

Nonna BAKUN-CZUBAROW¹, Witold SMULIKOWSKI¹

SERPENTINITE STOCK SOUTH OF NIEDAMIRÓW - LASOCKI RANGE, SUDETES, COMPARED WITH OTHER CIRCUM-KARKONOSZE ULTRAMAFIC BODIES²

Pień serpentynitowy na południe od Niedamirowa,
Grzbiet Lasocki, Sudety, na tle innych wokółkarkonoskich
ultramafitów

Abstract. Newly discovered serpentinite occurring in the Lasocki Range south of Niedamirów village is built up of abundant serpentine, often as pseudomorphs after olivine, chlorite and tremolite but there are also preserved relics of chromium diopside, titanian pargasitic hornblende and Mn-rich ilmenite. Thus the protolith of the serpentinite was most likely an ilmenite-bearing clinopyroxene-hornblende peridotite. On the basis of mineral chemistry and overall chemical composition it may be concluded that the protolith intruded from the metasomatically altered lithospheric mantle. It intruded probably along deep faults. The age of the intrusion is not known. By analogy to the hornblende-peridotite of Janowice Wielkie it may be supposed that it intruded after the late Variscan Karkonosze granite (304 - 327 Ma). The comparison of chemical composition of the investigated rock and five other circum-Karkonosze ultramafic bodies with primitive mantle and trends of its differentiation makes possible to put forward the hypothesis that at the time preceding the intrusions of ultramafics the Karkonosze - Izera region was underlain by anomalous mantle enriched in fluids, Al, Fe, Ti and other incompatible elements, i. e. that beneath the discussed region there was an area corresponding to an ancient hot spot.

Key words: Serpentinite, mineral chemistry, bulk major and trace elements, E Karkonosze, Sudetes, Poland.

Abstrakt. Nowo odkryty serpentynit zbudowany jest w znacznej mierze z serpentynu tworzącego pseudomorfozy po oliwinie, chlorytu i tremolitu. Pierwotne minerały zachowane są w formie reliktyw. Są nimi diopsyd chromowy, tytanowa pargasytowa hornblenda i bogaty w mangan ilmenit. Protolitem serpentynitu był

¹ Institute of Geological Sciences Polish Academy of Sciences,
Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa, Poland.

² Manuscript received 16 April 1992, accepted 8 June 1992.

najprawdopodobniej ilmenitonośny klinopiroksenowo-hornblendowy perydotyt. Na podstawie składu chemicznego minerałów i całej skały sądzić można, że protolit pochodzi z metasomatycznie zmienionego litosferycznego płaszczka Ziemi, znacznie wzbogaconego we fluidey, Al, Fe, Ti i inne pierwiastki niekompatybilne. Protolit ten intrudował przypuszczalnie wzdłuż linii przecięcia głębokich uskoku. Wiek intruzji nie jest znany, aczkolwiek poprzez analogię do hornblendowego perydotytu Janowic Wielkich można sądzić, że ultrabazyt Niedamirowa intrudował po waryscyjskim granicie Karkonoszy (304 - 327 mln lat). Porównanie składu chemicznego serpentynitu Niedamirowa i pięciu innych ciał ultramaficznych występujących wokół masywu Karkonoszy ze składem niezróżnicowanego płaszczka Ziemi i kierunkami jego dyferencjacji pozwoliło wysunąć hipotezę, że w czasie poprzedzającym intruzje ultramafitów pod regionem karkonosko-izerskim znajdował się diapir płaszczka Ziemi o podwyższonej temperaturze ("hot spot").

CONTENTS

General information	67
Petrography	69
Estimated primary modal composition	75
Mineral chemistry	75
Bulk chemical composition of the rocks, major and trace elements	77
Concluding remarks	82
Acknowledgements	86
References	86
Streszczenie	88

GENERAL INFORMATION

In Lasocki Range in its southernmost part of the Polish territory, just near the Czech border South of Niedamirów village the serpentinite occurs (Fig. 1). In the uppermost part of the valley of a small stream being the most southwestern tributary on the Polish territory of the Bober river, at the altitude of about 800 meters large number of serpentinite blocks were observed. The outcrops of serpentinite were not found but taking into account the fact that the highest blocks appear very close to the flat area of the top of the hill they are probably almost "in situ". The distribution of the blocks in a narrow zone along the stream bed suggests a small size of the serpentinite body being probably a kind of small stock, not bigger than a few tens of meters across.

This occurrence of serpentinite was mentioned neither in German nor Polish nor Czech literature, it was noticed however by late Mr. Paweł Madej (unpublished M. Sc. thesis of Wrocław University).

According to J. Szałamacha (1957 and 1969) in the nearest vicinity of the serpentinite greenstones are present. A few hundred meters West the same rocks are called by M. Szałamacha (1958 and 1968) "greenstones passing into amphibolites" which belong to Niedamirów Series (equal to Czarnów Schists Formation of Teisseyre 1973) of lower Paleozoic age.

The present authors noticed in the outcrops near the serpentinite distinctly schistose greenschists and more "massive" greenstones (compare Smulikowski 1992) consisting mainly of albite, quartz, chlorite, epidote and calcite. Other rocks outcropping there which might be called amphibolites consist mainly of actinolite rimmed with actinolitic hornblende, albite and epidote. The rocks show various degree of cataclastic deformations and related to them increasing content of chlorite and quartz. In some of the amphibole containing rocks small bits being most probably relics of bigger grains of light blue to pink under the microscope alkali amphiboles corresponding most probably to crossite were seen. Their presence in the rocks was mentioned by M. Szałamacha (1968) and J. Szałamacha (1969). Alkali amphiboles in the near vicinity were confirmed by the electron probe analysis (Smulikowski 1991).

No rocks bearing symptoms of any kind of contact metamorphism were found in the vicinity neither in outcrops nor in blocks. This may indicate that the ultramafic body was relatively cool when intruding. Berg (1912 and 1940) on his map distinguished a wedge shaped area, at the locality of serpentinite and West of it, built up of sericite phylites. Rocks of this kind were not seen on the Polish side of the border by the present authors.

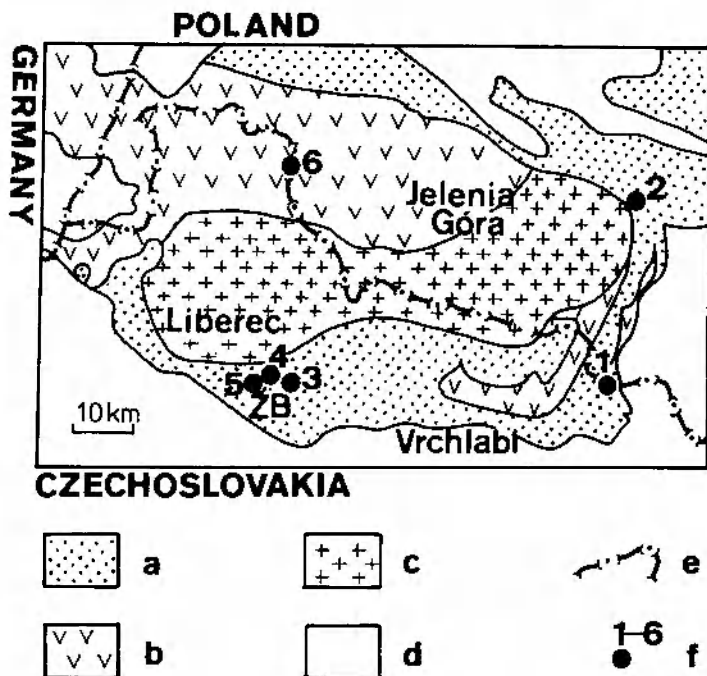


Fig. 1. Geological sketch map of Karkonosze-Izera block and surrounding units (according to Smulikowski, 1990). *a* – metasediments and metavolcanics; *b* – gneisses, migmatites and older granitoids (Lausation); *c* – Variscan granites; *d* – other formations, mainly younger than Silurian; *e* – state boundary; *f* – localities of ultrabasic rocks: 1 – Niedamirów, 2 – Janowice Wielkie, 3 – Radčice, 4 – Alšovice, 5 – Kličnov, 6 – Nove Mesto, ZB – Železny Brod

Szkic geologiczny bloku karkonosko-izerskiego i jednostek przyległych (wg Smulikowskiego, 1990). *a* – zmetamorfizowane osady i wulkanity; *b* – gnejsy; migmatyty i starsze granitoidy (łużyckie); *c* – granity waryscyjskie; *d* – inne zespoły skał, w większości młodszych od syluru; *e* – granice państw; *f* – miejsc występowania skał ultrazasadowych: 1 – Niedamirów, 2 – Janowice Wielkie, 3 – Radčice, 4 – Alšovice, 5 – Kličnov, 6 – Nové Město, ZB – Železny Brod

In the Polish part of the Karkonosze-Izera block, in the close vicinity of Karkonosze granite and near the Inner Sudetic Fault there occurs another ultrabasic body – the hornblende – peridotite pipe of Janowice Wielkie (Tesseyre 1966).

Moreover, on the Czech side of the border, in surroundings of Karkonosze pluton, other four small ultrabasic bodies have been recognized and investigated (Fediuk 1971). Three of them (Radčice, Alšovice and Kličnov) outcrop south of the pluton within metasedimentary – metavolcanic series, whereas the last one (Nové Město) outcrops north of the pluton within the Izera gneisses. These ultrabasites have

been viewed upon as gabbroic magma differentiates of wehrlitic composition, which later underwent processes of serpentization, chloritization and amphibolization.

The age of the ultrabasic intrusions have not been directly determined. In the case of Niedamirów intrusion all which is known is that it is younger than the surrounding greenstones and greenschists which constitute most probably the southern extension of the Leszczyńiec Volcanic Formation and which are considered by Täšler (1990) as Cambrian. The intrusion is also younger than all the stages of metamorphism.

In the case of hornblende peridotite of Janowice Wielkie it can be supposed that the intrusion took place after the late Variscan Karkonosze granite intrusion (304 Ma – Przewłocki *et al.* 1961; 327 Ma – Pin *et al.* 1987; 309 - 329 Ma – Duthou *et al.* 1991, i.e. lowermost Upper Carboniferous). The peridotite contains up to 15 vol per cent of serpentine (Teisseyre 1966). It is located within biotite - clinopyroxene amphibolites (Teisseyre 1968) belonging to Czarnów Schist Formation of Ordovician - Silurian age (Teisseyre 1971), close (ca. 50 - 100m) to the contact with the granite. In amphibolites the following minerals: clinopyroxene, intermediate plagioclase and probably also biotite may be considered as the results of contact metamorphism. If the serpentized hornblende peridotite was affected by the same contact metamorphism some dehydration reactions would have happened. The absence of minerals being effects of such reactions indicates that the peridotite intruded there later, than the granite intrusion took place.

The hornblende peridotite intrusion seems to be related to the Inner Sudetic Fault which is a major dislocation in its nearest (200 - 250 m) vicinity (Teisseyre 1966) and which was reactivated several times in the geological history.

By analogy to hornblende peridotite of Janowice Wielkie the serpentinite S of Niedamirów should be considered as post lowermost Upper Carboniferous intrusion that is related to dislocations being as deep as the Main Inner Sudetic Fault itself.

PETROGRAPHY

TEXTURE

Serpentinite in question is the dark grey medium to coarse grained rock (medium grained: 1 - 4 mm, coarse grained: 4 - 16 mm). Only the weathered surface may appear somewhat greenish. The texture is massive and non directional, showing the complicated relationships of primary and secondary minerals and various quantitative proportions

of them. It may be qualified as mixed texture partly pseudomorph. Wicks *et al.* (1977b) used for it the term "intermediate texture". The well preserved pseudomorphs after olivine coexist with the "interlocking texture" of the rest of the rock.

In their fundamental work on serpentinite textures Wicks *et al.* (*op. cit.*) using among the other methods the micro beam X-ray diffraction camera for "*in situ*" studies found that most of the pseudomorph textures, including mesh textures after olivine and bastites after pyroxene and amphibole, are built up of lizardite but antigorite and chrysotile may also be present. The non pseudomorph textures consisting of α -serpentine are mainly lizardite while these of γ -serpentine are variable, most often antigorite but chrysotile and lizardite are also common.

The distinction of antigorite, chrysotile and lizardite under the microscope is not reliable or actually impossible. In the present study no attempt of this kind was made. The data on morphology, α or γ elongation and parallel or oblique extinction of light of serpentine are given. Electron probe analyses of serpentine as well as of all the other primary and secondary minerals of the Niedamirów serpentinite are given in tables 1 and 2.

SERPENTINE

A large proportion of the rock is built up of serpentine pseudomorphs after olivine showing the shape of former olivine grains and a mesh texture (Pl. I, 1, 2). The olivine relics were never observed. The serpentine blades forming the fine veins of the mesh show slightly oblique extinction and γ -elongation. In the "holes" between the veins fine unoriented or slightly oriented serpentine aggregates are present. Hourglass textures (Pl. I, 3) are only sometimes observed. Such textures according to Wicks *et al.* (1977a) are typical of serpentine replacing olivine.

Another variety of serpentine is present in small quantities associated with amphibole and possibly also rarely with clinopyroxene. The system of fine parallel blades or needles is developed oblique to {110} cleavage planes of amphibole or clinopyroxene (Pl. I, 3, 4). This serpentine shows parallel extinction and γ -elongation. When the process of replacement of the primary mineral is advanced it is easy to imagine that it leads to the formation of bastite. It is however interesting that the replacement does not follow the existing cleavage planes.

There are some other parts of the rock built up of serpentine which do not clearly belong to any pseudomorphs and for which the term interlocking texture may be applied. They could have originated from clinopyroxene or amphibole of which grains irregular in shape are still

Table (Tabela) 1

Electron probe analyses (weight per cent) and formulae of primary minerals of Niedamirów serpentinites
 Analizy wykonane w mikroobszarze (% wag.) i wzory krystalochemiczne minerałów pierwotnych serpentynitów Niedamirowa

Mineral	Clinopyroxene	Hornblende		Ilmenite	
Sample No.	353a	353a	354v	353a	354v
SiO ₂	52.74	44.28	44.86	0.19	0.05
TiO ₂	0.26	4.19	4.94	53.28	52.11
Al ₂ O ₃	1.74	9.58	8.91	0.37	0.23
Cr ₂ O ₃	0.51	0.47	1.00	0.04	0.02
FeO*	4.31	8.05	6.89	38.88	41.01
MnO	0.03	0.08	0.13	5.59	6.11
MgO	17.81	15.55	16.40	0.36	0.22
CaO	21.08	11.64	11.32	0.00	0.08
Na ₂ O	0.31	2.67	2.93		
K ₂ O	0.01	0.69	0.29		
Total	98.80	97.20	97.67	98.71	99.83
	6 (0)	23 (0)		3 (0)	
Si	1.940	6.452	6.466	0.005	0.001
Al ^{IV}	0.060	1.548	1.514	0.011	0.007
Al ^{VI}	0.015	0.098	0.000		
Ti	0.007	0.459	0.536	1.021	0.987
Cr	0.015	0.054	0.114	0.001	0.000
Fe ³⁺	0.039			0.000	0.016
Fe ²⁺	0.081	0.981	0.831	0.828	0.848
Mn	0.001	0.010	0.016	0.121	0.130
Mg	0.843	3.378	3.524	0.014	0.008
Fe ²⁺	0.013	0.000	0.000		
Mg	0.134				
Ca	0.831	1.817	1.748		
Na	0.022	0.223	0.252		
K	0.000				
Na		0.532	0.567		
K		0.128	0.053		

* Total Fe as Fe²⁺ (Analysed by dr. K. Sikorski, in Institute of Material Science, Technical University, Warsaw.

* Fe całkowite jako Fe²⁺ (Analizy wykonał dr K. Sikorski w Instytucie Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej)

Table (Tabela) 2

Electron probe analyses (in weight per cent) and formulae of secondary minerals
 Analizy wykonane w mikroobszarze (% wag.) i wzory krystalochemiczne minerałów wtórnych

Mineral Sample No.	Serpentine		Chlorite		Tremolite			Sphene
	353a	354v	353a	354v	353a ₁	353a ₂	354v	354v
SiO ₂	41.78	41.66	32.89	32.32	59.17	58.35	56.84	30.36
TiO ₂	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	38.93
Al ₂ O ₃	1.15	2.69	14.40	14.23	0.06	0.01	0.12	0.26
Cr ₂ O ₃	0.06	0.08	0.02	0.11	nd	nd	nd	0.06
FeO*	9.71	11.01	8.47	10.06	3.57	3.51	3.36	0.72
MnO	0.22	0.27	0.10	0.11	0.16	0.13	0.13	0.01
MgO	33.65	32.39	30.30	29.72	22.09	22.33	21.26	-
CaO	0.03	0.04	0.02	0.06	13.17	13.74	13.52	28.65
Na ₂ O	0.15	0.00	0.10	0.02	0.27	0.06	0.06	0.02
K ₂ O	0.02	0.01	0.15	0.09	0.04	0.07	0.05	0.01
Total	86.78	88.16	86.46	86.73	98.55	98.21	95.35	99.05
	7 (0)		28 (0)		23 (0)			18 (0)
Si	2.027	1.999	6.403	6.335	8.057	7.994	8.016	3.617
Al ^{IV}	-	0.001	1.597	1.665	-	0.006	-	
Al ^{VI}	0.066	0.151	1.707	1.623	0.010	-	0.020	0.037
Ti	0.001	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	3.487
Cr	0.003	0.004	0.004	0.017				0.006
Fe	0.395	0.442	1.380	1.650	0.407	0.402	0.396	0.072
Mn	0.010	0.011	0.017	0.018	0.018	0.015	0.016	0.002
Mg	2.433	2.316	8.794	8.680	4.483	4.559	4.468	-
Ca	0.003	0.003	0.005	0.014	1.921	2.017	2.043	3.655
Na	0.015	0.000	0.039	0.008	0.071	0.016	0.016	0.006
K	0.002	0.001	0.038	0.023	0.007	0.012	0.009	0.003

* Total Fe as Fe²⁺ (Analysed by dr. K. Sikorski, in Institute of Material Science, Technical University, Warsaw); nd – not determined.

* Fe całkowite jako Fe²⁺ (Analizy wykonał dr. K. Sikorski w Instytucie Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej); nd – nie oznaczono

preserved in some places. It cannot be excluded that some serpentine originated also from chlorite which had previously replaced clinopyroxenes and amphiboles.

CHLORITE

The distinction between serpentine and chlorite under the microscope in the serpentinite of Niedamirów is not always easy. Both minerals are light green in one polarizer and serpentine often shows very low interference colors. When analysed the content of Al provides the identification (Table 2). Bigger plates of chlorite show distinct pleochroism from light green (parallel to cleavage) to light brownish yellow. The birefringence is low and subnormal interference colors are bluish sometimes olive.

It seems very probable that chlorite aggregates associated with tremolite are the results of replacement of primary amphibole and clinopyroxene. The only known primary mineral which contains considerable amount of Al is amphibole (pargasitic close to edenitic hornblende). Hornblende when decomposing could provide Al for the formation of chlorite and some examples of such replacement were observed.

Fine grained, light green in one polarizer aggregates showing very low subnormal olive-grey interference colors consist of chlorite, which was confirmed by the electron probe. The shape of the aggregates in most cases correspond to the interstices between the former olivine grains presently consisting of serpentine (Pl. I, 1). In the sample 239c this chlorite rich aggregate forms pseudomorphs showing the shape of short prisms most likely after pyroxene. On the other hand in the samples where clinopyroxene relics are present the relics are not associated with this kind of aggregate. They tend to be surrounded by chlorite of bigger plates and showing bluish subnormal colors.

AMPHIBOLES

Amphiboles in the serpentinite are represented by two major varieties: primary light brown in the thin section Ti-rich pargasitic close to edenitic hornblende (Table 1 and Fig. 2) and tremolite (Table 2).

Primary hornblende shows big very irregular in shape and strongly corroded grains (Pl. I, 4) which originally were still bigger but later were partly replaced by secondary minerals during the process of serpentinitization of the rock. Only seldom small hornblende prisms were observed.

The unaltered or the least altered parts of the grains are distinctly pleochroic $\gamma = \beta$ - light brown, α - colorless, $Z/\gamma = 16 - 18^\circ$. In many places some usually external parts of the hornblende grains are pale yellow instead of brown and sometimes almost colorless. Optical features of these parts are close to tremolite and the composition is transitional between hornblende and tremolite. This is the result of the

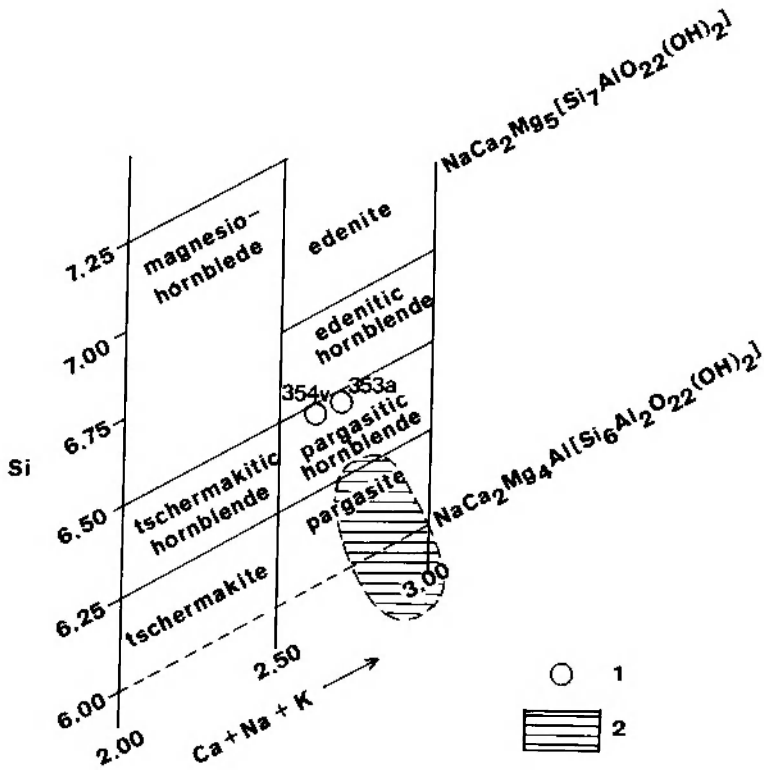


Fig. 2. Composition of the primary amphiboles from the Niedamirow serpentinites in the diagram of amphibole classification in terms of Si and Ca + Na + K, compared with amphiboles from primitive mantle-derived peridotites. 1 – pargasitic hornblende from Niedamirow serpentinites; 2 – compositional field of the amphiboles from the primitive Zabargad and St. Paul peridotites, according to Bonatti *et al.* (1986)

Amfibole pierwotne z serpentynitów Niedamirowa na diagramie klasyfikacyjnym amfiboli w układzie współrzędnych Si i Ca + Na + K w porównaniu z amfibolami z perydotytów pochodzących z nieodróżnicowanego płaszczka Ziemi. 1 – hornblenda pargasytowa z serpentynitów Niedamirowa; 2 – pole zmienności amfiboli z perydotytów wysp Zabargad i St. Paul, reprezentujących nieodróżnicowany płaszcz Ziemi, wg Bonatti'ego *et al.* (1986)

continuous change of the composition from hornblende towards tremolite within the same amphibole grain.

Tremolite is present in the rock either as big grains formed together with hornblende, as described above, or as separate colorless aggregates. The aggregates consist usually of fine prisms, sometimes bigger prisms are also present. They are colorless, show high birefringence and Z/γ angle about 18° .

CLINOPYROXENE

Chromium diopside (Table 1) is less frequently observed in the rock than hornblende but also forms quite big grains which are irregular in shape and obviously of relic character (Pl. I, 3). They are always partly replaced by chlorite and tremolite associated also with serpentine but only in one sample chlorite pseudomorphs were observed. Neither the chloritization nor the serpentinization predominantly follow the cleavage planes of clinopyroxenes which is usually the case in serpentinites. Its optical data correspond to diopside: $2V_{\gamma}$ - small, $Z/\gamma = 38^{\circ}$.

ACCESSORY MINERALS

Ilmenite (Table 1) grains do not show any morphological features which can differentiate them from *magnetite*, which is also commonly present in the rock. Ilmenite is considered as the primary mineral. *Sphene* (Table 2) is present in most of the examined samples. It forms grains of varying size. In a few cases it was noticed as small grains in chlorite - serpentine with some tremolite mixed aggregates, which originated after hornblende.

ESTIMATED PRIMARY MODAL COMPOSITION

At the present stage of the serpentinization and chloritization it is difficult to assess the quantitative proportions of primary minerals of the ultramafic rock which was the protolith of the serpentinite in question. On the basis of the observed pseudomorphs it seems however that at least half or more of the original rock was built up of olivine while the other half consisted of hornblende, diopside and some ilmenite. It should be taken into account that hornblende could have been preserved a little better than clinopyroxene in the hydrous low grade conditions of the serpentinization and that the original proportion of pyroxene in relation to hornblende was higher than now. The adequate rock name of the protolith would be clinopyroxene-hornblende peridotite (Smulikowski 1975; Le Maitre 1989).

MINERAL CHEMISTRY

Minerals of two samples of the serpentinite were analysed by dr K. Sikorski and his team in the Institute of Material Science of the Technical University of Warsaw. Mineral analyses were carried out on the Jeol JXA 3A electron probe microanalyser with two WDS spectrometers. The following standards: wollastonite for Si and Ca, corundum for Al, olivine for Mg and Fe, jadeite for Na, orthoclase for K as well as metallic Ti, Mn and Cr were applied. Oxide values were cal-

culated using ZAF corrections. The compositions reported are averages of two spot analyses.

Analyses of primary minerals are given in table 1, whereas compositions of secondary minerals i.e. serpentine, chlorite, tremolite and sphene are shown in table 2.

PRIMARY MINERALS

Clinopyroxene is classified as chromium diopside with relatively low Al_2O_3 content and in this respect it does not differ considerably from common clinopyroxenes of the upper mantle peridotites of the alpine type (Bonatti *et al.* 1986). In the diopside aluminum occupies mainly tetrahedral positions. The discussed mineral is also characterized by relatively high value of *mg* 0.9 (atomic ratio of $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$) and by low contents of Na and Ti that are characteristic of clinopyroxenes from the depleted mantle material. The content of Cr in the diopside is a little lower than that in clinopyroxenes from primitive mantle peridotites, i.e. from spinel lherzolites of Zabargad (Bonatti *et al. op. cit.*) and from pyrope lherzolites of Sowie Mountains (Bakun-Czubarow 1983). The low Na content in the diopside can be attributed to one of the following processes: 1 - the transfer of this element from clinopyroxene to plagioclase with decreasing pressure, 2 - the extraction of Na from solids during partial melting, 3 - the extraction of Na from clinopyroxene during reaction that takes place between small fraction of melt and the peridotite.

Primary amphibole – light brown hornblende was analysed in these parts of the grains where the brown coloration was the most intense. It is not known however whether or to what extent the composition of the primary amphibole of the protolith was affected by the later metamorphism-serpentinization which was changing the composition of amphibole from more pargasitic varieties towards the tremolite. The composition of hornblende is presented on the graph (Fig. 2). The primary amphibole of the Niedamirów serpentinite is the titanian pargasitic, close to edenitic hornblende, sometimes even transitional to kaersutite (Leake 1978) it is therefore close to amphiboles present in the peridotites of primitive upper mantle.

Ilmenite containing 12 molar per cent of pirophanite and only 1 mol. per cent of geikielite crystallized most probably under the relatively low pressure.

SECONDARY MINERALS

The *mg* parameter of the analyzed **serpentines** (Table 2) equals 0.84 - 0.86. These minerals are chromium-poor (0.003 - 0.004 p.f.u.),

whereas octahedral aluminum is the common minor component in them.

The analyzed true **chlorites**, belonging to the penninite group do not differ from serpentines as far as the value of *mg* parameter is concerned (0.84 - 0.86, cf. Table 2). These minerals are poor in Cr and Mn. In the chlorites in question aluminum is almost equally partitioned between tetrahedral and octahedral sites (1.6 - 1.7 p.f.u.).

Secondary amphiboles – tremolites display relatively high value of *mg* number (0.92). Al, Ti, Mn and alkalies are present in tremolites in trace quantities only.

BULK CHEMICAL COMPOSITION OF THE ROCKS, MAJOR AND TRACE ELEMENTS

MAJOR ELEMENTS

Major element chemical compositions of the three samples of Niedamirów serpentinite as compared to the other ultrabasites of the Karkonosze-Izera region are given in table 3, where they are expressed in weight- and cationic per cents and CIPW normative minerals as well. As to the major element contents the Niedamirów serpentinites are not distinctly differentiated. As compared to other circum-Karkonosze ultrabasites the Niedamirów rocks are distinctly enriched in Al only. This enrichment is expressed in the presence of corundum among the CIPW normative minerals of the Niedamirów samples. All the discussed rocks compared with the primitive mantle abundances are distinctly enriched in Al, Fe, Ti and depleted in Mg (Tables 3 and 4).

TRACE ELEMENTS

Trace elements of the Niedamirów serpentinites are compared (Table 5) with the abundances of these elements in the Janowice Wielkie hornblende peridotite as well as with their contents in primitive Earth's mantle according to Sun (1982). The ultrabasites of Niedamirów and Janowice Wielkie are distinctly enriched in Ti and to a lesser degree in Mn, but impoverished in Ni as compared to the primitive mantle material. Vanadium behaves differently in ultrabasic rocks of the both discussed localities; the Niedamirów serpentinites are impoverished whereas peridotite of Janowice Wielkie – distinctly enriched in V. Although Cu is unevenly distributed among the studied samples of ultrabasites, all the rocks in question are Cu-richer than primitive mantle. Moreover the Niedamirów serpentinites are slightly richer in Ba as compared with the peridotite of Janowice Wielkie and primitive mantle as well.

Table (Tabela) 3

Chemical composition in weight per cent of oxides, in cation per cent and CIPW norms of Niedamirów serpentinites and other ultramafic rocks of the Karkonosze-Izera region

Skład chemiczny wyrażony w procentach wagowych tlenków i w procentach kationowych oraz normy CIPW serpentynitów Niedamirowa i innych ultramafitów regionu karkonosko-izerskiego

	1			2	3	4	5	6
	353a	354u	354v					
SiO ₂	38.27	37.96	38.54	42.76	39.08	38.08	38.11	40.22
TiO ₂	0.65	0.52	0.65	0.75	1.06	0.77	0.70	1.25
Al ₂ O ₃	7.05	7.15	7.57	6.15	5.05	4.09	4.14	5.12
Cr ₂ O ₃	0.38	0.58	0.58	0.44*	nd	nd	nd	nd
Fe ₂ O ₃	7.50	6.90	7.70	8.81	7.65	8.45	9.07	9.14
FeO	5.25	4.75	5.30	2.73	7.30	7.02	7.29	7.27
MnO	0.24	0.54	0.25	0.20	0.19	0.22	0.18	0.19
MgO	27.07	27.34	25.49	28.82	25.95	28.05	27.56	24.38
CaO	3.02	3.79	3.20	5.20	4.06	3.08	2.49	4.28
Na ₂ O	0.15	0.13	0.13	1.70	0.13	0.19	0.08	1.09
K ₂ O	0.10	0.10	0.10	0.61	0.12	0.23	0.06	0.59
P ₂ O ₅	0.04	0.05	0.02	0.17	0.22	0.08	0.15	0.14
CO ₂	0.36	0.58	0.36	tr	nd	nd	nd	nd
H ₂ O ⁺	9.00	9.18	8.76	2.29	8.04	9.34	9.45	6.04
H ₂ O ⁻	0.76	0.50	0.85	0.09	0.82	0.82	0.97	0.24
Total	99.84	100.07	99.50	100.72	99.67	100.42	100.25	99.95
cationic % %								
Si	37.66	37.19	38.29	37.97	38.58	37.45	37.90	38.63
Ti	0.48	0.38	0.49	0.50	0.79	0.57	0.52	0.90
Al	8.18	8.26	8.86	6.44	5.88	4.74	4.85	5.80
Cr	0.30	0.45	0.46	0.31				
Fe ³⁺	5.55	5.04	5.73	5.88	5.67	6.27	6.78	6.63
Fe ²⁺	4.33	3.94	4.43	2.03	6.04	5.76	6.06	5.81
Mn	0.20	0.45	0.21	0.15	0.16	0.18	0.15	0.15
Mg	39.71	39.94	37.75	38.15	38.19	41.13	40.85	34.91
Ca	3.18	3.98	3.41	4.95	4.29	3.25	2.65	4.40
Na	0.29	0.25	0.25	2.93	0.25	0.36	0.15	2.03
K	0.13	0.13	0.13	0.69	0.15	0.29	0.08	0.72
mg	0.80	0.82	0.79	0.83	0.77	0.77	0.76	0.74
CIPW normative minerals								
or	0.7	0.7	0.6	3.6	0.8	1.5	0.4	3.7
ab	1.3	1.1	1.2	15.2	1.2	1.7	0.8	9.9

Table 3 continued

	1			2	3	4	5	6
	353a	354u	354v					
an	16.4	20.7	17.7	7.3	14.2	10.8	12.0	7.8
pl	17.7	21.8	18.9	22.5	15.4	12.5	12.8	17.7
C	1.5	0.1	1.7					
di				14.0	5.0	4.4		10.8
en	35.9	28.0	40.0		33.6	28.9	39.0	17.4
fs	1.5	1.5	1.7		3.3	2.2	2.9	1.3
hy	37.4	29.5	41.7		36.9	31.1	41.9	18.7
fo	27.5	33.4	22.0	46.9	24.6	32.7	26.3	29.9
fa	1.1	1.8	0.9		2.4	2.5	2.0	2.2
ol	28.6	35.2	22.9	46.9	27.0	35.2	28.3	32.1
mt	12.6	11.4	12.7	12.2	12.2	13.6	14.6	14.1
il	1.4	1.1	1.4	0.3	2.2	1.6	1.5	2.5
ap	0.1	0.1	0.1	0.4	0.5	0.2	0.5	0.4

1 - Niedamirów; 2 - Janowice Wielkie; 3 - Radcice; 4 - Alšovice; 5 - Klicnov; 6 - Nové Mesto

1 - analyzed in Katowice Geological Company; 2 - according to Pendias and Maciejewski (1959); 3 - 6 - according to Fediuk (1971); * - determined by the authors; tr - traces; nd - not determined

1 - analizy wykonano w Katowickim Przedsiębiorstwie Geologicznym; 2 - wg Pendiasa i Maciejewskiego (1959); 3 - 6 - wg Fediuka (1971); * - oznaczenie autorów; tr - ślad; nd - nie oznaczono

The period IV trace transition metal abundances were used for petrogenetical investigations of the Niedamirów serpentinites by means of the two discrimination diagrams. First of them, the Ti versus Cr diagram (Fig. 3) was previously applied for the other Sudetic ultra-basic rocks (Narewski *et al.* 1982; Bakun-Czubarow 1989). In the diagram three Niedamirów serpentinites plot together with the Janowice Wielkie hornblende peridotite into the elongated field of the hornblende peridotites from Bielice, that vary largely in Cr content. All the discussed rocks are enriched in Ti as compared with peridotites resembling the primitive mantle material or even more so when compared with residual harzburgites, which are distinctly impoverished in incompatible elements. Thus most likely the protolith for the Niedamirów serpentinite came from the upper mantle region that was strongly enriched in incompatible elements. The second of the above mentioned discrimination diagrams (Fig. 4) gives the comparison of the enrichment factors for the analytical data comprised in table 5 as

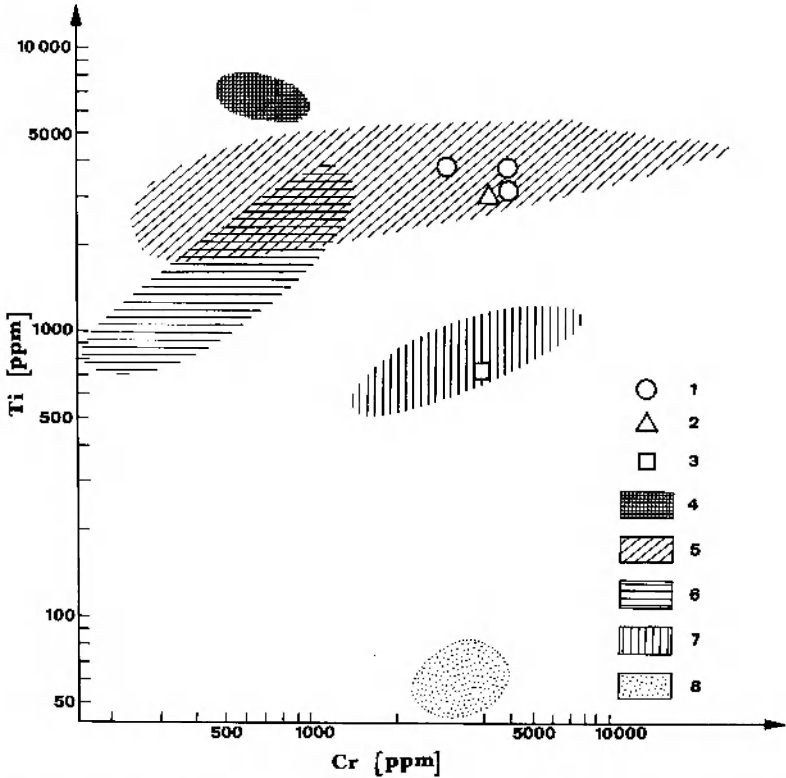


Fig. 3. Ti versus Cr discrimination diagram for the Sudetic ultramafic rocks. 1 – Niedamirow serpentinites; 2 – hornblende peridotite from Janowice Wielkie; 3 – average for the Middle-European garnetiferous lherzolites, after Rost and Grigel (1969); 4 – compositional field of amphibole-rich metamorphic ultramafic rocks from Lutynia; 5 – field of hornblende peridotites from Bielice; 6 – field of the Bielice hornblendites; 7 – field of garnet lherzolites and websterites occurring within the Sowie Mountains granulites, representing the chemical composition close to that of the primitive mantle; 8 – field of the residual harzburgites of Sowie Mountains which are poor in incompatible elements

Ultramafity sudeckie na diagramie dyskryminacyjnym Ti-Cr. 1 – serpentyny Niedamirowa; 2 – perydotyt hornblendowy z Janowic Wielkich; 3 – średnia ze środkowoeuropejskich lherzolitów granatonośnych wg Rosta i Grigela (1969); 4 – pole zmienności bogatych w amfibole metamorficznych ultramafitów z Lutyni; 5 – pole perydotytów hornblendowych z Bielice; 6 – pole hornblendytów z Bielice; 7 – pole granatonośnych lherzolitów i websterytów z granulitów Gór Sowich, o składzie chemicznym zbliżonym do niezróżnicowanego płaszczu Ziemi; 8 – pole rezydualnych harzburgitów z Gór Sowich, zubożonych w pierwiastki niekompatybilne

far as five period IV transition metals: Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co and Ni normalized to the C1 carbonaceous chondrite values are concerned. Ti on one hand and V, Co and Ni on the other hand are the elements which in the Niedamirow serpentinites deviate mostly from chondrite

Table (Tabela) 4

Comparison of chemical composition of Niedamirów serpentinites with primitive mantle-derived and residual peridotites (major elements in cation per cent)

Porównanie składu chemicznego serpentynitów Niedamirowa z perydotytami pochodzącymi z nieodróżnicowanego płaszczu Ziemi oraz z perydotytem rezydualnym (pierwiastki główne wyrażone w procentach kationowych)

	1	2	3	4	5
Si	37.9	38.1	38.5	38.2	36.2
Ti	0.5	0.1	0.1	0.1	0.0
Al	8.4	3.9	3.3	4.5	1.1
Fe _{tot}	9.6	6.0	5.7	6.0	5.7
Mn	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1
Mg	39.4	48.3	48.5	47.2	55.9
Ca	3.5	2.9	2.8	3.3	1.0
Na	0.3	0.6	0.7	0.6	0.0
K	0.1	0.0	0.3	0.0	0.0
mg	80.4	89.0	89.5	88.7	90.7
Mg/Si	1.04	1.27	1.26	1.24	1.54
Ca/Al	0.42	0.74	0.85	0.73	0.91

mg = 100 [Mg/(Mg + Fe_{tot})] atomic ratio;

1 – average for 3 samples of Niedamirów serpentinites; 2 – average for 5 samples of Zabargad protogranular spinel lherzolites, according to Bonatti *et al.* (1986); 3 – average pyrolite according to Ringwood (1979); 4 – primitive mantle according to McDonough (1990); 5 – residual abyssal peridotite according to Dick and Fischer (1984)

mg = 100 [Mg/(Mg + Fe_{tot})] atomowo;

1 – średnia z 3 próbek serpentynitów Niedamirowa; 2 – średnia z 5 próbek protogranularnych lherzolitów spinelowych z wyspy Zabargad wg Bonatti'ego *et al.* (1986); 3 – średni pirolit wg Ringwooda (1979); 4 – pierwotny, nieodróżnicowany płaszcz Ziemi wg McDonough'a (1990); 5 – rezydualny perydotyt abysalny wg Dicka i Fischera (1984)

compositions. The distribution pattern of period IV. transition metals for Niedamirów serpentinites differs distinctly from that of primitive continental mantle, whereas the analogous pattern of hornblende peridotite of Janowice Wielkie approaches it more closely. The discussed rocks of Niedamirów are enriched in Ti and Mn and impoverished in V, Co and Ni as compared to undepleted mantle. The depletion of ultrabasites from the both discussed localities in Co and Ni can be

Table (Tabela) 5

Period IV trace transition metals and Ba in the serpentinites of Niedamirow and hornblende peridotite of Janowice Wielkie

Śladowe metale przejściowe IV-go okresu i Ba w serpentynitach Niedamirowa oraz w perydotycie hornblendowym z Janowice Wielkich

	1*			2**	3
	353a	354u	354v		
Ti	3900	3120	3900	3000	1300
V	10	50	29	180	87
Cr	2600	4000	4000	3000	3000
Mn	1860	4200	1940	1500	1100
Co	68	160	95	135	110
Ni	1490	1340	1490	1100	2000
Cu	38	520	1000	50	30
Ba	< 10	42	< 10	5	4

1 - Niedamirow; 2 - Janowice Wielkie; 3 - Earth's primitive mantle according to Sun (1982). Trace elements were determined by means of spectrographic emission analysis: * - in Katowice Geological Company; ** - by the authors

1 - Niedamirow; 2 - Janowice Wielkie; 3 - pierwotny, niezróżnicowany płaszcz Ziemi wg Suna (1982). Pierwiastki śladowe były analizowane metodą spektralnej analizy emisyjnej: * - w Katowickim Przedsiębiorstwie Geologicznym; ** - oznaczenia autorów

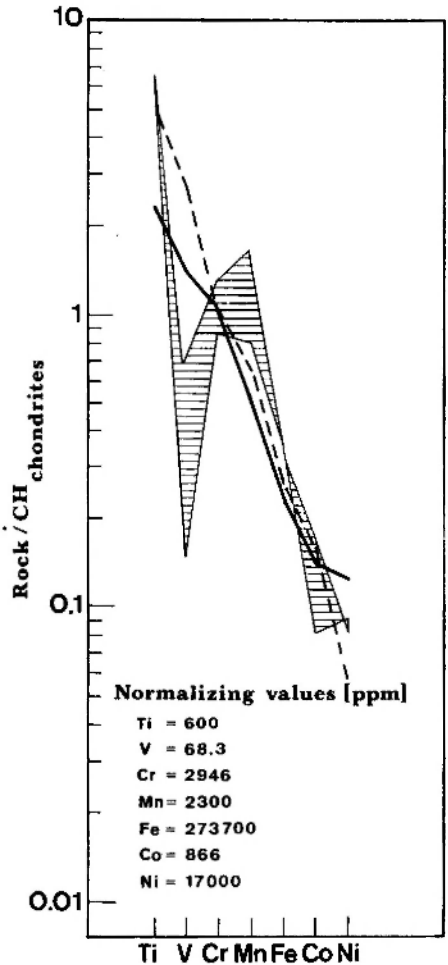
partly explained by their high values of crystal field stabilization energy (CFSE) in octahedral sites, that together with the CFSE increase with pressure (Burns 1970) should have resulted in a preferential accumulation of these elements in the lower mantle. The enrichment of Niedamirow serpentinites in Ti and Mn as well as the depletion in V could be attributed to the processes of mantle metasomatism.

CONCLUDING REMARKS

As to the modal and chemical composition the analogues for the clinopyroxene-hornblende peridotite being the protolith of the Niedamirow serpentinite could be found in the Sudetes both among ultramafites belonging to the ophiolite sequence (Narebski *et al.* 1982; Narebski, Majerowicz 1985; Majerowicz, Pin 1986; 1989, Pin *et al.* 1988) and among small ultramafic bodies outcropping in the vicinity of Variscan granitoids (Bakun-Czubarow 1979, 1989). The similarity of the Niedamirow rock to ophiolitic ultramafic cumulates is weakened by the differences in its mode of occurrence so the studied rock might have

Fig. 4. Period IV transition element enrichment factors with respect to chondrites in the Niedamirów serpentinites (*diagonally patterned area*), in the Janowice Wielkie hornblende peridotite (*dashed line*) and in primitive upper mantle (*solid line*) according to Sun (1982). Normalizing values are listed

Współczynniki koncentracji pierwiastków przejściowych IV-go okresu, w odniesieniu do chondrytów, w serpentynitach Niedamirowa (*pole zakreskowane*), w perydotycie hornblendowym z Janowic Wielkich (*linia przerywana*) oraz w materii niezróżnicowanego płaszczu Ziemi (*linia ciągła*) wg Suna (1982). Podano koncentracje metali przejściowych w chondrytach węglistych typu C1, względem których normalizowano zawartości pierwiastków w skałach



common origin with the second type of the above mentioned ultramafic bodies. Thus the peridotitic protolith of the Niedamirów serpentinite protruded most likely at the crossing of the deep faults from metasomatized lithospheric mantle which corresponds to the theoretical amphibolite of Ringwood (1975).

Chemical composition of the Niedamirów ultramafic rock was compared with that of hornblende peridotite of Janowice Wielkie on one hand and with the other four small ultramafic bodies encircling the Karkonosze pluton and outcropping on the Czech side of the border on the other hand. The latter were considered to be altered wehrlites, Fediuk (1971). Although the mantle source for the discussed circum-Karkonosze rocks displays moderate small scale heterogeneity the major element contents of the Niedamirów samples plot well within the range of concentrations of the other five bodies; the only exception

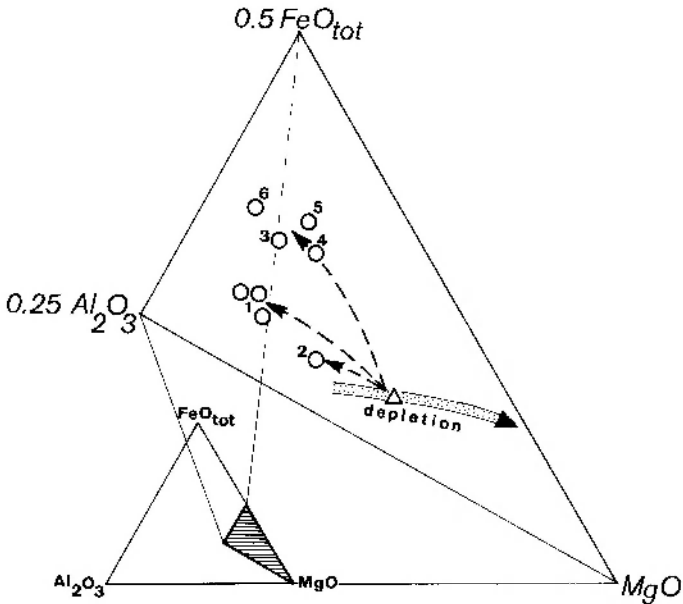


Fig. 5. Evolutionary trends for the upper mantle peridotites in $MgO-Al_2O_3-FeO_{tot}$ diagram. The dotted belt with solid arrow stands for an increase of the depletion degree of mantle peridotites starting with undepleted continental through preoceanic rift and mature ocean to subduction-related rocks, according to Bonatti and Michael (1989). Triangle corresponds to the primitive continental mantle according to McDonough (1990). Open circles point to the circum-Karkonosze ultrabasites, for numbers see Table 3. Dashed lines with arrows stand for trends of enrichment, that resulted in formation of circum-Karkonosze peridotites

Ciągi ewolucyjne perydotytów górnego płaszczka Ziemi w diagramie $MgO-Al_2O_3-FeO_{tot}$. Pas kropkowany zakończony zaczerzniętą strzałką oznacza wzrost stopnia zubożenia perydotytów płaszczowych począwszy od perydotytów litosfery kontynentalnej, niezubożonych w składniki magm bazaltowych, poprzez perydotyty ryftów przedoceanicznych i dna oceanów do perydotytów stref subdukcji wg Bonatti'ego i Michaela (1989). Trójkąt odpowiada składowi niezróżnicowanego płaszczka kontynentalnego według McDonough'a (1990). Kółka oznaczają ultrabazyty wokółkarkonoskie, zaś opisujące je cyfry arabskie odpowiadają numerom skał w tabeli 3. Linie przerywane ze strzałkami oznaczają kierunki zmian składu w procesie wzbogacania płaszczka w składniki niekompatybilne, w wyniku którego powstały perydotyty wokółkarkonoskie

is Al being more abundant in the Niedamirów rock. As compared with primitive mantle abundances all the rocks discussed are enriched in Al, Fe, Ti and impoverished in Mg (Tables 3 and 4). When plotted on

the $MgO-Al_2O_3-FeO_{tot}$ diagram of the evolutionary trends of primitive mantle (Bonatti, Michael, 1989, cf. Fig. 5) all the rocks discussed display an array of the enrichment trends, thus all of them originated most probably within moderately heterogenous but distinctly enriched lithospheric mantle with high water activity and relatively high contents of Al, Fe, Ti and other incompatible elements.

The data obtained on the mineral chemistry and geochemistry of the studied samples made us reflect on the scenario of the origin and evolution of the Niedamirów serpentinite and other comparable circum-Karkonosze bodies. The following sequence of events could be inferred from the results of mineralogical and geochemical studies:

— depletion of primary mantle material took place in the course of incipient basaltic magma generation and extraction, the depleted nature of the relic chromium diopside is an evidence for this event;

— then followed metasomatic amphibolization (pargasitization) of previously depleted mantle material when the influx of the hydrous fluids added to the system Ti, Al, Ca, +Fe, +alkalis, and other incompatible elements and extracted Mg and other compatible elements (Lloyd, Bailey 1975; Dautria *et al.* 1987);

— then, or simultaneously with the fluid activity, the enriched mantle has been invaded by mafic melts, what resulted in additional enrichment of the system in Fe, Ti and incompatible trace elements; at this stage the protolith of the Niedamirów serpentinite originated in the form of ilmenite-bearing clinopyroxene-hornblende peridotite with titanian pargasitic hornblende almost intermediate to kaersutite;

— an ascent of distinctly enriched but relatively cool mantle peridotites took place along crossings of deep faults, what resulted in the formation of small pipe-like ultramafic bodies;

— initial alteration (serpentinization, chloritization) and secondary amphibolization of the enriched mantle peridotites might have started within lithospheric mantle with increasing water activity then the discussed process lasted after emplacement of the peridotitic bodies into the crust, most likely under conditions of greenschist facies.

On the basis of the obtained results and tentatively reconstructed scenario of evolution of the ultramafic rocks the hypothesis could be put forward that in the time preceding the emplacement of circum-Karkonosze ultramafics the Karkonosze-Izera region was underlain by anomalous mantle invaded by relatively small portions of mafic melts and distinctly enriched in hydrous fluids, Al, Fe, Ti and other incompatible elements. This might suggest the existence of an ancient hot spot.

Acknowledgements

The authors are indebted to dr. Krzysztof Sikorski and the team of the Institute of Material Science of the Warsaw Technical University for carrying out of the electron microprobe analyses of minerals. Sincere thanks are due to Mrs. Danuta Kusy for her technical assistance during the manuscript preparation.

The work was done as part of the projects CPBP 03.04.: *Indicators and models of the evolutionary processes within the Earth's crust* and III.3.: *Geodynamic evolution of the eastern cover of the Karkonosze granite and the Snieżnik metamorphic complex in the light of mineralogical and isotope geochemical investigations* sponsored by the Polish Academy of Sciences.

REFERENCES

- BAKUN-CZUBAROW N., 1979. Geochemistry of hornblende-bearing ultrabasic rocks - comparative study, typescript in Polish. Archives of Institute of Geological Sciences, Polish Academy of Sciences, 1 - 9.
- BAKUN-CZUBAROW N., 1983. Mineral chemistry of garnet lherzolites from the Sudetes, Southwest Poland. Carnegie Institution of Washington Year Book, 82, 336 - 343.
- BAKUN-CZUBAROW N., 1989. Ultramafic rocks in the Eastern part of the Polish West Sudetes; *In*: W. Narębski and A. Majerowicz (eds.). Lower and upper Paleozoic metabasites and ophiolites of the Polish Sudetes, Guide-book of excursion in Poland, May 1989, 223 - 237, Wrocław.
- BERG G., 1912. Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preussen. Blatt Schmie-deberg, Königlichen Geologischen Landesanstalt, Berlin, 93 p.
- BERG G., 1940. Geologische Karte des Deutschen Reiches (1: 25000). Blatt Schmie-deberg und Tschopsdorf, 2. Auflage, Berlin.
- BONATTI E., OTTONELLO G., HAMLYN P. R., 1986. Peridotites from the island of Zabargad (St. John), Red Sea: petrology and geochemistry. *Jour. Geoph. Res.*, 91, B1, 599 - 631.
- BONATTI E., MICHAEL P. J., 1989. Mantle peridotites from continental rifts to ocean basins to subduction zones. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 91, 297 - 311.
- BURNS R.G., 1970. Mineral Applications of Crystal Field Theory, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 250 pp.
- DAUTRIA J. M., LIOTAR J. M., CABANES N., GIROD M., BRIQUEN L., 1987. Amphibole-rich xenoliths and host alkali basalts: petrogenetic constraints and implications on the recent evolution of the upper mantle beneath Ahaggar (Central Sahara, Southern Algeria). *Contrib. Miner. Petrol.*, 95, 133-144.
- DICK H. J. B., FISHER R. L., 1984. Mineralogic studies of the residues of mantle melting: Abyssal and alpine-type peridotites, *In*: Kimberlites: The Mantle and Crust-Mantle Relationships, edited by J. Kornprobst, Elsevier, Amsterdam, 295 - 308.
- DUTHOU J. L., COUTURIE J. P., MIERZEJEWSKI M. P., PIN C., 1991. Oznaczenia wieku granitu Karkonoszy metodą izochronową, rubidowo-strontową, na podstawie całych próbek skalnych. *Przegl. Geol.*, 2, 75 - 79.
- FEDIUK F., 1971. Ultramafity Krkonosko-lizerske oblasti. *Acta Universitatis Carolinae-Geologica*. 4, 319 - 343.
- GUNIA P., 1992. Petrologia skał ultrazasadowych masywu Braszowic-Brzeźnicy. *Geol. Sudetica* 26, 119 - 170.
- LEAKE B. E., 1978. Nomenclature of amphiboles. *Miner. Mag.* 42, 533 - 563.

- LE MAITRE R. W. (ed.), 1989. A classification of igneous rocks and glossary of terms. Recommendations of the IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. Blackwell, 193 pp.
- LLOYD F. E., BAILEY D. K., 1975. Light element metasomatism of the continental mantle: The evidence and the consequences. *Phys. Chem. Earth*, 9, 389 – 416.
- MAJEROWICZ A., PIN Ch., 1986. Preliminary trace element evidence for an oceanic depleted mantle origin of the Ślęza ophiolitic complex, SW Poland. *Mineralogia Polonica*, 17, 2, 13 – 22.
- MAJEROWICZ A., PIN Ch., 1989. Recent progress in petrologic study of the Ślęza Mt. ophiolite complex. In: W. Narebski and A. Majerowicz (eds.). Lower and upper Paleozoic metabasites and ophiolites of the Polish Sudetes, Guide-book of excursion in Poland, May 1989, 34 – 72.
- McDONOUGH W. F., 1990. Constraints on the composition of the continental lithospheric mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 101, 1 – 18.
- NAREBSKI W., WAJSPRYCH B., BAKUN-CZUBAROW N., 1982. On the nature, origin and geotectonic significance of ophiolites and related rock suites in the Polish part of the Sudetes. *Ofioliti*, 2/3, 407 – 428.
- NAREBSKI W., MAJEROWICZ A., 1985. Ophiolites of the surroundings of the Góry Sowie (Mts) Block and Lower Paleozoic initialities of the Polish Sudetes. In: N. L. Dobretsov (ed.). Riphean-Early Paleozoic ophiolites of northern Eurasia (in Russian), 86 – 105.
- PENDIAS H., MACIEJEWSKI S., 1959. Chemical analyses of the Lower Silesian igneous and metamorphic rocks. (in Polish), *Inst. Geol., Pr.*, 29, 5 – 128.
- PIN Ch., MAJEROWICZ A., WOJCIECHOWSKA I., 1988. Upper Paleozoic oceanic crust in the Polish Sudetes: Nd-Sr isotope and trace element evidence. *Lithos*, 21, 3, 195 – 209.
- PIN Ch., MIERZEJEWSKI M. P., DUTHOU J. L., 1987. Wiek izochronowy Rb/Sr granitu karkonoskiego z kamieniołomu Szklarska Poręba Huta oraz oznaczenie stosunku inicjalnego $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ w tymże granicie. *Przegl. Geol.*, 10, 512 – 517.
- PRZEWŁOCKI K., MAGDA W., THOMAS H., FOUL H., 1961. Age of some granitic rocks in Poland. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 26, 1069 – 1075.
- RINGWOOD A. E., 1975. Composition and Petrology of the Earth's mantle. McGraw Hill, New York, 618.
- RINGWOOD A. E., 1979. Origin of the Earth and Moon, Springer-Verlag, New York, 295.
- ROST F., GRIGEL W., 1969. Zur Geochemie und Genese granatführenden Ultramafite des mitteleuropäischen Grundgebirges. *Chemie der Erde*, 28, 91 – 177.
- SMULIKOWSKI K., 1975. Klasyfikacja i nomenklatura skał plutonicznych. *Przegl. Geol.*, 2, 49 – 55.
- SMULIKOWSKI W., 1990. Alkali amphiboles of the low grade metavolcanic rocks of Kaczawa Mts, West Sudeten, Poland. *Geol. Sudetica*, 25, 29 – 58.
- SMULIKOWSKI W., 1991. Metamorphic conditions of the series of E Karkonosze based on mineralogical investigations. Typescript in Polish. Archives of Institute of Geological Sciences, Polish Academy of Sciences, 1 – 4.
- SMULIKOWSKI W., 1992. Klasyfikacja i nomenklatura skał metamorficznych w świetle prac podkomisji ds. systematyki skał metamorficznych Międzynarodowej Unii Nauk Geologicznych, *Przegl. Geol.*, 2, 120 – 126.
- SUN S., 1982. Chemical composition and origin of the Earth's primitive mantle. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46, 179 – 192.
- SZAŁAMACHA J., 1957. Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów 1:25000, ark. Szczepanów M33-44Dd. Inst. Geol., Warszawa.
- SZAŁAMACHA J., 1969. Objasnienia do szczegółowej mapy geologicznej Sudetów 1:25000, ark. Szczepanów (M33-44Dd). Inst. Geol., Warszawa, 53.

- SZALAMACHA M., 1958. Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów 1:25000, ark. Czepiel M33-44Dc. Inst. Geol., Warszawa.
- SZALAMACHA M., 1968. Objasnienia do szczególowej mapy geologicznej Sudetów 1:25000, ark. Czepiel (M33-44Dc). Inst. Geol., Warszawa, 45.
- TAŠLER R. (ed.), 1990. Geologicka Mapa CR 1:50000, List 03-42 Trutnov. *Ustredni ustav geologicky*, Praha.
- TEISSEYRE J. H., 1966. Perydotyt hornblendowy z Janowic Wielkich (Sudety Zachodnie). Hornblende peridotite from Janowice Wielkie (Western Sudetes). *Arch. Miner.*, 26 (1965), 289 – 304.
- TEISSEYRE J. H., 1968. Budowa geologiczna wschodniej części okrywy granitu Karkonoszy w okolicach Miedzianki (Sudety Zachodnie). *Geol. Sudetica*, 4, 481 – 555.
- TEISSEYRE J. H., 1971. O wieku i następstwie warstw w skałach metamorficznych Rudaw Janowickich i Grzbietu Lasockiego. *Geol. Sudetica*, 5, 165 – 210.
- TEISSEYRE J. H., 1973. Skały metamorficzne Rudaw Janowickich i Grzbietu Lasockiego. Metamorphic rocks of the Rudawy Janowickie and Lasocki Grzbiet Ranges. *Geol. Sudetica*, 8, 7 – 118.
- WICKS F. J., WHITTAKER E. J. W., ZUSSMAN J., 1977a. An idealized model for serpentine textures after olivine. *Canadian Miner.*, 15, 446 – 458.
- WICKS F. J., WHITTAKER E. J. W., 1977b. Serpentine textures and serpentinization. *Canadian Miner.*, 15, 459 – 488.

Nonna BAKUN-CZUBAROW, Witold SMULIKOWSKI

PIEŃ SERPENTYNITOWY NA POŁUDNIE OD NIEDAMIROWA, GRZBIET LASOCKI, SUDETY, NA TLE INNYCH WOKÓLKARKONOSKICH ULTRAMAFITÓW¹

STRESZCZENIE

Na południe od Niedamirowa, tuż przy czeskiej granicy (fig. 1) napotkano zgrupowanie bloków serpentynitu, którego rozmiary wskazują na to, że ciało serpentynitowe ma średnicę nie przekraczającą kilkudziesięciu metrów. Skały otaczające to łupki zieleńcowe i zieleńce złożone z albitu, kwarcu, chlorytu, epidotu i kalcytu oraz amfibolity złożone z hornblendy aktynolitowej, otaczającej aktynolit, z albitu i epidotu. Zawierają one niekiedy krossyt.

Nie napotkano skał o jakichkolwiek znamionach metamorfizmu kontaktowego, co może oznaczać, że mamy tu do czynienia z dość chłodną intruzją ultramafitu. Wiek tej intruzji nie został bezpośrednio oznaczony. Jest ona młodsza od otaczających zieleńców i łupków zieleńcowych, uważanych za kambryjskie (Tašler 1990). Występujący w północnej części wschodniej osłony granitu Karkonoszy, w sąsiedztwie głównego uskoku śródsudeckiego, częściowo zserpentinizowany perydotyt hornblendowy z Janowic Wielkich intrudował później niż granit Karkonoszy (304 - 327 mln lat), nie wykazuje on

¹ Wpłynęło 16 kwietnia 1992, przyjęto do druku 8 czerwca 1992.

bowiem śladów metamorfizmu kontaktowego. Prawdopodobnie także serpentynit Niedamirowa intrudował w tym samym okresie, wykorzystując dyslokacje równie głębokie jak główny uskoki śródsudecki.

Omawiany serpentynit jest skałą ciemnoszarą, średnio- lub gruboziarnistą, o braku uporządkowania składników i skomplikowanych zależnościach pierwotnych oraz wtórnych minerałów przy różnych ich wzajemnych proporcjach. Mikrostruktura skały (porównaj Smulikowski 1992) może być określona jako mieszana, w której współwystępują liczne serpentynowe pseudomorfozy pooliwinowe z "płomykową" mikrostrukturą reszty skały (Gunia 1992).

W serpentynicie z Niedamirowa dominują minerały wtórne, zaś pierwotne są zachowane tylko w postaci reliktyw. Skład chemiczny minerałów z dwóch próbek badanego serpentynitu był analizowany przez zespół doktora K. Sikorskiego w Instytucie Materiałoznawstwa Politechniki Warszawskiej na mikrosondzie elektronowej Jeol JXA 3A metodą dyspersji długości fali promieniowania rentgenowskiego (WDS). Wyniki analiz minerałów zestawiono w tabelach 1 i 2.

Wśród minerałów wtórnych serpentyn, często w formie pseudomorfoz po oliwinie (pl. I, 1, 2), przeważa nad chlorytem z grupy penninu i tremolitem; do minerałów akcesorycznych należą tytanit i magnetyt (tab. 2).

Do minerałów pierwotnych należy tworzący ziarna o nieregularnych kształtach diopsyd chromowy (pl. I, 3), dość ubogi w Al, Na i Ti oraz jasnobrunatna tytanowa hornblenda pargasytowa występująca w nieregularnych i rozczłonkowanych ziarnach (pl. I, 4), które ku brzegom stają się jasnożółte, czasami prawie bezbarwne, a ich skład zbliża się do tremolitu. Skład hornblendy pierwotnej jest zbliżony do składu amfiboli, pochodzących z perydotytów nieodróżnicowanego płaszczka Ziemi (fig. 2). Do minerałów pierwotnych należy także akcesoryczny ilmenit, zawierający w roztworze stałym 12% moliowych pirofanitu i 1% moliowy geikielitu (tab. 1).

Przy obecnym stanie znacznie zaawansowanej serpentynizacji i chlorytyzacji trudno jest ocenić ilościowe proporcje pierwotnych minerałów w ultramaficznej skale, która była protolitem serpentynitu. Na podstawie ilości pooliwinowych pseudomorfoz można jednak oszacować, że przynajmniej w połowie protolit był zbudowany z oliwinu, zaś drugą połowę stanowiły hornblenda, diopsyd i akcesoryczny ilmenit. Protolit był zatem najprawdopodobniej klinopiroksenowo-hornblendowym perydotytem (Smulikowski 1975; Le Maitre 1989).

Skład chemiczny trzech próbek serpentynitu z Niedamirowa oraz innych wokółkarkonoskich ultramafitów zestawiono w tabeli 3. Próbkę serpentynitu z Niedamirowa nie wykazują pomiędzy sobą istotnego zróżnicowania, lecz w porównaniu z innymi ultramafitami tego regionu są wyraźnie wzbogacone w glin, wskutek czego w zespole minerałów normatywnych CIPW tej skały pojawia się korund. Serpentynit Niedamirowa oraz pozostałe ultramafity wokółkarkonoskie są, w porównaniu z materią nieodróżnicowanego płaszczka Ziemi, wyraźnie wzbogacone w glin, żelazo i tytan, zubożone zaś w magnez (tab. 3 i 4).

Zawartości śladowych metali przejściowych IV-go okresu i Ba w serpentynicie Niedamirowa zestawiono porównawczo z zawartościami tych pierwiastków w perydotycie hornblendowym z Janowic Wielkich oraz w nieodróż-

nicowanym płaszczu Ziemi (tab. 5). Skały Niedamirowa i Janowic Wielkich są w porównaniu z materiałem niezróżnicowanego płaszczu wyraźnie wzbogacone w Ti i w mniejszym stopniu w Mn, zubożone zaś w Ni. Zawartości śladowych metali przejściowych IV-go okresu w badanych ultramafitach wykorzystano także do konstrukcji petrogenetycznych diagramów dyskryminacyjnych (fig. 3 i 4). Z położenia punktów projekcyjnych serpentynitów Niedamirowa i perydotytu hornblendowego Janowic Wielkich na diagramie dyskryminacyjnym Ti-Cr (fig. 3) wynika, że protolity tych skał pochodzą z obszarów górnego płaszczu Ziemi wybitnie wzbogaconych w pierwiastki niekompatybilne. Porównanie współczynników koncentracji pierwiastków przejściowych IV-go okresu w stosunku do chondrytów węglistych typu C1 w serpentynie Niedamirowa oraz w materii niezróżnicowanego górnego płaszczu Ziemi (fig. 4) wskazuje także na wyraźne wzbogacenie protolitu badanego serpentynitu w pierwiastki niekompatybilne Ti i Mn, zubożenie zaś w kompatybilne – Co i Ni.

Pod względem składu chemicznego i mineralnego klinopiroksenowo-hornblendowy perydotyt, będący protolitem serpentynitu Niedamirowa, jest zbliżony do niektórych ultramafitów z sudeckich sekwencji ofiolitowych (Narębski *et al.* 1982; Narębski, Majerowicz 1985; Majerowicz, Pin 1986, 1989; Pin *et al.* 1988) oraz do ultramafitów z drobnych ciał towarzyszących waryscyjskim granitoidom (Bakun-Czubarow 1979, 1989). Forma występowania czyni mało prawdopodobną przynależność serpentynitu Niedamirowa do sekwencji ofiolitowej. Perydotytowy protolit omawianego serpentynitu intrudował najprawdopodobniej na skrzyżowaniu głębokich uskoków z metasomatyicznie przeobrażonego litosferycznego płaszczu Ziemi, którego materia była zbliżona do teoretycznego amfolitu Ringwooda (1975).

Pod względem zawartości pierwiastków głównych serpentynit Niedamirowa nie różni się istotnie od pięciu pozostałych niewielkich ciał ultramafitowych otaczających pluton karkonoski (Pendias, Maciejewski 1959; Fediuk 1971). Na diagramie $MgO-Al_2O_3-FeO_{całk.}$ ciągów ewolucyjnych płaszczu Ziemi (Bonatti, Michael 1989; cf. fig. 5) punkty projekcyjne wszystkich wokółkarkonoskich ultramafitów tworzą w połączeniu z punktem projekcyjnym niezróżnicowanego płaszczu szereg ciągów odpowiadających zmianom składu w procesie wzbogacania płaszczu w składniki niekompatybilne. Ultramafity wokółkarkonoskie pochodzą więc najprawdopodobniej z umiarkowanie zróżnicowanego litosferycznego płaszczu Ziemi wybitnie wzbogaconego w Al, Fe, Ti i inne pierwiastki niekompatybilne, charakteryzującego się ponadto wysoką aktywnością wody.

Wyniki badań mineralogicznych i geochemicznych umożliwiły próbę odтворzenia drogi ewolucji serpentynitu Niedamirowa i innych wokółkarkonoskich ultramafitów. Prawdopodobna wydaje się następująca sekwencja procesów:

— inicjalne wytapianie i ekstrakcja niewielkich porcji magm bazaltowych powodowały zubożenie materiału niezróżnicowanego płaszczu, o procesie tym świadczy obecność w serpentynie Niedamirowa reliktywów diopsydu chromowego zubożonego w Na, Ti i Al;

— następnie zachodziła metasomatyczna amfibolizacja (pargasytyzacja) uprzednio zubożonego płaszczu, w procesie tym fluidy wodne dostarczały do

skał Ti, Al, Ca, +Fe, +alkaliów i innych pierwiastków niekompatybilnych, ekstrahowały natomiast Mg i inne pierwiastki kompatybilne;

— kolejno, bądź jeszcze podczas amfibolizacji do wzbogaconego płaszczu dotarły niewielkie porcje magmy zasadowej, które dostarczyły Fe, Ti i śladowych pierwiastków niekompatybilnych, na etapie tym powstał przypuszczalnie protolit serpentynitu Niedamirowa w postaci ilmenitonośnego klinopiroksenowo-hornblendowego perydotytu;

— następnie, wybitnie wzbogacony lecz stosunkowo chłodny perydotyt intrudował z płaszczu do skorupy wzdłuż linii przecięć głębokich uskoków, tworząc niewielkie, kominowe ciała ultramafitowe;

— przeobrażenia typu serpentynizacji, chlorytyzacji i wtórnej amfibolizacji wzbogaconego perydotytu zaczęły się ze wzrostem aktywności wody jeszcze w litosferycznym płaszczu i trwały w dalszym ciągu w skorupie ziemskiej, prawdopodobnie w warunkach facji zieleńcowej.

Na podstawie wyników badań mineralogiczno-geochemicznych i rekonstrukcji drogi ewolucji ultramafitów wokółkarkonoskich wysunięto hipotezę, że w okresie poprzedzającym intruzję tych skał pod regionem karkonoskim litosferyczny płaszcz zawierał niewielkie porcje magm zasadowych i był wybitnie wzbogacony w wodne fluidy, Al, Fe, Ti oraz inne pierwiastki niekompatybilne, tworzył zatem najprawdopodobniej diapir materii o podwyższonej temperaturze ("hot spot").

Podziękowania

Autorzy wyrażają wdzięczność zespołowi doktora Krzysztofa Sikorskiego z Instytutu Materiałoznawstwa Politechniki Warszawskiej za wykonanie analiz chemicznych minerałów na mikrosondzie elektronowej. Autorzy dziękują także Pani Danucie Kusy za ceną pomoc techniczną podczas przygotowania manuskryptu.

Praca została wykonana w ramach następujących programów sponsorowanych przez Polską Akademię Nauk: CPBP 03.04. - *Wskaźniki i modele procesów ewolucji skorupy ziemskiej*; III,3 - *Geodynamiczna ewolucja wschodniej ostony granitu Karkonoszy i metamorficznego kompleksu Śnieżnika w świetle badań mineralogicznych i geochemiczno-izotopowych*.

*Instytut Nauk Geologicznych PAN,
ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa*

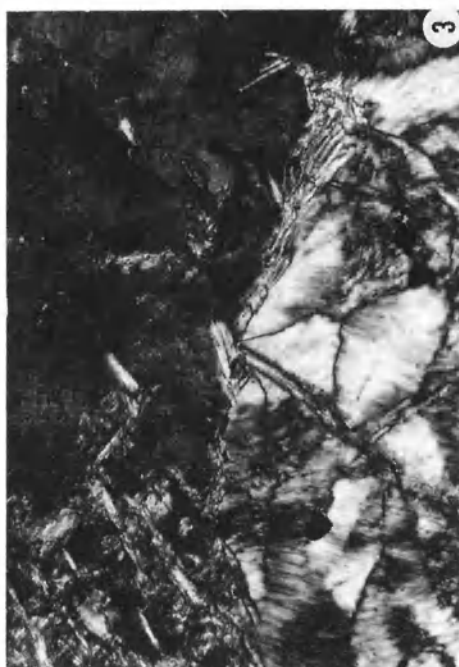
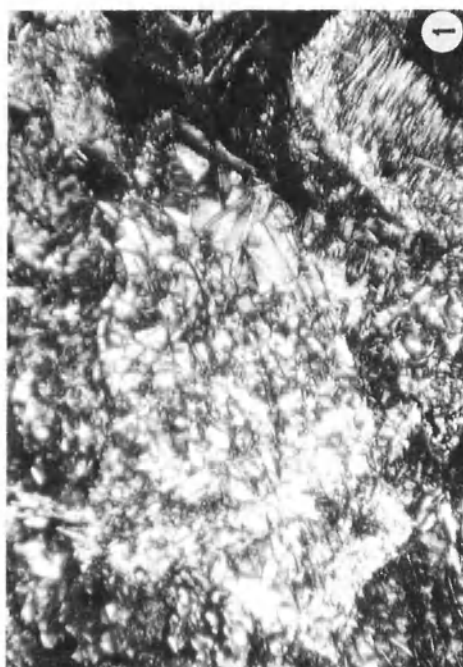
EXPLANATIONS OF PLATE OBJAŚNIENIA PLANSZY

Plate (Plansza) I

1 — Mesh texture of serpentine forming pseudomorphs after olivine. Crossed polarizers, $\times 25$. Sample No. 354u

Pseudomorfoza serpentynowa po oliwinie o strukturze siatkowej. Polaryzatory skrzyżowane; powiększenie 25 \times . Próbką nr 354u

- 2 — Serpentine pseudomorphs after olivine (higher birefringence and usually mesh texture) within fine chlorite aggregates (low birefringence, olive subnormal colors) filling the interstices. Crossed polarizers, $\times 50$. Sample No. 353a
Pseudomorfozy serpentynowe po oliwinie (wykazujące wyższą dwójłomność i posiadające zwykle strukturę siatkową) występują w agregacie drobnokrystalicznego chlorytu (o niższej dwójłomności i oliwkowych subnormalnych barwach interferencyjnych), który wypełnia przestrzenie interstycjalne. Polaryzatory skrzyżowane; powiększenie 50 \times . Próbką nr 353a
- 3 — Diopside (black in crossed polarizers) associated with amphibole partly replaced by the oblique to (110) cleavage γ -serpentine needles. Also seen chlorite and serpentine after olivine showing hourglass texture. $\times 100$. Sample No. 353a
Diopsyd (czarny w skrzyżowanych polaryzatorach) i współwystępujący z nim amfibol, zastąpione częściowo przez igielki γ -serpentynu, skośne względem łupliwości w/g (110). Widoczne są także chloryt i po-oliwinowy serpentyn ze strukturą klepsydrową. Powiększenie 100 \times . Próbką nr 353a
- 4 — Brown hornblende penetrated by oblique γ -serpentine needles and chlorite patches. One polarizer, $\times 65$. Sample No. 353a
Hornblendą brunatną zaatakowaną przez igielki γ -serpentynu i pakiety łuseczek chlorytu. Jeden polaryzator; powiększenie 65 \times . Próbką nr 353a



N. BAKUN-CZUBAROW, W. SMULIKOWSKI – Serpentinite stock south of Niedamirów - Lasocki Range, Sudetes, compared with other circum-Kar-konosze ultramafic bodies