

Prvé údaje o kryštalinite illitu z alpínsky metamorfovaných hornín veporika

DUŠAN PLAŠIENKA¹, MARIÁN JANÁK², ANTON HACURA¹, PETER VRBATOVIC³

¹ Geologický ústav CGV SAV, Dúbravská cesta 9, 814 73 Bratislava

² Katedra mineralógie a petrológie PF UK, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava

³ Geologický prieskum, š. p., geologická oblasť, Garbanova 1, 040 11 Košice

(Doručené 15. 7. 1987, revidovaná verzia doručená 6. 7. 1988)

First illite-crystallinity data from Alpine metamorphosed rocks of the Veporicum, Central West Carpathians

The illite-crystallinity method has been applied to determine more accurately the conditions of Middle Cretaceous metamorphism especially in Mesozoic pelitic rocks of paraautochthonous cover units of the Veporicum. On the basis of Kübler's indices the metamorphism in the southern Veporicum (Stružník unit) is epizonal, accompanied by ductile overthrust deformations. In the northern Veporicum (the Veľký bok unit linked to the Križna nappe) metamorphism decreases from epizone to anchizone conditions from east to west and from south to north; the externally lying Križna nappe is not metamorphosed.

Úvod

Cieľom našej práce bolo preveriť spoľahlivosť metódy určovania kryštalinity illitu ako indikátora P—T podmienok metamorfózy, vniknúť do metodiky a získané výsledky sa pokúsiť z tektonického hľadiska interpretovať ako ukazovatele paleoštruktúrnej pozície skúmanej horniny.

Predkladaná práca teda nie je petrologickou štúdiou premien ílových minerálov počas slabej a veľmi slabej metamorfózy ani regionálnym zhodnotením alpínskej metamorfózy veporika. Naše výsledky sú prvými faktografickými poznatkami týkajúcimi sa danej problematiky, vymedzujúcimi podmienky alpínskej metamorfózy v skúmaných oblastiach veporika presnejšie, ako je to možné bežnými petrografickými metódami. Treba však poznamenať, že vo svete sa dnes kryštalinita illitu určuje zložitejšími a presnejšími postupmi, ako bolo možné v našom prípade, ktoré v kombinácii s inými metódami (napr. elektrónová mikroskopia, odraznosť vitritu, geochronologické datovanie rekryštalizácie) dávajú vierohodnejší obraz o podmienkach a datovaní skúmaných metamorfných udalostí.

Kryštalinita illitu — pojem a použitie

Illit je termín pre heterogénnu skupinu ílových minerálov podobných sludám, ktorých kryštalografic-

ké parametre možno použiť na definovanie stupňa rekryštalizácie horniny v podmienkach diagenézy, anchimetamorfózy a epimetamorfózy. Illit má 3 polytypy 1 Md, 1M a 2M, pričom najstabilnejšia forma 2M zodpovedá už sludám v podmienkach metamorfózy (Dunoyer de Segonzac, 1970). Termín kryštalinita illitu (IC) definoval pôvodne Weaver (1960) ako pomer ostroty difrakčných maxím illitu z difrakčných záznamov pri 10 Å a pri 10,5 Å. Kübler (1967) kvalifikoval ostrosť difrakčného maxima ako index kryštalinity illitu a definoval ho ako šírku difrakčného maxima v mm v jeho polovičnej výške (Küblerov index — KI). Weber (1972) zaviedol používanie vnútorného kremenného štandardu a meranie relatívnej šírky difrakčného maxima ako pomer šírky difrakčného maxima illitu v jeho polovičnej výške a šírky reflexu kremeňa v jeho polovičnej výške (Weberov index — Hb_{rel}) Röntgenografické štúdium takto umožňuje sledovať stupeň rekryštalizácie illitu ako odraz kryštalografickej transformácie ílových minerálov na sludy, ktorú nemožno sledovať klasickými petrografickými metódami. Počas rekryštalizácie stráca illit z medzivrstvových priestorov H_2O , tie sa zmenšujú a dochádza k absorpcii K, ktorý obsadzuje uvoľnené priestory, pričom sa tiež zužuje 10 Å difrakčný reflex. Index kryštalinity illitu preto vo väčšine prípadov odráža teplotný režim metamorfózy.

Transformáciu illitu v procese diagenézy, anchime-

tamorfózy a epimetamorfózy sledoval Dunoyer de Segonzac (1970). V podmienkach diagenézy dochádza k premene ílových minerálov — polytypu illitu 1 Md, kaolinitu a montmorillonitu na polytypy illitu 1 M a 2 M a chlorit, ktoré sú indexovými minerálmi neskorého štádia diagenézy a anchimetamorfózy. V epizóne illit postupne stráca charakter ílových minerálov a nadobúda charakter slúd. Typickými svetlými sludami epizóny sú členy radu fengit — paragonit — muskovit, pri petrografickom opise svetlých slúd malých rozmerov označované často ako sericit. Od typického muskovitu vyššieho štádia metamorfózy sa odlišujú zvýšeným obsahom kationov Fe, Mg a Na a obvyčajne disperzným vývojom.

Stanovenie kryštalinity illitu našlo široké uplatnenie ako ukazovateľ stupňa rekryštalizácie hornín v podmienkach diagenézy a nízkostupňovej metamorfózy pelitických hornín a hornín so značným podielom ílovitých minerálov, kde ináč nie je identifikácia indexových minerálov možná (Breitschmid, 1982; Frey et al., 1980; Kisch, 1980; Árkai, 1977, 1983; Árkai et al., 1981; Teichmüller et al., 1979; Weaver, 1984 a iní).

Väčšina autorov definuje zmenu z podmienok diagenézy k veľmi nízkemu stupňu metamorfózy (anchizóna) kryštalinitou illitu podľa KI okolo 7,5 mm. Všeobecne to zodpovedá hraničnej teplote zhruba 200 °C v regionálne metamorfovaných komplexoch. Prechod z veľmi nízkeho stupňa (anchizóny) do nízkeho stupňa metamorfózy (epizóny) vyjadruje kryštalinita illitu KI — 4 mm, ktorá zodpovedá teplote približne 300 °C. Tieto hodnoty možno použiť pre horniny, ktorých rekryštalizácia bola dôsledkom predovšetkým teplotného režimu metamorfózy (poklesová metamorfóza a pod.). Viacerí autori poukazujú na to, že stupeň kryštalinity illitu závisí priamo úmerne nielen od zvyšujúcej sa teploty a všesmerného tlaku, ale do určitej miery aj od stupňa deformačného postihu horniny, ktorý je viac alebo menej závislý od veľkosti diferenciálneho napätia pôsobiaceho v hornine počas jej rekryštalizácie. To viedlo napr. Árkai k tomu, že v deformovaných horninách posunul hranice anchizóny podľa KI z 4,0 a 7,5 na 3,0—3,5 a 4,0—5,0 (Árkai, 1977, 1983; Árkai et al., 1981). Takto získal hraničné hodnoty, ktoré lepšie zodpovedali petrografickým pozorovaniam kritických minerálov a stupňu preuhoľnenia organickej hmoty. Nyk (1985) uvádza až 30 % rozdiely v kryštalinitě illitu vo vzorkách z tej istej vrstvy v rámci mezoskopických otvorených vrás s koncentráciou deformácie v ich zámkoch. Kryštalinita illitu závisí ďalej od primárnej pórovitosti sedimentu, jeho litológie (napr. obsah kalcitu a bitúmenov), paleosedimentárnych a klimatických podmienok počas sedimentácie a pod. Berúc do úvahy tieto skutočnosti, petrografické zhodnotenie skúmaných vzoriek a ich deformačný postih, v našom

případe sme pre všetky vzorky okrem vzoriek z ípoltickej skupiny hronika volili hranice anchizóny v rozmedzí 3,5—6,0 KI.

Z uvedeného vyplýva, že metódu určovania kryštalinity možno považovať len za obmedzene spoľahlivý postup štatistického charakteru, ktorý však pri dostatočnom počte meraní, vylúčení vedľajších vplyvov a v kombinácii s inými metódami poskytuje zatiaľ nenahraditeľné údaje o teplotných podmienkach rekryštalizácie v slabo metamorfovaných a nemetamorfovaných horninách.

Výber problematiky a lokalizácia vzoriek

Metódu sme použili v regionálnom rozsahu na 52 vzorkách hornín hlavne mladopaleozoicko-mezozoického autochtónneho, resp. parautochtónneho pokryvu veporika (predovšetkým struženicka jednotka — séria Foederata a helpianske mezozoikum, skupina Veľkého boku a jej ekvivalenty — bacúšske mezozoikum, mýtnanské mezozoikum, lučatínska skupina). Cieľom bolo bližšie poznanie podmienok alpínskej metamorfózy v týchto jednotkách, ktorá je v literatúre všeobecne označovaná väčšinou ako slabá (epizonálna). V prvej etape sme vyzbierali vzorky z južnej a strednej časti stredoslovenského veporika (Plašienka a Janák). Analýzy vykonal Hacura, petrografické štúdium Janák. Vzorky sme sa snažili odobrať z čo najväčšieho počtu súvrství, v ktorých sme predpokladali prítomnosť illitu.

V druhej etape sme odoberali vzorky zo skupiny Veľkého boku a jej ekvivalentov (Plašienka, Vrbatovič), analýzy vykonal Vrbatovič (1986). V tomto prípade sme sa zamerali hlavne na súvrstvie karpatského keupru a sledovali sme kryštalinitu illitu v závislosti od štruktúrnej pozície skúmaného okrsku. Lokalizácia vzoriek je uvedená pri tab. 1.

Metodika práce

Na analýzu sme použili cca 2 kg vzorky, pokiaľ možno nezvetraných hornín. Vzorky boli umyté, vysušené a rozdrvené na čelustovom drviči a valcovom mlyne. Z odsítovanej zrnitostnej triedy pod 0,5 mm sme dekantáciou získali požadovanú triedu pod 2 µm. Dekantácia prebiehala v 1 l odmerných valcoch za dispergačných účinkov hexametafosforečnanu sodného, pričom sa použil len kal získaný rozptýlením podsitovej časti v 0,5 l destilovanej vody a v odmerných valcoch bolo toto množstvo doplnené na 1 l. Premiešanú suspenziu sme nechali dekantovať v závislosti od teploty okolia 4—5 hodín a potom sme hadičkou odsali 7 cm stĺpca suspenzie do kadičky. Niekoľkými kvapkami H_2O_2 a HCl sme roztok zbavili prímеси organickej hmoty a karbonátov. HCl má tiež koagulačné účinky, takže zmes ílovitých minerálov sa

TAB. I

Výsledky merania kryštalinity illitu podľa Kublerových indexov
Results of the illite-crystallinity determination according to Kübler's indices

JEDNOTKA	8 KI	7	6	5	4	3	2	1
HRONIKUM H (ipoltická skupina)				③	②	①		
GEMERIKUM GD (dobšinská skupina)				③	④ ⑤	①②		
VEPORIKUM VM (příkrov Markušky)						① ⑤③ ⑥②		
VEPORIKUM VS (struženická jednotka)	T ₁ --- T ₂₋₃ ---				②	①⑥⑤ ③④ ②⑤②④③ ②②		
JEDNOTKA VBOKU VBK (okrem karp. keupru)	T ₁ --- J-K ₁ ---				⑦⑥ ③	① ② ④ ⑤		
JEDNOTKA VBOKU + KRÍŽŇANSKÁ (karp. keuper)		⑤⑦	⑤①	⑤⑤ ⑤③ ⑤⑨ ⑤④ ⑤⑦	⑤⑥ ⑤⑧ ⑤⑨ ⑤⑩ ⑤⑪ ⑤⑫ ⑤⑬ ⑤⑭ ⑤⑮ ⑤⑯ ⑤⑰ ⑤⑱ ⑤⑲ ⑤⑳	⑥⑥ ⑥⑦ ⑥⑧ ⑥⑨ ⑥⑩ ⑥⑪ ⑥⑫ ⑥⑬ ⑥⑭ ⑥⑮ ⑥⑯ ⑥⑰ ⑥⑱ ⑥⑲ ⑥⑳		
	DIAGENÉZA		ANCHIZÓNA		EPIZÓNA			

Lokality: H (ipoltická skupina hronika): 1 — tmavá bridlica bocianskeho súvrstvia, dolina Mlynná pri Vernári, 2 — fialový prachový ílovec maluzinského súvrstvia, dolina Čierneho Váhu pri Liptovskej Tepličke, 3 — sivý piesčitý ílovec bocianskeho súvrstvia, dolina Malužiná; GD (dobšinská skupina gemerika): 1 — čierna bridlica zlatnickeho súvrstvia, Lányiho huta (Kolkova stodola), 2 — čierna grafitická bridlica ochtinského súvrstvia, Podrečany, 3 — tmavosivá bridlica hámorského súvrstvia, Vyšná Maša, 4 — sivá bridlica hámorského súvrstvia, Lányiho huta, 5 — sivá sfudnatá bridlica hámorského súvrstvia, dolina Slanej pri Rejdovej; VM (paleozoické horniny príkrovu Markušky): 1 — bazický tufit, dolina Mlynná pri Vernári, 2 — fialová bridlica, Vyšná Maša, 3 — fylonit, dolina Slanej pri Rejdovej, 4 — bazický tufit, dolina Slanej pri Rejdovej (bez illitu), 5 — čierna bridlica slatvinského súvrstvia, Slavošovce — Dubník, 6 — chloritoidová bridlica, Hanková; VS (struženická jednotka veporika), 1–6 — spodný trias: 1 — kalcitický fylit, Dobšinský potok, 2 — sivá bridlica, dolina Mlynová pri Rejdovej, 3 — sivá drobová bridlica s biotitom, Zelinová dolina pri Rejdovej, 4 — fialová ílová bridlica, Závadka n. Hronom—Bartková, 5 — svetlohnedá kremenitá bridlica, Závadka n. Hronom, 6 — slienitá bridlica, Závadka n. Hronom, 6 — slienitá bridlica, Heľpa-Prieby, VS 21–25 — stredný a vrchný trias: 21 — tmavá ílová bridlica, Heľpa, 2 — tmavá ílová bridlica, Šajby pri Dobšinej, 23 — slienitý vápenec, Dobšinský potok, 24 — sivohnedý prachový ílovec, Dobšinský potok, 25 — slienitý vápenec, Heľpa-Podhájk; VBK (jednotka Veľkého boku a krížňanská): 1–2 — kremenité bridlice spodného triasu, Nemcova dolina pri Bacúchu, 3 — slienitá bridlica liasu, Valaská — Piesok, 4 — slienitý vápenec neokómu, dolina Malužiná, 5 — slienitý vápenec liasu, dolina Malužiná, 6 — slienitý vápenec neokómu, Lúbietovská dolina, 7 — slienitý vápenec liasu, dolina Mokrá Driekyňa, VBK 51–70 — pestrofarebné ílové bridlice súvrstvia karpatského keupru: 51 — Valaská, 52 — dolina Dikula, hrebeň Ostrej, 53 — Horná Mičiná, 54 — Banská Bystrica, 55 — Dolný Harmanec, 56 — Laskomerský potok, 57 — Turecká — Salašky, 58–60 — dolina Mokrá Driekyňa, 61–62 — Lúbietovská dolina, 63 — Valaská, 64 — Mýto p. Ďumbierom, 65–66 — Liptovská Teplička, prameň, 67 — dolina Čierneho Váhu, Záturňa, 68 — Uhliarska dolina pri Liptovskej Tepličke, 69–70 — dolina Malužiná.

vo forme kalu usadila na dne kadičky. Kal sme pipetou naniesli na podložné sklíčko a nechali vysušiť pri izbovej teplote a získali sme tak orientovaný preparát, kde sú šupinky ílových minerálov sedimentované plochami 001 paralelne s podložným sklíčkom. Nakoniec bol preparát nasýtený etylénglykolom a opäť vysušený. Rtg analýzu sme vykonali na difraktometri Philips za týchto podmienok: CuK_α žiarenie pri 40 kV a 20 mA, clony 1–0, 2–1, posun papiera 1 200 mm/hod., rýchlosť goniometra 2° 2 0. Z difrakčných záznamov sme s presnosťou 0,05 mm odmerali Küblerov index — šírku difrakčného maxima bazálneho reflexu (001) illitu v polovici jeho výšky pri 10 Å.

Výsledky práce

Struženická jednotka

Verfénske vrstvy sú reprezentované vzorkami VS 1 až 6. Ide o ílovito-piesčité a piesčito-ílovité bridlice s pelitickou a aleuropelitickou štruktúrou. Klastické zrná sú z kremeňa, svetlej sludy, plagioklasu a ojedinele z K-živca. Základnú hmotu tvoria ílové minerály, sericit a chlorit. Vzorky VS 1, 2 a 3 sa vyznačujú mikroskopicky pozorovateľným vyšším stupňom metamorfózy. Sú to chloriticko-sericitické bridlice až fylity s biotitom a turmalínom. Majú tenkobridličnatú textúru s väčšími rozmermi zrn

a žilkami sekrečného kremeňa, štruktúra je granolepidoblastická. Obsahujú kremeň, plagioklas (albit), sericit — muskovit, chlorit, biotit, turmalín, zirkón, apatit, hematit, pyrit. Biotit je zelenohnedý, vytvára zhluky porfyroblastov na styku so žilkami kremeňa, alebo je obklopený porfyroblastmi svetlej sfúdy (sericit — muskovit) a chloritu. Horniny svojím metamorfným postihom patria do biotitovej zóny fácie zelených bridlíc (epizóna), pre ktorú je typická metamorfná asociácia biotit — chlorit — fengitický muskovit (Winkler, 1974). Kryštalinita illitu vzoriek z verfenských vrstiev sa pohybuje v rozmedzí 2.55—3.3 KI, čo zodpovedá epizóne, len vzorka VS 2 (KI 3.8) spadá do poľa anchizóny (tab. 1).

Vzorky stredno- až vrchnotriasových hornín pochádzajú z tmavých bridlíc zodpovedajúcich lunzským alebo reingrabenským bridliam karnu a zo sivých slienitých vápencov. Štruktúra bridlíc je pelitická s aleuritickými laminami. Kryptokryštalická základná hmota sa röntgenograficky identifikovala ako zmes illitu, chloritu, kremeňa a karbonátov. Pigmentovaná je grafitom a pyritom. Klasty tvorí kremeň siltovej frakcie, muskovit a turmalín. Fylosilikáty v základnej hmote sú orientované paralelne s metamorfnou bridličnatosťou S_1 , ktorá je zasa rovnobežná s vrstvitosťou S_0 . Miestami možno pozorovať aj mikroskopickú penetračnú krenulačnú kliváž S_2 . Küblerov index kryštalinity illitu má hodnoty v rozmedzí 2.6—3.1 (epizóna).

V slienitých vápencoch prevažuje karbonátová zložka nad ílovitou. Tieto vápence sa vyznačujú usmernenou mikritickou štruktúrou. KI je medzi 2.3 a 2.85 (epizóna).

Príkrov Markušky

Tento termín používame v zmysle Plašienku (1984). Vzorky z hornín fylitového vzhľadu neistého veku sme odobrali s cieľom bližšie určiť ich metamorfný stupeň. Petrografickým štúdiom sme zistili, že väčšina vzoriek pochádza z hornín, ktoré boli predalpínsky metamorfované až v granátovej zóne a alpínsky retrográdne premenené na diaforitické horniny — fylonity. Illit v nich je potom zrejme výsledkom tejto spätnej premeny. Vo vzorke VM 4 sme ho vôbec nezistili.

Vzorku VM 3 možno označiť ako diaforit granatického svoru. Štruktúra je blastomylonitická, reliktné minerály vyššieho metamorfného stupňa — granát, biotit, plagioklas, muskovit a kremeň — sú kataklazované a retrográdne premenené. Granát sa mení na zmes chloritu a sericitu, biotit na chlorit, muskovit a na oxidy Fe, Mg a Ti. Plagioklas je albitizovaný, kremeň kataklazovaný a rekryštalizovaný. Novotvorená nižšie termálna asociácia chloritu, sericitu a kremeňa II je usmernená v prúžkoch zastierajúcich

predalpínsku metamorfnú bridličnatosť. Küblerov index je 2.7 (epizóna).

Spolu s diaforitmi svorov vystupujú telieska amfibolitov, ktoré zodpovedajú metatufom diabázov. Ich minerálne zloženie pozostáva z modrozeleného amfibolu, aktinolitu, epidotu, zoisitu — klinozoisitu, chloritu, plagioklasu (albit), kremeňa a opakových minerálov (pyrit, ilmenit). Väčšie euhedrálné zrná kremeňa a plagioklasov majú zachovanú psamitickú štruktúru. Pôvodná minerálna asociácia zodpovedá epidoto-amfibolitovej fáci. Nižšie termálne retrográdne premeny sa prejavujú vznikom sekundárneho chloritu, sericitu a žiliek karbonátov a kremeňa. Štruktúra je slabo usmernená. Illit (vzorky VM 1 a 4) vykazoval kryštalinitu podľa Küblerovho indexu 3.3 (epizóna).

Vzorka VM 6 pochádza z chloritoidových bridlíc permského (?) veku, ktoré od Hankovej opísal už Vrána (1964). Okrem porfyroblastov chloritoidu, ktoré dosahujú veľkosť až 1 mm, hornina obsahuje kremeň, chlorit, svetlú sfúdu (muskovit), sericit a značné množstvo opakových minerálov (pyrit, ilmenit, magnetit). KI = 2.9 (epizóna).

Okrem toho sa ešte v rámci príkrovu Markušky odobrali vzorky z karbónskeho slatvinského súvrstvia pri Slavošovciach (vzorka VM 5, KI = 3.0) a z ílových ílovito-piesčitých bridlíc neistého veku (spodný trias, perm alebo vrchný devón?) pri Vyšnej Maši (vzorka VM 2, KI = 2.6).

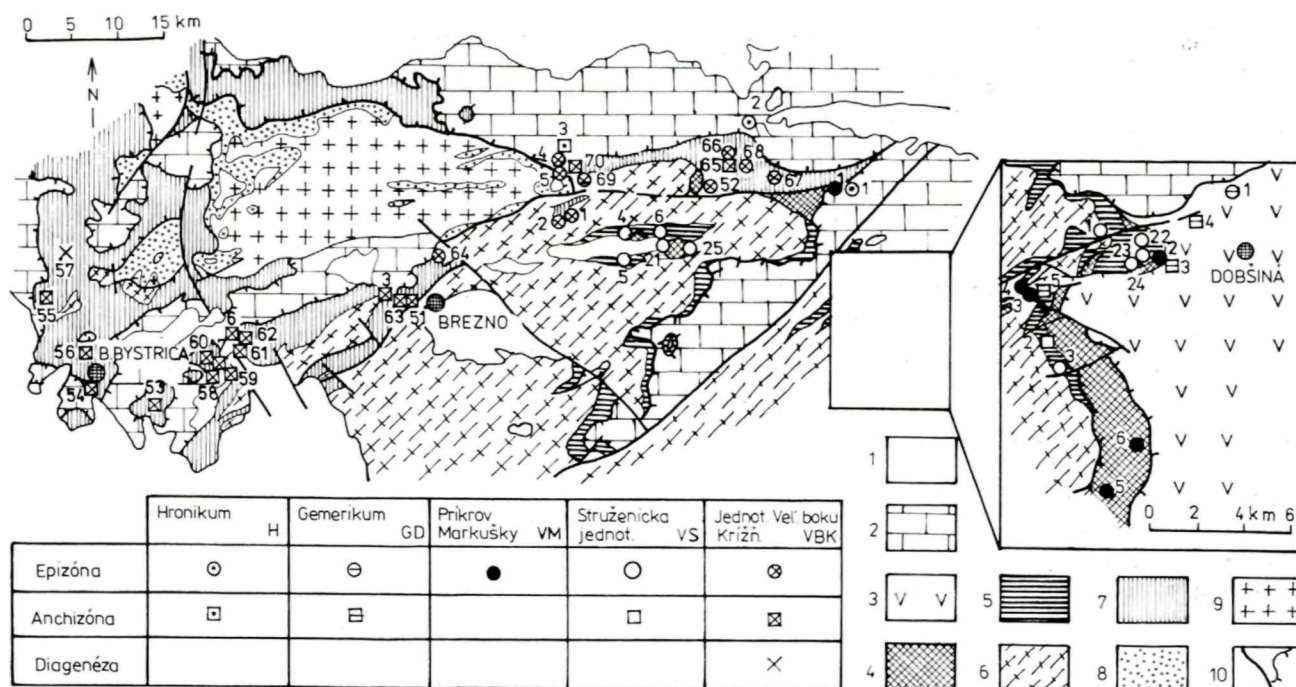
Gemerikum

Orientačne sme študovali aj vzorky z ochtinského, zlatníckeho a hámorského súvrstvia dobšinskej skupiny gemerika hlavne v okolí Dobšinej. Vzorky sú z tmavých ílovito-piesčitých bridlíc. Hodnoty KI kryštalinity illitu sa pohybujú v rozmedzí 2.6—4.8 (epi- až anchizóna).

Skupina Veľkého boku

Vzorky sme rozdelili do 2 skupín — na vzorky z pestrofarebných bridlíc súvrstvia karpatského keupru a z ostatných hornín (bridlice spodného triasu a slienité vápence jury — spodnej kriedy). Verfenske bridlice sme odobrali v Nemcovej doline severne od Bacúcha (vzorka VBK 1 a 2). Index kryštalinity oboch vzoriek je temer zhodný (3.1 a 3.2 — epizóna).

Vzorky vápencov liasu a neokómu (VBK 3 až 7) predstavujú bridličnaté, slabo slienité vápence s usmernenou mikritickou základnou hmotou, dvojčatným lamelovaním deformovaných krinoidových článkov, tlakovými tieňmi, mikrostylolitmi a inými prejavmi dynamickej rekryštalizácie. Kryštalinita illitu vzoriek VBK 4 a 5 zo severných svahov Nízkyh Tatier spadá do poľa epimetamorfózy (KI =



Obr. 1. Tektonická skica Nízkyh Tatier a severnej časti Slovenského rudohoria s výsledkami merania kryštalinity illitu. 1 — vrchnokriedovo-terciérne pokrývne útvary, 2 — hronikum, 3 — gemerikum, 4 — príkrov Markušky, 5 — struženická jednotka, 6 — veporský fundament, 7 — jednotka Veľkého boku a krížňanská, 8 — mezozoický pokryv tatrika, 9 — fundament tatrika, 10 — zlomy a presunové plochy.

Fig. 1. Tectonic sketch-map of the Nízke Tatry Mts. and northern part of the Slovenské rudohorie Mts. with the illite-crystallinity data. 1 — Upper Cretaceous — Tertiary formations, 2 — Hronicum, 3 — Gemericum, 4 — Markuška nappe, 5 — Struženík unit, 6 — Veporic basement, 7 — Veľký bok and Krížna units, 8 — Tatric Mesozoic cover, 9 — Tatric basement, 10 — faults and overthrusts.

2,9—3,1), kým vzorky VBK 3,6 a 7 z hrónského synklinória majú $KI = 3,9$ až 4,3 (anchizóna).

Najväčšia skupina vzoriek pochádza z karpatského keupru (vzorky VBK 51—70). Odoberané boli väčšinou červenofialové ílové a ílovito-prachovcové bridlice s paralelnou bridličnatou textúrou a aleuropeliticou a pelitickou štruktúrou. Základnú hmotu tvoria prevažne ílové minerály, z ktorých bol röntgenograficky identifikovaný illit, chlorit, sporadicky kaolinit, v jednom prípade aj montmorillonit (vzorka VBK 57). Ďalej je v základnej hmote prítomný mikritický karbonát (dolomit). Klastickú prímies tvorí prevažne kremeň, menej karbonáty, sludy (sericit — muskovit, biotit) a plagioklasy. Zistil sa tiež pyrit a hematit. Küblerove indexy kryštalinity illitu varírujú v širokom rozmedzí v závislosti od štruktúrnej pozície odobranej vzorky. Temer všetky spadajú do poľa anchimetamorfózy a epimetamorfózy (bližšie o tom v diskusii), jedine vzorka VBK 57, ktorá je lokalizovaná severnejšie, už v typickom krížňanskom príkrove (cf. obr. 1), spadá indexom kryštalinity 7,4 do poľa diagenézy.

Hronikum (ipoltická skupina)

Tri vzorky (H 1—3) odobrané zo severných svahov

Nízkyh Tatier vykazujú dosť premenlivé hodnoty Küblerových indexov (2,8—3,7—4,9).

Diskusia

Z uvedených výsledkov vyplýva, že namerané hodnoty kryštalinity illitu sú väčšinou v dobrej zhode s mikroskopickým petrografickým výskumom i s celkovými predstavami o podmienkach alpínskej metamorfózy vo veporiku. Vo viacerých prípadoch sa potvrdila téza o vplyve deformačného postihu na kryštalinitu illitu, a to pri vzorkách, ktoré mali byť rovnako teplotne premenené. Napr. vzorky VBK 63 a 51 boli odobrané z toho istého defilé pri Valaskej vo vzdialenosti len 50 m, ale vzorka 63 má výraznú metamorfnú tokovú bridličnatosť S_{01} a kryštalinitu 4,1, kým vzorka 51 má všeobecnú textúru i štruktúru (vrstvitosť S_0 je daná odlišne pigmentovanými prúžkami) a hoci je postihnutá pometamorfickou priechovou klivážou S_2 , má KI len 5,7, čo je hodnota nižšej anchizóny. Podobne vzorka H 1 z ipoltickej skupiny pri Vernári je výrazne deformačne postihnutá vývojom popresunovej krenulačnej kliváže a spadá hlboko do poľa epimetamorfózy, kým vzorky z nedeformovaných hornín sú slabšie metamorfované. Vplyv deformácie sa však neprejavil pri vzorkách VBK 1 a 2 zo

spodnotriasových bridlíc spodného (mylonitizovaného) a vrchného (slabo deformovaného) ramena ležatej vrásky bacúšskeho mezozoika, ktoré sa svojím KI v podstate nelíšia.

Relatívne vysoký stupeň alpínskej metamorfózy bol zistený v horninách struženíckej jednotky (séria Foederata) v južnom veporiku. Metamorfóza spodnotriasových bridlíc s asociáciou biotit — chlorit — sericit — muskovit — albit — turmalín zodpovedá už podmienkam metamorfózy nízkych stupňov, teda teploty aspoň 350 °C a tlaku fluidnej fázy 200—300 MPa, ktoré sú dosiahnuteľné v hĺbkach okolo 8—10 km. V podstatnej časti tohto nadložia treba počas metamorfózy predpokladať prekrytie príkrovu gemerického fundamentu. Stredno- až vrchnotriasový komplex struženíckej jednotky s prevahou karbonátov bol zároveň s epizonálnou metamorfózou výrazne duktilne deformovaný. Štruktúry (foliácia, lineácia a vrásky prvého alpínskeho deformačného štádia AD₁) pritom poukazujú na subhorizontálny tektonický transport niekoľko km hrubého príkrovového telesa v ich nadloží.

Minerálna asociácia chloritoid + kyanit + chlorit + kremeň zistená v horninách neistého stratigrafického postavenia (vrchný karbón — perm? alebo staršie paleozoikum?) príkrovu Markušky zodpovedá už metamorfným podmienkam granátovej zóny strednotlakového — kyanitového typu metamorfózy, na čo poukázal aj Vrána (1964). Rovnaké metamorfné podmienky boli stanovené aj pre variskú regionálnu metamorfózu skupiny Hladomornej doliny, ale bez prítomnosti chloritoidu a kyanitu, ktoré okrem vymedzených P—T podmienok podľa stability vyžadujú aj špecifické chemické zloženie horniny s vysokým obsahom Al a s vysokým pomerom Fe/Fe + Mg. Prevažnú časť metamorfítov skupiny Hladomornej doliny tvoria metapelity a metapsamity so zníženým obsahom Al s minerálnou asociáciou granát + biotit + chlorit + muskovit + plagioklas + kremeň ± epidot — zoisit. Na základe geotermometrických údajov (Korikovskij et al., 1986) teplota variskej regionálnej metamorfózy skupiny Hladomornej doliny dosiahla 420—450 °C pri tlaku 400—450 MPa.

Taktiež problematickými sa javia polymetamorfované horniny devónu (?) príkrovu Markušky (vzorka VM 1, 2 a 3). Sú to retrográdne a tektonicky premenené (diaforizované) granatické svory a amfibolity, ktorých primárny charakter bol podobný metamorfítom v skupine Hladomornej doliny. Zdá sa byť nepravdepodobné, že by išlo o mladopaleozoické horniny (revúcka skupina podľa Vozárovej a Vozára, 1982; Bajanika et al., 1984). Illit v týchto horninách považujeme za sekundárny, pravdepodobne vznikol v procese retrográdnej metamorfózy a diaforézy hornín pri nízkych teplotách.

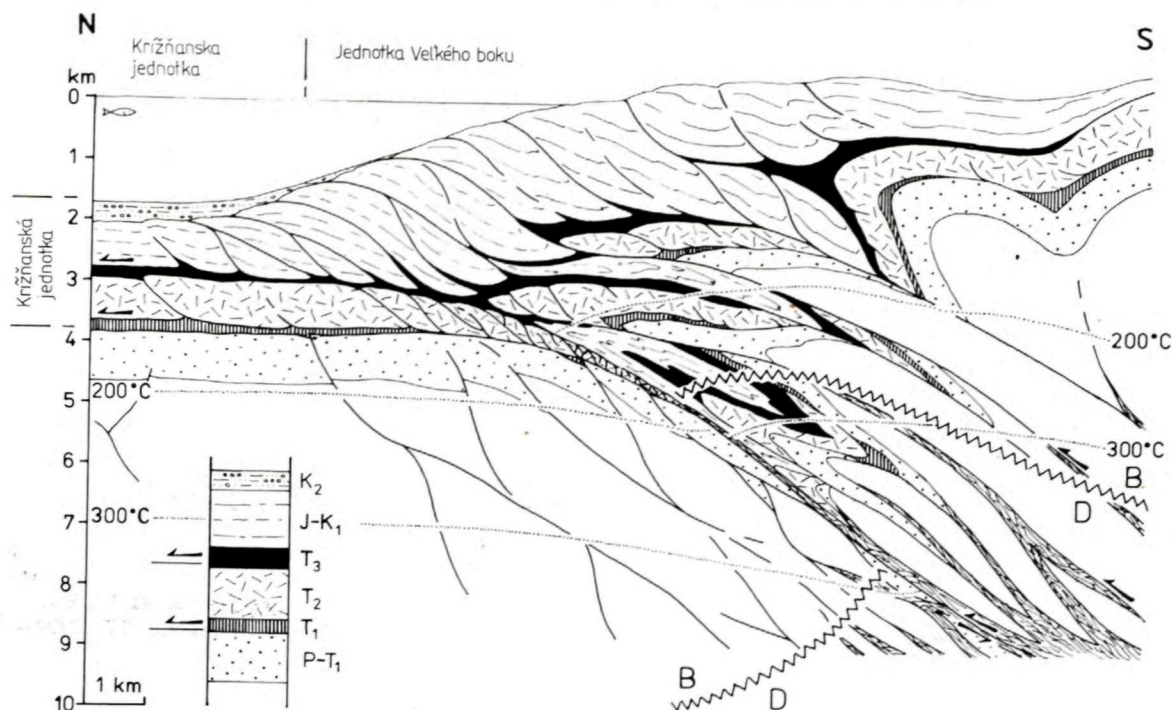
Kryštalinita illitu vzoriek H 2 a 3 (KI 3,7 a 4,9)

z ipolitickej skupiny hronika je v dobrej zhode s minerálnou asociáciou pumpellyit — prehnit — kremeň, ktorú tu v žilných telesách porfyrítov v bocianskom súvrství zistil Vrána a Vozár (1969). Horniny ipolitickej skupiny však temer nie sú dynamicky rekryštalizované, deformácie spojené s príkrovovým presunom hronika majú prevažne ruptúrny — krehký charakter. Anchimetamorfóza je zrejme výsledkom hlbokého pochovania už v pôvodnom sedimentačnom bazéne — tzv. poklesová metamorfóza. Hĺbku pochovania možno odhadnúť na 5—6 km, čo je hodnota reálna z hľadiska odhadu hrúbky mladopaleozoicko-mezozoickej sekvencie hronika.

Najpočetnejšie a najreprezentatívnejšie údaje sme získali zo súvrstvia karpatského keupru skupiny Veľkého boku a jej ekvivalentov v nadväznosti na križňanský príkrov. Hodnota indexov kryštalinity illitu sa síce pohybuje v pomerne širokom rozmedzí, ale z ich priestorovej distribúcie (obr. 1) je zjavné, že táto variabilita je v zákonitom vzťahu ku štruktúrnej pozícii skúmaných vzoriek. Celkove možno konštatovať, že v priestore celého hronského a vážeckého synklinória (v zmysle Maheľa, 1964), klesá index kryštalinity a rastie metamorfný a deformačný postih od S na J a od Z na V. Je to v dobrom súlade so štruktúrnymi pozorovaniami a s predstavami o vzniku križňanského príkrovu (Plašienka, 1983). Najvyššie metamorfované horniny (epizóna) boli zistené v najjužnejších štruktúrach veľkobočkej jednotky, v ležatých vrásach, na ktorých sa podieľa aj severoveporické kryštalínium (tzv. bacúšske mezozoikum), teda v zónach, kde mezozoické horniny sú v autochtónnej či paraautochtónnej pozícii. Na vzorkách z okolia Liptovskej Tepličky (obr. 1.), ktoré pochádzajú z relatívne vyšších štruktúr, sa uplatňuje gradácia deformačného postihu smerom na V pozorovaná i štruktúrnymi metódami. Väčšina hornín týchto zón sa počas alpínskej metamorfózy nachádzala v duktilnokrehkom až duktilnom stave v hĺbkach 5—7 km. Predpokladáme, že ich nadložie tvoril systém ležatých vrás a príkrovových šupín (duplexov) tvoriacich sa v čele násunového klinu severného veporika (obr. 2).

Vzorky ležiace v poli anchizóny pochádzajú väčšinou z JZ časti južného okraja hronského synklinória zo štruktúr, ktoré možno označiť ako vrásovo-šupinové duplexy. Prislúchajú v podstate tým istým ležatým vrásam ako predchádzajúce, nachádzajú sa však bližšie k predpoliu v čele klinu, boli metamorfované a deformované v menších hĺbkach (4—5 km) v krehkom až krehkoduksilnom stave (obr. 2).

Len jediná vzorka (VBK 57) možno označiť za nemetamorfovanú. Pochádza už z vlastného príkrovového telesa križňanskej jednotky. Križňanský príkrov, ako typický príkrov bazálneho odlepenia — décollement nappe — sa v krehkom stave odtrhol od svojho substrátu pred a pod čelom severoveporic-



Obr. 2. Rekonštrukcia profilu násunového klínu severného okraja veporika počas synmetamorfného deformačného štádia AD_r. Bodkované línie naznačujú izotermu približne ohraničujúce oblasť anchimetamorfózy, kľukatá čiara oddeľuje oblasti s prevažne krehkým (B) a prevažne duktilným (D) charakterom deformácie. Križňanský príkrov sa po odlepení vysúval na nekompetentných horizontoch verfenských bridlíc a súvrstvia karpatského keupru.

Fig. 2. Reconstruction — profile through the north Veporic thrust wedge during the synmetamorphic deformational stage AD_r. Dotted lines are isotherms approximately limiting the zone of anchizonal metamorphism, the zigzag line separates areas of prevailing brittle (B) and ductile (D) deformations. The Križňa nappe was pushed forward after detachment at incompetent horizons of Werfenian shales and Carpathian Keuper formation.

kého klínu, ktorý svojimi čelnými duplexmi prekryl zrejme len jeho najjužnejšie tylové časti a celková hrúbka križňanskej triasovo-kriedovej sekvencie nebola postačujúca na vznik metamorfných podmienok nielen v súvrství karpatského keupru, ale ani na báze jednotky v spodnotriasových horninách. Predpokladáme, že metodika určovania kryštalinity illitu by sa v kombinácii so štruktúrnymi a litostratigrafickými kritériami dala s úspechom použiť na priestorové vymedzenie križňanského príkrovu s pohlteným fundamentom od anchi- a epimetamorfovaných súčastí jednotky Veľkého boku s. l., ktoré štruktúrne nadväzujú na fundament severného veporika. Platí to predovšetkým pre zložitú oblasť hronského synklinória.

Záver

Použitá metodika nám poskytla celkove vierohodné a v mnohých prípadoch nenahraditeľné údaje o podmienkach alpínskej metamorfózy vo veporiku. Diferencovane sme interpretovali jednotky južného a severného veporika, pretože predpokladáme, že

počas mezozoika podstúpili čiastočne odlišný tektonicko-deformačný vývoj. Epidermálne komplexy južného veporika prekonalí priestorovo pomerne rozsiahlu a stálu epizonálnu metamorfózu pri teplotách 300—350 °C súčasne s výrazne duktilnými deformáciami naznačujúcimi subhorizontálny príkrovový transport hypotetického príkrovového telesa hrubého 5—7 km v ich nadloží. Toto teleso interpretujeme ako príkrov gemerického fundamentu. Z oblastí južného veporika musel byť oderodovaný ešte pred obdobím vrchnej kriedy, kedy veporikum prekryli fragmenty superficiálnych príkrovov hronika, ktoré však boli presúvané v krehkom stave za nemetamorfných podmienok. Statická anchi- až epimetamorfná rekryštalizácia v bazálnych komplexoch hronika je pravdepodobne výsledkom hlbokého poklesu ešte v pôvodnom sedimentárnom bazéne.

Metamorfóza južných tylových komponentov križňanskej jednotky nadväzujúcich na veporický fundament (skupina Veľkého boku s. l.) dosiahla podmienky anchizóny až epizóny v štruktúrach, ktoré boli deformované v krehkoduhtilnom stave počas odliepania a vysúvania križňanského (zliechovského) príkro-

vu v ich predpolí, teda v nadloží zóny podsúvania krížňanského substrátu (fundamentu a jeho tegumentu). V telese samotného krížňanského príkrovu pravdepodobne vôbec nenastali podmienky na metamorfózu.

Podakovanie. Autori touto cestou ďakujú RNDr. B. Tomanovi za vyhotovenie difrakčných záznamov a doc. RNDr. I. Krausovi, CSc., a RNDr. E. Šamajovej, CSc., za pomoc pri zvládnutí metodiky. Práca vznikla v Geologickom ústave CGV SAV Bratislava a na Prírodovedeckej fakulte UK Bratislava ako súčasť riešenia úloh 7. SRP II—4—4 a 8. SRP II—4—5 ŠPZV.

Literatúra

- Árkai, P. 1977: Low-grade metamorphism of Paleozoic sedimentary formations of the Szendrő Mountains (NE-Hungary). *Acta Geol. Acad. Sci. Hung.*, 21, 1—3, 53—80.
- Árkai, P. 1983: Very low- and low-grade Alpine regional metamorphism of the Paleozoic and Mesozoic formations of the Bükkium, NE-Hungary. *Acta Geol. Hung.*, 26, 1—2, 83—101.
- Árkai, P., Horváth, Z. A., Tóth, M. 1981: Transitional very low and low-grade regional metamorphism of the Paleozoic formations, Uppony Mountains, NE-Hungary: mineral assemblages, illite-crystallinity, $-b_0$ and vitrinite reflectance data. *Acta Geol. Acad. Sci. Hung.*, 24, 2—4, 265—294.
- Bajaník, Š., Ivanička, J., Mello, J., Reichwalder, P., Pristaš, J., Snopko, L., Vozár, J., Vozárová, A. 1984: Geologická mapa Slovenského rudohoria, východná časť. Bratislava, GÚDŠ.
- Breitschmid, A. 1982: Diagenese und schwache Metamorphose in den sedimentären Abfolgen der Zentralschweizer Alpen (Vierwaldstätter See, Urirotstock). *Eclogae geol. Helv.*, 75, 2, 331—380.
- Dunoyer de Segonzac, G. 1970: The transformation of clay minerals during diagenesis and low-grade metamorphism: a review. *Sedimentology*, 15, 3—4, 281—346.
- Frey, M., Teichmüller, M., Teichmüller, R., Mullis, J., Künzi, B., Breitschmid, A., Gruner, U., Schwizer, B. 1980: Very low-grade metamorphism in external parts of the Central Alps: Illite crystallinity coal rank and fluid inclusion data. *Eclogae geol. Helv.*, 73, 1, 173—203.
- Korikovskij, S. P., Janák, M., Boronichin, V. A. 1986: Geotermometrija i izmenenije mineralnych ravnovesij pri perekristallizacii granat — sludannych slancev v kordieritovyje rogoviki v oreole rochovskich granitov (Slovakoe rudogorie, rajon Rochovce — Chižne). *Geol. Zbor. Geol. carpath.*, 37, 5, 607—633.
- Kisch, J. H. 1980: Illite crystallinity and coal rank associated with lowest-grade metamorphism of the Taveyanne greywacke in the Helvetic zone of the Swiss Alps. *Eclogae geol. Helv.*, 73, 3, 753—777.
- Kübler, B. 1967: La cristallinité de l'illite et les zones tout a fait supérieures du métamorphisme. In: Etages tectoniques. Neuchâtel, A la Baconnière, 105—121.
- Mahel, M. 1964: Severogemeridné a hronské synklinorium v Centrálnych Karpatoch. *Čas. Mineral. Geol.*, 9, 4, 393—401.
- Nyk, R. 1985: Illite crystallinity in Devonian slates of the Meggen mine (Rhenish Massif). *Neu. Jb. Miner. Mh.*, 6, 268—276.
- Plašienka, D. 1983: Kinematický obraz niektorých štruktúr severného veporika vo vzťahu k formovaniu krížňanského príkrovu. *Miner. slov.*, 15, 217—231.
- Plašienka, D. 1984: Príkrov Markušky — vzájomný element veporika a gemerika? *Miner. slov.*, 16, 187—193.
- Teichmüller, M., Teichmüller, R., Weber, K. 1979: Inkohlung und Illit-Kristallinität, Vergleichende Untersuchungen im Mesozoikum und Paläozoikum von Westfalen. *Fortschr. Geol. Reindl. u. Westf.*, 27, 201—276.
- Vozárová, A., Vozár, J. 1982: Nové litostratigrafické jednotky v južnej časti veporika. *Geol. Práce, Spr.*, 78, 169—194.
- Vrbatović, P. 1986: Štúdium alpskej metamorfózy pomocou kryštalinity illitu v severnom veporiku a krížňanskej jednotke. [Diplomová práca.] Bratislava, Geofond.
- Vrána, S. 1964: Chloritoid and kyanite zone of Alpine metamorphism on the boundary of the Gemerides and the Veporides (Slovakia). *Krystalinikum*, 2, 125—143.
- Vrána, S., Vozár, J. 1969: Minerálna asociácia pumpelyit-prehnit-kremennej fácie Nízkych Tatier. *Geol. Práce, Spr.*, 49, 91—99.
- Weaver, C. E. 1960: Possible uses of clay minerals in search of oil. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists*, 44, 1505—1518.
- Weaver, C. E. 1984: Shale — slate metamorphism in southern Appalachians. *Amsterdam etc., Elsevier*.
- Weber, K. 1972: Notes on determination of illite crystallinity. *Neu. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, 141, 267—276.
- Winkler, H. G. F. 1974: Petrogenesis of metamorphic rocks. *New York etc., Springer-Verlag*.

First illite-crystallinity data from Alpine metamorphosed rocks of the Veporicum, Central West Carpathians

With the aim to understand better the conditions of Alpine metamorphism in the Veporicum the method of illite-crystallinity determination was used on 52 samples of low-metamorphosed rocks of its Late Paleozoic — Mesozoic cover. The metamorphism is of Middle Cretaceous age, it has regional extent and it attained conditions of low and very low grades (anchi- to epizone, see tab. 1). Along with metamorphism the rocks were deformed in ductile and ductile-brittle conditions; the structures point to a mainly subhorizontal tectonic transport.

In the southern Veporicum the illite-crystallinity data were obtained mostly from Mesozoic pelitic rocks of the paraautochthonous Stružník unit (Foederata group) and Paleozoic ones of the Markuška nappe. In the northern Veporicum attention was centred especially on the Car-

pathian Keuper formation of the Veľký bok unit (fig. 1).

Lower Triassic slates of the Stružník unit contain on some localities the mineral assemblage biotite + chlorite + sericitemuscovite + albite + tourmaline, which is a result of highest-thermal conditions of Alpine metamorphism attained at the base of the Mesozoic cover of the southern Veporicum. Illite crystallinity, according to Kübler's indices in the interval 2.3—3.8 in Lower to Upper Triassic rocks points to epizonal metamorphism in depths of up to 8—10 km as well. The Middle to Upper Triassic sequence of the Stružník unit consisting predominantly of carbonates was strongly ductilely deformed contemporaneously with metamorphism. Foliation, lineation and fold structures of this first Alpine deformational stage AD₁ point to the subhorizontal tectonic transport of a several

km thick nappe body above the paraautochthonous Struženík unit. We assume that it was the Markuška nappe and, above all, the group of Gemic basement nappes. Nevertheless, this nappe group was removed almost totally by erosion from the southern Veporic area before the overthrust of the fragments of Hronic superficial nappes, whose basal member — an Upper Carboniferous-Permian volcano-sedimentary formation (Ipoltica group, or "Melaphyre series") — was metamorphosed probably still in its original sedimentary basin under static conditions on the limit of anchi- and epizone, buried under thick masses of overlying Mesozoic members. The overthrust of the Hronicum took place in near-surface levels under non-metamorphic conditions; it was accompanied only by brittle deformations in the nappe body itself.

Several examples of mineral assemblages with garnet, biotite, amphibole, chloritoid and kyanite which have been petrographically determined in the rocks of the Markuška nappe are assumed to be relics of Variscan regional-metamorphic assemblages preserved sporadically in Alpine diaphorised Early Paleozoic rocks. Illite from these rocks is probably a result of retrograde metamorphism in low-temperature conditions; its crystallinity corresponds to epizone.

The largest group of samples from the northern Veporicum was collected from clay shales of Carpathian Keuper formation of the Veľký bok group and its equivalents linked to the Križna unit. It was found, that illite-crystallinity depends not only on the PT-conditions of metamorphism, but clearly also on strain in a rock studied.

The highest illite-crystallinity values have been determined on the northern slopes of the Nízke Tatry Mts. (Kübler's indices 2.8—3.2) in the zones where the para-autochthonous Veľký bok unit together with the north Veporic basement form large synmetamorphic recumbent folds accompanied by ductile deformations. Relatively lower values corresponding to anchizone (KI between 3.5 and 5.7) have been determined in higher and more external fold structures without participation of basement rocks (fig. 2). The sample from the nappe body of the Križna unit itself falls into the field of diagenesis (KI = 7.4). Generally the illite-crystallinity indices increase and metamorphism decreases from E to W along the northern border of the Veporicum and from S to N from the Veľký bok unit to the Križna nappe, which is in accordance with the intensity of strain and with the decrease of ductile behaviour of rocks during the first synmetamorphic Alpine deformational stage AD₁.