

Rovnovážne asociácie rúl a amfibolitov komplexu Bujanovej (Čierna hora)

STANISLAV JACKO¹, SERGEJ PETROVIČ KORIKOVSKIJ², VLADIMÍR ALEXANDROVIČ BORONICHIN²

¹ Katedra geológie a mineralógie Banickej fakulty VŠT, Park Komenského 15, 043 84 Košice

² IGE—AN SSSR, Staromonetnyj per. 35, 109017 Moskva

(Doručené 2. 5. 1989, revidovaná verzia doručená 5. 7. 1989)

Equilibrium assemblages of gneisses and amphibolites of Bujanová complex (Čierna hora), Eastern Slovakia

Gneisses and amphibolites of the Bujanová complex — which is the most southern lithostratigraphical unit of the Veporic basement of the Čierna hora Mts., form only small remaining bodies up to 100 m in thickness within migmatites of this unit. According to gneisses/amphibolites critical mineral parageneses this Variscan prograde metamorphic event has been realised under conditions of the biotite — sillimanite — muscovite subfacies metamorphism. Geothermometric results show 620–625 °C temperature extent of the metamorphic event. A high content of the pyrope molecule (up to 25 %) within garnets of gneisses indicates 400–450 MPa pressure of the metamorphism. Garnet/hornblende compositional variability in amphibolites of both the Bujanová complex and the Lodina complex — underlying the former, which demonstrates a higher metamorphic conditions of the Bujanová complex, is also shortly discussed. This inverted metamorphic gradient strongly supports field and structural data about tectonic relation between both the mentioned units.

Úvod

Štruktúrnou pozíciou, typom stavby a podstatným obsahom granitoidov zaujíma komplex Bujanovej špecifické postavenie vo veporickom kryštaliniku Čiernej hory. Tieto aspekty boli v zásade prehodnotené vo viacerých prácach z posledného obdobia. Petrologia metamorfítov — základný predpoklad intraregionálnej i širších korelácií kryštalinika Čiernej hory — nebola doteraz súborne spracovaná. V tomto príspevku podávame stručnú petrografickú charakteristiku základných produktov periplutonickéj metamorfózy komplexu Bujanovej, ich kritické paragenézy a P-T podmienky metamorfózy. Problémy a produkty migmatizácie a alpínskej tektonometamorfózy komplexu Bujanovej v predkladanom príspevku bližšie nerozoberáme.

Geologická pozícia komplexu Bujanovej

Komplex Bujanovej (obr. 1) tvorí južnú časť kryštalinika Čiernej hory. Na roľovskej prešmykovej zóne sz.—jv. smeru so stredným až miernym úklonom na JZ sa stýka s podložnými metamorfítmi lodinského komplexu.

Na zložení komplexu Bujanovej sa podieľajú hlavne variské neskoroorogénne granitoidy. Koncovými úsekmi vnikajú do bridličnatosti rúl, ktorá je klivážou osovej roviny stlačených až izoklinálnych vrás metamorfítov komplexu Bujanovej (Jacko, 1978).

Menej zastúpené kryštalické bridlice reprezentuje kompletná periplutonická škála — ruly, okaté ruly a migmatity. Na styku s granitoidmi vznikajú perlové ruly a žuloruly. Zriedkavé amfibolity tvoria nepriebežné medzifoliačné telesá dm—m hrúbok. Na rozdiel od lodinského komplexu sa na ich zložení podieľajú aj hrubozrnné masívne typy.

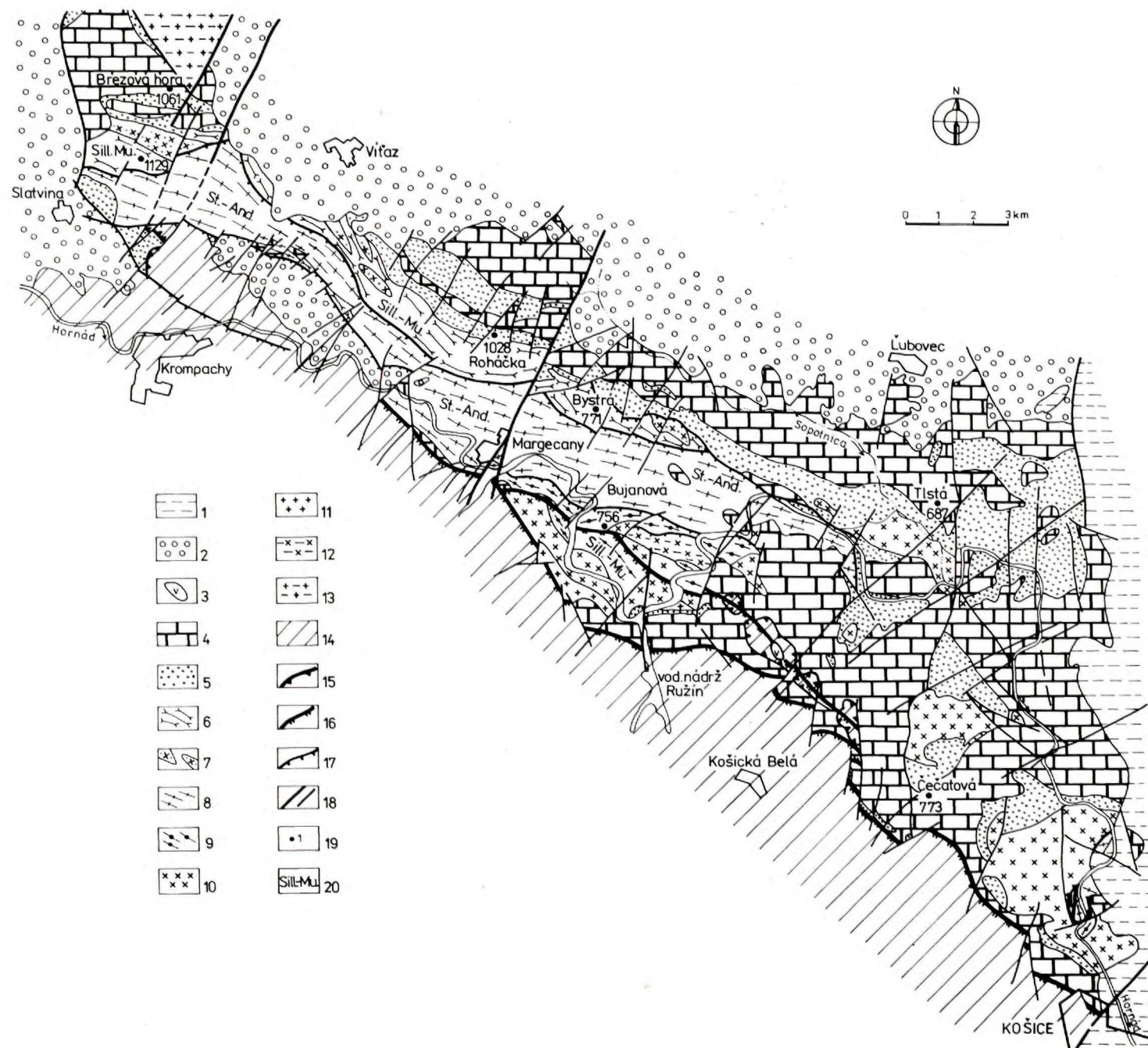
Rozsiahlejšie polohy metamorfítov sú prítomné len na južných svahoch Bujanovej. Zachovali sa tu najmä v reliktnom zámku variskej izoklinálnej makrovrásky. Priestorová distribúcia granitoidných variet na oboch ramenách synformy metamorfítov spodobňuje základné rysy stavby kryštalických bridlíc. Granitoidy i metamorfity komplexu Bujanovej sú rozsiahle, najmä v sz.—jv. prešmykových zónach, alpínsky tektonometamorfované (obr. 1).

Petrografický charakter rúl a amfibolitov

Nemigmatizované ruly a amfibolity sú sporadicky zachované len v centrálnom úseku komplexu Bujanovej. Tvorí tu šošovkovité medzifoliačné polohy v migmatitoch. Ich podstatná časť patrí jemnozrnným biotitickým rulám.

Ruly

Na modálnom zložení jemnozrnných biotitických rúl (tab. 1) sa podieľajú minerálne paragenézy najmenej troch metamorfných etáp. Najstaršej synkinema-



tickej (predgranitoidnej) etape patrí reliktná asociácia granát 1 + staurolit + plagioklas 1 + biotit 1 + kremeň 1. Veľmi vzácne porfýroblasty granátu a staurolitu sú heliciticky i sigmoidálne plnené hlavne opakovými minerálmi. Značne sericitizovaný ($\pm$ epidot — zoisit) plagioklas 1 (An — 28 — 32 %) uzatvára kremeň, rudný komponent a intenzívne resorbovaný a chloritizovaný biotit 1.

Periplutonickú paragenézu reprezentujú kremeň 2, biotit 2, granát 2, muskovit 1, plagioklas 2, ortoklas a $\pm$ sillimanit. Kremeň 2 tvorí xenoblastické ložné zrná, event. i silne sploštené „granulitové“ kremene s pomerom dĺžky k šírke až 10 : 1. Obvykle hypidioblastický, ložný i mierne diagonálny červenohnedý biotit 2 miestami tangenciálne dorastá na živce tejto paragenézy. Má zrnitosť cca 0,5 mm, maximálne 1,0—2,0 mm. Uzatvára zirkón a apatit a je resorbovaný muskovitom. K tejto generácii patrí prevažná časť biotitu rúl. Najmä v jeho hniezdovitých akumuláciách rastie drobný (0,1 mm) hypidioblastický granát.

Vzťah muskovitu 1 k biotitu 2, symplektity muskovitu 2 s kremeňom v príslušných migmatitoch, ložné helicitické šmuhy opakových minerálov orientované zároveň šikmo k štiepatelnosti muskovitu, ktorým bez prerušenia prechádzajú, podporujú diskutovanú genetickú príslušnosť muskovitu 1. Ložné i diagonálne relatívne čerstvé plagioklasy 2 (An 23—26 %) uzatvárajú biotit, kremeň, granát a apatit. Tvorja individuálne fenoblasty, resp. i kumuloblasty s kremeňom 2 a mikroperthitickým ortoklasom. Vcelku vzácny fibroblastický sillimanit rastie na úkor biotitu 2 hlavne v xenolitoch rúl uzavretých v granodiorite.

Lokálne vyvinutú etapu alpínskej nízkotermálnej metamorfózy zastupuje biotit 3, muskovit 2 a kremeň 3. Jemné šupinky (0,2—0,3 mm) oboch slúd tvoria spolu s kremeňom mozaikovitú agregáciu v tlakových tieňoch granátu, resp. mozaikovitú dorastajú na ležaté vrásky rekryštalizovaného sekrečného kremeňa.

Metabazity

Nepriebežné intrafoliálne polohy metabazitov prevažne vykazujú izofaciálne vzťahy k okolitým rulám a migmatitom. Ich značná modálna variabilita (cf. tab. 1) odráža na jednej strane prínos komponentov a adekvátne reakcie v procese migmatizácie, na druhej strane, hlavne v laterálnom smere, sedimentogénnu prímies v metabazitoch. Len zriedka — v metaultrabázikách — možno preukázateľne doložiť paragenetické reliktu magmatického vývojového štádia.

Strednozrnné masívne biotitické amfibolity tvoria buď externé lemy hrubozrnných masívnych amfibolitov, prípadne ich v centrálnej časti metabazitových polôh zastupujú, event. sa vyskytujú vo forme xenolitov v granitoidoch. Sú typické nerovnomernou zrnitosťou všesmerne orientovaných podstatných komponentov (amfibol > plagioklas > biotit), typickou poikiloblastickou štruktúrou a akcesorickým zastúpením kremeňa.

Špinavozelený až hnedozelený hypidioblastický amfibol (γ'/c 19—21°) obvykle tvorí všesmerne agregáty so zrnitosťou 1,2—3,3 mm, ktoré sú resorbované a uzatvárané plagioklasmi. Zriedkavejšie sú prítomné i prizmatické megablasty (7,00—10,1 mm) opticky analogického amfibolu. Obidve formy amfibolu sú hojne plnené biotitom, menej apatitom a titanitom. Biotit rastie hlavne v štiepatelnosti amfibolu a inklinuje k vzájomnému prepojeniu opticky zhodne orientovaných vrastlíc. Proces kulminuje vo feldšpatizovaných amfibolitoch vývojom poikiloblastického biotitu plneného amfibolom. Ojedinelé megablasty biotitu (2,0—3,0 mm), eventuálne agregáty dvoch-troch zrn sú od okrajov resorbované sericitizovanými, resp. saursuritizovanými plagioklasmi (An 27—33 %). Biotit i plagioklasy sú hojne plnené apatitom, biotit i rutilom.

Drobnozrnné amfibolity (tab. 1) sú bežným litologickým typom metabazitov. Tvorja hlavne centrálne časti tých telies metabazitov, ktoré neobsahujú hru-

- ◀ Obr. 1. Schematická štruktúro-geologická mapa Čiernej hory. 1 — neogénne molasové sedimenty, 2 — sedimenty centrálnokarpatského paleogénu, 3 — amfibolicko-pyroxenický diorit (vrchná krieda), 4 — obalové mezozoikum, 5 — obalové mladšie paleozoikum (hlavne perm), 6—12 — kryštalinikum Čiernej hory, 6—7 — miklušovský komplex, 6 — stromatiticko-nebulitické a oftalmické migmatity, 7 — aplitické granity, 8 — diaforitické pararuly, svory, amfibolity a fylonity lodinského komplexu, 9—12 — komplex Bujanovej, 9 — ruly, amfibolity a migmatity, 10 — biotitické granodiority, 11 — autometamorfované granity, 12 — melagranodiority a tonality, 13 — ruly, amfibolity, migmatity a granitoidy Braniska, 14 — karbón a perm gemerika, 15 — násunová plocha gemerika, 16 — regionálne významné prešmykové zóny, 17 — prešmykové zóny nižšieho rádu, 18 — zlomy, 19 — lokalizácia analyzovaných vzoriek, 20 — distribúcia metamorfných zón v kryštaliniku Čiernej hory.

Fig 1. Schematic structural-geological map of the Čierna hora Mts. 1 — Neogene molasse sediments, 2 — sediments of the Central Carpathian Paleogene, 3 — amphibole-pyroxene diorite (Upper Cretaceous), 4 — envelope Mesozoic, 5 — envelope Late Paleozoic (mainly Permian), 6—12 — the Čierna hora crystalline complex, 6—7 — the Miklušovce complex, 6 — stromatite-nebulite and oftalmite migmatites, 7 — aplite granites, 8 — diaphoric paragneisses, mica schists, amphibolites and phyllonites of the Lodina complex, 9—12 — the Bujanová complex, 9 — gneisses, amphibolites and migmatites, 10 — biotite granodiorites, 11 — autometamorphosed granites, 12 — melagranodiorites and tonalites, 13 — gneisses, amphibolites, migmatites, and granitoids of the Branisko Mts., 14 — Carboniferous and Permian of Gemericum, 15 — carriage plane of Gemericum, 16 — regionally significant overthrust zones, 17 — overthrust zones of lower order, 18 — faults, 19 — localization of analysed samples, 20 — distribution of metamorphic zones in the Čierna hora crystalline complex.

TAB. 1
Modálne zloženie rúl a amfibolitov komplexu Bujanovej
Examples of modal composition of gneisses and amphibolites of the Bujanová complex

Mineral	1	2	3	4	5	6	7	8
Kremeň	25,60	35,38	32,48	7,59	0,07	10,34	12,74	11,80
Plagioklas	25,30	24,30	29,71	13,87	45,11	18,30	46,20	42,42
K-živce	17,96	12,12	19,03	—	—	—	3,58	2,16
Biotit	21,78	22,23	12,43	—	0,80	—	8,68	1,45
Muskovit	1,98	3,48	4,78	—	—	—	—	—
Granát	3,72	1,60	0,02	—	—	4,23	—	—
Amfibol	—	—	—	67,69	36,38	58,02	16,73	20,52
Apatit	—	—	—	0,73	5,67	—	—	0,35
Titanit	—	—	—	—	1,33	2,04	0,89	—
Rudný komp.	2,50	0,74	0,46	8,01	1,68	0,76	2,39	1,23
Akcesórie	0,26	0,15	1,09	—	—	—	0,36	+
Epidot	—	—	—	2,11	8,96	2,18	8,43	12,63
Leukoxén	—	—	—	—	—	—	—	1,64
Kalcit	—	—	—	—	—	2,80	—	—
Chlorit	—	—	—	—	—	1,32	—	5,79

1—8 — číslo vzorky. Akcesórie: vzorka č. 1—3 apatit a zirkón, vo vzorke č. 2 aj staurolit, vo vz. č. 8 zirkón a ortit. Vo vz. č. 6 obsah klinkozistitu prevyšuje obsah epidotu. Prázdne kolónky — samostatne nezisťovaný obsah. Lokalizácia vzoriek: 1 — jemnozrnná biotitická rula, južné svahy Bujanovej, 400 m na SV od sútoku bystriny Ruský dol s Hornádom; 2 — jemnozrnná biotitická rula, 150 m na SV od sútoku bystriny Ruský dol s Hornádom; 3 — drobnózrnná biotitická perlová rula, výlom pre ružinskú priehradu; 4 — drobnózrnný amfibolit, jz. svahy Bujanovej, 40 m JZ od kóty 677 m; 5 — jemnozrnný amfibolit, j. svahy Bujanovej, 600 m na JZ od kóty 577 m; 6 — granatický amfibolit, zárez Hornádu 1 km na JZ od jz. ústia starého bujanovského tunela; 7 — drobnózrnná amfibolická rula, zárez bývalej železničnej trate, 1,3 km na JJZ od jz. ústia starého bujanovského tunela; 8 — strednozrnný feldšpatizovaný amfibolit, zárez Hornádu 1,3 km na JJZ od jz. ústia starého bujanovského tunela.

TAB. 2
Zloženie niektorých minerálov granaticko-biotitických a biotiticko-amfibolických rúl a migmatitov komplexu Bujanovej
Composition of some minerals of garnet-biotite and biotite-amphibole gneisses and migmatites of the Bujanová Complex

Č. vz.	1						454				8	
Minerál	Gr			Bi	Mu	Gr		Bi	Mu	Bi	Hrb	
	stred	stredná časť	okraj			stred	okraj					
SiO ₂	38,95	38,67	38,76	38,33	37,28	48,36	37,40	37,91	36,00	47,98	38,07	43,72
TiO ₂	0,02	0,02	0,02	0,05	1,65	0,02	0,02	—	1,67	1,18	2,89	1,20
Al ₂ O ₃	21,45	21,26	21,36	21,13	19,11	35,74	20,91	20,99	20,27	34,92	18,30	12,61
FeO	30,42	30,58	30,89	32,07	20,49	1,56	31,08	30,92	22,17	2,47	38,07	16,29
MnO	1,41	1,43	1,43	1,77	0,19	0,03	5,39	5,84	0,49	—	0,22	0,40
MgO	5,92	5,70	5,67	4,48	9,02	0,55	2,96	2,79	6,93	0,95	11,31	10,08
CaO	1,40	1,34	1,33	1,33	0,03	0,07	1,31	1,20	0,07	0,07	0,20	11,15
K ₂ O	—	—	—	—	9,52	8,94	—	—	9,25	9,52	9,99	0,89
Na ₂ O	—	—	—	—	—	0,46	—	—	0,10	0,23	0,19	1,58
Spolu	99,57	99,00	99,46	99,16	97,29	95,73	99,07	99,65	96,95	97,32	97,31	97,92
Fe/Fe + Mg, %	74,7	75,0	75,3	80,1	56,0	—	85,5	86,2	64,0	—	44,0	47,5

Lokalizácia vzoriek č. 1 a 8 ako v tab. 1, č. 454 — oftalmitický migmatit, južné svahy Bujanovej, 700 m JJZ od kóty 483,0 m.

bozrnnejšie variety. Majú doskovitú až laminovanú odlučnosť a orientované granonematoblastickú štruktúru. Amfibol tvorí dlhoprizmatické (0,6—1,0 mm) modrozelené hypidioblasty (γ /c 17—20°), častejšie však hnedozelené idio- hypidioblasty (γ /c 24—26°) zrnitosti cca 0,3—0,5 mm. Hnedozelený amfibol je obvykle bez inklúzií, homogenizuje sa aj na úkor prvého a je len sporadicky korodovaný kremeňom.

Viac-menej rovnomerne distribuované plagioklasy a kremeň lokálne tvoria i granoblastické šošovkovité akumulácie obvykle s „jadrom“ pomerne čerstvého oligoklasu — andezínu (An 29—32 %), veľmi vzácne i K-živca. Intenzívne plnené plagioklasy osnovy (sericit, epidot — zoisit) majú 37—39 % An. Z akcesórií sú najčastejšie granulované a chloritizované zrná granátov (cca 0,2—0,3 mm) a apatit.

Drobnózrnné amfibolity tvoria kontinuálne pre-

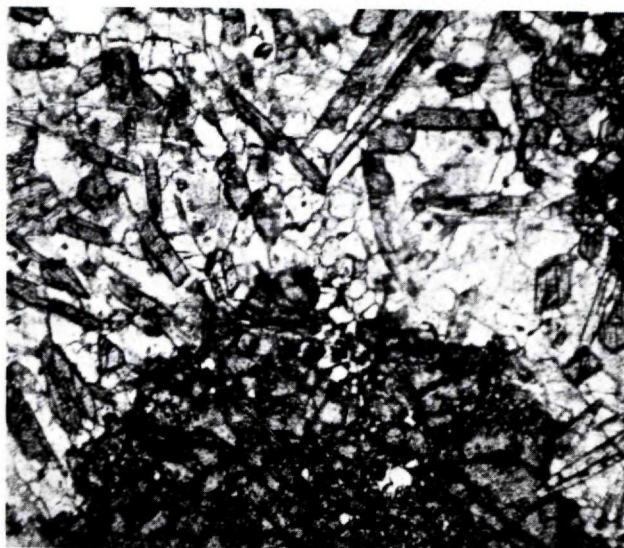
chody k feldšpatizovaným amfibolitom na jednej strane a k amfibolickým rulám na druhej strane.

Amfibolické ruly. Tento základný typ bridličnatých metabazitov zvyčajne tvorí prechody metabazitových polôh do okolitých metamorfítov. Sú typické (tab. 1) vysokým modom plagioklasov (46–47 %) a podstatným zastúpením amfibolu a kremeňa. Obsah biotitu varíruje okolo limitu podstatných komponentov. Len v amfibolicko-biotitických rulách stúpa až na 16 obj. %. Tabakovohnedý biotit je typický pre amfibolické a biotiticko-amfibolické ruly, svetlohnedozelený biotit (zloženie porovnaj v tab. 2) pre amfibolicko-biotitické ruly. K-živce, titanit, apatit, rudné minerály a obvykle epidotom — zoisitom pancierovaný ortit majú akcesorický modus. Kremeň a biotit prednostne asociujú s agregátmi živcov.

Plagioklasy kremeňovo-živcových agregátov (An 35–39 %) majú zrnitosť cca 0,3–0,7 mm. Uzatvárajú amfibol, biotit a kremeň. Spolu s relatívne menšími (0, X mm) rovnomerne distribuovanými plagioklasmi sú rozsiahle sericitizované a zatlačené epidotovo-zoisitovými minerálmi, lokálne i 0,09–0,2 mm veľkými lupienkami muskovitu.

Relatívne starší sýtozelený až špinavozelený amfibol 1 (γ/c 26–28°) je poikiloblasticky plnený rudným komponentom, menej kremeňom, biotitom a apatitom. Je resorbovaný asociáciou kremeňovo-živcových agregátov. V ich blízkosti je klinovite (po štiepatelnosti) zatlačený modrozeleným amfibolom 2 (γ/c 13–17°). Relatívne menšie samostatné zrná amfibolu 2 majú zároveň dokonalejší (až idioblastický) habitus.

Granatické amfibolity (tab. 1, 3; obr. 2). Tvoria drobnú (10 × 70 m) polohu v horizonte drobnozrn-



Obr. 2. Centrická štruktúra granatických amfibolitov komplexu Bujanovej (vz. č. 6; tab. 1, tab. 3). Okolo granátového fenoblastu (v strede, dole) sféroidálne rastú prizmy amfibolu a plagioklasu. II polaroidy, zv. 45x.

Fig. 2. Centric structure of garnet amphibolites of the Bujanová complex (sample No. 6; Tab. 1, Tab. 3). Prisms of amphibole and plagioclase are growing spheroidally around garnet phenocryst (in the centre, to the bottom). Parallel nicols, magn. x45.

ných amfibolitov na báze komplexu Bujanovej. Sú typické centricko-poikiloblastickou štruktúrou fixovanou sféroidnými agregátmi plagioklasov a kremeňa a radiálne usporiadanými prizmami amfibolu. Táto asociácia daktyliticky prerastá granátové jadro sféroиду (obr. 2). V niektorých prípadoch sa v centre izometrických kumuloblastov plagioklasu, kremeňa a amfibolu vyskytujú len sporadické drobné (0,0X–0,0X mm) zrná granátu, magnetitu a medovožltého

TAB. 3

Zloženie granátu a pridružených minerálov z granatického amfibolitu komplexu Bujanovej (vzorka č. 6)
Composition of garnet and associated minerals from garnet amphibolite of the Bujanová complex (sample No 6)

Minerály Č. anal.	Gr 21	Hrb 22	Gr 23	Hrb 24	Gr 25	Hrb 26	Pl 27	Gr 28	Ilm 29	Gr 30	Hrb 31	Gr 32	Hrb 33
SiO ₂	38,80	45,03	39,20	45,16	38,31	44,36	58,76	39,29		39,38	46,61	38,63	46,31
TiO ₂	0,16	0,96	0,10	0,93	0,21	0,96		0,17	50,52	0,22	1,00	0,13	0,89
Al ₂ O ₃	20,75	12,87	21,00	12,99	20,60	13,02	26,01	20,90	0,25	21,62	13,53	20,90	12,56
FeO	26,47	17,86	26,24	17,64	26,89	18,18		26,76	40,93	26,71	17,48	26,38	16,56
MnO	2,11	0,16	2,26	0,17	2,34	0,18		1,78	4,48	0,97	0,15	1,94	0,14
MgO	2,29	8,79	2,10	8,51	2,40	8,37		2,19	0,23	2,24	8,36	2,19	8,56
CaO	9,31	10,90	9,70	10,89	9,31	10,96	7,83	9,92		10,28	11,49	9,83	11,05
Na ₂ O	—	1,57		1,90		1,72	7,09				2,13		2,05
K ₂ O	—	0,52		0,58		0,58	0,10				0,67		0,60
Spolu	99,89	98,66	100,50	98,77	100,06	98,33	99,79	101,01	97,35	101,42	101,42	100,00	98,72
Fe/Fe + Mg, %	86,6	53,2	87,5	53,7	86,3	54,9		87,3		87,0	54,0	87,1	52,0
% An	38 %												

Prvé zrnó (21–27): 21–22 — stred, 23–24 — ľavý okraj, 25–27 — pravý okraj. Druhé zrnó (28–33): 28–29 — stred, 30 — 31 — ľavý okraj, 32–33 — pravý okraj. Lokalizácia ako v tab. 1.

TAB. 4

Kryštalochemické vzorce amfibolov z granatických amfibolitov lodinského komplexu (61 A) a komplexu Bujanovej (6) v prepočte na 23 (0)
 Crystal chemistry formulae of amphiboles from garnet amphibolites of the Lodina complex (61 A) and the Bujanová complex (6) in calculation for 23 (0)

Č. anal.		13	14	17	18	22	26	24	31	33
Z = 8	Si	6,281	6,200	6,196	6,218	6,571	6,534	6,615	6,695	6,802
	Al _{IV}	1,718	1,799	1,809	1,781	1,428	1,465	1,384	1,304	1,197
Y = 5	Al _{VI}	1,043	0,991	1,097	1,094	0,784	0,794	0,857	0,985	0,976
	Ti	0,055	0,071	0,044	0,055	0,105	0,106	0,102	0,108	0,098
	Fe	2,436	2,388	2,281	2,285	2,179	2,239	2,160	2,099	2,033
	Mn	—	—	—	—	0,019	0,022	0,021	0,017	0,017
	Mg	1,464	1,548	1,576	1,564	1,911	1,837	1,857	1,789	1,873
X	Ca	1,605	1,634	1,680	1,683	1,703	1,729	1,708	1,768	1,738
	Na	0,844	0,721	0,810	0,570	0,444	0,491	0,539	0,593	0,583
	K	0,051	0,068	0,035	0,041	0,096	0,108	0,108	0,122	0,112
	Σ X	2,500	2,423	2,525	2,294	2,243	2,328	2,355	2,483	2,433
Na + K/Na + K + Ca		35,8	32,6	33,5	26,6	24,1	25,7	27,5	28,8	28,6

13 — 18 — vzorka č. B-61 A, 22 — 33 — vzorka č. 6

titanitu, event. je prítomné relatívne väčšie zrno amfibolu, hojne plnené magnetitom a titanitom. Sporadické kumuloblasty bez „jadra“ majú v podstate rovnomernú distribúciu komponentov, vždy však obsahujú, čo sa týka tvaru i rozmiestnenia, nepravidelné hniezda magnetitu a titanitu. Sférooidálne agregáty sú scementované granonematoblastickou osnovou amfibolu, živcov a kremeňa (zloženie porovnaj v tab. 2, 3, 4).

Hrubozrnné dvojpyroxenické amfibolovce. Sú zachované v neostrých šošovkách decimetrových hrúbok v centrálnej časti telesa hrubozrnných amfibolitov v oblasti hrádze ružinskej priehrady. Tvorí ich najmä amfibol, hojne plnený pyroxénmi a serpentinizovaným olivínom. Flogopit, karbonátový minerál a chlorit majú nepodstatný modus. Akcesoricky je prítomný magnetit, apatit, kremeň a zoisit.

Z proterogénnych komponentov je prítomný bezfarebný klinopyroxén (γ'/c 44°) zatláčaný amfibolom, relatívne hrubozrnnější (3—5 mm), často serpentinizovaný ortopyroxén (2V = 74—76°) a serpentínové ($\pm$ mastenec) pseudomorfózy po olivíne. Primárne ultrabázika mali pravdepodobne charakter olivínových pyroxenitov, ktoré boli azda komagmatické s gabroidným protolitom hrubozrnných amfibolitov, resp. boli jeho kumuláti.

Poikiloblastický svetlomodrozelený až svetlohnedozelený amfibol 1 (γ'/c 22—24°, 2V 85—86°, chm —) má zrnitosť 3—5 mm, maximálne 8 mm a obsah Mg zložky 85—90 mol. % (cf. Fediuk, 1966). Od okrajov a po štiepatelnosti ho zatláča flogopit a spolu s amfibolom býva chloritizovaný. Modus flogopitu narastá smerom k okraju šošoviek horniny. Periplutonicá metamorfóza sprevádzaná alkalickou metaso-

matózou zrejme vyprodukovala asociáciu: Mg-amfibol 1 $\pm$ flogopit + zoisit $\pm$ karbonát.

Retrográdnú paragenézu zastupuje tremolit (rastie na úkor amfibolu 1), karbonátový minerál, serpentín, mastenec a azda i hematit.

Kritické paragenézy periplutonickej metamorfózy komplexu Bujanovej

Z diskutovaných vzťahov vyplývajú pre základné typy nemigmatizovaných metamorfítov komplexu Bujanovej tieto kritické paragenézy periplutonickej metamorfózy:

Ruly

Bi + Gr + Mu + Pl $\pm$ Ksp + Q + Ilm

Bi $\pm$ Sill $\pm$ Mu $\pm$ Gr + Q $\pm$ Ilm

Bi + Mu + Pl $\pm$ Ksp + Q

Amfibolity a amfibolické ruly

Hrb + Clz + Pl $\pm$ Q + Sph

Hrb $\pm$ Gr $\pm$ Clz + Pl $\pm$ Q + Sph $\pm$ Ilm

Hrb + Bi + Clz + Pl $\pm$ Q + Sph

Metaultrabazity

Hrb_{Mg} $\pm$ Phl $\pm$ Zs $\pm$ Carb $\pm$ Serp (Ta?)

Bi — biotit, Carb — karbonátový minerál, Clz — klinozoisit, Gr — granát, Hrb — amfibol, Ilm — ilmenit, Ksp — draselný živec, Mu — muskovit, Phl — flogopit, Pl — plagioklas, Q — kremeň, Serp — serpentín, Sill — sillimanit, Ta — mastenec, Zs — zoisit.

Z prehľadu paragenéz vyplýva, že sekvencia kryštalických bridlic komplexu Bujanovej bola periplutonicke metamorfovaná v podmienkach biotitovo-sillimanitovo-muskovitovej subfácie metamorfózy (Korikovskij, 1979).

Niektoré aspekty mineralógie rúl a amfibolitov

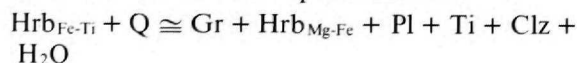
Výsledky elektrónových mikroanalýz niektorých minerálov rúl a amfibolitov komplexu Bujanovej poskytli viaceré petrogeneticky zaujímavé informácie. V analyzovaných rulách (cf. tab. 2) majú granáty retrográdnú zonálnosť, ktorá je charakteristická pre vysokotemperované ruly a migmatity (cf. Ovčenko, 1982). Od centra k okrajom zŕn granátu mierne narastá obsah MnO, zvyšuje sa pomer Fe/Fe + MgO a klesá obsah MgO. Retrográdna zonálnosť je zvlášť zreteľná vo vzorke č. 1, v ktorej pomer Fe/Fe + Mg narastá od centra k okrajom v rozpätí 75–80 %. Zvlášť pozoruhodný je vysoký obsah MgO v centre granátu (5,92 %), čo zodpovedá 24 % pyropovej molekuly. Biotit a amfibol z biotito-amfibolickej ruly majú zvýšený obsah TiO₂ (2,9 % v biotite a 1,2 % v amfibole), čo je tiež typické pre vysokoteplotné podmienky metamorfózy.

Z analýz minerálov granatického amfibolitu (tab. 3) vyplýva, že granáty týchto amfibolitov sú na rozdiel od granátov rúl prakticky nezonálne. Predmetná asociácia minerálov amfibolitu vznikala teda v podmienkach jednoaktovej prográdnej metamorfózy. Analogické zloženie majú tak amfiboly uzavárané v granáte, ako aj amfiboly amfibolovo-plagioklasových agregátov. Majú napr. vysoký obsah TiO₂ (0,9–1,0 %) a temer analogický pomer Fe/Fe + Mg (52–54 %). Aj tieto relácie potvrdzujú paragenetickú rovnovážnosť granatických amfibolitov. Plagioklas sféroidných agregátov majú 38 % An. Uzavreniny ilmenitu v granáte majú zvýšenú prímes Mn.

Vznik granátu v niektorých amfibolitoch a jeho chýbanie v druhých typoch (menovite v strednohrubozrnných amfibolitoch s apogabrovou štruktúrou) sa vysvetľuje rozdielmi v predmetamorfom zložení hornín. Granát ako najviac ferofilný minerál vzniká v rámci horninotvorných silikátov len v amfibolitoch s vysokým pomerom Fe/Fe + Mg. Tak vo vzorke 6 (tab. 3) je faktor železnatosti granátu 86–87 % a amfibolu 52–55 %. Aj podľa geologických vzťahov protolitom tejto horniny boli pravdepodobne pyroklastiká s prímiesou sedimentogénnej frakcie obohatenej o Fe.

Bežné gabrá sú horečnaté horniny, v ktorých pomer Fe/Fe + Mg kolíše v rozpätí 25–35 %. Preto pri ich metamorfóze vznikajú skôr Mg-amfiboly. Taká železnatá fáza, akou je granát, v nich nemôže vzniknúť. Preto sa v apogabrových (stredno- až hrubozrnných) amfibolitoch komplexu Bujanovej granát nevyskytuje. Diskutované vzťahy sú zjavné z porovnania granatických amfibolitov s biotiticko-amfibolickými rulami (tab. 2, vz. 8), v ktorých je železnatosť amfibolu podstatne nižšia (47,5 %), preto v nich granát nevzniká.

Špecifické centrické štruktúry granatických amfibolitov (obr. 2) možno objasniť metamorfnými reakciami pri vzniku granátu. Proterogénne amfiboly s vysokým obsahom Fe a Ti boli v procese metamorfózy dezintegrované za vzniku granátu, Mg-amfibolu, titanitu a ± klnozoisitu podľa reakcie:



Geotermometria metamorfítov komplexu Bujanovej

Z asociácií rovnovážnych minerálov základných typov metamorfítov komplexu Bujanovej vyplýva vznik predmetných paragenéz v podmienkach metamorfózy biotitovo-sillimanitovo-muskovitovej subfácie. V horninách sú stabilné muskovity a klnozoisity. Avšak nízka prímes paragonitovej a fengitovej molekuly v muskovite (nizky obsah Ca, Mg a Fe) a analogicky nízka železnatosť klnozoisitu (optické dáta) poukazujú na teplotné podmienky blížiacie sa k vrchnej hranici stability oboch minerálov. To znamená, že teplota metamorfózy sotva prevyšovala 600–610 °C.

V podmienkach tejto subfácie je obvyklé anatektické a injekčné formovanie granitov a prítomnosť muskovitu v leukozóme (Thompson — Tracy, 1979). Ani komplex Bujanovej nie je v tomto smere výnimkou. V ňom sú predovšetkým sústredené všetky typy granitoidov Čiernej hory (Jacko a Petrik, 1987).

Metamorfne podmienky komplexu Bujanovej možno geotermometricky stanoviť pomocou biotitovo-granátového a granátovo-amfibolového geotermometra. Podľa biotitovo-granátového geotermometra (Aranovič, 1983) okrajová časť granátu vzorky č. 1, (tab. 2) kryštalizovala pri 675 °C a okrajová časť vzorky č. 454 pri 639 °C. Pretože je v týchto rulách stabilný muskovit a alternatívna asociácia Sill + Ksp nie je zastúpená, uvedené teplotné údaje sú zrejme nadhodnotené.

Podľa granátovo-amfibolového termometra (Graham a Powell, 1984) centrálna časť prvého zrna vo vzorke č. 6 (tab. 3) kryštalizovala pri teplote 629 °C a v jeho okrajovej časti pri 625–646 °C. Kryštalizácia okrajových častí druhého zrna prebiehala pri 649, resp. 620 °C.

Vyššie diskutovaným paragenetickým vzťahom sa najviac blíži minimálna teplota (625–620 °C) stanovená granátovo-amfibolovým termometrom. Považujeme ju preto za strednú teplotu periplutonickej metamorfózy komplexu Bujanovej.

Tlakový parameter tejto metamorfózy nemožno exaktne posúdiť pre neprítomnosť geobarometricky indikatívnych paragenéz. Jeho približnú hodnotu možno stanoviť z obsahu Mg v granátoch berúc do úvahy, že hodnota X_{Mg} v granátoch je v každej paragenéze kontrolovaná predovšetkým celkovým

tlakom (Marakušev, 1965, 1973). Maximálnu horečnosť (25 %, t. j. 24 % pyropu) vykazujú granáty rúl komplexu Bujanovej (tab. 2, vz. č. 1). Takéto hodnoty nie sú typické pre relatívne plytšie aureoly andaluzitovo-sillimanitového typu, v ktorých P_s neprevyšuje 350 MPa.

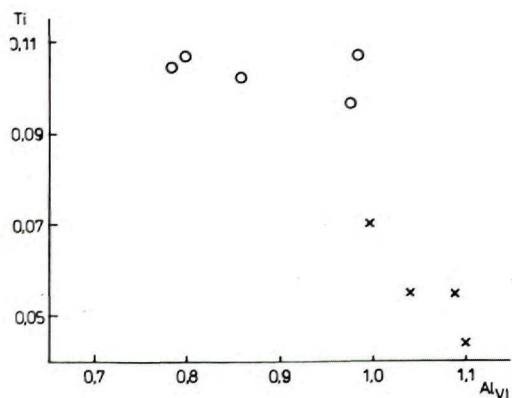
Z porovnania s metamorfítmi analogickej (biotitovo-sillimanitovo-muskovitovej) subfácie iných regiónov, v ktorých boli geobarometrické parametre exaktne stanovené a kde horečnosť granátov dosahuje 25 %, vyplýva, že tlakový parameter metamorfózy komplexu Bujanovej sa rovnal, resp. neprevyšoval 400–450 MPa.

Značný tlakový gradient varisej progradnej metamorfózy medzi metamorfítmi lodinského komplexu a komplexu Bujanovej potvrdzuje tektonický uzáver o násune hornín komplexu Bujanovej na metamorfity lodinského komplexu, ktoré vznikli podľa T-P údajov v menších hĺbkach (cf. Korikovskij et al., 1990).

Porovnanie zloženia minerálov granatických amfibolitov lodinského komplexu a komplexu Bujanovej

Rozdiely v zložení minerálov granatických amfibolitov v lodinskom komplexe a v komplexe Bujanovej potvrdzujú odlišné podmienky varisej progradnej metamorfózy v oboch litostratigrafických jednotkách kryštalinika Čiernej hory. Kryštalochemické vzorce amfibolov z granatických amfibolitov oboch komplexov uvádza tab. 4. Pôvodné analýzy granátov a amfibolov lodinského komplexu sú publikované v inej práci (cf. l.c.).

Z tab. 4 a obr. 3 je zrejme, že amfiboly z granatických amfibolitov komplexu Bujanovej obsahujú



Obr. 3. Obsahy Ti a Al_{VI} v kryštalochemických vzorcoch amfibolov z granatických amfibolitov lodinského komplexu (X) a komplexu Bujanovej (O).

Fig. 3. Content of Ti and Al_{VI} in crystal chemistry formulae of amphiboles from garnet amphibolites of the Lodina complex (X) and the Bujanová complex (O).

temer 1,5 krát viac Ti a značne menej oktaedrického hliníka (Al_{VI}) než amfiboly granatických amfibolitov lodinského komplexu. Takéto rozdiely a zloženie amfibolov dokumentujú oveľa vyššiu teplotu metamorfózy komplexu Bujanovej.

Granáty granatických amfibolitov oboch komplexov majú porovnateľný obsah CaO (9–16 %). V komplexe Bujanovej sú však zreteľne horečnejšie (Fe/Fe + Mg 86–87 %) než v lodinskom komplexe (Fe/Fe + Mg 95 % v centre a 92–93 % na okrajoch zrna). Tieto rozdiely (za predpokladu, že sa porovnávajú ekvivalentné paragenézy) treba vysvetliť rozdielmi teploty a tlaku metamorfózy. V týchto intenciách zloženie kritických minerálov amfibolitov môže poslúžiť ako kvalitatívne kritérium intenzity metamorfózy.

Záver

Z geologicko-petrologických relácií metamorfítov komplexu Bujanovej sme dospeli k nasledujúcim poznatkom.

1. Základným typom predalpínskych nemigmatizovaných metamorfítov komplexu Bujanovej sú jemnozrnné biotitické ruly. Ich protolitom boli pravdepodobne droby.

2. Metabazity tvoria cca 10 % objemu metamorfítov komplexu Bujanovej. Sú zastúpené hlavne strednozrnnými masívnymi biotitickými amfibolitmi, drobnozrnnými amfibolitmi a amfibolickými rulami. Celkom sporadicky sa vyskytujú hrubozrnné pyroxenické amfibolovce a granatické amfibolity. Chemické zloženie metabazitov indikuje tholeiitický charakter ich protolitu. Amfibolické ruly a granatické amfibolity vznikli zrejme z pyroklastík tholeiitov so sedimentogénnou prímiesou.

3. Ruly a metabáziky komplexu Bujanovej vykazujú v zásade izofaciálne vzťahy. Ich kritické minerálne paragenézy i výsledky geotermometrických meraní dokumentujú metamorfné podmienky biotitovo-sillimanitovo-muskovitovej subfácie metamorfózy a teplotné rozpätie pravdepodobne 620–625 °C. Až 24 % obsah pyropovej molekuly v granátoch rúl indikuje tlak 400–450 MPa.

4. Odlišné faciálne podmienky vzniku amfibolov z amfibolitov lodinského komplexu a komplexu Bujanovej indikujú rozdielne podmienky metamorfózy v oboch litostratigrafických jednotkách, ako aj superpozíciu komplexu Bujanovej na metamorfity lodinského komplexu.

Literatúra

- Aranovič, L. J. 1983: Biotit-granatovije ravnovesja v metapelitoch. I. Termodinamika tverдых rastvorov i mineralnych reakcij. In: *Očerky fiziko-chimickéskoj petrologiji, II. Moskva, Nauka, 121–136.*

- Avčenko, O. V. 1982: Petrogenetická informativnosť granátov metamorfičeských porod. *Moskva, Nauka*, 104 s.
- Graham, C. M. a Powell, R. 1984: A garnet — hornblende thermometer: Calibration, testing and application to the Pelona schists, S. California. *J. Met. Geol.*, 2, 1, 13—31.
- Fediuk, F. 1966: Příspěvek k metodice optického určování chemizmu některých monoklinických amfibolů. *Spisy Přírodověd. fak. UJEP v Brně, série E 32, F 10, 8, 476, 329—338.*
- Jacko, S. 1978: Litologicko-štruktúrna charakteristika centrálnej časti pásma Čiernej hory. *Západ. Karpaty, Sér. Geol.*, 59—80.
- Jacko, S. a Petrik, I. 1987: Petrology of the Čierna hora Mts. Granitoid rocks. *Geol. Zbor. Geol. carpath.*, 38, 5, 515—544.
- Korikovskij, S. P. 1979: Facii metamorfizma metapelitov. *Moskva, Nauka*, 263 s.
- Korikovskij, S. P., Jacko, S. a Boronichin, V. A. 1989: Faciálne podmienky variskej progradnej metamorfózy v lodinskom komplexe kryštalinika Čiernej hory. *Mineralia slov.*, 22.
- Marakušev, A. A. 1965: Problemi mineralnykh facij metamorfičeskich i metasomatičeskich gornych porod. *Moskva, Nauka.*
- Marakušev, A. A. 1968: Termodinamika metamorfičeskich gidratacij mineralov. *Moskva, Nauka.*
- Thompson, A. B. a Tracy, R. J. 1979: Model systems for anatexis of pelitic rocks. II. Facies series melting and reactions in the system $\text{CaO-KAlO}_2\text{-NaAlO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$. *Contr. Mineral. Petrology (New York — Heidelberg — Berlin)*, 70, 429—438.

INFORMÁCIA

Ťažba surovín vo svete

Predkladáme informáciu o ťažbe, vývoji výroby, spotreby a úrovni využívania nerastných surovín v niektorých štátoch, ktorá môže slúžiť ako porovnanie pre našu geologickú i banícku verejnosť najmä v období, keď sa snažíme zefektívniť ťažbu našich surovín a dostať sa na úroveň svetovej a európskej ekonomiky.

Francúzsko

Francúzsko patrí medzi štáty, kde sa už uskutočnila reštrukturalizácia národného hospodárstva. Ťažba surovín z domácich zdrojov je aj pre taký vyspelý štát, ako je Francúzsko, ekonomicky výhodná.

Nižšie uvedené údaje sú za rok 1987 a zvýšenie, resp. zníženie ťažby sa porovnáva s rokom 1986. Údaje sú z časopisu *Chronique de la recherche Minière*, 1988/12.

Nafta. Vyťažilo sa 3,2 mil. t, najmä z ložísk v Alsasku, v Aquitaine a v parížskom bazéne. Zvýšenie ťažby je o 10 %.

Zemný plyn. Vyťažilo sa 5 493 tis. m³, zvýšenie je o 8,5 % s hlavnou ťažbou v Aquitaine.

Čierne uhlie. Ťažba 13,7 mil. t, pokles o 4,5 %.

Lignit. Ťažba 2,05 mil. t, zníženie o 4,5 %.

Urán. Produkcia 3 389 t, vzrast o 4,2 %. Domáca potreba sa kryje cca na 50 %.

Železné rudy. Ťažba 11,2 mil. t, zníženie je o 9 %, ale v porovnaní s rokom 1960 až o 80 %. Spotreba Francúzska je cca 25 mil. t ročne.

Bauxit. Vyťažilo sa 1,2 mil. t, približne toľko ako v roku 1986. V predchádzajúcich rokoch sa však ťažba znižovala ročne o 5—10 %.

Gálium. Získava sa ako sprievodný prvok pri výrobe hliníka a vyrába sa asi 20 t ročne. Francúzsko patrí k najväčším výrobcom gália vo svete.

Polymetalické rudy. Ťažba a výroba olova je 2 200 t, ale je nižšia ako v roku 1986 o 12 %. Zinku sa ťaží vyše 31 000 t, zníženie je o cca 21 %. Ložisko La mine des Malines sa v rokoch 1988—1989 zatvára, ťaží sa ložisko La mine de Noailhac — Saint — Salmy. Domáca výroba kryje spotrebu Francúzska len cca na 7 %. V rude ložiska La mine de Noailhac je okolo 100—120 g/t germánia; ročne sa ho získava okolo 2 t.

Zlato, striebro. Výroba zlata 2,5 t kryje spotrebu na 10 %. Striebra sa vyťažilo 21,7 t, čo kryje spotrebu na 3—4 %.

Med. Výroba medi 1 000 t kryje spotrebu na 0,2 %. Výroba zlata, striebra i medi sa znížila o 5—20 % v porovnaní s predchádzajúcim rokom. Tieto kovy sa ťažili na 2 ložiskách. Ložisko Salsigne (Gard) predstavuje komplexný typ Au, Ag, Cu, As, Bi — ťaží sa povrchovo i podzemne. V roku 1987 sa získali 2 t zlata, 4,3 t striebra, 1 000 t medi, 15,2 t bizmutu. Vyrábala sa aj kyselina sírová a výrobky z arzénu. Hrubá ťažba bola 218,6 kt pri priemerných obsahoch 11,5 g Au, 19 g Ag, 0,45 % Cu, 70 g/t Bi. Druhé ťažené ložisko Bourneix malo ťažbu 7 000 t pri obsahu 23 g/t Au. Ďalšia výroba striebra bola z ložísk polymetalických rúd.

Volfrám. Ťažba a výroba volfrámu bola v roku 1986 zastavená, celá spotreba WO₃ Francúzska — 600 t — je dnes krytá dovozom. Doteraz sa využívalo ložisko La mine de Salan (SMA), kde bol hlavný minerál scheelit. Ťažba bola zastavená pre lacný nákup WO₃ z Číny.

Cín. Celá spotreba 7 400 t sa dováža.

Antimón. Celá spotreba 4 600 t je krytá dovozom. Od roku 1989 sa začala ťažba ložiska Brouzils, kde sa má získať ročne 1 200—1 400 t Sb.

Fluorit. Na 8 ložiskách sa vyťažilo 368, 3 t, priemerná kvalita ťažených rúd je cca 50 % fluoritu, 1/3 výroby sa vyváža ako hotové fluoritové výrobky.

Baryt. Ťažba a výroba barytu 104,5 kt (50—60 % v rude) znamená zníženie oproti roku 1986 o 8 %. Vyše 50 % výroby sa exportuje do SRN. Hlavná ťažba a výroba je z ložiska Chailac a z ložiska Lacan (Aveyron) s obsahom barytu.

Draselné soli. Hrubá ťažba 10 176 kt sylvinitu pri strednom obsahu K₂O 15,53 % je z ložísk Alsaska. Výroba kryje spotrebu Francúzska na 90 %.

Mastec. Ťažba 528,8 kt je približne na úrovni roku 1986, jedna tretina sa exportuje. Celá ťažba je z ložísk v oblasti Luzenac.

Kamenná soľ. Výroba 7 713 kt predstavuje zvýšenie oproti roku 1986 o 2,7 %. Spotreba Francúzska činí 3 100 kt, ostatné sa exportuje.

Andaluzit. Ťaží sa na ložisku Glomel (Côtes-du-Nord) (450 kt), zníženie oproti predchádzajúcemu roku o 8,8 %.