

Paleomagnetizmus a petromagnetické vlastnosti intruzívnych hornín z oblasti Slanských vrchov

OTO ORLICKÝ

Geofyzika, n. p., Brno, závod Bratislava, Geologická 18, 825 52 Bratislava

Doručené 20. 5. 1985

Палеомagnetизм и петромагнитные свойства интрузивных горных пород из области Сланских гор (Восточная Словакия)

Интрузивный андезитовый и диоритовый порфир обладают отрицательной остаточной намагниченностью (ОН). Они характеризуются наличием членов серии твердых растворов, в частности магнетита, гематита и ильменита, кроме сульфидов, в главном пирита. Остаточная намагниченность вторичная, хемического вида. Предполагаем что отрицательная ОН возникла магнетостатическим самообращением. Следует отметить что распределение и полярность ОН вызваны комбинированным эффектом геомагнитного поля, нерегулярной интрузивной и постмагматической деятельностью включительно химическо-физических изменений магнитных и других минералов.

Paleomagnetism and petromagnetic properties of intrusive rocks from the area of Slanské vrchy Mts. (Eastern Slovakia)

Intrusive andesite and diorite porphyry have shown reverse RMP. The carriers of RMP are supposed to be the association of Fe sulphides with small amount of magnetite, haematite and ilmenite (ilmeno-haematite) in intrusive rocks under study. Stable RMP is a secondary one of chemical origin (CRMP). The reverse RMP of these rocks is supposed to be due to magnetostatic selfreversal. One can state that observed distribution and the polarity of RMP of these rocks have been caused by a combination of complex geomagnetic field behaviour and irregular intrusive and postmagmatic activity, including chemical-physical alterations of magnetic and other minerals.

Výsledky štúdia intruzívnych hornín stredného Slovenska viedli k predpokladu, že polarita, smer a veľkosť remanentnej magnetickej polarizácie (RMP) intruzívnych hornín sú dôsledkom kombinovaného účinku zemského magnetického poľa, intruzívnej aktivity, pomagmatických pneumatologických a hydrotermálnych procesov a v tej súvislosti tiež dôsled-

kom fyzikálno-chemických premien magnetických a nemagnetických minerálov v študovaných horninách, a nie sú iba odrazom intenzity a smeru geomagnetického poľa pôsobiaceho v dobe vzniku hornín. O. Orlický (1985) sa domnieva, že záporná inklinácia RMP zistená pri dioritovom a kremenito-dioritovom porfýre je chemického pôvodu a vznikla s veľkou prav-

depodobnosťou samoreverzným mechanizmom.

To bolo podnetom na rozšírenie paleomagnetického štúdia intruzívnych hornín ďalších lokalít, ktoré postupne obohatí doterajšie poznatky o možných mechanizmoch vzniku ich RMP.

V tomto článku predkladáme výsledky štúdia hornín odobratých z vrtov ZH-1, ZH-4, STR-1 z oblasti Slanských vrchov (obr. 1).

Na možnosť vzniku RMP hornín samoreverziou poukazujú viaceré zahraničné práce. Napr. pri horninách s prítomnosťou ilmenitovo-hematitových asociácií je samoreverzný mechanizmus vzniku zápornej RMP doložený teoreticky i experimentálne. Pri dacite z vulkánu Haruna z Japonska s prítomnosťou rovnocenného zastú-

penia hematitu a ilmenitu je tento mechanizmus reprodukovateľne doložený v laboratórnych podmienkach (Nagata, 1965; Cox, 1973; Tarling, 1974).

Samoreverzný mechanizmus vzniku zápornej RMP sa dá predpokladať tiež pri horninách s pôvodne prítomnými minerálmi titanovo-magnetitovej série, kde (napr. pri kyslejších horninách obsahujúcich viac kyslíka v ich pôvodne roztavenom stave) sa môžu tieto titanomagnetity za prítomnosti roztokov bohatých na kyslík meniť na minerály ilmenitovo-hematitovej série (Tarling, 1974). Prevažná časť minerálov titanovo-magnetitovej série môže vzniknúť iba pri vyšších teplotách. V podmienkach zemského povrchu sú však teploty nestabilné. Podľa T. Nagatu (1965) dochádza k rozpadu titanomagnetitov, pričom v reálnych horninách je najčastejšie prítomný magnetit, ktorý v oxidačných podmienkach môže prechádzať na hematit ďalej spolu s ilmenitom ako produktom oxidácie ulvospinelu. Vysokoteplotná oxidácia titanomagnetitov vedie k ich rozpadu na hemoilmenity blízke ilmenitu a titanomagnetit blízky magnetitu. Nízokoteplotná oxidácia titanomagnetitov vedie k vzniku maghemitu, ktorý je blízky hematitu, ale si zachováva štruktúru spinelu.

Pri väčšine hornín s prítomnosťou Fe-Ti zlúčenín nie je vzhľadom na neekvivalentné zastúpenie $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ a Fe_2TiO_3 možné prirodzenú samoreverziu reprodukovat v laboratóriu, čo tiež výrazne ovplyvňuje okolnosť, že rýchlosť chladnutia horniny pri laboratórnych experimentoch nie je porovnateľná s rýchlosťou chladnutia v období pôvodného formovania alebo v období následných premien hornín. Napr. J. Verhoogen teoreticky poukázal na možnosť vzniku samoreverznej magnetizácie pri niektorých Fe kyslíknoch obsahujúcich nečistoty Al, Mg alebo Ti, pôvodne normálne nemagnetizovaných pri ich rýchlom chladnutí. Zápornú magnetizáciu by mali



Obr. 1. Situácia vrtov
Fig. 1. Situation of the boreholes

nadobudnúť v ďalšom období existencie, pretože pri týchto kysličníkoch bude dochádzať k preskupovaniu atómov, aby nastalo rovnovážne usporiadanie. Avšak pre vznik takejto samoreverzie je vypočítaný čas státisíce až milióny rokov, čo samozrejme nie je možné simulovať v laboratórnych podmienkach (Cox, 1973). Vieme, že detegované magnetické a paleomagnetické vlastnosti horniny odrážajú momentálny stav mineralogickej, hlavne magnetickej frakcie. V súčasnosti nie sú z hľadiska spoľahlivej identifikácie primárnej magnetizácie hornín prepracované efektívne metodické postupy, pomocou ktorých by bolo možné rekonštruovať celý vývojový proces, ktorým hornina i minerály prešli od obdobia magmatickej aktivity, v priebehu ktorej vulkanické alebo plutonické horniny vznikali.

Ako je vyššie uvedené, veľmi limitovaným je tiež priamy laboratórny dôkaz reprodukovateľnosti samoreverzným mechanizmom vzniknutej zápornej RMP, preto treba hľadať koreláciu medzi petrografickými, mineralogickými, prípadne i chemickými vlastnosťami a polaritou RMP, a takto postupne vyčleniť tie typy hornín, ktorých RMP má samoreverzný pôvod.

Stručná charakteristika študovaných hornín

Podľa písomne sprostredkovaných pracovných podkladov J. Tőzsera, M. Kaličiaka a E. Divinca, ktoré sú schematicky zobrazené v podobe zjednodušených profilov na obr. 5, 6, 7, sa vrtmi ZH—1, ZH—4 a STR—1 prevrátili nasledujúce typy hornín:

- pyroxenický andezit (zastihli všetky vrty) je miestami čiastočne vybielený, rozpukaný, s nepravidelnou sieťou puklín vyhojených pyritom (+ markazit a hematit), karbonátmi a chloritmi, miestami je hornina silicifikovaná;

- lávové brekie pyroxenického andezitu prechádzajú miestami do kompaktnejších lávových prúdov, miestami sú tektonicky porušené až rozpadavé, často argilitizované a pyritizované;

- tufobrekie pyroxenického andezitu (vrt ZH—1 a STR—1). Sú sivohnedej farby. Rozpadajúce sa úlomky pemzy a andezitov stme-

luje sivá popolová hmota. Miestami sú intenzívne tektonicky drvené, miestami so žilkami až hniezdami karbonátov, niekde je hornina impregnovaná pyritom, inde intenzívne limonitizovaná;

- ryolitové tuhy sú detegované vrtom STR—1 (kde je asi 40 m poloha v podobe až tufitov) a vrtom ZH—1 (kde sa nachádzajú v mocnejších polohách). Väčšinou sú intenzívne vybielené, frekventovane impregnované pyritom. Často sú silicifikované, ojedinele so žilkami kremeňa a karbonátov. Možno v nich pozorovať aj granáty. Vo vrte STR—1 sú jemne pelitické, v nepravidelných úsekoch s náznakom fluidality. Vo vrte STR—1 sa zachytila tiež tenká poloha prekremených ryolitových brekcií;

- flovito-piesčité sedimenty — vo vrte ZH—1 sú zastúpené v podobe slienitých flovcov, sivozelených flovcov s pozvoľným prechodom do jemnozrnných pieskovcov. Pieskovce sú jemnozrnné, laminované, väčšinou s prítomnosťou pyritu. Tieto sedimenty prechádzajú v nepravidelných intervaloch do čiernych bituminózných flovitých bridlíc. Vo vrte ZH—4 sa flovité bridlice nepravidelne striedajú s piesčitými polohami. Sú kontaktne metamorfované, miestami impregnované pyritom, miestami sú v nich drobné vlásočnicové žilky karbonátov. Flovito-piesčité súvrstvie prevŕtané hlavne v intervale 1076 — 1200,6 m. Na začiatku tohto intervalu sa vyskytuje asi 3 m mocná poloha tufitických pieskovcov s impregnáciami pyritu, pod ňou je intenzívne zrohovcovatené prekremené húževnaté flovovo-piesčité súvrstvie sivonazelenalej farby. Dajú sa v ňom pozorovať impregnácie pyritu. V puklinách hornín sú povlaky kalcitu a pravdepodobne tiež pyrotín.

Osobitné postavenie z hľadiska opisovaného paleomagnetického výskumu pripisujeme porfýrovým horninám.

Amfibolicko-pyroxenický andezitový porfýr. Štruktúra horniny je porfýrická. Vývoj základnej hmoty je holokryštalicko-skrytokryštalický, v časti vzoriek prizmaticko-zrnitý — mikroalotriomorfné zrnité. V intenzívne premenených horninách pilotaxický, s fluidálnou textúrou. Základná hmota je zložená z kryštalizačných jadier živcov, z tabuliek plagioklasov, pyroxénov, zrníček magnetitu, miestami čiastočne limonitizovaného. Priestory medzi nimi sú vyplnené alotriomorfnými zrníčkami živcov, podradnejšie kremeňa, sekundárnych karbonátov, chloritu a limonitu. V hornine sú žilky hydrotermálneho karbonátu a chloritu, pričom pri okrají sú chlority, v strede žilky karbonátu. V dutinách vystupuje hydrotermálny kremeň. Z rudných minerálov je v hornine magnetit, apatit, limonit,

pyrit a ilmenit. Z výrastlíc sú prítomné plagioklasy. Tvoria idiomorfne tabuľky, sú intenzívne premenené, karbonatizované a čiastočne adularizované. Z tmavých minerálov sú ďalej prítomné pyroxény (augit a hyperstén), ktoré tvoria idiomorfne tabuľky. Hyperstén je pozdĺž puklín slabochloritizovaný. Amfibol tvorí taktiež idiomorfne tabuľky, čiastočne chloritizované.

Dioritový porfýr. Ako je už vyššie uvedené, vyskytuje sa vo vrtoch ako čerstvý, tiež intenzívne hydrotermálne premenený, čiastočne propylitizovaný. Miestami hornina vystupuje ako amfibolicko-pyroxenický dioritový porfýr.

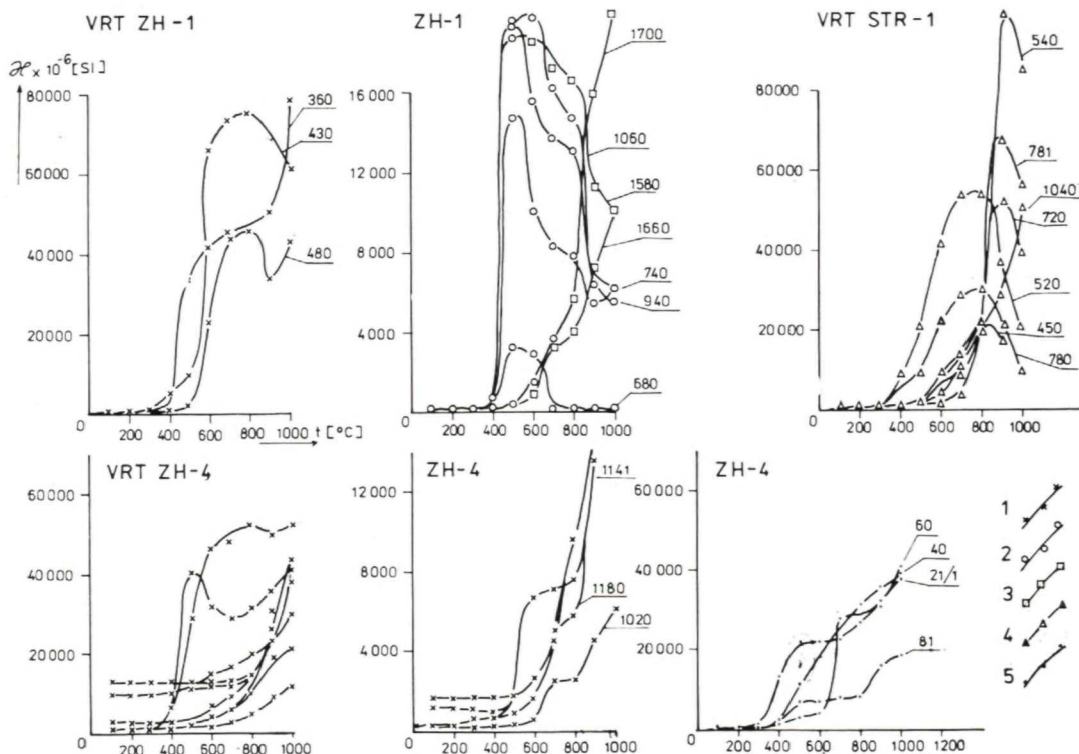
Štruktúra horniny je porfýrická. Vývoj základnej hmoty je mikroalotriomorfne zrnitý. Základná hmota sa skladá z alotriomorfnych zrníček živcov, karbonátu, sericitu, chloritu, limonitizovaných zrníček magnetitu, krem-

ňa, miestami izometrických zrníček pyroxénov, amfibolitov, limonitu, často pyritu. Výnimočne je prítomný tiež kaolinit.

Z výrastlíc sú v hornine prítomné plagioklasy (andezín, labradorit), tvoriace idiomorfne tabuľky. V časti vzoriek sú intenzívne premenené — karbonatizované, miestami kaolinizované, podradnejšie sú albitizované, výnimočne sericitizované. Z tmavých minerálov sú prítomné pyroxény (najmä augit) a amfibol. Augit a amfibol tvoria idiomorfne tabuľky, sú intenzívne premenené, chloritizované, opacitizované, silicifikované, karbonatizované, limonitizované a tiež pyritizované.

Z rudných minerálov sú prítomné magnetit (prevažne limonitizovaný), limonit, pyrit, titanit (najpravdepodobnejšie sekundárny ako dôsledok rozpadu titanomagnetitov) a zirkón.

Už sme uviedli, že na 8 vzorkách dioritového porfýru z vrtu ZH-4 a na 5 vzor-



Obr. 2. Zmena magnetickej susceptiblity (χ) s teplotou. 1 — dioritový porfýr, 2 — rhyolitový tuf, 3 — ílovité bridlice, 4 — amfibolicko-pyroxenický andezitový porfýr, 5 — andezit

Fig. 2. Temperature dependence of magnetic susceptibility (χ). 1 — diorite porphyry, 2 — rhyolite tuff, 3 — clay shale, 4 — amphibole pyroxene andesite porphyry, 5 — andesite

kách amfibolicko-pyroxenického andezitového porfyru z vrtu STR—1 sme urobili mikroskopické analýzy v odrazenom svetle [Beňka, písomné oznámenie]. Výsledky ukazujú, že vo vzorkách prevláda pyrit nad ostatnými rudnými minerálmi. Okrem pyritu je ojedinele potvrdený arzenopyrit, výnimočne i pyrotín. Miestami je prítomný výrazne porušený magnetit, hematit a časté sú jemné zrnká rutilu. Pyrit sa vyskytuje v hornine v dvoch formách: veľmi jemnozrnný, rozptýlený (veľkosť zrna sa pohybuje od submikroskopických rozmerov do tisícín milimetra, väčšina sa koncentruje do miest rozpadu tmavých minerálov) a výrazne porušený (s rozmermi zrn 0,1 — 0,3 mm). V niektorých vzorkách je potvrdená prítomnosť limonitu v podobe goethitu.

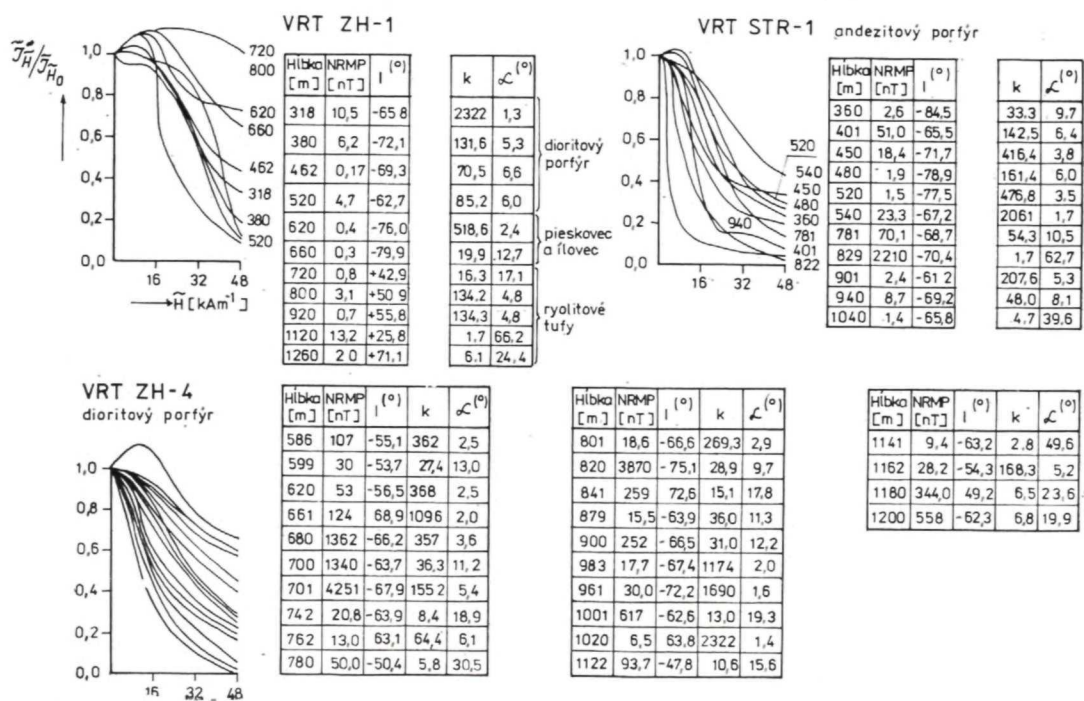
Použitá metodika a základné paleomagnetické výsledky

Vzorky hornín zo všetkých troch vrtov sme

odobrali orientovane iba voči osi vrtu [voči osi Z], čo už s ohľadom na metodiku odberu umožňovalo vypočítať z nameraných výsledkov iba inklináciu, avšak nie deklináciu RMP.

Vzorky sme upravili do tvaru kocky s hranou 20 mm. Z laboratórnych metód sme aplikovali meranie remanentnej magnetickej polarizácie (RMP) rotačným magnetometrom JR—4 a merania objemovej magnetickej susceptibility (χ) pomocou striedavého mostíka KLY—2. Magnetickú a paleomagnetickú stabilitu študovaných hornín sme testovali pomocou striedavej demagnetizácie s rotujúcou vzorkou v kompenzovanom zemskom magnetickom poľu. Striedavé demagnetizujúce pole sme aplikovali s krokom 2, 4, 8, 12, 16, 24, 32, 40, 48, výnimočne s krokom 56 a 64 [kA m⁻¹].

Spolu sme takto demagnetizovali 52 vzoriek z vrtu ZH—1, 32 vzoriek z vrtu ZH—4 a 32 vzoriek z vrtu STR—1. Výsledky demagnetizácie vybraných vzoriek sú na obr. 3, kde sú okrem demagnetizačných kriviek



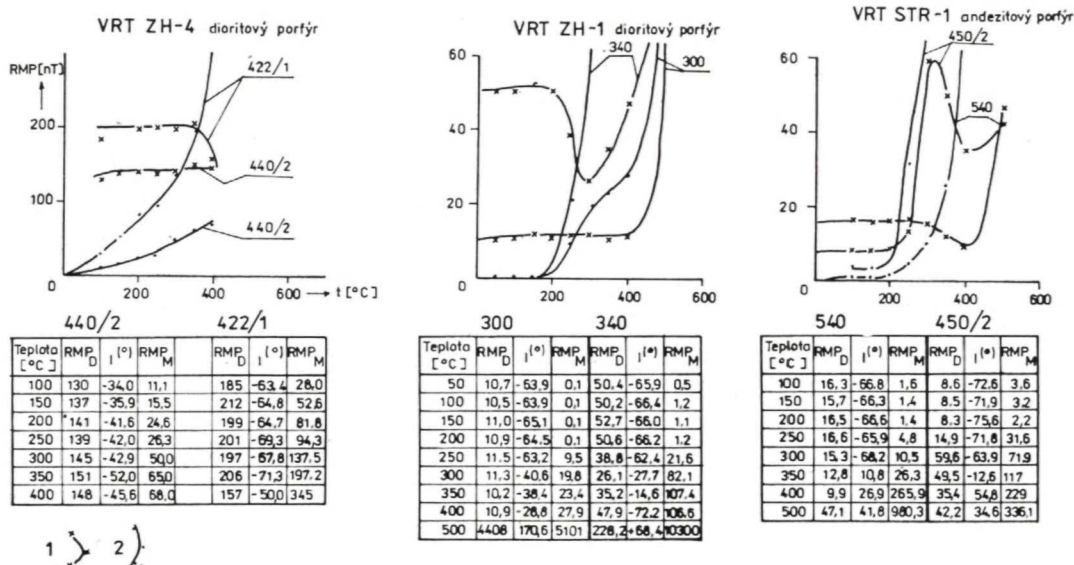
Obr. 3. Demagnetizácia vzoriek hornín striedavým magnetickým poľom. H — striedavé demagnetizujúce pole, NRMP — prirodzená remanentná magnetická polarizácia, nT — nano Tesla, I — inklinácia RMP, k — koeficient presnosti, α_{95} — polovičný uhol kužeľa spoľahlivosti pre $P = 0,95$

Fig. 3. A. C. demagnetization of selected samples of rocks. H — A. C. demagnetization field, NRMP — normal remanent magnetic polarization, nT — nano Tesla, I — inclination of RMP, k — coefficient of dispersion, α_{95} — semiangle of probability cone for $P = 0,95$

v tabuľkách uvedené veľkosti remanentnej magnetickej polarizácie (NRMP) vzorky horniny, stredná inklinácia RMP vypočítaná vektorovým spôsobom z individuálnych hodnôt, ktoré vzorka horniny vykazovala po demagnetizácii pri vybraných poliach (väčšinou pri poliach 2, 4, 8, 12, 16, 24, 32, 40 kAm⁻¹, v menšom počte vzoriek pri poliach 8, 16, 24, 32, 40, 48 kAm⁻¹). Ďalej tabuľka uvádza tzv. koeficient presnosti k a polovičný uhol kužela spoľahlivosti α_{95} .

Opísaným spôsobom sme spracovali výsledky každej vzorky horniny, ktorej stabilitu RMP sme testovali striedavou demagnetizáciou. Stabilitu RMP hornín sme testovali tiež metó-

dou dvojitého postupných náhrevov (Thellierovou metódou), a to vo vybraných vzorkách pri teplotách 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 a 500, výnimočne 600 a 700 °C, vo väčšine vzoriek pri teplotách 100, 200, 300, 400 a 500 °C. Vcelku sme takto študovali 19 vzoriek z vrty ZH-1, 15 vzoriek z vrty ZH-4 a 31 vzoriek z vrty STR-1 (obr. 4). Okrem demagnetizačných a magnetizačných kriviek sú v tabuľkách uvedené hodnoty inklinácie RMP, ktorú príslušná vzorka vykazovala po použití demagnetizačného tepelného poli. Po každom vyhriatí a vychladnutí vzorky horniny sme tiež merali magnetickú susceptibilitu (χ ; obr. 2).



Obr. 4. Výsledky Thellierovej metódy vybraných vzoriek hornín. 1 — demagnetizačná krivka, 2 — magnetizačná krivka, RMP — remanentná magnetická polarizácia, D — po demagnetizácii, M — po magnetizácii, I — inklinácia RMP, 422/1 — označenie vzorky Fig. 4. The results of Thellier's method of selected samples of rocks. 1 — the demagnetization curve, 2 — the magnetization curve, RMP — remanent magnetic polarization, D — after demagnetization, M — after magnetization, I — inclination of RMP, 422/1 — number of the rock

Z graficky zobrazených výsledkov na obr. 5, 6 a 7 vidieť, že petrografické typy vyskytujúce sa vo vrtoch vykazujú relatívne nízke hodnoty χ i NRMP. Nezistili sme ani výraznejšie rozdiely v magnetických charakteristikách medzi typmi hornín ako celku vzájomne medzi sebou. Iba ojediniele sme zaznamenali vyššie hodnoty

v rozsahu do 6000×10^{-6} (SI) pri pyroxenickom andezite a andezitovom porfýre vrty STR-1, najmä však pri dioritovom porfýre vrty ZH-4, kde jednotlivé vzorky výnimočne vykazujú hodnoty do 12825×10^{-6} (SI).

Relatívne nízke hodnoty NRMP sa vyskytli aj pri študovaných horninách. Vy-

nímkou sú ojedinelé vzorky dioritového porfýru z intervalu 680 — 721 m a 820 — 841 m vrtu ZH—4, kde 5 vzoriek vykazuje hodnoty v rozsahu 859 — 4251 nT. Stredné hodnoty magnetických charakteristík (bez zvažovania extrémnych hodnôt) významnejších petrografických horizontov sú nasledujúce:

Názov horniny	označ. vrtu	χ $\times 10^{-6}$	NRMP (nT)
dioritový porfýr	ZH—1	241	21,7
dioritový porfýr	ZH—4	354	51,8
andezitový porfýr	STR—1	554	16,7
ryolitový porfýr	ZH—1	170	8,3
pieskovce a fľovce	ZH—1	200	4,5
fľovité bridlice	ZH—1	307	8,3

Výsledky striedavej demagnetizácie uvedené na obr. 3 poukazujú na rozdielnú magnetickú a smerovú stabilitu RMP študovaných hornín. Rozdiely v smerovej stabilite RMP sme však pozorovali viac medzi jednotlivými vzorkami v rámci jedného petrografického typu, nie medzi petrografickými typmi navzájom. Na určenie polarít a výpočet inklinácie RMP horninového typu predmetného vrtu sme však využili i vzorky hornín, ktoré na základe vypočítaných koeficientov k a α vykazujú síce rozptyl v smere RMP, avšak ktoré majú vypočítanú strednú hodnotu inklinácie I_s blízku hodnotám inklinácie ďalších vzoriek, ktoré tento rozptyl nevykazujú.

Diskusia výsledkov a záver

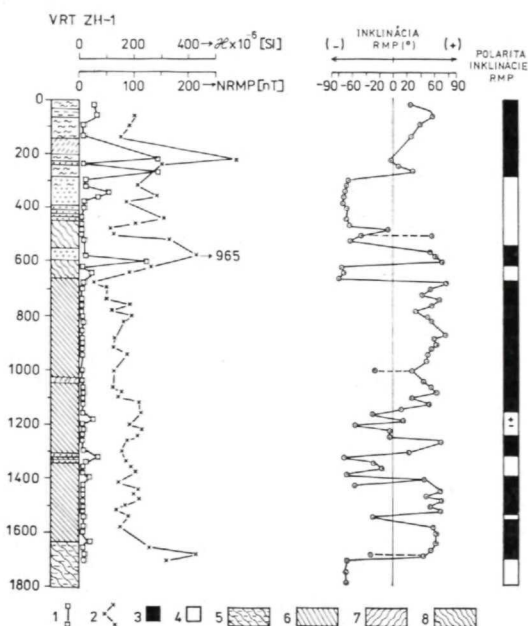
Paleomagnetický výskum intruzívnych i ďalších vulkanických hornín priniesol takéto poznatky:

— študované typy hornín vykazujú nízke hodnoty χ dosahujúce v priemere stov-

ky, ojedinele tisícky jednotiek $\times 10^{-6}$ (SI), tiež nízke hodnoty NRMP;

— prevažujúca väčšina vzoriek hornín vykazuje voči striedavému demagnetizujúcemu poľu v rozsahu 0 — 54 k Am⁻¹ i voči tepelnému poľu metódou postupných náhrevov v rozsahu od 25 do 250 až 300 °C smerovú stabilitu;

— kladnú inklináciu stabilnej zložky RMP vykazujú hlavne ryolitové tufy z vrtu ZH—1 so strednou hodnotou $I = + 54,3^\circ$. Väčšina ostatných typov hornín,



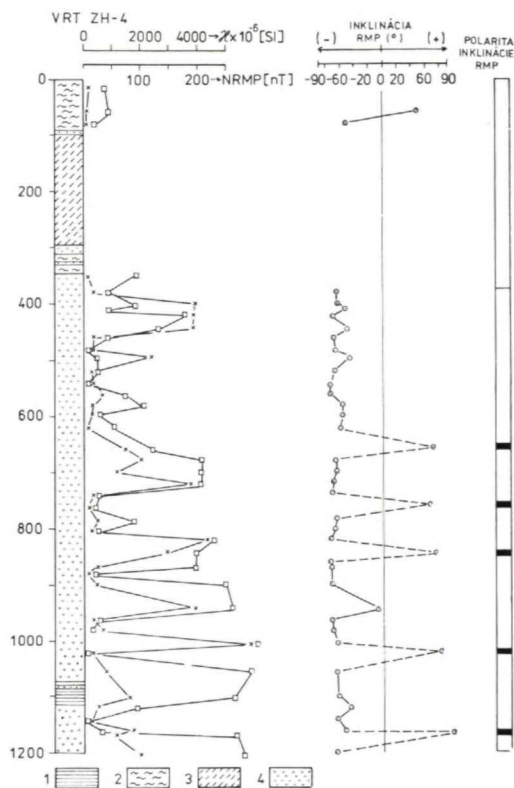
Obr. 5. Magnetické a paleomagnetické charakteristiky vzoriek hornín vrtu ZH-1. 1 — prirodzená remanentná magnetická polarizácia, 2 — magnetická susceptibilita, 3 — kladná polarita RMP, 4 — záporná polarita RMP, 5 — fľovité bridlice, 6 — ryolitový tuf, 7 — rohovce, 8 — pieskovce a fľovce spolu

Fig. 5. Magnetic and paleomagnetic characteristics of samples of rocks from the borehole ZH-1. 1 — natural remanent magnetic polarization, 2 — magnetic susceptibility, 3 — positive polarity of RMP, 4 — negative polarity of RMP, 5 — clay shale, 6 — rhyolite tuff, 7 — hornfels, 8 — sandstones and claystones together

hlavne amfibolicko-pyroxenický andezitový porfýr z vrtu STR—1, dioritový porfýr z vrtu ZH—1, najmä však z vrtu ZH—4, vykazuje zápornú inklináciu stabilnej zložky RMP. Stredná hodnota inklinácie RMP hornín so zápornou polaritou je vo vrte STR—1 $I = -64,2^\circ$; vo vrte ZH—4 $I = -62,4^\circ$;

— krivky $\chi \rightarrow f(t)$ poukazujú (obr. 2), že v študovaných horninách sú prítomné minerály, ktoré postupným vyhrievaním získavajú pri určitej charakteristickej teplote výrazné magnetické vlastnosti. Napr. vzorky ryolitových tufov vykazujú maximálne hodnoty pri teplote okolo 500°C . Pri vyhrievaní na vyššie teploty a vychladnutí na teplotu laboratórnu χ pri týchto vzorkách postupne klesá. Uvedený priebeh krivky zodpovedá postupnej premene pyritu na magnetit až hematit ($\text{FeS}_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \chi\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$). Krivky $\chi \rightarrow f(t)$ amfibolicko-pyroxenického andezitového porfýru a dioritového porfýru sú odlišného charakteru voči krivkám ryolitového tufu a na prvý pohľad odrážajú premeny viacerých druhov minerálov vo vzorkách.

Ako sme už skôr uviedli, v amfibolicko-pyroxenickom andezitovom porfýre je z Fe minerálov východiskový pyrit, výnimočne pyrotín a markazit, malé množstvo limonitizovaného, výrazne porušeného magnetitu, hematit a limonit vo forme goethitu. Pyrit je väčšinou lokalizovaný v miestach rozpadu tmavých minerálov. Z minerálov, ktoré môžu byť rozpadovými produktmi titanomagnetitov, sú indikované ilmenit, rutil a titanit. Nie je možné presne vysvetliť premeny minerálov vo vzorkách uvedených typov hornín, ku ktorým dochádza účinkom tepelného efektu, lebo sme súbežne so sledovaním zmien nerobili analýzy minerálov týchto vzoriek. Z výsledkov $\chi \rightarrow f(t)$ meraní na rôznych mineráloch z mineralogických zbierok (Orlický, 1982) sú známe teploty, pri ktorých príslušný minerál vykazuje maxi-



Obr. 6. Magnetické a paleomagnetické charakteristiky vzoriek hornín vrtu ZH-4. 1 — ílovito-piesčité sedimenty, 2 — pyroxenický andezit, 3 — lávová breccia, 4 — dioritový porfýr

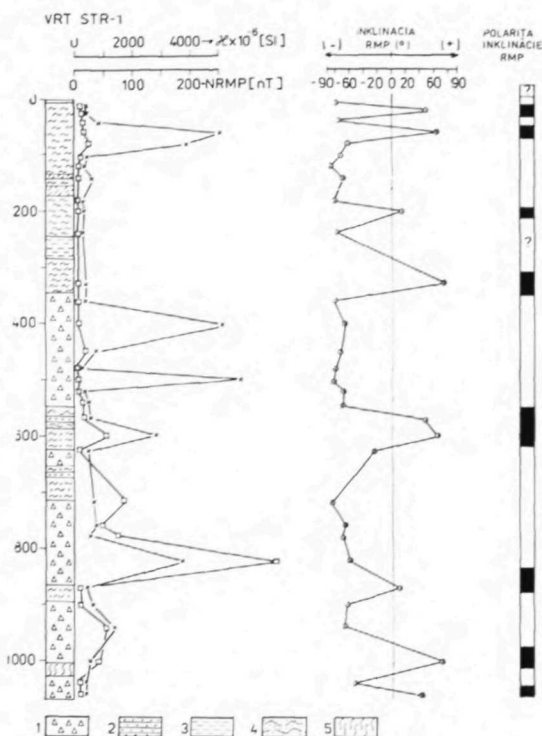
Fig. 6. Magnetic and paleomagnetic characteristics of samples of rocks from the borehole ZH-4. 1 — clayey-sandy sediments, 2 — pyroxene andesite, 3 — lava breccias, 4 — diorite porphyry

rých príslušný minerál vykazuje maximálnu hodnotu χ . Napr. limonit pri $350 - 400^\circ\text{C}$, jeden druh pyritu pri 510°C , druhý pri 600°C [tu z pôvodnej nízkej hodnoty $5,5 \times 10^{-6}$ dosiahla χ pri 600°C hodnotu $14\,432 \times 10^{-6}$], markazit pri 750°C dosiahol z pôvodnej $\chi = 81 \times 10^{-6}$ hodnotu $203\,051 \times 10^{-6}$ (SI), hematit z pôvodnej hodnoty 1550×10^{-6} pri 25°C dosiahol $153\,300 \times 10^{-6}$ (SI) pri 500 až 600°C . Ilmenit Tetroví vrch dosiahol maximálnu

hodnotu χ pri 700 °C. Vo všetkých týchto mineráloch sme pri teplotách vyšších, ako sú uvedené, indikovali postupný pokles χ . Ilmenit z lokality Ekersund z Nórska vykazoval postupný nárast od 750 °C do 1000 °C z pôvodných 221×10^{-6} na 2660×10^{-6} (SI). Vzorky z mineralogických zbierok sme neanalyzovali na stechiometriu, to znamená, že nemusia byť čisté minerály.

Predkladané výsledky naznačujú, že krivky $\chi \rightarrow f(t)$ vzoriek amfibolicko-pyroxenického andezitového porfýru sú odrazom kombinovaného účinku premien limonitu, pyritu, miestami i markazitu, hematitu a ilmenitu. Pri dioritovom porfýre okrem limonitu, pyritu a hematitu predpokladáme vyšší obsah ilmenitu v porovnaní s andezitovým porfýrom.

Všetky geologické, mineralogické i laboratórne výsledky nasvedčujú, že opísané minerály vyskytujúce sa v študovaných intruzívnych horninách sú sekundárneho pôvodu, vznikli v priebehu hydrotermálnej a postmagmatickej aktivity. V tejto súvislosti je opodstatnené predpokladať, že zistená remanentná magnetická polarizácia je taktiež sekundárna a má chemický pôvod (CRMP). Nositeľom magnetizácie je s veľkou pravdepodobnosťou paramagnetická alebo slaboferomagnetická frakcia, pravdepodobne asociácie sulfidov s nízkym obsahom Fe_3O_4 , najmä však v podobe hemoilmenitov. V úvode tejto práce sme poukázali na možnosť vzniku zápornej RMP samoreverzným mechanizmom pre horniny s prítomnosťou hemoilmenitov. T. Nagata (1965) poukazuje na možnosť vzniku zápornej RMP v špecifických prípadoch samoreverzným mechanizmom pre minerály s chemickou magnetizáciou (CRMP). Samoreverzný mechanizmus vzniku RMP predpokladá autor tejto práce tiež pri kremenito-dioritových a dioritových porfýroch stredného Slovenska (Orlický, 1985). Záporná RMP dioritových porfýrov



Obr. 7. Magnetické a paleomagnetické charakteristiky vzoriek hornín vrtu STR-1. 1 — amfibolicko-pyroxenický andezitový porfýr, 2 — slienitý ílovec, 3 — tuf až tufobrekcia, 4 — zrohovcovatené pelitické sedimenty, 5 — zbrekciovatené pásmo

Fig. 7. Magnetic and paleomagnetic characteristics of samples of rocks of the borehole STR-1. 1 — amphibole — pyroxene andesite porphyry, 2 — marlclay, 3 — tuff to tuff breccias, 4 — hornfels-pelitic sediments, 5 — breccias belt

sa potvrdila tiež pri výskytoch z povrchových odkryvov pochádzajúcich zo Slanských vrchov (Orlický et al., 1974).

Všetky vlastné i prevzaté výsledky dovoľujú predpokladať, že záporná RMP študovaných intruzívnych hornín vznikla samoreverzným mechanizmom. Stredná hodnota inklinácie RMP amfibolicko-pyroxenického andezitového porfýru z vrtu STR-1 $I_s = -64,2^\circ$ a dioritového porfýru z vrtu ZH-4 $I_s = -62,4^\circ$ svedčí o

tom, že inklinácia RMP, ktorej nositeľmi boli pôvodné minerály, bola pred obdobím premien kladná a jej hodnota bola blízka inklinácii dnešného geomagnetického pola v miestach odberu vzoriek.

S ohľadom na vyššie uvedenú koreláciu medzi polaritou RMP a petrografickým typom horniny sa dá predpokladať, že andezitové a dioritové porfýry s mineralogickým zložením približne zhodným s vyššie opísaným, ktoré budú pochádzať z iných lokalít, budú mať zápornú polaritu RMP.

Odlíšnu kvalitu nositeľov RMP majú ryolitové tufy. Vo vrtnom profile vrtu ZH—1 (obr. 5) tvoria takmer súvislý mocný horizont. Podľa M. Kaličiaka (1980) sú súčasťou vrchného horizontu ryolitových vulkanoklastík karpatského veku a spodného horizontu ryolitových vulkanoklastík bádenského veku. Súvislé horizonty ryolitových tufov karpatského i bádenského veku vykazujú veľmi zhodné hodnoty α i NRMP a v oboch prípadoch kladnú polaritu stabilnej zložky RMP. Striedanie polarít RMP pozorujeme v oblasti prenikania apofýz dioritového porfýru do tohto vulkanicko-sedimentárneho komplexu. Vo vrte ZH—1 je to najmä v intervale 1310 — 1350 m i v okolí tohto intervalu. Smer i polaritu RMP ryolitových tufov môže v týchto úrovniach ovplyvňovať prenikanie intruzívnej hmoty do uvedeného komplexu a premeny minerálov účinkom tepelného efektu (penikanie apofýz dioritového porfýru do vulkanicko-sedimentárneho komplexu je doložené i geologickým profilom, ktorý pre danú oblasť skonstruoval M. Kaličiak (1980).

O. Orlický et al. (1985) študovali vulkanity vrtu DK—1 z predmetného územia, včítane ryolitov, ktoré M. Kaličiak (1980) považuje za súčasť horizontu ryolitových vulkanoklastík. Na základe nízkej hodnoty strednej inklinácie RMP ($I_s = + 7,9^\circ$) celého horizontu konštatovali, že daný

vulkanicko-sedimentárny komplex sa v miestach vrtu nenachádza v pôvodnej horizontálnej polohe, ale účinkom výzdvihových pohybov sa naklonil asi o $50 - 57^\circ$ (Orlický et al., 1985). Autori predpokladajú, že stabilná zložka RMP týchto ryolitov sa viaže na relikty pôvodných magnetických minerálov, pochádzajúcich z obdobia hydrotermálnej a pomagmatickej aktivity v študovanej oblasti.

Ako sme už uviedli, ryolitové tufy vrtu ZH—1 vykazujú kladnú inklináciu RMP so strednou hodnotou $I_s = + 54,3^\circ$. Pri týchto typoch hornín sa nerobili mikroskopické analýzy na rudné minerály. Krivky $\alpha \rightarrow f(t)$ ryolitových tufov poukazujú na prítomnosť pyritu, pri niektorých vzorkách s náznakom prítomnosti hematitu alebo markazitu. Výrazný nárast α pri teplotách nad 400°C poukazuje na premenu nemagnetického pyritu na magnetit a postupne na hematit (obr. 2). Toto zároveň naznačuje, že v priebehu hydrotermálnych premien sa neprehriali horniny na teplotu nad $300 - 350^\circ\text{C}$. Na základe týchto výsledkov predpokladáme, že vznik zistenej stabilnej RMP spadá pravdepodobne do obdobia hydrotermálnej alebo postvulkanickej aktivity.

Literatúra

- Cox, A. 1973: Plate Tectonics and Geomagnetic Reversals. W. H. Freeman and company, San Francisco.
- Kaličiak, M. 1980: Geologická stavba a vývoj neogénneho subsekventného magmatizmu v oblasti zlatobanského vulkanického aparátu (severná časť Slanských vrchov). *Miner. slov.*, 12, s. 1 — 25.
- Nagata, T. 1965: Magnetizm gornych porod. *Izd. Mir, Moskva*.
- Orlický, O. — Slávik, J. — Tózsér, J. 1974: Paleomagnetism of Volcanics of the Slanské vrchy, Veľký Milíč Mts. and Zemplínske pahorky Hills and Its Geological Interpretation. *Geol. Zbor. Geol. Carpath.*, XXV, 2.
- Orlický, O. 1986: Paleomagnetizmus intravulkanických až subvulkanických intruzív-

- nych hornín z oblasti stredného Slovenska. *Miner. slov.*, 18, s. 35 — 50.
- Orlický, O. — Kaličiak, M. — Tőzsér, J. 1985: Magnetické vlastnosti a paleomagnetizmus vulkanitov vrtu DK-1 z oblasti Slanských vrchov. *Miner. slov.* 17, s. 403 — 414.
- Orlický, O. 1982: Identifikácia zmien magnetických minerálov vplyvom teploty pomocou meraní magnetickej susceptibility. *Manuskript — Geofyzika Bratislava*.
- Tarling, D. H. 1974: Principles and applications of paleomagnetism. *London*.

Paleomagnetism and petromagnetic properties of intrusive rocks from the area of Slanské vrchy Mts. (Eastern Slovakia)

Paleomagnetic results of intrusive rocks from Central Slovakia have been the base to assume, that negative RMP of diorite and quartz diorite porphyry is supposed to be of chemical origin (CRMP) and that it has originated by magnetostatic self — reversal mechanism (Orlický, 1985). It has been the reason for which the paleomagnetic investigation has been oriented for the available intrusive rocks.

This article deals with paleomagnetic study of intrusive and other volcanic rocks which have been taken from the boreholes ZH-1, ZH-4 and STR-1 (Fig. 1.). The samples of rocks were oriented with respect to the axis of the borehole („Z“ axis). All samples were shaped to the cube of 20 mm edge by diamond saw.

A. C. KL-Y-2 bridge JR-4 spinner magnetometer were used to make a measurements of α and RMP respectively. A. C. and thermal demagnetization by Thellier's method has been applied for testing magnetic and paleomagnetic stability of the rocks. Magnetic susceptibility measurements comparison the α before and after heating and cooling of samples to detect some minerals on the basis of their temperature alterations have been applied also.

Besides of geological and mineralogical knowledge received from J. Tőzsér, M. Kaličiak and L. Divinec (a written report) microscopical analyses of rocks for petrography by A. Mihalíková (a written report) and for ore microscopy by J. Beňka and Š. Suchý a (written report) have been carried out. The presence of pyrite, small amount of magnetite, haematite, limonite, ilmenite, in some samples also pyrrhotite and marcasite have been detected in intrusive rocks by both types of microscopical analyses and on the base of temperature susceptibility dependence measurements of these rocks (Fig. 2.). These minerals are supposed to be as the

secondary ones which were originated during hydrothermal and postmagmatic activity.

Laboratory measurements detected very low values of α and NRMP of all rocks in question. Laboratory tests confirmed a directional stability of RMP in most of investigated rocks (Fig. 3.).

Amphibole pyroxene andesite porphyry of the borehole STR-1 showed a negative inclination of the RMP. The average value of the inclination is $I = -64.2^\circ$. The inclination of the RMP of diorite porphyry of the boreholes ZH-1 and ZH-4 is also negative with average value $I = -62.4^\circ$ for borehole ZH-4. (Figs. 5., 6., 7.). On the other hand the positive inclination of the RMP with average value $I = +54.3^\circ$ has been shown by rhyolite tuffs of the borehole ZH-1 (Fig. 5.).

The analyses of mineralogical fraction have allowed to assume that the carriers of RMP are supposed to be the association of Fe sulphides with small amount of magnetite and haematite or antiferromagnetic fraction in association of haematite and ilmenite-haematite in intrusive rocks under study. It is possible to assume that the detected stable RMP in these rocks is a secondary one of chemical origin (CRMP). The reverse polarity of RMP of these rocks is supposed to be due to magnetostatic self-reversal. The negative polarity of RMP of diorite porphyry was detected also on the rocks from the superficial outcrops from the area of Slanské vrchy Mountains (Orlický et al, 1974). Magnetostatic self-reversal origin of RMP is possible predict in the rocks with content of minerals of ilmenite-haematite serie according to D. H. Tarling (1974) and in specific cases if the RMP is of chemical origin (Nagata, 1965).

The average inclination of RMP of andesite porphyry $I = -64.2^\circ$ of the borehole STR-1 and $I = -62.4^\circ$ of diorite porphyry of the borehole ZH-4 have pointed out that

the inclination of RMP of these rocks before their alterations was supposed to be a positive one and its value has corresponded very closely to the inclination of the present-day geomagnetic field in the area under study.

It is possible to summarize that observed distribution and the polarity of RMP of intrusive rocks under study have been caused by combination of complex geomagnetic field behaviour and irregular intrusive and post-magmatic activity including a chemical-physical alterations of magnetic and other minerals. It means that the observed RMP simply is not a result of lengthy magnetization process with both axial shift or polarity changes of the geomagnetic field.

The good correlation between both petrographic type of the rock and polarity of RMP have allowed to presume that the polarity of RMP of alternated andesite and

diorite porphyry from other localities will be a negative one.

Rhyolite tuffs of the borehole ZH-1 have appeared the positive polarity of RMP with average inclination of $RMP - I = + 54,3^\circ$. These types of the rock have not been analysed by microscopic methods to identify the magnetic and nonmagnetic minerals. The curves of $\chi \rightarrow f(t)$ of rhyolite tuffs have shown the presence of pyrite, small amount of haematite and marcasite. Conspicuous increasing of χ has shown the temperature alternation of nonmagnetic pyrite to magnetite and haematite subsequently (Fig. 2). This effects has shown in the some way that the rhyolite tuffs were not been heated up to the $300 - 350^\circ C$ during hydrothermal processes. It is possible to assume that the origin of stable component of RMP has been linked with the time of hydrothermal and postvolcanic processes in area in question.

ZO ŽIVOTA SPOLOČNOSTI

Eduard Dobrá: Geologické poznatky z expertízy v Alžírsku (Košice 13. 2. 1986)

Autor oboznámil prítomných s geologickými poznatkami v Alžírsku, kde v r. 1983—1985 pracoval ako expert-geológ v rezorte Ministerstva stavebníctva a urbanizmu.

Alžírsko buduje vrásové pohorie Tellského Atlasu, ktoré lemuje severnú časť Alžírsku pozdĺž litorálu. Tellský Atlas reprezentuje zóna interníd (predkambrický sokel Veľkej a Malej Kabýlie s mezozoickým obalom — Dorsala calcaire) a zónou externíd (tellské príkrovy massylského, mauretánskeho a numidského flyšu). Druhým geologicko-tektonickým elementom je alžírsky kratogén, reprezentovaný autochtónom Hautes Plateaux južne od Tellského Atlasu, so známymi chottami Rherbi, Hodna a Chergui, masívom d'Aurés, kde sa spája Saharský Atlas s Tellským Atlasom, ďalej Saharským Atlasom, ťahúcim sa južne pozdĺž Hautes Plateaux a autochtónom Sahary. Alžírsku Sahara — to je peneplenizovaný reliéf s morfológickými kontrastmi (chott Merhrir — 26 m n. m., masív Hoggar vyše +3000 m n. m.).

Najpriaznivejšie podmienky pre akumuláciu podzemnej vody sú v zóne interníd (krasovej vody Veľkej a Malej Kabýlie) a v aluviálnych nivách väčších riek (napr. v hornej časti aluviálnej nivy najdlhšej rieky Alžír-

ska Chelif sa overila výdatnosť cez 100 l/s, v aluviálnej nive rieky Mazafrán výdatnosť 70—80 l/s). Využitie podzemnej vody pozdĺž litorálu sťažuje salinizácia zvodných kolektorov. V deficitných oblastiach sa stavajú priehrady a vodné nádrže. Výber vhodných lokalít však sťažuje vysoká seizmicita Tellského Atlasu. V Tellskom Atlase sa vyskytuje niekoľko desiatok termálnych prameňov s teplotou 20—100°C, z ktorých niektoré sa využívajú pre balneoterapeutické účely.

Prednášateľ určitý čas pracoval v seizmiky najaktívnejšej časti Alžírsku v Ech Chelife ex El Asnam. Toto územie s rozlohou 80×100 km postihlo 10. októbra 1980 ničivé zemetrasenie. V súčasnosti v rámci UNESCO dokončili americkí seizmológovia v tomto regióne regionálnu štúdiu mikrozónácie pre využitie územia v urbanizme.

Z hľadiska zásob zemného plynu a ropy sa Alžírsko zaraďuje medzi popredné štáty sveta. Plyn a ropa sa ťažia z hĺbky 3000 m. Celkové zásoby plynu na Sahare dosahujú podľa najnovších údajov 3000 miliárd m³, zásoby ropy 1 miliardu t. Ročná ťažba plynu v súčasnosti dosahuje 90 miliárd m³. Plyn a ropa sa dopravujú plynovodmi a ropovodmi do alžírskych prístavov Stredozemného mora. Jedna trasa plynovodu vedie cez Tunis, popod more, do Talianska.

Pokračovanie na s. 384