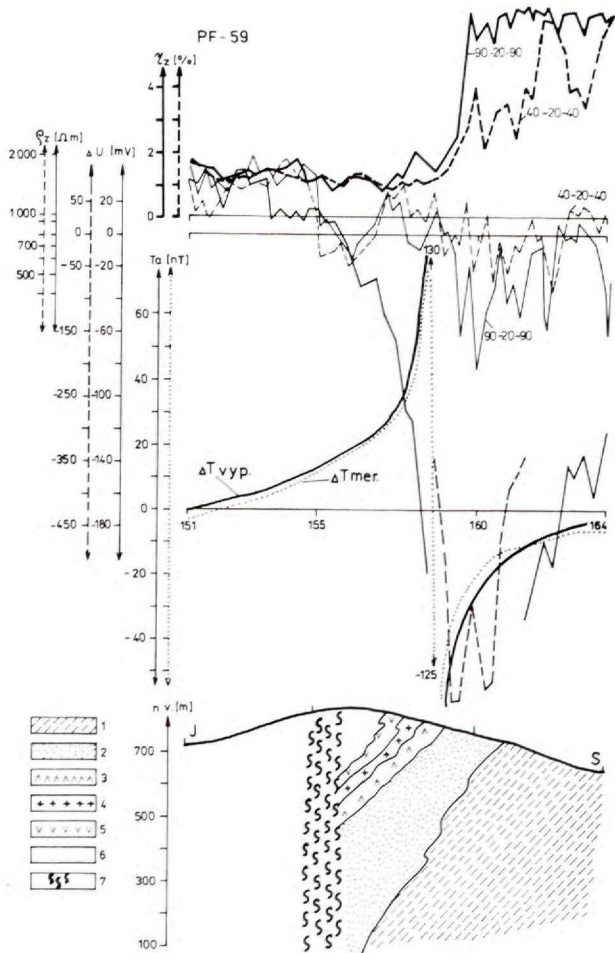
väčšine prípadov, príkrovovú hranicu susedných štruktúrno-tektonických jednotiek (obr. 3).

Fyzikálna odlišnosť geofyzikálnych polí zodpovedá rôznej litologickej náplni dvoch príkrovových jednotiek (prakovská a mnišanská). Sklon príkrovej hranice je odvodený z kvantitatívnej interpretácie nevýraznej magnetickej anomálie. Vyvolali ho bázické členy spodného vulkanického komplexu za predpokladu jeho určitej konformity so spodnejším súvrstvom čiernych fylitov. Na uvedenej hranici sa mení aj celkový charakter poľa magnetickej indukcie a výraznú zmenu v danom mieste vykazuje tiež prirodzené elektrické pole (zmena polarizácie SP).

Ďalší výskyt strižnej zóny interpretovanej len na základe zmeny poľa spontánnej polarizácie (SP) znázorňuje obr. 4 a 5. Na obr. 4 je výrez z mapy izolínií prirodzeného elektrického poľa z okolia Pače (Kucharič, 1984). Je zrejme, že rudné žily sa vyskytujú iba v tých oblastiach, kde sme zistili záporný potenciál. Oblasť kladného poľa sme od záporného oddelili liniami sledujúcimi približne nulovú izocharu. Ak urobíme rez predmetným územím (linia A—B), dostávame výsledok znázornený na obr. 5. Kladné pole uprostred línie rezu predpokladá pokles polarizovateľného prostredia smerom do hĺbky. Sklon zlomov je

odvodený na základe teoretických úvah, matematického modelovania a praktických skúseností podľa mnohých autorov (Semenov, 1978; Telford et al., 1980; Babu a Rao, 1988). Ide teda o názorný prípad strižných zlomov poklesového charakteru. Aj v tomto prípade, ak geofyzikálnu úvahu doplníme koncepciou litostratigrafickej stavby oblasti, dochádzame k logickému súladu geologických a geofyzikálnych interpretačných predpokladov. Takýto spôsob interpretácie je opodstatnený aj pri vyhľadávaní skrytých ložiskových akumulácií v tejto časti oblasti.

Na obr. 6 dokumentujeme opäť strižnú zónu poklesového charakteru, ale detekujeme ju prostredníctvom iných geofyzikálnych metód. Nosnú informáciu získavame kvantitatívnou interpretáciou magnetometrie. Aby sme dosiahli maximálne možný súlad medzi nameranou a vypočítanou krivkou vektora magnetickej indukcie, museli sme anomálne magneticke teleso (amfibolit) v južnej časti profilu amputovať a posunúť o niekoľko stoviek metrov hlbšie, vlastne až mimo indikačného dosahu magnetometrie (pri daných vstupných modelovacích údajoch). Takúto úvahu podporuje aj široká zlomová zóna čitateľná na odporovej krivke (Q_z). Mocnosť tektonickej zóny nie je pravá, pretože profil (S—J) a zlom zvierajú

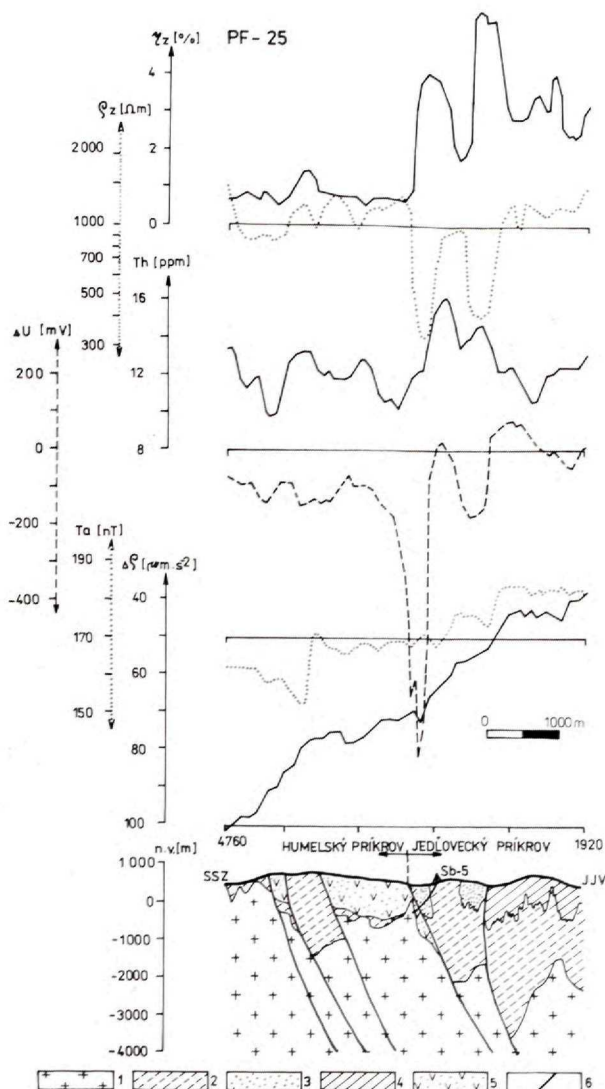


Obr. 6. Geofyzikálny prejav strižnej zóny poklesového charakteru na profile 59 (Kucharič, 1986). 1 — psammitické grafiticko-sericitické fylity, 2 — pelitické grafiticko-sericitické fylity, 3 — amfibolité, 4 — alaskit, 5 — porfyroid, 6 — chloriticko-sericitické fylity, 7 — strižná zóna.

Fig. 6. Reflex of dip-slip fault in geophysical fields of the profile 59 (Kucharič, 1986). 1 — psammitic graphitic-sericitic phyllites, 2 — pelitic graphitic-sericitic phyllites, 3 — amfibolite, 4 — alaskite, 5 — porphyroide, 6 — chloritic-sericitic phyllites, 7 — shear zone.

veľmi ostrý uhol. Zlomy takého a podobného smeru patria v danom území k najmladším a sú vlastne najčerstvejším, alpínskym deformátorom už sformovaného variského fundamentu.

Ďalšie geofyzikálne indikácie širšieho okolia už skôr spomenutého, transgemerického zlomového pásma sme získali pri detailnom prieskume a vyhľadávaní Sb zrudnenia v okolí Čučmy (Steiner et al., 1987). Granitové teleso sme na bloky rozdelili hlavne na základe výsledkov profilových gravimetrických meraní a metódy vertikálnej elektrickej sondáže. Pri konštrukcii rezu naprieč územím (obr. 7) však vhodné doplnujúce údaje poskytli aj ostatné metódy použitého geofyzikálneho komplexu. V danom prípade je

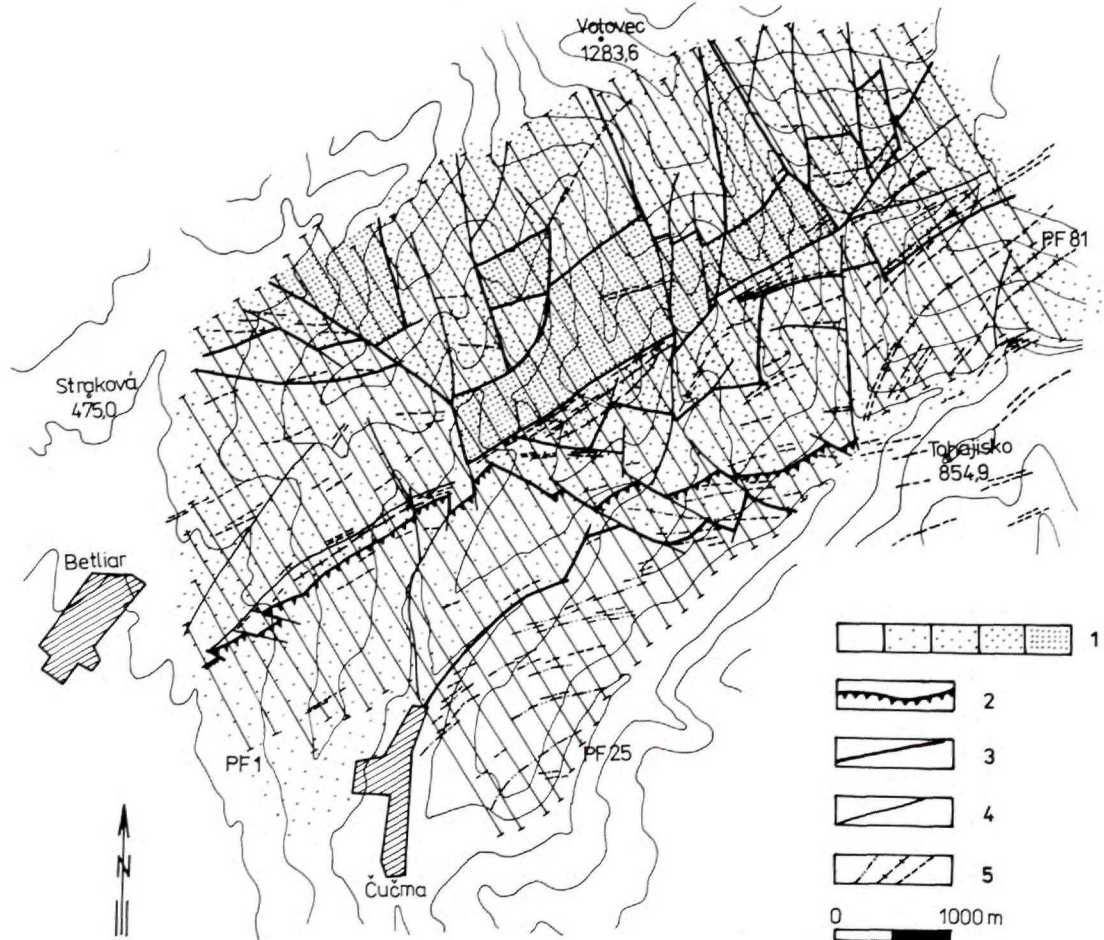


Obr. 7. Prešmykovo-poklesová stavba granitového telesa v oblasti Čučmy (Mikuška a Steiner et al., 1987). 1 — granit, 2 — psammitické grafiticko-sericitické fylity, 3 — pelitické grafiticko-sericitické fylity, 4 — fľyš nečlenený, 5 — zelené očkáté metapellity, 6 — zlomy.

Fig. 7. Tectonic pattern of granite body in the area of Čučma (Mikuška and Steiner et al., 1987). 1 — granite, 2 — psammitic graphitic-sericitic phyllites, 3 — pelitic graphitic-sericitic phyllites, 4 — flysch, 5 — green metapellites, 6 — faults.

dôležité aj zistenie, že príspevok získavame aj povrchovou metódou — terénnou gamaspektrometriou.

Zhrnutím poznatkov z interpretácie jednotlivých profilov v detailnejšej mierke možno zostaviť plošnú štruktúrno-blokovú schému, ktorá ukáže umiestnenie zlomov strižného charakteru, ale aj smer vertikálneho pohybu jednotlivých vyčlenených štruktúrno-tektonických blokov. Takýto interpretovaný plošný obraz z oblastí na JV od východu betliarskeho granitu na povrch je znázornený na obr. 8. V podobe, ako ho predkladáme, bol jedným zo



Obr. 8. Štruktúrno-tektonická schéma v oblasti Čučmy (Steiner et al., 1987). 1 — výšková úroveň bloku (od najnižšej po najvyššiu), 2 — prešmyky, 3 — významné zlomy oddeľujúce jednotlivé bloky, 4 — ostatné zlomy, 5 — rudné žily: kremeňovo-sideritové ± sulfidy, kremeňovo-antimonitové, kremeňové.

Fig. 8. Structural-tectonic scheme in the area of Čučma (Steiner et al., 1987). 1 — altitudinal level of blocks (from the lowest to the highest), 2 — overthrusts, 3 — significant faults, 4 — other faults, 5 — ore veins (quartz — siderite ± sulphides, quartz-antimonite, quartz).

základných vstupných údajov na prognózovanie výskytu Sb mineralizácie (Steiner et al., 1987).

Záver

Predložené ukážky geofyzikálnej detekcie strižných zón nie sú, pochopiteľne, vyčerpávacím prehľadom možností použitého geofyzikálneho komplexu. Našou snahou bolo podať geofyzikálny obraz základných typov strižných zón (prešmyk, resp. priekrov, pokles, horizontálny posun). Je zrejme, že v tektonicky exponovanom rajóne Spišsko-gemerského rudohoria sa nachádza značné množstvo strižných zón rôznych typov a mierok. Snažili sme sa poskytnúť informácie hlavne v makro-, za výhodných podmienok aj v mezookrsku. Napriek tomu, že do komplexu metód sme nezahrnuli základnú štruktúrnu metódu — seizmické meranie, na základe charakteristických anomálií v jednotlivých

metódach alebo skupinách metód môžeme detekovať strižné zóny v horizontálnom rozsahu desiatok metrov až desiatok kilometrov a vo vertikálnom dosahu desiatok metrov až prvých kilometrov. Výrazné deformácie fyzikálnych polí umožňujú dobrú sledovateľnosť strižných zón a zvyšujú význam príspevku geofyziky ku geologickej syntéze územia. Získané výsledky sú jedným zo základných materiálov na komplexné hodnotenie územia Spišsko-gemerského rudohoria z hľadiska výskytu nerastných surovín.

Literatúra

- Babu, H. V. B. a Rao, D. A. 1988: A rapid graphical method for the interpretation of the self-potential anomaly over two dimensional inclined sheet of finite depth extent. *Geophysics*, 53, 8.
 Grecula, P. 1982: Gemerikum — segment riftogénneho bazénu Paleotetýdy. *Mineralia slov. — Monogr., Bratislava, Alfa*, 263 s.
 Grecula, P. a Kucharski, R. et al. 1981: Záverečná správa z komplexnej geologicko-geofyzikálnej interpretácie východnej časti SGR. *Manuskript — Geofond Bratislava*.

- Grecula, P., Kucharič, L. et al. 1985: Čiastková záverečná správa z komplexnej geologicko-geofyzikálnej interpretácie centrálnej časti SGR. *Manuskript — Geofond Bratislava*, 292 s.
- Kucharič, L. 1984: Rozbor preskúmanosti a načrtnutia možnosti detekcie rudných akumulácií geofyzikálnymi metódami v staršom paleozoiku SGR. [*Práca k aspirantskému minimu.*] *Manuskript — PF UK Bratislava*, 48 s.
- Kucharič, L. 1986: Odraz geologických fenoménov centrálnej časti SGR v geofyzikálnych poliach. [*Kandidátska diz. práca.*] *Manuskript — PF UK Bratislava*, 116 s.
- Semenov, A. S. 1968: Elektrorazvedka metodom jestestvennogo elektrického poľa. *Leningrad, Nedra*, 379 s.
- Steiner, A., Géczy, J., Mikuška, J. a Jančí, J. 1987: Čučma Sb. Au. Sn. [Záverečná správa, geofyzikálna časť.] *Manuskript — Geofond Bratislava*, 54 s.
- Šefara, J. et al. 1987: Štruktúrno-tektonická mapa vnútorných Západných Karpát pre účely prognózovania ložísk. Geofyzikálna interpretácie. *Manuskript — archív Geofyzika Bratislava*.
- Telford, W. M. et al. 1980: Applied Geophysics. *Cambridge University Press*, 490 s.

Geophysical detection and interpretation of the shear zones of the Spišsko-gemerské rudohorie Mts.

Crushing of rocks within shear zones causes a considerable change in their physical properties in general. This fact renders possible utilization of geophysical methods for detection of shear zones. The paper deals with results of complex of geophysical methods which consists of gravimetry, geomagnetic, selfpotential method, induced polarization, resistivity methods in the sounding and profile modification and field gamma-ray spectrometry.

The solution of the problem is divided into two groups.

1. The direct manner of detection of shear zone — we can determine location of fault but not in every case its type.

2. The direct or indirect manner of detection — we can define a category of zones. Therefore indirect symptoms are derived from geological knowledge, this information must not be omitted.

The detection of older shear zones (variscan age) is more ambiguous than the younger ones (Alpine age). Quantitative output from gravimetry geomagnetic and partly vertical electrical sounding has been utilized only.

The anomalies of induced polarization caused by black phyllites are presented in Fig. 1. They form well-correlated zones with length over 10 km and we consider these rocks as the fundamental element of the territory in question. The south-western bend of anomalies in the central part of region is interpreted as the left-handed strike-slip fault (transgeneric fault system — Grecula, 1982). The map of the depth of granite provides the similar image (Fig. 2). The bottom boundary of granite located in the depth of 3 800 m under sea level is interpreted as a strike-slip fault of nappe character.

Anomalous portions of IP field represent the basic elements of region (black phyllites) on the basis of lithostratigraphic scheme (Grecula, 1982). Northern mar-

gin of these rocks forms mostly boundaries of nappes. The detailed geophysical image of such boundary is presented in Fig. 3. The differentiation in physical fields answer to various lithological filling of both geotectonic units and confirms our supposition that is mentioned above.

The possibility to interpret dip-slip faults on the basis of SP method is presented in Fig. 4. The changes of the polarity are considered as a boundary of blocks with various vertical level. If the surficial occurrences of ore-veins and the character of natural electric field are compared (Fig. 5) it is possible to predict the development of veins in depth.

Dip-slip fault indicated by geomagnetic and resistivity method is documented in Fig. 6.

Detail image of transgeneric strike-slip fault system in the section have been obtained by the investigation for antimonite mineralization (Fig. 7). Tectonic style has been compiled from results of gravimetry and electrical sounding mainly, but the other methods provided some contribution, too. The areal structural-tectonic scheme have been done by summarization of information from individual geological-geophysical sections (Fig. 8). There is presented not only location of shear zones but also the interpretation of vertical movements.

All examples being presented are not exhaustive summary of possibilities of geophysical detection and interpretation of shear zones. Our results stress the meaning of geophysical methods which are able to indicate the shear zones in horizontal range from tens of meters to tens of kilometers and vertical range from tens of meters to first kilometers. The results obtained serve as ones of the inlet data for mineral raw material prognosis in the SGR Mts.