

Mineralia slov.
12 (1980), 6, 481—505

Serpentine-group minerals of the Western Carpathians ultramafics. I — Bodies of the Gemeride Mesozoic

D. HOVORKA*, K. DUBÍKOVÁ**, H. GERTHOFFEROVÁ*, E. ŠAMAJOVÁ*,
J. TURAN*

* Geological Institute of the Faculty of Sciences, Comenius University, Zadunajská 15,
811 00 Bratislava

** Department of Petrography of the Faculty of Sciences, Comenius University,
Gottwaldovo nám. 19, 886 02 Bratislava

(23. Figs in text)
Received 19. 2. 1980



IGCP Project No. 39
OPHIOLITES

Серпентиновые минералы ультраосновных тел Западных Карпат. I. — Тела в мезозойских отложениях

Основную часть материала серпентинизированных ультраосновных тел гемеридного мезозоя представляют лизардит и хризотил. Они присутствуют в разном отношении. Прожилки и дислокации заполнены лизардитом и хризотилом (или их смеси); Волокнистые жильные серпентины представляют хризотилы. В ультраосновном теле при Якловцах в прожилках вместе с клинохризотилом был установлен и волокнистый брукит (немалит).

Serpentine-group minerals of the Western Carpathians ultramafics. I — Bodies of the Gemeride Mesozoic

Considerable part of serpentinized ultramafic bodies in the Gemeride Mesozoic is built by lizardite and chrysotile. The share of both minerals varies. In the filling of thin veins and veinlets, lizardite, chrysotile or their mixtures were stated. The fibrous serpentine is formed by chrysotile. From a vein filling in a body near Jaklovce, even fibrous brucite (nemalite) has been identified together with clinochrysotile.

This contribution to the IGCP Project No. 39 is presented in accordance with the National Project dealing with the problem of ophiolites and similar rock complexes.

Introduction

In the Western Carpathians, ultramafics occur in several geological and stratigraphical units: a) in metamorphic complexes and rarely in plutonites of Late Proterozoic to Early Paleozoic age, b) in the Early Paleozoic of the Gemerides, c) in the Late Paleozoic of the Gemerides, d) in the Mesozoic of several Gemeride tectonic units (the Meliata group and Mesozoic sequences at the northern side of the Volovec anticlinorium). Differences in the geological structure and position mirrored also in the serpentinization degree and in the intensity of metamorphic recrystallization of original ultramafic rocks characterized comprehensively in D. Hovorka's (1977, 1978) papers. Ultramafic bodies in the Gemeride Mesozoic constitute members of an "incomplete ophiolite series" (D. Hovorka 1976, 1979) of this unit. The high degree of serpentinization and only sporadic occurrences of weakly serpentinized portions characterize the investigated bodies.

Characteristics of the investigated samples

Disregarding the bodies located in the SW part of the Košice basin (Hodkovce — Paňovce — Komárovce) where minerals of the serpentine group associate with relics of primary silicates and with minerals of

the spinel group together with hypergenous alternation products (carbonates, hydrates and iron oxides, clay minerals, chlorites, talc, silica minerals a. o., see J. Zlocha 1973, D. Hovorka — I. Rojkovič 1975), minerals of the serpentine group predominate in the composition of ultramafic bodies of the Gemeride Mesozoic. In the absolute majority of cases, their portion varies in single bodies in the 80—98 p. c. range. Their morphology, colour and mode of occurrence are also variables.

Rock-forming serpentine creates the predominating mass of single ultramafic bodies. The samples studied were aphanitic and at places with well expressed conchoidal fracture. Hues of the serpentine mass vary between black-greyish, black-greyish to green, light green or greyish light-green. The distribution of the colour is homogenous or heterogenous ("spotted"). For light coloured sample the presence of green (metamorphic) garnet with variable Cr_2O_3 content is characteristic at places (E. Fediuková et al. 1976).

Large-flaky "bastite" occurs in aphanitic mass of serpentinite rock as blastoporphyrlic flakes attaining 5 mm but sporadically up to 7—8 mm sizes. These paths have been described as "bastite" (i. e. coarse flaky antigorite pseudomorphs after rhombic pyroxene).

The flakes are of bright green colour gaining after weathering (leaching) a silver white tint.

Fibrous vein serpentine. The fibrous vein type of chrysotile (chrysotile asbestos) represents a characteristic and economically significant type of the serpentine group minerals. They form parallel stockworks (Fig. 1) and networks (Fig. 2) in the host ultramafite. The vein chrysotile distribution within single bodies is of heterogenous nature. In the serpentinite body at Dobšiná and also in some other bodies, locally increased accumulations of chrysotile veins occur. The thickness of veinlets is also variable reaching 10 mm.

Crusts and fillings of dislocations. In the ultramafic body at Danková, in the Dobšiná quarry and in other bodies, veinlets and crusts confined to shear planes occur. Their thickness varies reaching 3 mm and, sporadically, even 5 mm. The vein filling or the dislocation mass is brittle, of platy to splintery parting and hard, generally of pea-green or yellow-green colour.

"Deweylite". The filling in veins and in irregular nests in the ultramafic body near Sedlice, identified by J. Kantor (1955) as deweylite, differs from the previous types. By naked eye, the milky-white colour of the filling shows locally a greenish tint and the vein fabric has, at

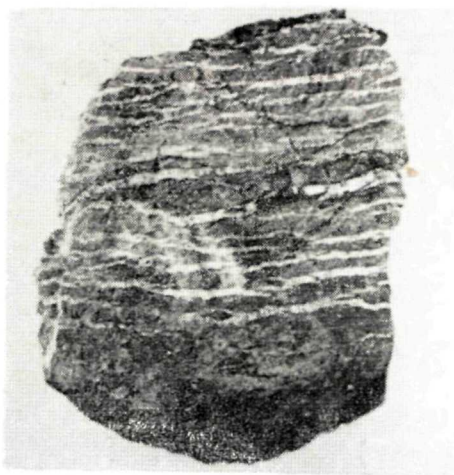


Fig. 1. System of parallel chrysotile veinlets. Dobšiná, quarry. $\frac{1}{2}$ of real size
Obr. 1. Systém paralelných žíliček chrysotilu. Dobšiná, lom. $\frac{1}{2}$ skut. velikosti

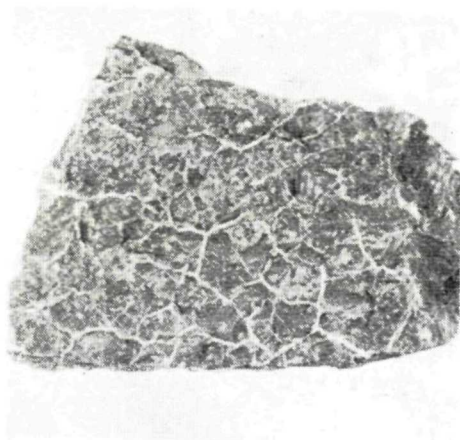


Fig. 2. Chrysotile veinlets of the "net" type. Dobšiná, quarry. $\frac{1}{2}$ of real size
Obr. 2. Žilky chrysotilu typu „sietka“. Dobšiná, lom. $\frac{1}{2}$ skut. velikosti

places, radial structure (Fig. 3). In view of the uncertainty about the existence of deweylite as an independent mineral species, we

attempted the reidentification of minerals in this vein filling.

Brucite creates yellowish to green fibrous and columnar mass in the filling of up to 5 cm thick veinlets in the serpentinite rock at the Švablica ridge S from Jaklovce village.

Laboratory technique used for the identification of minerals of the serpentine group

For further investigations, single samples were thoroughly separated under binocular microscope. The procedure aimed particularly at the separation of magnetite, olivine and pyroxene relics. The samples with minerals of the serpentine group were divided according to the morphology and mode of occurrence into the groups described above. The identification of minerals was made using X-ray and thermic gravimetric analysis, refractive index measurements and, accounting for the mineral grain morphology, applying transmission electron microscope scanning.

X-ray analysis

Powder diffraction records were made under equal conditions using the Mikrometa II device with GON-3 goniometer (Cu_K radiation = 0.154433 nm, Ni-filter, 35 kV voltage, 14 mA current, diaphragms 2, 3, impulse number $1,000 \text{ s}^{-1}$, time

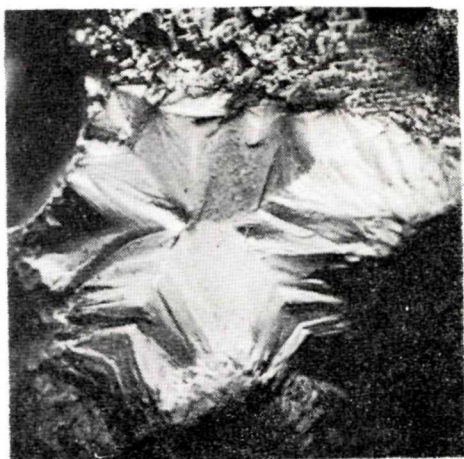


Fig. 3. Radial structure of "deweylite" (= chrysotile + lizardite admixture). Sedlice, Skalka. Real size
Obr. 3. Radiálna stavba „deweylitu“ (= chryzotil + prímes lizarditu). Sedlice, Skalka. Skutočná veľkosť

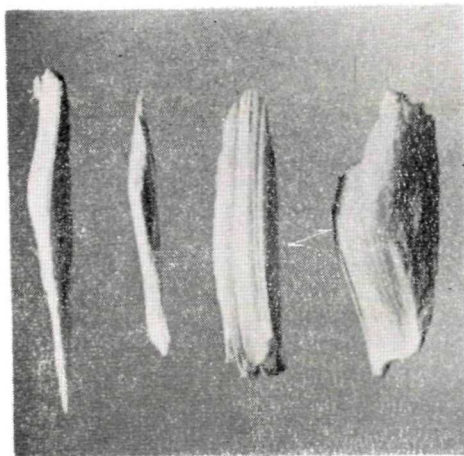


Fig. 4. Brucite (nemalite) + chrysotile from the veinlet. Ridge Švablica south of Jaklovce. Real size
Obr. 4. Brucit (nemalit) + chryzotil zo žilky. Hrebeň Švablica na J od Jakloviec. Skutočná veľkosť

constant 1, shift of the goniometre arm $1^{\circ} \cdot \text{min}^{-1}$, shift of the record label $600 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$). Planar slices of separated samples were prepared by pressing the powdered samples into the sample container or, at fibrous modifications, by means of smear mount on glass. Diffraction record registrated the $8\text{--}64^{\circ}$ range of 2θ .

Minerals of the serpentine group represent structural analogue of kaolinite giving very similar diffraction records with well expressed basal reflexes (002) and (004). For the identification of single minerals in the serpentine group, criteria of the structural analysis according to E. J. W. Whittaker — J. Zussman (1956) were applied.

Thermic analysis

Thermic analysis was made on the same sample set as in the case of X-ray investigations. Thermic analyses were operated on the MOM Budapest derivatograph (System F. Paulik — J. Paulik — D. Erdely). From numerous data dealing with results of thermic investigation of serpentine group minerals, we relied upon the papers of V. Kouřimský — V. Šatava (1954), E. J. W. Whittaker — J. Zussman (1965), G. T. Faust — J. J. Fahey (1962), P. M. Tatarinov et al. (1967), J. Kostov (1971), V. A. Pugin et al. (1971) and V. P. Ivanova et al. (1974). On the basis of DTA

curves, the determination and differentiation of chrysotile and lizardite from antigorite is reliable.

V. P. Ivanova et al. (1974) divided the minerals of the serpentine group according to the nature of water release during heating into serpentine group with well oriented structure and that of with weakly oriented structure. Minerals of the serpentine group with well oriented structure release the hydroxyl water at higher temperature than those with weakly oriented structure. Hydroxyl water is liberated in two stages during the heating. Within $600\text{--}800^{\circ}\text{C}$ temperature range the substantial part of water (11–12 p. c.) releases whereas between $800\text{--}900^{\circ}\text{C}$ the remaining part becomes liberated. Minerals of the serpentine group with weakly oriented structure release their water content by a leap displayed by a small endothermic peak on the DTA curve within the $800\text{--}830^{\circ}\text{C}$ temperature range (Fig. 5). In the case of minerals with well oriented structure this endothermic reaction lacks.

Morphological analysis by transmission and scanning electron microscope

For the investigation of morphological features of serpentine group minerals, the Tesla BS 242 transmission electron microscope with acceleration potential of 60 kV has

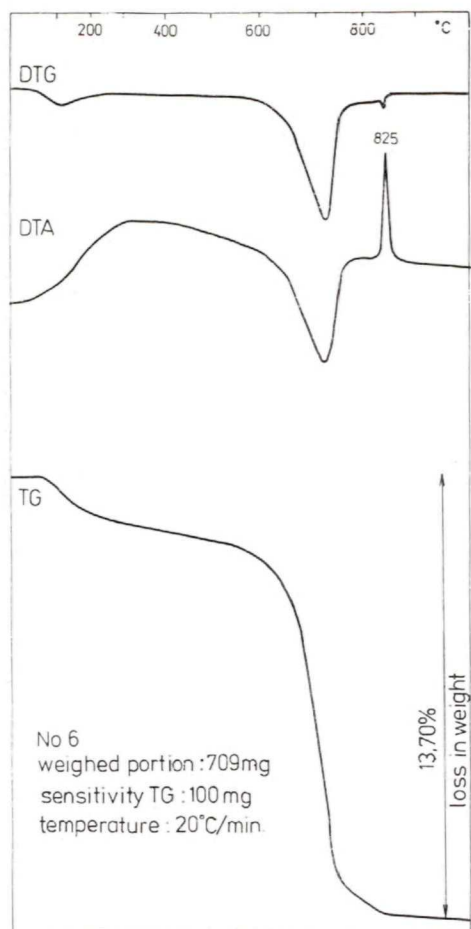


Fig. 5. Example of DTA pattern of a well oriented serpentine structure (sample 6, Dobšiná — quarry)

Obr. 5. Příklad prejavu DTA slabo usporiadanej štruktúry serpentínu (vzorka 6, Dobšiná, lom)

been used. Exposition times were 2–4 seconds and magnification was $7,000\times$. We compared the results with data in the atlas of electron micrographs of H. Beutelspacher — H. W. van der Marel (1969) and also with data of J. A.

Gard (1971). The slices were prepared using the dispersion method (distilled water and sample). Particle outlines on micrographs may be sharp angular or rounded, the outline shape indicating more or less the crystallinity degree of the object. Contrast range indicates the degree of permeability. In the rule, thick particles absorb the electrons and thus appear darker on the electron micrographs.

Analytical results

“Rock-forming” serpentines (samples No. 6, 8, 9, 10, 11, 12, 16, 18, 19) are, in most of cases, composed by lizardite and chrysotile in variable quantities. The mixture of lizardite and chrysotile gives diffraction record of an intensive disjoint reflex of (202) with 2θ value = 36° for lizardite and 2θ = 36.8 – 37° for chrysotile. Even the position of the less intensive reflex (204) with value of d = 0.204 nm for chrysotile and d = 0.214 nm for lizardite belongs to diagnostic features of their differentiation. In some cases, these reflexes are absent on records as it is by the sample No. 8 (Fig. 6) or No. 6, 9, 10 and 19.

Results of thermic and optical investigations on samples of this group do not reveal considerable differences. They consist mostly of mineral aggregate of the serpentine group with imperfectly oriented structure according to the criteria

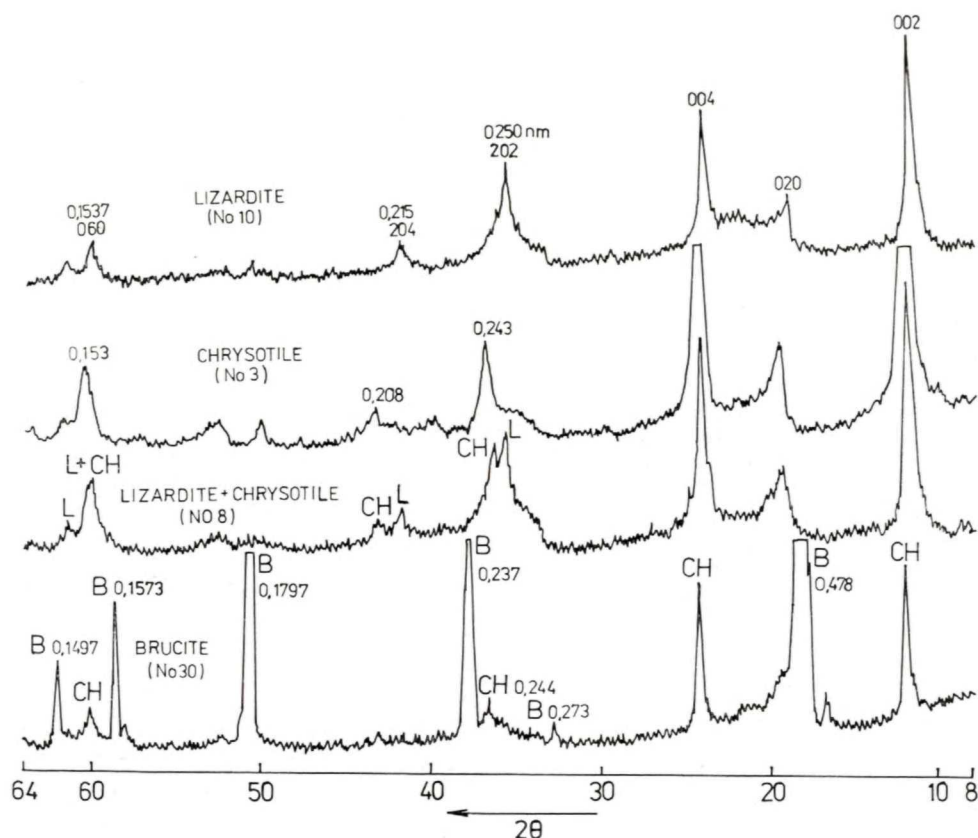


Fig. 6. Powder diffraction records of samples 10, 8, 3, 30
 Obr. 6. Práškové difrakčné záznamy vzoriek 10, 8, 3, 30

proposed by V. P. Ivanova et al. (1974) and, only in rare samples (No. 10 and 11), well oriented structures occur. Samples No. 12, 16 and 18 represent transitional types. Aggregates with weakly oriented structure (No. 6, 8, 9 and 10) revealed the highest loss of water by heating and their DTA curves show always perfectly shaped exothermic peaks in the 800–850 °C temperature range (e. g. sample No. 6, Fig. 5).

On the electron micrographs of these samples, chrysotile appears in separate fibers or liber bunches twisted between lizardite flakes. The latter are compact and dark, impermeable for electrons. The chrysotile/lizardite ratio varies: in the sample No. 6 chrysotile predominates whereas in sample No. 16 (Fig. 7) lizardite is present in higher amount. The TEM photo of the sample No. 10 (Fig. 8) is interesting since it shows flakes up to plates

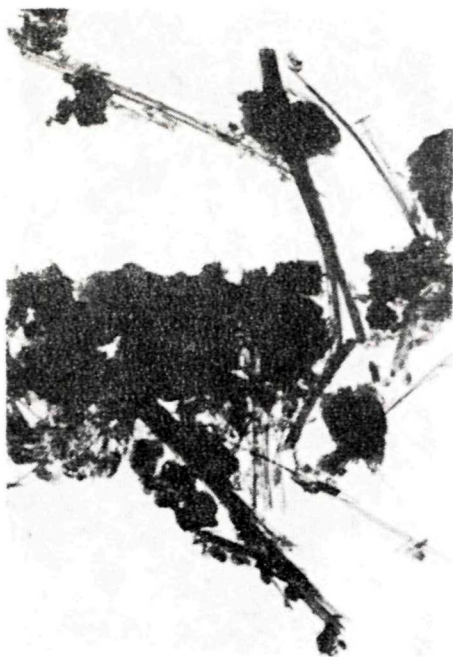


Fig. 7. Lizardite prevalences (for electrons impermeable tabular particles) over chrysotile (sample 16, Jaklovce). Magnif. 7000 $\times$, TEM

Obr. 7. Prevaha lizarditu (pre elektróny nepriepustné tabuľkovité častice) nad chryzotilom (vzorka 16, Jaklovce). Zväčš. 7000 $\times$, TEM



Fig. 8. Irregularly confined leafy lizardites (sample 10, Jaklovce). Magnif. 7000 $\times$, TEM

Obr. 8. Nepravidelne obmedzené listovité lizardity (vzorka 10, Jaklovce). Zväčš. 7000 $\times$, TEM

of lizardite with irregular outlines. Probably, the morphology of the larger particle was disturbed during the preparation of the slice. It should be emphasized that, comparing with other samples, this is a lizardite type of different morphology (Fig. 7). The flaky shape of the lizardite in sample No. 10 is visible also in Fig. 9.

Large-flaky "bastite" (sample No. 7 and 15). Diffraction records

of both samples are rather similar. The sample N. 7 (Fig. 10) consists of mainly lizardite with small chrysotile admixture while the large flaky type of serpentine in the sample No. 15 belongs to lizardite according to the position of the (202) and (204) reflexes (Fig. 11). Derivatograph records are practically the same due to the similar course of both exothermic and endothermic reactions and also by the water content. According to

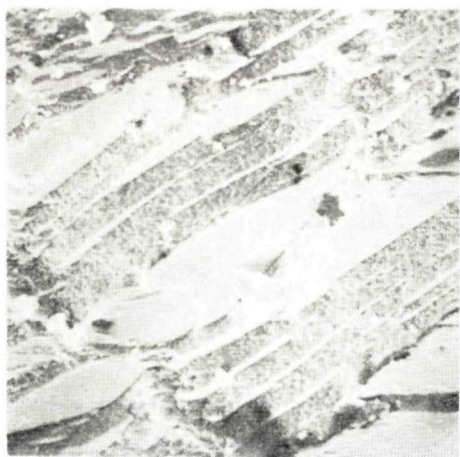


Fig. 9. Coarse-flaky lizardite (sample 10, Jaklovce). Scanning microscope, magnif. 1000 $\times$

Obr. 9. Hrubolupenitý lizardit (vzorka 10, Jaklovce). Elektronový scan mikroskop, zvětš. 1000 $\times$

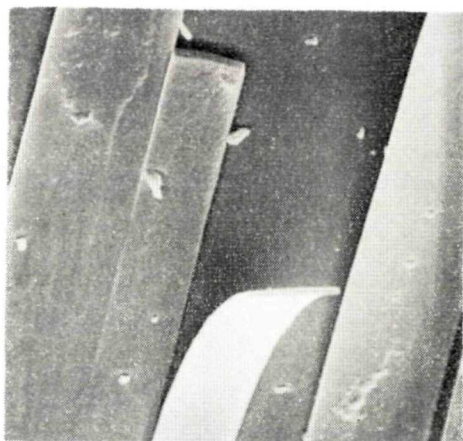


Fig. 10. "Bastite" (= lizardite) pseudomorph after rhombic pyroxene in serpentinite (sample 7, Hodkovce). Magnif. 21 $\times$, X nicols

Obr. 10. „Bastitová“ (= lizarditová) pseudomorfóza po romboickom pyroxéne v serpentinite (vzorka 7, Hodkovce). Zvětš. 21 $\times$, X nikoly

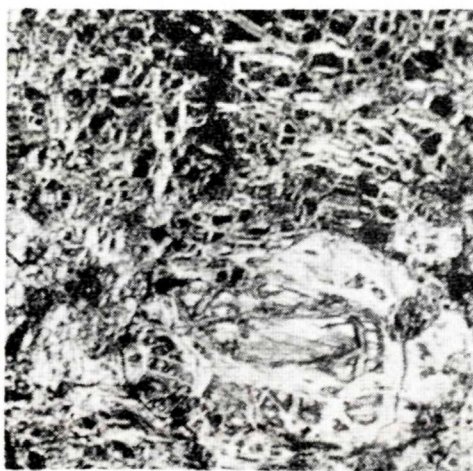


Fig. 11. Thin-lathy lizardite ("bastite"). Sample 15, Jaklovce. Scanning microscope magnif. 2500 $\times$

Obr. 11. Tenkodoštičkovitý lizardit („bastit“) — vzorka 15, Jaklovce. Elektronový riadkovací mikroskop, zvětš. 2500 $\times$

these data and based on DTA results, the samples comprise lizardite with well oriented structure. The continuous release of the highest water contents found (3—4 p. c.) up to 600 °C characterizes these samples as well (Fig. 12). TEM scanning revealed flocculated lizardite in both samples (Fig. 13).

Fibrous vein serpentine (samples No. 17, 23, 24 and 25) yields the same diffraction records corresponding to chrysotile. This result was confirmed also from the positive HCl (1 N) test. According to thermic investigations, these samples represent serpentine of well oriented structure (Fig. 14) or a transitional type (Fig. 15). They all have high water contents, 14—14.5 weight p. c.

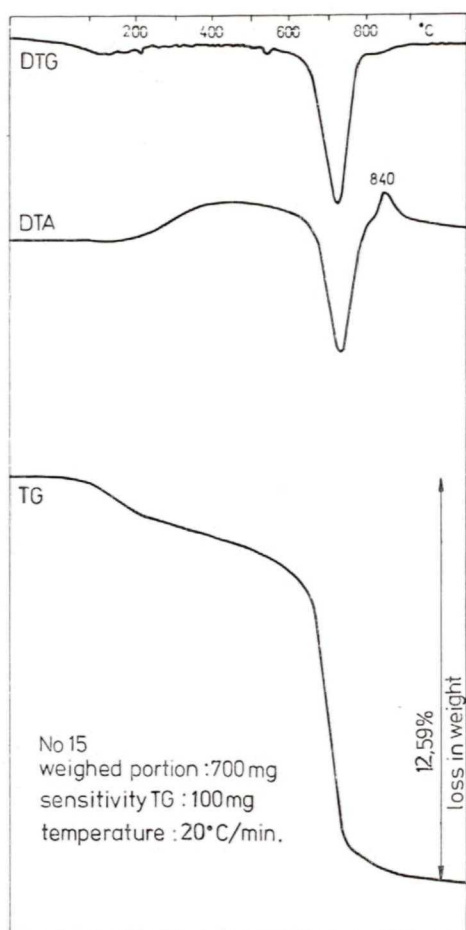


Fig. 12. DTA record of lizardite with well oriented structure (sample 15, Jaklovce)
Obr. 12. DTA záznam lizarditu s dobre usporiadanou štruktúrou (vzorka 15, Jaklovce)

in average, the main endo- and exothermic reaction temperatures being shifted towards higher values attaining almost the temperature limit that characterizes antigorites. The exothermic reactions are less intensive or lacking (sample No. 23 and 24). The main endothermic

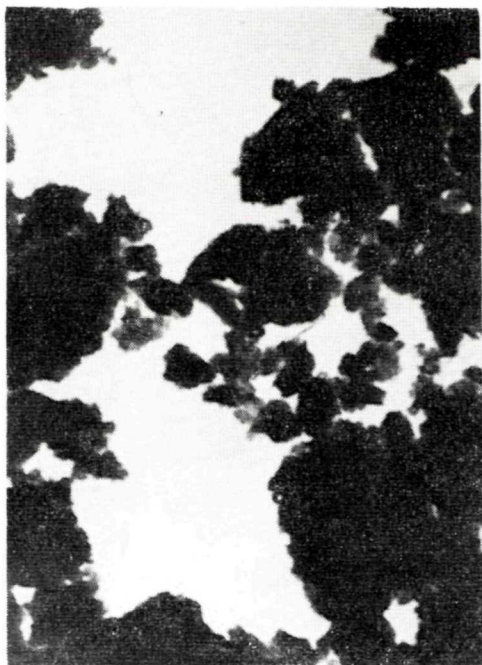


Fig. 13. Flocculated, for electrons impermeable lizardite (sample 7, Hodkovce).
Magnif. 7000 $\times$, TEM
Obr. 13. Vločkovitý, pre elektróny nepriepustný lizardit (vzorka 7, Hodkovce).
Zväčš. 7000 $\times$, TEM

peak is between 730—750 °C and the exothermic one between 825—840 °C. According to the results of optical investigations, the samples represent chrysotile. Refractive indexes are for N_α in the 1.494—1.527 range and for N_γ = 1.539—1.551, the birefringence value is 0.008—0.020. Also flakes of lower birefringent serpentine mineral, likely that of lizardite, appear in addition to chrysotile with a refractive index about 1.560 in the sample No. 25.

Electron micrographs are similar representing acicular to fibrous

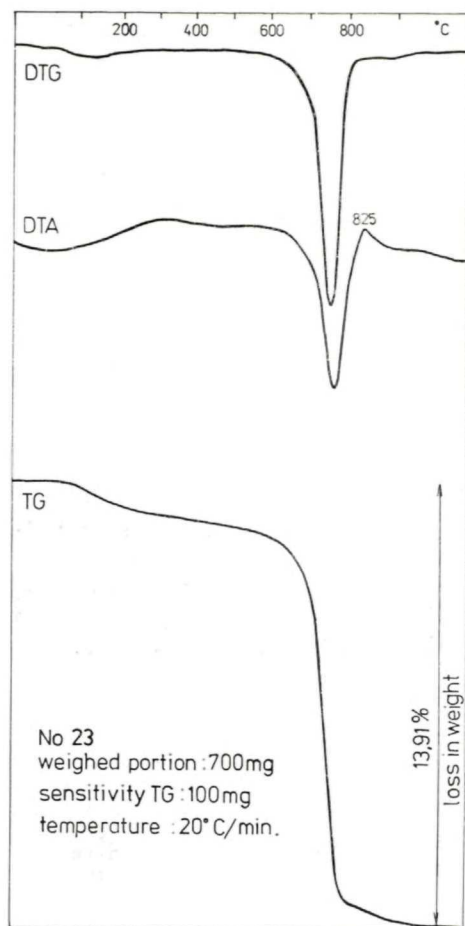


Fig. 14. DTA record of vein chrysotile with well oriented structure (sample 23, Dobšiná — quarry)

Obr. 14. DTA záznam žilného chryzotilu s dobre usporiadanou štruktúrou (vzorka 23, Dobšiná, lom)

chrysotile. The fibers are straight or at places slightly contorted with sharp outlines and of approximately equal thickness. The width to length ratio is more than 1 : 500. In the sample No. 17 (Fig. 16), chrysotile fibers tend to accumulate into splitty and bristly shapes

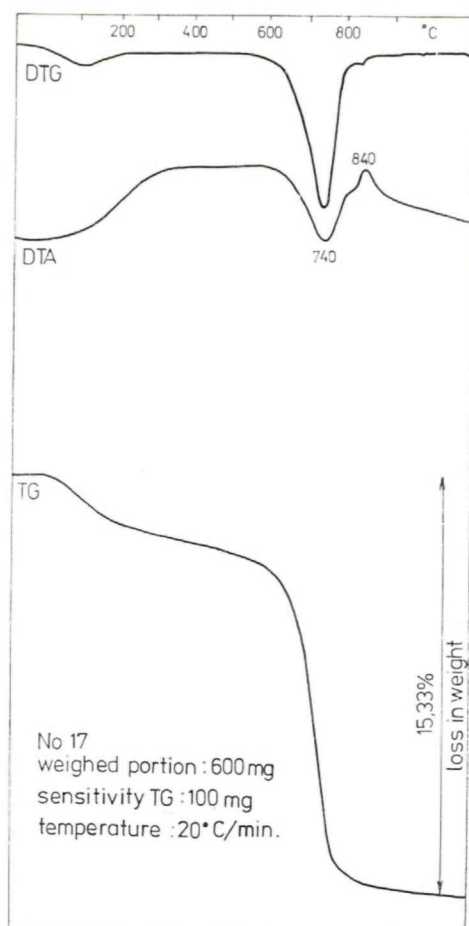


Fig. 15. DTA record of a transitional chrysotile type (sample 17, Jaklovce)

Obr. 15. DTA záznam chryzotilu prechodného typu (vzorka 17, Jaklovce)

(L. G. Rekshinskaya 1966). Accessory lizardite occurs in flocculated particles impermeable for electrons.

Crusts and fillings of dislocations (samples No. 4a, 4b, 5, 14, 20 and 22) reveal, in spite of similar X-ray

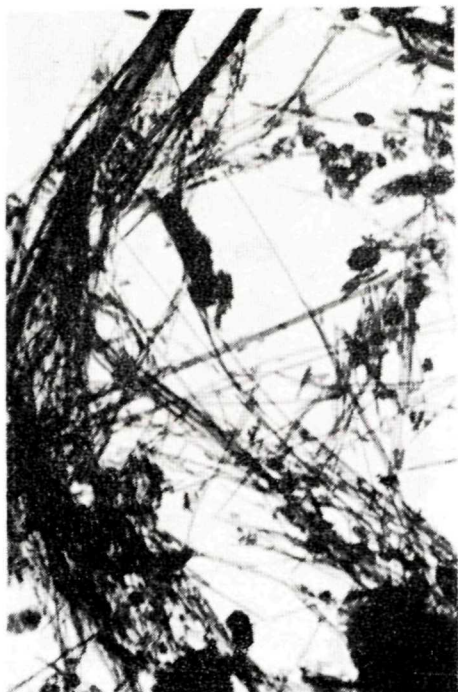


Fig. 16. Vein chrysotile fiber accumulations (sample 17, Jaklovce). Magnif. 7000 $\times$, TEM

Obr. 16. Zhluky vláken žilného chryzotilu (vzorka 17, Jaklovce). Zvážš. 7000 $\times$, TEM

records and thermic curves reflecting chrysotile and lizardite mixture in various ratios (Fig. 17 and 18), differences in morphology and in optical properties. Serpentine in this group have considerably variable morphology and variable optical properties even within single samples. Flaky, at places even tabular, serpentine and rarely coarse to fine fibrous types predominate.

Samples No. 4a and 4b are similar according to X-ray and DTA data

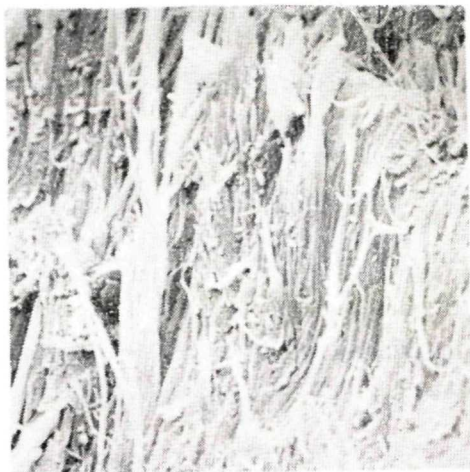


Fig. 17. Chrysotile prevalence over lizardite (sample 4b, Jaklovce). Scanning microscope, magnif. 3000 $\times$

Obr. 17. Prevaha chryzotilu nad lizarditom (vzorka 4b, Jaklovce). Elektrónový riadkovací mikroskop, zvážš. 3000 $\times$

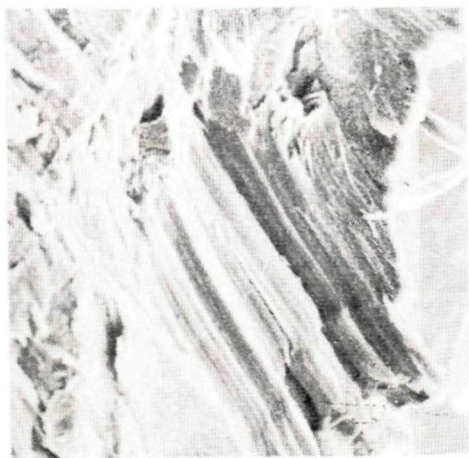


Fig. 18. Prevalence of tabular-columnar lizardite over chrysotile (sample 4a, Jaklovce). Scanning microscope, magnif. 500 $\times$

Obr. 18. Prevaha tabuľkovito-stĺpcovitého lizarditu nad chryzotilom (vzorka 4a, Jaklovce). Elektrónový riadkovací mikroskop, zvážš. 5000 $\times$

though they differ optically mainly by refractive indexes ($N_\alpha = 1.553$ and $N_\gamma = 1.556$ for sample 4a and $N_\alpha = 1.563$, $N_\gamma = 1.566$ for sample 4b). Birefringence of the first sample is so low that it little differs from an isotropic substance while the sample No. 4b contains even more coarse tabular to acicular serpentine grains with $D = 0.007$. The characteristics of the sample No. 4b approaches data for antigorite. According to TEM scanning of the sample No. 4a (Fig. 19), isometric to tabular lizardite with sharp angular or rounded outlines dominates here (permeable type).

Occurrences of prismatic and banded particles with a rectangular termination reminding antigorite are interesting. In the sample No. 4b (Fig. 20), fibrous chrysotile predominates, lathy to tabular forms occur (antigorite, lizardite ?) and isometric to lathy lizardite appears only sporadically. Chrysotile fibers in other samples are similar.

"Deweylite" (sample No. 3). In accordance with the classification proposed by E. J. W. Whittaker — J. Zussman (1956) and based on new diffraction data, the sample from the ultrabasic body near Sedlice (identified as deweylite by J. Kantor 1955) consists of mainly chrysotile. Thermic analytical results exclude the presence of antigorite due to the shape of DTA curve as well as due to higher water content in the sample. The



Fig. 19. Isometric-tabular lizardite (sample 4a, Jaklovce). Magnif. 7000 $\times$, TEM

Obr. 19. Izometricko-tabulkovitý lizardit (vzorka 4a, Jaklovce). Zvůčš. 7000 $\times$, TEM

DTA curve is similar to those of other minerals of the serpentine group, only the main endothermic reaction is shifted by 50 °C to lower temperature with a peak at 690 °C (Fig. 21). For deweylite or for serpentine substances assigned by this name, the lowest refraction indexes are characteristic. According to P. M. Tatarinov et al. (1967), deweylite has $N_\alpha = 1.512$ —1.528, $N_\gamma = 1.512$ —1.529 and $D = 0.003$. Samples from Sedlice gave values ($N_\alpha = 1.552$, $N_\gamma = 1.560$ and $D = 0.008$) close to those found by



Fig. 20. Prevalence of fibrous chrysotile over lathes (lizardite—brucite—antigorite ?); sample 4a, Jaklovce. Magnif. 7000 $\times$, TEM

Obr. 20. Prevaha vláknitého chryzotilu nad lištami (lizardit—brucit—antigorit ?) — vzorka 4a, Jaklovce. Zväčš. 7000 $\times$, TEM

J. Kantor (1955). Against their designation as deweylite, even in the sense of P. M. Tatarinov et al. (1967) and V. I. Michayev (1957), points particularly the low free water content found to be even identical with results indicated by J. Kantor (0.60—0.70 weight p. c.). TEM photographs proved the presence of chrysotile and lizardite in the sample. Chrysotile occurs in fibers (Fig. 22) whereas lizardite in isometric to tabular particles permeable for electrons.

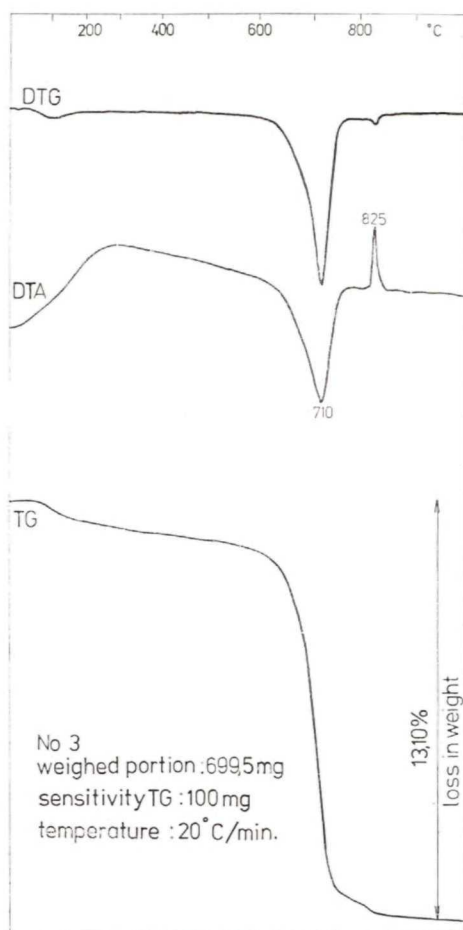


Fig. 21. DTA record "deweylite" (= chrysotile with lizardite admixture) Obr. 21. DTA záznam „deweylitu“ (= chryzotil s prímiesou lizarditu). Sedlice

Brucite — nemalite (sample No. 30) appears as a mixture with lizardite. In ultramafic bodies of the Western Carpathians, brucite is until known only from Jaklovce. Its presence has been proved definitely by X-ray analysis and by DTA records where it displays an



Fig. 22. "Deweylite" (= mixture of chrysotile and isometric tabular lizardite). Sedlice. Magnif. 7000 $\times$, TEM
Obr. 22. „Deweylit“ (= zmes chryzotilu a izometricko-tabuľkovitého lizarditu). Sedlice. Zväčš. 7000 $\times$, TEM

endothermic peak at 500 °C (Fig. 23) caused by brucite dehydration and alteration to periclase. This dehydration causes even loss in weight amounting 37 p. c. by calculation whereas the rest falls to clinochrysotile identified by electron diffraction. Owing to fibrous shape of brucite and to its intimate intergrowths with chrysotile fibers, its unambiguous optical identification is impossible.

Conclusions

The serpentine mass of variegated colour composing the bulk of ultramafic bodies consists of lizardite and chrysotile in variable ratios. Their identification by the applied me-

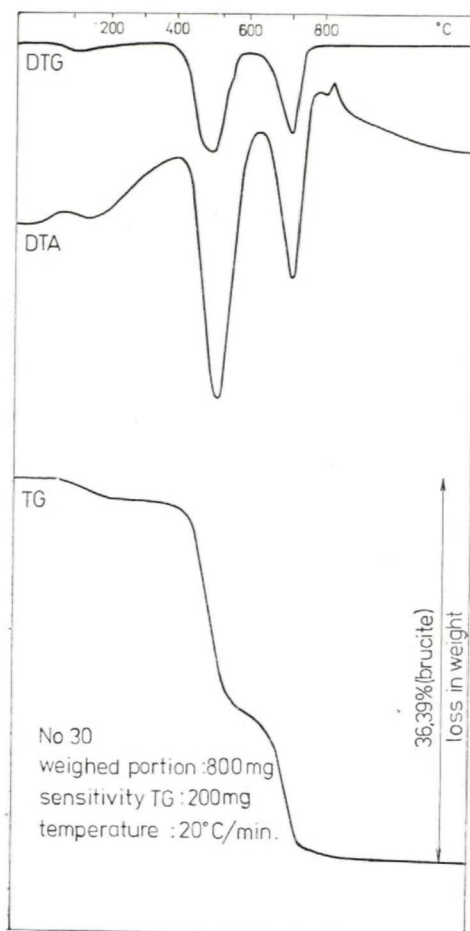


Fig. 23. DTA record of a mixture of clinochrysotile and brucite (sample 30, Jaklovce)
Obr. 23. DTA záznam zmesi klinochryzotilu a brucitu (vzorka 30, Jaklovce)

thodics is unambiguous. Large flaky serpentine minerals described formerly as "bastite" are in reality lizardites or mixtures of lizardite and chrysotile. Fibrous types of serpentine in veins correspond to chrysotile, however, with some atypical optical properties (mainly

refractive indexes). Crusts and dislocation fillings of light green to yellowish green colour correspond to lizardite, chrysotile or their mixture in different ratios. The "deweylite" from Sedlice belongs, due to its diffractographical and DTA patterns, to chrysotile whereas according to TEM scanning it contains also lizardite. In the ultramafite body at Jaklovce, brucite along with clinochrysotile has been identified in vein filling. On the basis of obtained results, ultramafite bodies in the Gemeric Mesozoic (the Meliata group and sequences along the northern side of the Volovec anticlinorium) may be assigned as lizardite-chrysotile serpentinite bodies. Antigorite has been not found in the samples. By analogy, brucite occurrences are probable also in serpentinitized por-

tions of dunite in further ultramafite bodies under the condition that the hydrothermal phase of alteration occurred without participation of carbon dioxide when magnesite or dolomite should originate. According to the presence of lizardite and chrysotile of second generation in these rocks (fissure and dislocation filling), it may be assumed that tectonic processes affecting these ultramafic bodies prior to their final emplacement into the recent position did not exceed temperature — pressure conditions of lizardite and chrysotile generation. The presence of veinlets and fillings of tectonic fissures along with veinlets of chrysotile type serpentine prove the multiphase generation of the mineral content in ultramafic bodies of these units.

Review by I. Varga

REFERENCES

- Beutelspacher, H. — Van der Marel, H. W. 1969: Atlas of electron Microscopy of Clay Minerals and their Admixtures. Amsterdam, Elsevier. 333 p.
- Cambel, B. 1951: Ultrabázická hornina od Sedlic a hadce najbližšieho okolia. *Geol. zbor. Slov. akad. vied*, 2, s. 91—105.
- Clarce, F. W. — Schneider, E. A. 1890: Experiments upon the constitution of the natural silicates. *Am. J. Sci.*, 3rd ser. 40, pp. 303—312, 405—415, p. 452—457.
- Deer, W. A. — Howie, R. A. — Zussman, J. 1962: Rock-forming minerals. Vol. 3. Sheet silicates. London, Longmans.
- Faust, G. T. — Fahey, J. J. 1962: The serpentine-group minerals. *U. S. Geol. Surv. Prof. Paper (Washington)*, 384-A, 92 p.
- Fediuková, E. — Hovorka, D. — Greguš, J. 1976: Compositional zoning of andradite from serpentinite at Dobšiná (West Carpathian). *Věst. Ústř. úst. geol.*, 51, 4, pp. 339—345.
- Gard, J. A. 1971: The electron-optical investigation of clays. *Miner. Soc. (London)*, 383 p.
- Hostettler, P. B. — Coleman, R. G. — Mumpton, F. A. — Evans, B. V. 1966: Brucite in Alpine serpentinites. *Amer. Mineralogist*, 51, pp. 5—98.
- Hovorka, D. 1965: Ultrabasische Gesteine der Westkarpaten in der Slowakei. *Geol. zbor. Slov. akad. vied*, 16, 1, p. 129—143.

- Hovorka, D. 1967: Genetic types and stratigraphy of ultrabasic rocks in the West Carpathians. *Carp.-Balcan Geol. Assoc., VIIIth Congr., Repts — Petrography and Metallogenesis (Beograd)*, pp. 85—89.
- Hovorka, D. 1978: Geochemistry of the West Carpathian alpine-type ultramafic rocks. *Nauka o Zemi, Geol.*, 12, 148 p.
- Hovorka, D. 1979: The West Carpathian incomplete ophiolites. In: *Czechoslovak geology and global tectonics (M. Mahel — P. Reichwalder, Eds.)*, Bratislava, pp. 155—166.
- Hovorka, D. — Rojkovič, I. 1975: Ultrabázické teleso pri Hodkovciach (východné Slovensko), *Acta geol. geogr. Univ. Comenianae, Geol.*, 26, p. 5—72.
- Ivanova, V. P. — Kasatov, B. K. — Krasiviva, T. N. — Rozinova, E. L. 1974: Termičeskij analiz mineralov i gornych porod. *Leningrad, Nedra*. 399 s.
- Kamenický, J. 1951: O hadci pri Dankovej. *Geol. zbor. Slov. akad. vied*, 2, s. 5—20.
- Kamenický, J. 1957: Serpentinity, diabázy a glaukofanické horniny triasu Spišsko-gemerského rudohoria. *Geol. práce, Zoš. (Bratislava)*, 45, s. 3—71.
- Kantor, J. 1955: Deweylit od Sedlíc. *Geol. práce, Spr. (Bratislava)*, 2, s. 16—24.
- Kantor, J. 1956: Serpentinity južnej časti Spišsko-gemerského rudohoria. *Geol. práce, Spr. (Bratislava)*, 6, s. 3—34.
- Kostov, I., 1971: Mineralogija (russian translation). *Moskva, Mir*. 584 s.
- Kouřimský, J. — Šatava, V. 1954: A contribution to the question of the determination of minerals of serpentine group. *Sbor. Nár. muz. v Prahe, X. B*, 4, pp. 1—19.
- Lapham, D. M. 1971: New data on deweylite. *Amer. Mineralogist*, 46, pp. 168—188.
- Lodochnikov, V. N. 1936: Serpentin i serpentinity ilchirskiye i drugiye i petrologicheskiye voprosy s nimi swyazannye. *Trudy ONIGRI (Moskva)*, 36.
- Mackenzie, R. C. 1972: Differential Thermal Analysis. Vol. 2. *London, Acad. Press*. 607 p.
- Mikheyew, V. I. 1957: Rentegenometricheskij opredelitel mineralov. *Moskva*. 867 p.
- Moody, J. B. 1976: Serpentinization: a review. *Lithos (Oslo)*, 9, pp. 125—138.
- Nagy, B. S. — Faust, G. T. 1956: Serpentine: natural mixtures of chrysotile and antigorite. *Amer. Mineralogist*, 41, pp. 817—838.
- Němec, F. 1958: Přispěvek ke slovenským hadcům. *Sbor. Vys. šk. pedagog. v Olomouci, přír. vědy*, 5.
- Pugin, V. A. — Kuskov, O. L. — Chitarov, N. I. 1971: Deweylitizacija — glubinnij proces izmeneniya ultraosnovnykh porod. *Geokhimiya (Moskva)*, 7, p. 774—780.
- Rekshinskaya, L. G. 1966: Atlas elektronnykh mikrofotografii glinistyykh mineralov i ich prirodnykh asociacij v osadochnykh porodakh. *Moskva, Nedra*, 230 s.
- Selfridge, G. C. Jr., 1936: An X-ray and optical investigation of the serpentine minerals. *Amer. Mineralogist*, 21, 8, pp. 463—503.
- Strunz, H. 1977: Mineralogische Tabellen. 6. korrigierte Auflage. *Leipzig*. 621 S.
- Schtejnberg, D. S. 1960: Novyye dannyye o serpentinizacii dunitov i peridotitov Urala. — Petrograficheskiye provincii, izverzhenyye i metamorficheskiye gornyye porod. *MGK, 21 ses., dokl. sov. geol., probl. 13 (Moskva)*.
- Tatarinow, P. M. — Artemow, V. R. 1967: Mestorozhdeniya chryzotilazbesta SSSR. *Moskva, Nedra*, 510 p.
- Tröger, W. E. 1971: Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. Teil. 1. *E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart*, 188 p.
- Wicks, F. J. — Whittaker, E. J. W. 1975: A reappraisal of the structures of the serpentine minerals. *Canad. Mineralogist*, pp. 227—243.
- Whittaker, E. J. W. — Zussman, J. 1956: The characterization of the serpentine minerals by X-ray diffraction. *Mineral. Mag. (London)*, 31, pp. 107—126.
- Winchell, A. N. — Winchell, H. 1951: Elements of optical mineralogy. *New York*.
- Zussman, J. — Brindley, G. W. — Comer, J. J. 1957: Electron diffraction studies of serpentine minerals. *Amer. Mineralogist*, 42, 3—4, pp. 133—153.

Serpentinové minerály ultramafických telies Západných Karpát.

I — Telesá v mezozoiku gemerika

D. HOVORKA — K. DUBÍKOVÁ — H. GERTHOFFEROVÁ — E. ŠAMAJOVÁ — J. TURAN

V Západných Karpatoch vystupujú ultramafické telesá v niekoľkých geologických jednotkách: v mladoproterozoických (?) až staropaleozoických (?) komplexoch metamorfítov a ojedinele aj eruptív, v staršom paleozoiku gemerika, v mladšom paleozoiku gemerika a v mezozoiku niekoľkých tektonických jednotiek Vnútorných Západných Karpát (v meliatskej sérii a v komplexoch severne od voloveckého antiklinória).

Odlišná geologická stavba a pozícia sa odráža v rozličnom stupni serpentinizácie a metamorfnej rekryštalizácie ultramafických telies, ktoré sa súborne charakterizovali v prácach D. Hovorku (1977, 1978). Ultramafity v mezozoickej meliatskej sérii sa zúčastňujú na skladbe „nekompletnej ofiolitovej série“ tejto jednotky (D. Hovorka 1976, 1979). Charakterizuje ich vysoký stupeň serpentinizácie a len sporadické slabšie serpentinizované polohy.

Doterajšie práce dotýkajúce sa problematiky ultramafických telies charakterizovali ich serpentínové minerály len mikroskopicky (J. Kamenický 1951, 1957, B. Cambel 1952, J. Kantor 1956, D. Hovorka 1965, 1967, 1978, F. Němec 1958, D. Hovorka — I. Rojkovič 1975). Podľa analógie to boli najmä vláknité a lupenité serpentíny (chryzotil, antigorit), veľkolupenité modifikácie antigoritu (bastit), resp. agregátne polarizujúce až amorfné serpentíny (serpentin, serpofit). Podľa J. Kouřimského — E. Filčákovéj (1954) sa na zložení haldového materiálu v Dobšinej zúčastňuje antigorit a chryzotil. Antigorit z Dobšinej sa detailne skúmal metódou DTA (J. Kouřimský — V. Šatava 1954). Serpentinové minerály niektorých telies sa identifikovali aj počas realizácie prieskumných prác (J. Zlocha, ústna informácia; D. Hovorka — I. Rojkovič 1975).

Charakteristika študovaných vzoriek

Serpentinové minerály v študovaných telesách mezozoika gemerika výrazne prevládajú a ich podiel vo väčšine telies varíruje od 80 do 98 %. Morfológia, sfarbenie a spôsob vystupovania serpentínových minerálov sú variabilné. Študované vzorky možno rozdeliť do nasledujúcich skupín.

„Horninotvorné“ serpentíny úplne prevládajú v hmote mezozoických ultramafických telies gemerika. Vzorky sú afanitické, miestami s lastúrnatým lomom. Serpentinová hmota varíruje medzi čiernou, sivočiernou až sivozelenou — svetlozelenou, resp. sivosvetlozelenou farbou. Sfarbenie je rovnomerné alebo nehomogénne (fľakaté). Svetlé vzorky miestami charakterizuje prítomnosť zeleného (metamorfneho) granátu s variabilným obsahom Cr_2O_3 (E. Fediuková et al. 1976).

Lokalizácia a opis vzoriek

Č. 6. Dobšiná — lom v prevádzke. Žltozelený serpentinit s granátmi. Identifikovaná žltozelená serpentínová hmota horniny.

Č. 8. Rudník — opustený jamový lom v poliach východne od obce. Svetlozelený serpentinit s tmavšími nepravidelnými škvrnami a ojedinelými „bastitmi“ do 3 mm. Identifikovaná svetlosivozelená hmota horniny.

Č. 9. Kobeliarovo — halda prieskumných rýh na okraji obce. Svetlosivozelený serpentinit so žilkami chryzotilu (do 2 mm). Identifikovaná svetlosivozelená hmota horniny.

Č. 10. Jaklovce — prieskumná šachtica v poliach na Z od Kurtovej skaly. Tmavosivý až čierny serpentinit s 3–5 mm

„bastitmi“. Identifikovaná základná hmota horniny.

Č. 11. Dobšiná — lom v prevádzke, severný okraj lomu. Sivočierny serpentinit s 2—3 mm „bastitmi“. Identifikovaná základná hmota horniny.

Č. 12. Danková, na SZ od Dobšinej. Lesná cesta nad Hornými záhradami. Sivozelený, farebne nehomogénny serpentinit s vlásočnicovými žilkami chryzotilu. Identifikovaná základná hmota horniny.

Č. 16. Jaklovce — halda prieskumnej štólne na východnom svahu hrebeňa Švablica na J od obce. Identifikovaná svetlozelená hmota serpentinitu.

Č. 18. Jaklovce — prieskumná šachtica v poliach západne od Kurtovej skaly. Svetlozelený serpentinit s ojedinelými „bastitmi“. Identifikovaná svetlozelená hmota horniny.

Č. 19. Kobeliarovo — halda prieskumnej ryhy na okraji obce. Identifikovaná svetlozelená hmota serpentinitu.

Veľkolupenité „bastity“. V afanitickej hmote serpentinitových telies sú prítomné blastoporfyrické lupene veľké až 5 mm, ojedinele až 7—8 mm. Predtým sa opisovali ako „bastity“ (t. j. ako veľkolupenité antigority, ako pseudomorfózy po rombických pyroxénach). Lupene sú svetlozelené, po navetraní dostávajú striebroblý odtieň.

Lokalizácia a opis vzoriek

Č. 17. Jaklovce — prieskumná ryha na hrebeni Švablica na J od obce.

Č. 7. Hodkovce — vrt Hm-15/63,00 m. Tmavosivý serpentinit s ojedinelými 2—3 cm „bastitmi“. Identifikované lupenité „bastity“.

Č. 15. Jaklovce — halda prieskumnej štólne na západnom svahu hrebeňa Švablica na J od obce. Sivočierny serpentinit s 3—5 mm „bastitmi“. Identifikované lupenité „bastity“.

Vláknité žilné serpentíny. Charakteristické a ekonomicky významné serpentínové minerály predstavujú vláknité chryzotily v žilkách („chryzotilový azbest“). Vytvárajú paralelné žilníky (obr. 1) alebo siefky (obr. 2). Žilný chry-

zotil je v telesách zastúpený nerovnomerne. Exploatuje sa v Dobšinej a v ďalších telesách je len lokálne zvýšená akumulácia. Mocnosť žiliek je variabilná, dosahuje až 10 mm.

Lokalizácia a opis vzoriek

Č. 17. Jaklovce — prieskumná ryha na hrebeni Švablica na J od obce. Systém paralelných žiliek chryzotilu v prikontaktnéj zóne telesa ultramafitov s keratofýrmi. Dĺžka vlákna do 15 mm.

Č. 23. Dobšiná — lom v prevádzke. Severný okraj lomu. Žilka (10 mm) vláknitého serpentínu v sivočiernom serpentinite.

Č. 24. Rudník — opustený jamový lom v poliach na V od obce. 7 mm žilka chryzotilu v sivozelenom serpentinite.

Č. 25. Kobeliarovo — halda prieskumnej ryhy na chryzotilový azbest na okraji obce. Dĺžka vlákna chryzotilu 6 mm.

Kôrky, výplne dislokácií. V ultramafických telesách najmä na Dankovej, v Dobšinej v lome, ale aj inde sa nachádzajú žilky a kôrky na šmykových tektonických plochách. Ich mocnosť je rozličná, dosahuje 3, ojedinele až 5 mm. Výplň žiliek a dislokačných priestorov je krehká, doštičkovite až trieskovite odlučná, tvrdá, prevažne hráškovozelenej alebo zelenej farby.

Lokalizácia a opis vzoriek

Č. 4a. Jaklovce — halda prieskumnej štólne na východnom svahu hrebeňa Švablica na J od obce. Svetložltá masívna výplň 3 mm pukliny v tmavosivom serpentinite.

Č. 4a. Jaklovce — halda prieskumnej štólne na východnom svahu hrebeňa Švablica na J od obce. Svetlozelená výplň žilky so stĺpčekovitou odlučnosťou. Žilka je v sivozelenom serpentinite.

Č. 5. Dobšiná — lom v prevádzke. Svetložltozelenkastá masívna výplň 3 mm tektonickej zóny. Serpentínová hmota žilky má tabuľkovito-trieskovitú deliteľnosť.

Č. 14. Jaklovce — halda prieskumnej štólne na západnom svahu hrebeňa Švablica na J od obce. Svetlozelená vý-

plň paralelného žilníka v tmavosivom serpentinite. Mocnosť žiliek 1–4 mm. Výplň žiliek má tabuľkovito-stĺpcovú deliteľnosť.

Č. 20. Kobeliarovo — halda prieskumnej ryhy na okraji obce. V svetlosivozelenom serpentinite 3 mm žilka svetlozeleného masívneho serpentinitu tabuľkovitej odlučnosti.

Č. 22. Hodkovce — vrt V-14/27,80 m. Identifikovala sa ihličkovito-tabuľkovitá svetlozelená, farebne nehomogénna výplň 9 mm žilky v sivom serpentinite.

Deweylit. Výplň žiliek a hniezd v ultramafickom telese pri Sedliciach sa odlišuje od predchádzajúcich a J. Kantor (1955) ju identifikoval ako deweylit. Mliečnobiele sfarbenie výplne nadobúda lokálne zelenkavý odtieň. Vnútorňa štruktúra žiliek je miestami radiálna (obr. 3). Vzhľadom na pochybnosti o existencii deweylitu ako samostatného minerálu sme sa pokúsili reidentifikovať minerály tejto žilnej výplne.

Lokalizácia a opis vzoriek

Č. 3. Sedlice — vyvýšenina Skalka na severovýchodnom okraji obce. Skalná stena na východnom svahu vyvýšeniny. Výplň puklín.

Brucit. Žltozelená vláknito-stĺpcovitá hmota (obr. 4) tvorí výplň 5 cm žilky v serpentinite na hrebeni Švablice južne od Jakloviec (vzorku poskytol J. Zlocha, ktorý so spolupracovníkmi aj určil jej zloženie ako zmes brucitu a chryzotilu).

Lokalizácia a opis vzorky

Č. 30. Jaklovce — prieskumná štôlna na západnom svahu hrebeňa Švablica južne od obce. Identifikovaná bola kanárikovožltá ihličkovito-stĺpcovitá hmota tvoriaca výplň do 5 cm žiliek.

Serpentinové minerály a problematika brucitu

Podobne ako v ostatných skupinách silikátov existuje niekoľko klasifikačných schém aj pre serpentínové minerály.

Základná práca o serpentinizáčnych procesoch je od V. N. Lodočnikova (1936), ktorý navrhol aj klasifikáciu serpentínových minerálov a vyčlenil chryzotilový azbest, antigorit, bastit a serpo-fit. Prvé práškové difrakčné záznamy uvádza G. C. Selfridge (1936). Tieto údaje neskôr prešli do mnohých príručiek. Napr. V. I. Michejev (1957) delí serpentínové minerály na skupinu chryzotilu s početnými odrodami, skupinu antigoritu a skupinu deweylitu.

Nejednotnosť v klasifikácii serpentínových minerálov sa odrazila v tom, že zatiaľ čo napr. A. N. Winchell — H. Winchell (1951) antigorit zaradili do skupiny chloritov a chryzotil spolu s modifikáciami uvádzajú samostatne, W. A. Deer et al. (1962) medzi serpentíny zaraďujú chryzotil, lizardit aj antigorit. H. Strunz (1977) do serpentínovej skupiny zaradil antigorit (monoklinický klinoantigorit a hexagonálny ortoantigorit), lizardit, chryzotil (orto-, klinochryzotil a parachryzotil).

Najčastejšie používané novšie členenie serpentínových minerálov vychádza z výsledkov analýzy mriežkových štruktúr (K. J. W. Whittaker — J. Zussman 1956, J. Zussman et al. 1957). Podľa týchto autorov medzi serpentínovými minerálmi možno rozlíšiť chryzotil (orto-, klino-, para-), antigorit, lizardit a 6-vrstvový ortoserpentin. Tak sa dajú serpentínové minerály rozdeliť podľa výsledkov difrakčných záznamov práškových vzoriek.

Ortochryzotil a klinochryzotil majú kryštalografickú os *a* v smere vlákna, kým parachryzotil tvorí vlákna v smere osí *b*. Vláknitý antigorit sa pôvodne označoval ako pikrolit. J. Zussman et al. (1957) pomenovali rombičnú jednovrstvovú varietu v súlade s pôvodným označením E. J. W. Whittakera — J. Zussmana (1956) ako lizardit a pre pikrolit navrhli pomenovanie „vláknitý antigorit“. 6-vrstvový ortoserpentin (J. Zussman et al. 1957) sa označuje aj ako unstit. Práce mnohých autorov konštatujú, že serpentíny označované ako „bastity“ sú v skutočnosti lizarditmi, miestami s prímiesou chryzotilu. Antigorit sa v nich nevyskytuje. P. M. Ta-

tarinov — V. R. Artemov (1967) podľa mechanických vlastností rozdelili chryzotily na vláknité (ohybné) a krehké chryzotilové azbesty, ako aj na chryzotilové ofity. Antigorit chápu v súlade s originálnou definíciou E. J. W. Whittakera — J. Zussmana (1956).

Medzi posledné klasifikačné schémy serpentínových minerálov patrí návrh F. J. Vicksa — E. J. W. Whittakera (1975). Lizardit, chryzotil a parachryzotil pokladajú za polymorfne modifikácie a antigorit k nim nepatrí. Prehľad problematiky serpentínových minerálov publikovala J. B. Moodyová (1976).

V procese serpentinizácie ultramafických hornín s prevahou horečnatých olivínov nad pyroxénmi vzniká okrem serpentínových minerálov a magnetitu aj brucit (D. S. Štejnberg 1960, P. B. Hostetler et al. 1966). Brucit je v prevažnej väčšine prípadov mikroskopicky lupenitý alebo vláknitý (nemalit). Vystupuje rozptýlene v celej hmote serpentinitu alebo sa selektívne akumuluje v žilkách. Podľa D. S. Štejnberga (l. c.) v serpentinizovaných ultrabazitoch, kde chýba magnezit, sa nadbytočný horčík (v horninách s pôvodným pomerom MgO/SiO_2 nad 1,5) musí viazať v novovytvorenom brucite. P. B. Hostetler et al. (1966) dospeli k záveru, že brucit možno jednoznačne dokázať röntgenometricky podľa reflexu 001 aj zo záznamu polyminerálneho horninového agregátu, ak je brucit prítomný v množstve nad 2 %.

Z genetického hľadiska je dôležité, že sa brucit vyskytuje spolu s lizarditom a chryzotilom. Rovnako je charakteristické, že vzniká v dunitoch (výrazná prevaha horečnatého olivínu nad pyroxénmi; B. P. Hostetler et al. 1966). Ďalšou podmienkou je neprítomnosť CO_2 v roztoku (inak by vznikol magnezit).

Metodické postupy pri identifikácii serpentínových minerálov

Vzorky na ďalšie štúdium boli starostlivo vyseparované pod binokulárnou lu-

pou. Pri separácii išlo najmä o oddelenie magnetitu, reliktov olivínov a pyroxénov. Vzorky serpentínových minerálov sa na základe morfológie a spôsobu výskytu rozdelili do opísaných skupín. Serpentínové minerály boli identifikované pomocou röntgenovej a termickej analýzy, meraním indexov lomu s prihliadnutím na ich morfológiu, zistenú transmisným riadkovacím snímkaním v elektrónovom mikroskope.

Röntgenová analýza

Práškové difrakčné záznamy sa vykonali za rovnakých podmienok na prístroji Mikrometa II s goniometrom GON-3: CuK žiarenie $\lambda = 0,154433$ nm, Ni, filter, napätie 35 kV, prúd 15 mA, clonky 3, 2, počet impulzov 1000/s; časová konštanta 1, posun ramena goniometra $1^\circ/\text{min}$, posun registračného papiera 600 mm/hod. Rovinné preparáty vyseparovaných vzoriek sa pripravili zatlačením rozpráskovaných vzoriek do vzorkovnic, pri vláknitých formách použitím techniky roztierania na skle (smear mount on glass). Difrakčné záznamy registrovali oblasť $8-64^\circ 2\theta$.

Minerály skupiny serpentínu predstavujúce štruktúrny analogón kaolinitu majú veľmi blízke difraktogramy s výraznými bazálnymi reflexmi (002 a 004). Pri identifikácii štruktúr sme sa opierali o kritériá štruktúrnej klasifikácie E. J. W. Whittakera — J. Zussmana (1956). Chryzotil charakterizujú dvojice difrakčných línii s hodnotami $d = 0,259$ nm (4) a $0,245$ nm (8) a identifikačné reflexy $d = 0,1534$ nm (9). Lizardit sa vyznačuje intenzívnym reflexom $d = 0,248$ nm a menej intenzívnou dvojicou $d = 0,153$ nm (6) a $0,1504$ nm (4). V zmesiach serpentínových minerálov je účelné využiť rozdielnú stabilitu jednotlivých serpentínových minerálov pri pôsobení HCl. F. W. Clarke — E. A. Schneider (1980) a B. S. Nagy — G. T. Faust (1936) zistili, že jednotlivé serpentínové minerály v zmesiach možno odlišiť na základe ich rozličnej stability pri pôsobení v zriedenej HCl (1 N) približne počas 1 hod. pri teplote $90^\circ C$. Za týchto podmienok sa antigorit nenarúša,

zatiaľ čo chryzotil sa stáva nestabilným a na difrakčných záznamoch možno sledovať jeho premenu na amorfnú hmotu. Lizardit sa narúša len čiastočne. Metódu sme overili na monominerálnych vzorkách antigoritu, chryzotilu a lizarditu a na ich zmesiach.

Termické analýzy

Termické analýzy tých istých vzoriek sa urobili na derivatografe fy MOM Budapest (systém F. Paulik — J. Paulik — D. Erdely). Z početných údajov o termickom štúdiu serpentínových minerálov sme sa opierali o práce J. Kouřimského — V. Šatavu (1954), E. J. W. Whittakera — J. Zussmana (1956), G. T. Fausta — J. J. Faheya (1962), P. M. Tatarinova et al. (1967), I. Kostova (1971), V. A. Pugina et al. (1971) a V. P. Ivanovej et al. (1974). Z citovaných prác vychodí, že na základe výsledkov termickej analýzy možno jednoznačne určiť príslušnosť minerálov v analyzovaných vzorkách k serpentínom. Spoľahlivé je aj určenie a odlišenie chryzotilu a lizarditu od antigoritu.

V. P. Ivanova et al. (1974) rozdelili serpentínové minerály na dve skupiny na základe uvoľňovania vody (serpentíny s dobre usporiadanou a serpentíny so slabo usporiadanou štruktúrou). Prvé uvoľňujú hydroxylovú vodu neskôr ako serpentíny so slabo usporiadanou štruktúrou (uvoľňuje sa pri zahrievaní serpentínových minerálov v dvoch etapách: medzi 600—800 °C podstatná časť, t. j. 11—12 %, a pri 800—900 °C zvyšná časť vody, t. j. 0,4 %). Zo serpentínových minerálov so slabo usporiadanou štruktúrou sa druhá časť hydroxylovej vody uvoľňuje skokovite a prejavuje sa malou ostrou endotermou na krivkách DTG a TG v rozmedzí 800—830 °C (obr. 5). Pri analýzach serpentínových minerálov s dobre usporiadanou štruktúrou endotermická reakcia chýba. P. P. Tokmanov et al. (1977) interpretujú rozličné stupne usporiadania štruktúry geneticky a predpokladajú, že lizardity s dobre usporiadanou štruktúrou vznikajú v hypogénnych a s nedokonale

usporiadanou štruktúrou v hypergénnych podmienkach.

Morfologická analýza v transmisnom a riadkovacom elektrónovom mikroskope

Morfologické vlastnosti serpentínových minerálov sme študovali snímkaním v transmisnom elektrónovom mikroskope Tesla BS 242 s akceleračným potenciálom 60 kV. Expozičný čas bol 2—4 s. Používalo sa zväčšenie 7000×. Výsledky sme porovnávali s atlasom elektrónových mikrofotografií H. Beutelspachera — H. W. Van der Marela (1969) a s prácou J. A. Gardy (1971).

Preparáty sme pripravili disperznou metódou (destilovaná voda, vzorka). Kontúry častíc na snímkach môžu byť ostrohranné alebo zaoblené a čiastočne poukazujú aj na stupeň kryštalinity objektu. Kontrastnosť poukazuje na stupeň priepustnosti. Častice s väčšou hrúbkou zvyčajne silnejšie pohlcujú elektróny, a preto sú na elektrónových mikrofotografiách tmavšie.

Na základe snímkovania v TEM možno vydeliť nasledujúce formy častíc serpentínových minerálov (L. G. Rekšinskaja 1966):

- izometricko-tabuľkovité s ostrohrannými a zaoblenými kontúrami, sú priepustné pre elektróny (lizardit I);
- vločkovité, kompaktné, nepriepustné pre elektróny (lizardit II);
- vláknité, ihlicovité, trubicovité, trieskovité, štetkovité (chryzotil);
- prizmatické, stuhovité (antigorit).

Ojedinelé vzorky sme študovali aj v riadkovacom elektrónovom mikroskope typu JSM-03 (Geologický ústav D. Štúra, operátor K. Šebor — M. Švec). Snímali sa prirodzené lomné plochy pokovované Au.

Výsledky laboratórneho štúdia

„Horninotvorné“ serpentíny (vzorka 6, 8, 9, 10, 11, 12, 16, 18, 19) vo väčšine reprezentuje zmes lizarditu a chryzotilu, ktorých kvantitatívne zastúpenie je rozličné. Zmes lizarditu a chryzotilu poskytuje difrakčný záznam s intenzívnym

rozdvojeným reflexom 202, ktorý má pri lizardite hodnotu 2θ 36° a pri chryzotile $36,8-37^\circ$. Aj poloha menej intenzívneho reflexu 204 s hodnotou $d = 0,204$ nm pre chryzotil a $0,214$ nm pre lizardit patrí k diagnostickým znakom ich vzájomného odlišovania. V niektorých prípadoch tieto reflexy na záznamoch chýbajú, ako napr. vo vzorkách 8 (obr. 6) alebo 6, 9, 10 a 19.

Termické a optické štúdium vzoriek tejto skupiny nevykazuje podstatnejšie rozdiely. Väčšinou obsahujú agregáty minerálov serpentínovej skupiny, ktoré podľa kritérií V. P. Ivanovej et al. (1974) majú nedokonale usporiadanú štruktúru a len ojedinelé vzorky (10, 11) sa vyznačujú dokonale usporiadanou štruktúrou. Vzorky 12, 16, 18 predstavujú prechodné typy. Agregáty so slabou usporiadanou štruktúrou (6, 8, 9, 10) sa vyznačujú najvyšším úbytkom vody pri zahrievaní a vždy majú dokonale vyvinutú exotermu v rozsahu teploty $800-850^\circ\text{C}$ (vzorka 6, obr. 5).

Elektrónové mikrofotografie vzoriek dokumentujú chryzotil v samostatných vláknoch alebo zväzok vlákien poprepletaných medzi šupinami lizarditu. Lizarditové šupinky (vločky) sú kompaktné, tmavé, nepriepustné pre elektróny. Zastúpenie chryzotilu a lizarditu je rozmanité, vo vzorke 6 prevažuje chryzotil, vo vzorke 16 (obr. 7) lizardit. Pozoruhodná je snímka TEM vzorky 10 (obr. 8), zachytávajúca čisté lístky až plátky lizarditu nepravidelného obmedzenia. Morfológia väčšej častice sa pravdepodobne porušila pri príprave preparátu. Zdôrazňujeme, že v porovnaní s ostatnými vzorkami predstavuje morfológicky odlišný typ lizarditu (porovnaj obr. 7). Lupenitý tvar lizarditu vo vzorke 10 dokumentuje aj obr. 9.

Veľkolupenité „bastity“ (vzorka 7, 15). Toto označenie sa v minulosti používalo pre veľkolupenité pseudomorfózy po rombických pyroxénoch (vzorka 7, obr. 10) a považovali sa za agregát antigoritu, chryzotilu alebo v ostatnom čase aj lizarditu, príp. za zmes lizarditu a chryzotilu. Vo väčšine prípadov premena pôvodného pyroxénu na lupenito-vláknitý agregát

serpentínových minerálov nie je úplná. Výsledky optického štúdia ukazujú, že pôvodný rombický pyroxén („bastit“) predstavoval bronzit, a to najmä podľa indexov lomu ($N_\gamma = 1,670$, $N_\alpha = 1,655-1,650$) a dvojlomu (okolo $0,015$). Reliktný pyroxén je len nepatrne pleochroický.

Difrakčné záznamy vzoriek sú veľmi podobné. Vzorku 7 tvorí prevládajúci lizardit s malou prímiesou chryzotilu, kým veľkolupenitý serpentín vo vzorke 15 patrí podľa pozície reflexov (202) a (204) lizarditu (obr. 11). Derivatografické záznamy sú tiež prakticky rovnaké tak priebehom exotermických a endotermických reakcií, ako aj obsahom vody. Podľa toho, aj podľa výsledkov DTA štúdia, vzorky pozostávajú z lizarditu s dobre usporiadanou štruktúrou. Charakteristické je plynulé uvoľňovanie najvyšších obsahov ($3-4\%$) vody do 600°C (obr. 12). Snímky v TEM v oboch vzorkách identifikujú vločkovitý lizardit (obr. 13).

Vláknité žilné serpentíny (vzorka 17, 23, 24, 25) poskytli v podstate rovnaké difrakčné záznamy a zodpovedajú chryzotilu. Vyplyva to aj z pozitívneho testu s HCl (1 N).

Na základe termického štúdia vzorky reprezentujú serpentíny s dobre usporiadanou štruktúrou (obr. 14) alebo prechodný typ (obr. 15). Všetky majú vysoký obsah vody (priemer $14-14,5\%$) a teploty hlavných endotermických a exotermických reakcií sú posunuté k vyšším teplotám, takmer až ku hranici charakteristických teplôt pre antigority, ale exotermické reakcie sú málo výrazné alebo chýbajú (vzorky 23, 24). Hlavný endotermický vrchol je medzi $730-750^\circ\text{C}$ a exotermický medzi $825-840^\circ\text{C}$. Opticky patria vzorky medzi chryzotily. Indexy lomu sú pri N_α v rozmedzí $1,494-1,527$ a pri N_γ v $1,539-1,551$ a dvojlom $0,008-0,020$. Vo vzorke 25 sú okrem chryzotilu aj šupiny nižšie dvojlomového serpentínu, pravdepodobne lizarditu s indexom lomu okolo $1,560$.

Extrémne nízke indexy lomu vo vzorke 17 a vysoký dvojlom sú pre serpentínové minerály netypické (W. E. Tröger 1971, W. A. Deer et al. 1962). Ide

pravdepodobne o nízkoželezitý chryzotil.

Elektrónové mikrofotografie sú rovnaké a znázorňujú ihlicovitý až vláknitý chryzotil. Vlákna sú rovné alebo mierne ohnuté, s ostrými kontúrami a približne rovnakou hrúbkou. Pomer hrúbky k dĺžke je nad 1 : 500. Len vo vzorke 17 (obr. 16) majú vlákna chryzotilu tendenciu zhlukovať sa do trieskovitých až štetkovitých útvarov (L. G. Rekšinskaja 1966). Akcesorický lizardit tvorí vločkovité a pre elektróny nepriepustné častice.

Kórky, výplne dislokácií (vzorky 4a, 4b, 5, 14, 20, 22) preukazujú napriek veľmi podobným röntgenometrickým záznamom a termickým krivkám zmesi chryzotilu a lizarditu v rozličnom pomere (obr. 17, 18) morfológicky a opticky značné rozdiely. Serpentiný v tejto skupine majú značnú morfológickú variabilitu a premenlivé optické vlastnosti aj v rámci jednotlivých vzoriek. Prevládajú šupinaté, miestami až doštičkovité serpentíny, zriedkavejšie aj hrubovláknité až jemnovláknité typy.

Tak napr. vzorky 4a a 4b sú podľa röntgenových a DTA analýz rovnaké, ale opticky rozdielne, a to najmä indexmi lomu (1,553 pre N_α a 1,556 pre N_γ pri vzorke 4a a hodnotami $N_\alpha = 1,563$ a $N_\gamma = 1,66$ pri vzorke 4b). Dvojdom prvej vzorky je taký nízky, že sa len málo odlišuje od izotropnej látky, kým vzorka 4b obsahuje aj hrubšie doštičkovité až ihlicovité typy serpentínu s $D = 0,007$. Vlastnosti vzorky 4b sú blízke údajom pre antigoritu. Podľa snímky TEM vo vzorke 4a (obr. 19) prevláda izometricko-tabuľkovitý lizardit s ostrohrannými a zaoblenými kontúrami (priepustný typ). Pozoruhodné sú prizmatické a stuhovité častice s pravouhlým ukončením, ktoré sa podobajú antigoritu. Tenké vlákna chryzotilu sú len ojedinelé. Vo vzorke 4b (obr. 20) prevláda vláknitý chryzotil a zastúpené sú aj lištovito-látkové formy (antigorit?, lizardit?) a len sporadické izometricko-tabuľkovité lizardity. Vlákna chryzotilu v ostatných vzorkách sú veľmi podobné.

Deweylit (vzorka 3). Okrem lizarditu, chryzotilu a antigoritu D. M. Lapmama

(1961) na základe difrakčných záznamov vyčlenil samostatnú skupinu deweylitu. Z podrobného štúdia deweylitu však vyplynulo (G. T. Faust — J. J. Fahey 1962), že predstavuje zmes chryzotilu a lizarditu.

K odlišným záverom dospel V. A. Pugin et al. (1971), ktorý zistil na základe experimentálneho modelovania prechodu serpentínových minerálov za vysokej teploty a tlaku na deweylit. Takému záveru však odporujú zistenia, že sa deweylit často uvádza zo zón hypergenných premien ultramafických telies.

V súlade s klasifikáciou E. J. W. Whittakera — J. Zussmana (1956) obsahuje vzorka z ultramafického telesa pri Sedliciach (deweylit J. Kantora 1955) na základe výsledkov difrakčného štúdia prevažne chryzotil. Výsledok termickej analýzy vylučuje prítomnosť antigoritu celkovým priebehom krivky aj vyšším obsahom vody. DTA krivkou sa podobá ostatným serpentínovým minerálom, len hlavná endotermická reakcia je za nižšej teploty o 50 °C s vrcholom pri 590 °C (obr. 21). Pre deweylit a takto označované serpentínové hmoty sú charakteristické najnižšie indexy lomu medzi serpentínmi. Podľa P. M. Tatarinova et al. (1967) má deweylit $N_\gamma = 1,512$ — $1,529$, $N_\alpha = 1,512$ — $1,528$ a $D = 0,003$. Vzorky od Sedlic majú optické vlastnosti ($N_\gamma = 1,560$, $N_\alpha = 1,552$, $D = 0,008$) blízke hodnotám, aké uvádza J. Kantor (1955). Proti označeniu deweylit aj podľa P. M. Tatarinova et al. (1967) a V. I. Michejeva (1957) svedčí najmä nízky obsah voľnej vody, ktorý je podľa J. Kantora aj našich výsledkov 0,60—0,70 %.

Snímky v TEM potvrdzujú prítomnosť chryzotilu aj lizarditu. Chryzotil tvorí vlákna (obr. 22), lizardit priepustné izometricko-tabuľkovité častice.

Brucit — nemalit (vzorka 30) sa vyskytuje vo vzorke ako zmes s chryzotilom. Brucit je doteraz známy z ultramafických telies mezozoika Západných Karpát len z Jakloviec (J. Zlocha — ústna informácia). Jeho prítomnosť jednoznačne dokázala rtg analýza a termická analýza, pri ktorých sa prejavuje endo-

termickým vrcholom pri 500 °C (obr. 23), vyvolaným dehydratáciou brucitu a premenou na periklas. Premena spôsobuje úbytok hmotnosti stanovený prepočtom na 37 %, kým ostatok pripadá na klinochryzotil identifikovaný elektrónovou difrakciou. Pre vláknitý tvar brucitu a intímne prerastanie s vláknami chryzotilu ho jednoznačne opticky identifikovať nemožno.

Záver

Na základe laboratórneho štúdia 22 vzoriek serpentínových minerálov ultramafických telies mezozoika Vnútorných Západných Karpát sme dospeli k nasledujúcim záverom:

Serpentínovú hmotu rozmanitého sfarbenia, ktorá tvorí výrazne prevládajúcu časť objemu telies ultramafitov, tvorí lizardit a chryzotil vo variabilnom pomere. Ich identifikácia použitými metódami je jednoznačná. Veľkolupenité serpentíny uvádzané v minulosti ako „bastity“ sú z lizarditu alebo zo zmesi lizarditu a chryzotilu. Vlákňité žilné typy serpentínov zodpovedajú chryzotilu, aj keď niekedy sú jeho optické vlastnosti (najmä indexy lomu) atypické. Kórky a výplne dislokácií, sfarbené svetlozelené, pozostávajú z lizarditu, chryzotilu alebo ich zmesí v rozličnom pomere. Deweylit od Sedlíc (J. Kantor 1955) podľa výsledku difraktografickej a diferenciálnej termickej analýzy zodpovedá chryzotilu a podľa snímok v TEM obsahuje aj lizarditu. V telese pri Jaklovciach bol vo

výplni žíl identifikovaný vláknitý brucit (nematit) spolu s klinochryzotilom.

Podľa získaných výsledkov možno horniny ultramafických telies v mezozoiku gemerika (meliatska séria a výskyty severne od voloveckého antiklinória) označiť ako lizarditovo-chryzotilové serpentinity. Antigorit sa tu nezistil. Podľa analógie je výskyt brucitu pravdepodobný aj v serpentinizovaných dunitických polohách ďalších ultramafických telies, a to za podmienky, že hydrotermálna fáza neobsahovala CO₂, lebo inak vzniká magnezit alebo dolomit.

Na základe prítomnosti lizarditu a chryzotilu II. generácie (výplň žiliek a dislokácií) usudzujeme, že tektonické procesy postihujúce ultramafické telesá ešte pred ich konečným umiestnením do súčasnej pozície nepresiahli teplotno-tlakové podmienky vzniku lizarditu a chryzotilu. Prítomnosť takých žiliek a výplní tektonických priestorov spolu so žilkami serpentínov chryzotilového typu („chryzotilový azbest“) svedčia o polyfázovom vzniku minerálneho obsahu ultramafických telies danej pozície.

Výsledky laboratórneho štúdia potvrdili, že identifikácia serpentínových minerálov len vo výbrusoch v polarizačnom mikroskope je nedostatočná, pretože ich morfológia je veľmi variabilná, a preto nemôže byť odlišovacím znakom. Ich identifikácia má význam nielen pre genézu ultramafických telies, ale aj z hľadiska azbestových surovín. Identifikácia musí byť komplexná a je nevyhnutné využívať najmä fyzikálno-chemické metódy.

AKTUALITA

Niekoľko hydrogeologických poznatkov z kryštalinika Nizkých Tatier

VLADIMÍR DOVINA

Horninový masív kryštalinika sa všeobecne charakterizuje ako nízkozvodnený. Podrobnejšou analýzou hydrogeologických pomerov v závislosti od geologicko-tektonickej stavby možno vo zvodnení kryštalinika vidieť istú základnú diferenciáciu. Priaznivejšie podmienky na obeh a akumuláciu podzemnej vody sú v granitoidných horninách. Hydrogeologicky sú významné najmä niektoré oblasti tektonického porušenia horninového masívu umožňujúce v podmienkach zvýšenej puklinovej prie-