

Geologicko-ložisková klasifikácia výskytov zeolitov na Slovensku

IMRICH VARGA

Geologický prieskum, n. p., geologická oblasť, 040 11 Košice

Doručené 8. 2. 1988

Геологическая классификация цеолитовых месторождений Словакии

Геологическая классификация цеолитовых месторождений была сделана с использованием 5-ти групп классификационных критерии, из которых три качественные геологические (геологическая среда, морфология аккумуляций, генетические условия возникновения) и две количественные для месторождения (степень разведанности и качественная характеристика рудных тел). Исходная классификация использована для оценки прогнозных ресурсов цеолитового сырья.

Economic geological classification of zeolite occurrences in Slovakia

Economic geological classification was applied using five groupings of classification criteria from which three are geological and qualitative (geological environment, morphology of bodies and genetic conditions) whereas two further are economic and quantitative (exploration level, technological quality of raw). The resulting classification is used for the assessment of prognostic resources of the zeolite raw.

Výskyty zeolitov na Slovensku sú predmetom mineralogického výskumu už vyše 10 rokov a stali sa cieľom geologicko-prieskumných prác v r. 1982. Od toho obdobia sa vykonali rozsiahle výskumy ich minerálneho zloženia, technologických vlastností a tiež veľké množstvo terénnych pozorovaní, zameraných na zistenie litologických podmienok výskytov a rozsahu zeolitovej mineralizácie v materských horninách. Najväčšie výskyty zeolitovej mineralizácie na východnom i strednom Slovensku boli systematicky overené vrtmi,

ktoré umožnili vypočítať zásoby zeolitu, ako novej nerudnej suroviny, a to tak v priemyselných, ako aj v prognózných kategóriách zásob. Všetky tieto nové údaje doplnila pasportizácia všetkých známych výskytov zeolitovej mineralizácie na Slovensku s cieľom zhodnotiť ich význam ako indikátorov perspektívnych ložiskových telies zeolitovej suroviny. V súvislosti s takou pasportizáciou bolo potrebné jednotlivé výskyty klasifikovať tak z hľadiska ich geologického výskytu (podmienok okolia i samotnej zeolitovej minerali-

zácie), ako aj z hľadiska významu každého výskytu pri zhodnotení prognóz a zistení ložiskových kvalít a rozmerov dotyčného výskytu.

V súvislosti s postupným vzrastom počtu známych výskytov zeolitov vo svete a so vzrastom počtu využívaných ložísk tejto suroviny sa vykonali početné klasifikácie výskytov a ložísk. Pravda, prístupy k jednotlivým klasifikáciám boli rozmanité (prevažne mineralogické alebo empiricko-ložiskové, prípadne štruktúrno-geologické — na stanovenie potenciálne nádejných území ich ďalšieho výskytu) a bezprostredná aplikácia niektorej klasifikačnej schémy na výskyty u nás odkryje aj jej nedostatky vyplývajúce z iného (alebo inakšie spracovaného) faktografického materiálu alebo vyplývajúce z iných účelov klasifikácie.

Klasifikáciu slovenských výskytov zeolitovej mineralizácie už doteraz urobili Šamajová (1979, 1981) a Šamajová a Kraus (1985), vychádzajúc z výsledkov vlastného dlhoročného výskumu zeolitových minerálnych paragenéz v neovulkanitoch. Podľa týchto klasifikácií (Šamajová, 1981) patria výskyty zeolitových paragenéz zistené v neovulkanických komplexoch stredného a východného Slovenska k dvom genetickým typom: mineralizácia hrabovského tufu predstavuje diagenetický typ, zatiaľ čo akumulácie mordenitu v kyslých vulkanogénnych klastikách patria na východnom i strednom Slovensku k hydrotermálnometasomatickému typu mineralizácie. Poznatky ukazujú (Šamajová, l. c.), že zeolity a ílové minerály sa môžu tvoriť z rovnakého prvotného materiálu pod vplyvom pórových vôd za rozličných fyzikálno-chemických podmienok prostredia a určujúcimi faktormi sú: zloženie, zrnitosť, priepustnosť a vek materskej horniny; tlak a teplota; najmä však chemické zloženie pórových roztokov, ich pH, salinita a pomery rozpustených

iónov. Tieto podmienky sú v súlade so závermi Haya (1966), a aj Iijima (1980) za rozhodujúci faktor pre klasifikáciu genetických typov zeolitových ložísk považuje zloženie a teplotu pórových roztokov.

Ako uvádzajú Šamajová a Kraus (1985), za rovnakých teplotných podmienok prostredia je hlavným faktorom pH pórových roztokov, ktoré rozhoduje o vzniku zeolitov alebo smektitov na úkor pôvodnej vitroklastickej zložky kyslých vulkanoklastik. Zeolitové minerály sú produktmi alkalického prostredia a pokles hodnoty pH vytvára vhodné podmienky na vznik ílových minerálov. Za takých podmienok nastáva rovnovážny stav pre vznik oboch, zeolitov a smektitov, blízko neutrálneho bodu alebo v slabo alkalických podmienkach (Senderov, Chitarov, 1970). Na druhej strane však kryštalizácia ílových minerálov vedie k vzrastu alkalinity a ku koncentrácii iónov Si v roztokoch, čo môže opätovne nastoliť podmienky vhodné pre kryštalizáciu zeolitových paragenéz. Ako vyplýva z uvedeného, v takej klasifikácii sa využíva najmä minerogenetický aspekt výskytov.

Ložiskovogeologické hľadiská sa uplatnili v rade ďalších klasifikačných schém zeolitových akumulácií najmä na využitie kritérií na prognózovanie nádejných území. Tak Čelišev (1986) delí ložiskové akumulácie zeolitov na vulkanogénno-hydrotermálne, vulkanogénno-sedimentárne a sedimentárne. V súlade s prevládajúcimi názormi Semenov (1985) člení zeolitové ložiská Primorska na východe ZSSR na diagenetické a hydrotermálne a podobný prístup uplatňujú aj Nistratov et al. (1985), keď akumulácie zeolitov zaraďujú podľa príslušnosti k dvom typom hydrotermálnej aktivity, ktorá sa uplatnila buď vo vitroklastických tufoch prikráterových zón (Kamčatka, Primorsko) alebo v rovnakých vitroklastických horninách tektonických depresí a prepadlín (Priamursko a Pri-

morsko), kde sú vulkanoklastiká väčšinou silnejšie premenené a jemnozrnejšie (vitroklastické tufy a ignimbrity).

Prognostické účely podmienili klasifikáciu ložísk zeolitov navrhnutú Btatovom (1985), ktorá odlišuje regionálne faktory lokalizácie (tu radi štruktúrno-formačné predpoklady a tektonicko-magmatické predpoklady) od lokálnych faktorov mineralizácie (litologické, stratigrafické, hydrogeochemické, biochemické a iné predpoklady výskytov). Ložiskovogeologické hľadiská sa uplatnili aj v známej klasifikácii Mumpton (1973), podľa ktorej možno ložiská prírodných zeolitov na základe spôsobu výskytu, mineralogického zloženia a geologického prostredia (od typických po výnimočné) rozdeliť do šiestich typov. Svoju klasifikáciu však Mumpton (l. c.) nepovažoval za konečnú a uvádza, že niektoré ložiská sú zmiešané typy. Ložiská delí na:

1. ložiská vzniknuté z vulkanogénneho materiálu v podmienkach „uzavretých“ systémov soľných jazier,

2. ložiská vzniknuté z rovnakého materiálu v podmienkach „otvorených“ systémov sladkých jazier a spodných vôd,

3. ložiská vzniknuté z rovnakého materiálu v pobrežných alebo hlbokomorských podmienkach,

4. ložiská vzniknuté v podmienkach poklesovej metamorfozy (zeolitová fácia),

5. ložiská vzniknuté aktivitou hydrotermálnych roztokov alebo horúcich prameňov,

6. ložiská vzniknuté v jazerných i morských prostrediach bez známeho vplyvu vulkanickej činnosti.

Na problémy so striktným uplatnením tejto klasifikácie sme poukázali pri pokuse využiť ju pri posúdení podmienok vzniku nížohrabovského ložiska (Varga et al., 1986).

Záverom tohto stručného prehľadu možno uviesť, že hlavným problémom minero-

genetických klasifikácií je nedostatočné uplatnenie kvantitatívnych ložiskových hľadísk pri klasifikácii zeolitových koncentrácií, čo obmedzuje ich využitie na kvantitatívne prognózne ciele: jednotlivé faktory výskytov nemožno použiť pri rozhodovaní o výbere vhodných objektov na ďalšie skúmanie. Z takej skúsenosti sme vychádzali aj vtedy, keď sme sa pokúsili výskyt zeolitej mineralizácie na Slovensku klasifikovať na ložiskovoprognózne účely tak, aby výsledok klasifikácie bol súčasne kvantitatívnym výstupom na zhodnotenie významu toho-ktorého výskytu pri ďalšom overovaní. Na tieto účely sme klasifikáciu založili tak na geologických a mineralogických kritériách, ako aj na ložiskovogeologických a technologických (kvantitatívnych). Uplatnením oboch kritérií sa dosiahlo, že výsledky klasifikácie mohli tvoriť základňu na stanovenie prognózných zdrojov zeolitej suroviny a prípadne i východisko pri ich ďalšom overovaní v súlade s požiadavkami.

Geologické prostredie výskytov

Geologické prostredie výskytov klasifikujeme takto:

A 1 Kyslé vulkanogénne klastiká:

A 11 vulkanogénne klastiká usadené v morskom až brakickom prostredí (peliticko-psamitické),

A 12 vulkanogénne klastiká usadené v suchozemskom až limnickom prostredí (pelitické až psefitické),

A 13 vulkanity v kontakte so zvodnenými morskými sedimentmi.

A 2 Intermediárne vulkanity:

A 21 hydrotermálne premenené zóny (mandľovcový až puklinový typ),

A 22 zóny pôsobenia solfatár,

A 23 kontaktné pásma v klastických sedimentoch a xenolity uzavreté vo vulkanitoch.

A 3 Bázičné vulkanity:

A 31 produkty postvulkanickej činnosti v mandľovcoch a na puklinách.

Nami pasportizovaných 44 výskytov a ložísk zeolitovej mineralizácie na Slovensku možno s využitím tohto kritéria klasifikovať takto: 17 výskytov (39 %) je v kyslých vulkanogénnych klastikách, 24 výskytov (55 %) v intermediárnych vulkanitoch alebo na ich kontaktoch a 3 výskyty (7 %) v bazických vulkanitoch. Všetky vulkanity sú terciérne a mladšie. Ak sledujeme podrobnejšie členenie, potom prevažná časť výskytov v kyslých vulkanogénnych klastikách spadá do hor-

nín usadených v morskom až brakickom prostredí (12 výskytov — 27 %) a len menšia časť do suchozemských až jazerných hornín (4 výskyty — 9 %). V podskupine A 2 je podstatná časť (18, t. j. 41 %) výskytov na hydrotermálne premenených zónach a len menšia časť (6, t. j. 14 %) v kontaktných pásmach a v xenolitoch. Všetky doteraz prieskumne overované výskyty sú v podskupine A 1, ktorá sa podieľa na všetkých výskytoch 39 percentami (17 výskytov). Distribúcia výskytov podľa kritéria geologického prostredia je v tab. 1.

TAB. 1

Klasifikácia zeolitových výskytov na Slovensku podľa geologického prostredia, morfológie akumulácií a genetických podmienok vzniku
Classification of zeolite occurrences in Slovakia according to the geological environment (A), morphology of bodies (B) and genetic conditions (C)

A Geologické prostredie								
Oblasť	A 1			A 2			A 3	Spolu
	A 11	A 12	A 13	A 21	A 22	A 23	A 31	
1	11	2	1	8	—	4	—	26
2	—	2	—	8	2	—	—	12
3	1	—	—	2	—	—	3	6
Spolu	12	4	1	18	2	4	3	44

B Moroflógia akumulácií					
Oblasť	B 1	B 2	B 3	B 4	Spolu
1	10	3	9	4	26
2	—	2	8	2	12
3	1	—	5	—	6
Spolu	11	5	22	6	44

C Genetické podmienky					
Oblasť	C 1	C 2	C 3	C 4	Spolu
1	10	5	10	1	26
2	—	2	10	—	12
3	1	—	5	—	6
Spolu	11	7	25	1	44

1 — východné Slovensko, 2 — stredné Slovensko, 3 — ostatné oblasti Slovenska.

Morfológia zeolitových akumulácií

Podľa morfológie rozlišujeme 4 typy zeolitových akumulácií:

- B 1 stratiformné, konkordantne mineralizované telesá,
- B 2 stratiformné telesá, diskordantne mineralizované,
- B 3 mandľovcové a puklinové pásma (subvertikálne),
- B 4 kontaktné pásma intruzívnych telies.

Morfologické hľadisko distribúcie zeolitovej mineralizácie v rozmanitom geologickom prostredí sa vyznačuje omnoho menšou variabilitou, a preto aj počet klasifikačných kritérií je nižší. Podľa použitých znakov spadá podstatná časť registrovaných výskytov do podskupiny B 3 (22 výskytov — 50 %), ktorá však podľa iných znakov je z ložiskového aspektu málo perspektívna. Podskupina B 1 je zastúpená 11 výskytmi (25 %) dosahujúcimi takmer vždy ložiskové rozmery, podskupina B 4 siedmimi výskytmi (16 %) a podskupina B 2 piatimi výskytmi. Doteraz prieskumne overované typy sú klasifikované v podskupinách B1 a B 2 a takých výskytov je spolu 16 (36 %), čo zodpovedá ich podielu aj podľa geologického prostredia. Výsledky klasifikácie podľa morfológie akumulácií udáva tab. 1.

Genetické podmienky vzniku

Genetické podmienky vzniku zeolitových akumulácií delíme na:

- C 1 diageneticko-epigenetické procesy (sallinné pórové vody),
- C 2 prikontaktné premeny (hydrotermálnometasomatické),
- C 3 postmagmatická aktivita zo zdroja viazaného na uzavierajúcu horninu,
- C 4 nízкотеплотná hydrotermálna aktivita bez zjavného súvisu s identifikovateľným zdrojom.

Použitie genetického kritéria v kvantita-

tívnom zmysle je najzložitejšie, pretože jednotlivé kritériá nie sú jednoznačne ohraničené, alebo sú diskutabilné, prípadne podmienky vzniku sú také, že zodpovedajú niekoľkým (viac ako jednej) z uvedených podskupín. Napriek tomu možno 24 výskytov (55 %) zaradiť do podskupiny C 3 (postmagmatická aktivita, najmä v intermediárnych horninách), do podskupiny C 1 spadá 12 výskytov (27 %) a do podskupiny C 2 sedem výskytov (16 %). Prieskumne sme overili výskyty podskupiny C 1 a C 2 (18 výskytov, t. j. 41 %). Výsledky klasifikácie podľa genetických podmienok vzniku sú v tab. 1.

Stupeň geologického overenia

Ako vyplýva z predošlých klasifikačných kritérií, litologické, mineralogické a genetické alebo morfologické kritériá vyjadrujú ložiskový (t. j. ekonomický) význam zeolitových akumulácií iba nepriamo, cez charakteristické prostredie, morfologický či genetický typ, v ktorom sú priemyselne využiteľné akumulácie častejšie, a preto aj viac pravdepodobné. Kvantitatívny prvok v klasifikácii predošlých kritérií je obťažné využiť, preto sme zvolili ďalšie, ložiskovogeologické kritériá, kde kvantifikované údaje možno uplatniť pomerne úspešne. Z kvantitatívnych hľadísk je dôležitý rozmer (veľkosť) akumulácie, kvantitatívne vyjadrený obsah úžitkového minerálu (vyjadrený buď priamo alebo cez jeho určitú kvantifikovanú vlastnosť) a stupeň (úroveň) poznania dôležitých ložiskovogeologických údajov o tom-ktorom výskyte. Tento údaj je mimoriadne dôležitý, ak sa klasifikácia využíva na prognózne účely: určuje klasifikačné poradie v stratégii ďalšieho overovania. Okrem toho stupeň geologického overenia vyjadruje aj možnosť a úplnosť aplikácie kvantitatívnych ložiskových kritérií na prirodzenú akumuláciu

zeolitových minerálov.

Kvalitatívne podmienky výskytov v takom zmysle vyjadrujú ložiskovú kvalitu výskytu určenú nie iba kvantitatívnymi údajmi o výplni ložiska (druh a charakter distribúcie zeolitového minerálu), ale aj veľkosťou (rozmerom) mineralizácie a koncentráciou (intenzitou) v rôznych častiach ložiskového telesa. Tieto kritériá podmieňujú nutnosť dostatočne presne charakterizovať ložiskové teleso s kvantifikáciou údajov, ktoré sa pre túto charakteristiku vyberajú. Na dôležitosť poznania a problémy spojené s presným udaním látkového zloženia akumulácií v ložiskových rozmeroch ukazuje aj skúsenosť, že podstatná časť metodicky zameraných publikácií o zeolitových surovinách vo svete sa zaoberá problematikou stanovenia kvalitatívnych charakteristík suroviny. Údaje sa získavajú buď priamo cez niektorú fyzikálno-chemickú vlastnosť alebo nepriamo, cez kvantitatívne určenie minerálneho obsahu. Tieto okolnosti zároveň upozorňujú na to, že súčasne používanú metodiku určovania kvality zeolitevej suroviny nemožno považovať za definitívnu a pri postupnom zavádzaní nových spôsobov využitia suroviny budú nevyhnutné jej ďalšie modifikácie.

Po zvážení diskutovaných predpokladov sme stupeň geologického overenia klasifikovali takto:

- D 1 ložiskové akumulácie so zásobami kat. C_1 a C_2 ,
- D 2 ložiskové akumulácie s prognóznymi zdrojmi P_1 ,
- D 3 ložiskové akumulácie s prognóznymi zdrojmi P_2 ,
- D 4 ložiskové akumulácie s prognóznymi zdrojmi P_3 ,
- D 5 neprognočné výskyty zeolitevej mineralizácie.

Z doteraz známych 44 výskytov zeolitevej mineralizácie sme klasifikovali 9 (20 %) ako ložiskové akumulácie, kým ostatných

35 výskytov (80 %) je z ložiskového hľadiska neprognočných (približný pomer je 1 : 4).

Medzi ložiskovými akumuláciami sú dve ložiská s overenými zásobami (Nižný Hrabovec a Kučín — Pusté Čemerné). Ložiskové akumulácie s prognóznymi zdrojmi kategórie P_1 sú na troch výskytoch (Barťošova Lehôtka — Paseka, Majerovce a Veľká Trňa — Trebušky). Prognózne zdroje kategórie P_2 sme doteraz nestanovili a prognózne zdroje kategórie P_3 sú na ďalších 4 výskytoch (Vranov nad Topľou — Pod dubom, Petrovce — Oblík vo východoslovenských neovulkanitoch; Nová Bašta na južnom Slovensku a Vígľašská Huta — Kalinka v stredoslovenských neovulkanitoch). Ostatné výskyty dnes považujeme za neprognočné.

Príslušnosť takto klasifikovaných ložiskových akumulácií k jednotlivým typom geologického prostredia, morfológie a genetických podmienok potvrdzuje a kvantifikuje už známe poznatky: ložiská s overenými zásobami sú stratiformné telesá konkordantne mineralizované, ktorých materská hornina sa usadila v morskom až brakickom prostredí a mineralizácia vznikla s príspevom salinných pórových vôd. Podobná charakteristika je v prípade jedného výskytu so zdrojmi kat. P_1 (z 3) a v dvoch prípadoch s P_3 (zo 4). Preto možno tento typ prostredia a morfológie, ale i genézy považovať za ložiskovo najvýznamnejší. Významný typ predstavujú i konkordantne uložené vulkanoklastiká v suchozemskom až limnickom prostredí mineralizované diskordantne a na kontakte s intruzívnymi telesami, z ktorých dva výskyty obsahujú zdroje kategórie P_1 a jeden P_3 . Z ložiskového hľadiska sú najmenej významné hydrotermálne premenené pásma v intermediárnych vulkanitoch (1 výskyt). Ak počítame iba výskyty, kde ložiskový rozmer je potvrdený alebo pravdepodobný, potom 89 % ložisko-

vých akumulácií predstavuje koncentrácie klinoptilolitu a mordenitu v kyslých vulkanogénnych klastikách, čím sa potvrdzuje význam takých ložísk, inak známy všeobecne aj vo svete.

Distribúcia registrovaných výskytov podľa stupňa geologického overenia je v tab. 2. Z aplikácie tohto kritéria vyplýva aj možnosť klasifikácie podľa posledného kritéria, ktorým sú kvalitatívne podmienky výskytov.

TAB. 2

Klasifikácia zeolitových výskytov na Slovensku podľa geologickej preskúmanosti
Classification of zeolite occurrences in Slovakia according to the exploration level

Oblasť	D					Spolu
	D 1	D 2	D 3	D 4	D 5	
1	2	2	—	2	20	26
2	—	1	—	1	10	12
3	—	—	—	1	5	6
Spolu	2	3	—	4	35	44

Kvalitatívne podmienky výskytov

Rozlišujeme:

- E 1 klinoptilolitové ložiská,
- E 2 mordenitové ložiská,
- E 3 ložiská ostatných zeolitov,
- E 11, E 21, E 31 známa distribúcia kvality,
- E 111, E 211, E 311 známe osobitné kondie,
- E 112, E 212, E 312 neurčené osobitné kondie,
- E 121, E 2121, E 3121 ložisková kvalita podľa analógie,
- E 1122, E 2122, E 3122 neložisková kvalita podľa analógie,
- E 12, E 22, E 32 neznáma distribúcia kvality,
- E 121, E 221, E 321 pravdepodobne ložisková kvalita podľa analógie,
- E 122, E 222, E 322 pravdepodobne neložisková kvalita podľa analógie.

Pomerne veľké množstvo faktografického materiálu si vyžiadalo presne vymedzené klasifikačné kritériá, ktorých použitie umožňuje nielen kvalitatívnu charakteristiku prognózných zdrojov, ale indikuje aj potrebné zameranie ďalších prác na zisťovanie kvalitatívnych charakteristík.

Kvalitatívne podmienky výskytov sa stanovili počas registrácie väčšinou iba z povrchových údajov. Naproti tomu na preskúmaných výskytoch je k dispozícii značný počet údajov, ktoré sú presné. Treba podotknúť, že hodnovernosť údajov z povrchových výskytov je niekedy problematická, najmä z toho dôvodu, že niektoré zo sledovaných vlastností suroviny podliehajú povrchovým (atmosferickým) zmenám (VKA pri 0,15 M koncentrácii výmenného roztoku, objemová hmotnosť).

Klasifikácia podľa predošlých kritérií umožnila na výskytoch známych iba z povrchového vzorkovania stanoviť kvalitatívne podmienky podľa analógie s výskytmi podrobne preskúmanými (napr. Majerovce a Vranov nad Topľou — Pod dubom podľa analógie s oblasťou Kučín — Pusté Čemerné a Nižný Hrabovec, resp. aj pre prognostický výskyt pri Novej Bašte). V prípade mordenitových akumulácií ložiskovú intenzitu kvalitatívnych vlastností možno podľa analógie predpokladať na výskyte Veľká Trňa — Trebuľky (podľa analógie s telesami pri Bartošovej Lehôtke — Paseky). Možno tak súdiť, že v rovnakých geologických prostrediach a v podobnej morfolologickej a genetickej situácii sa vytvoria také koncentrácie zeolitevej suroviny, ktorých ložiskové parametre sú analogické, a preto pri rozhodnutí o poradi ďalšieho skúmania treba vychádzať z iných predpokladov (veľkosť skrývky, prístupnosť a ostatné technické a ekonomické podmienky).

Kvalitatívne podmienky ložiskových akumulácií sa sledujú na základe distribúcie dvoch vlastností suroviny: výmenná

TAB. 3

Klasifikácia výskytov zeolitu na Slovensku podľa kvalitatívnych podmienok
Classification of zeolite occurrences in Slovakia according to technological requirements

E Kvalitatívne podmienky výskytov																Spolu
Oblasť	E1				E2				E3							
	E11		E12		E21		E22		E31		E32					
	E111	E112	E121	E122	E211	E212	E221	E222	E311	E312	E321	E322				
	E1121	E1122			E2121	E2122			E3121	E3122						
1	2	1	2	2	4	-	1	-	1	1	-	-	-	-	12	
2	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	1	9	
3	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	
Spolu	2	1	2	3	4	-	3	-	1	1	-	-	-	1	26	

kapacita suroviny (tzv. čiastková pri využití 0,15 M koncentrácie a celková pri 5 M koncentrácii výmenného roztoku NH_4Cl) a rozdiel adsorpčných teplôt (tzv. Δt). Oba údaje sa používajú buď priamo, alebo sa prostredníctvom nich empiricky určuje zastúpenie zeolitového minerálu v hmotnostných $\%$. Problémom ostáva kvantitatívne stanovenie dvoch zeolitových minerálov vedľa seba (klinoptilolitu a mordenitu), lebo uvedené metódy to neumožňujú. Preto by bolo účelné v budúcnosti ešte rozlišovať klinoptilolitové, mordenitové a zmiešané typy suroviny. Pravda, účelnosť takého delenia by musela vyplývať z požiadaviek využiteľov suroviny.

Prehľad klasifikácie podľa kvalitatívnych podmienok je v tab. 3. Z registrovaných výskytov tvoria podstatnú časť iba mineralogicky zaujímavé výskyty v intermediárnych a bázičných vulkanitoch, ktoré sú buď monominerálne (jeden zeolitový minerál) alebo s pestrú zeolitovou asociáciou. Jeden zeolitový minerál sa vyskytuje v 14 výskytoch, viac zeolitových minerálov v 12 výskytoch. Všeobecne ich najčastejším zeolitom je chabazit, ojedinelé monominerálne výskyty tvorí aj mordenit, klinoptilolit, laumontit a analcím. Na polyminerálnych výskytoch je hlavným minerálom takmer vždy tiež chabazit a spolu s ním (v klesajúcom poradí) je stilbit,

laumontit, epistilbit a heulandit, mezonit a natrolit, ojedinele sa vyskytujú mordenit, phillipsit, harmotóm, garronit, skolecit, analcím a gismondín. Podľa existujúcich dát sa na slovenských lokalitách doteraz zistilo 15 minerálnych druhov zeolitov.

Distribúcia minerálnych súčastí v kyslých vulkanogénnych klastikách, ktoré sú ložiskovo významné, ukazuje, že na ich zložení sa podieľajú dve, pravdepodobne i geneticky samostatné minerálne asociácie: klinoptilolit — cristobalit — ílová sfúda, resp. mordenit — adulár — montmorillonit (smektit). Na telesách, kde sú obidve asociácie zastúpené, je neskorší vznik poslednej asociácie evidentný zo snímok v riadkovacom elektrónovom mikroskope.

Súhrnná klasifikácia a zoznam výskytov je v tab. 4.

Záver

Geologicko-ložisková klasifikácia výskytov zeolitej mineralizácie na Slovensku potvrdila a kvantifikovala už doteraz známe kritériá lokalizácie významnejších telies so zeolitovou mineralizáciou v kyslých vulkanogénnych klastikách, kým početné, ale malé výskyty sa nachádzajú v intermediárnych vulkanitoch a zriedkavo aj v bázičných neovulkanitoch. Tieto výskyty však (okrem azda jediného výsky-

TAB. 4

Súhrnná klasifikácia a zoznam zeolitových výskytov
 Registered zeolite occurrences and their final classification

Č.	Názov výskytu	Hlavný zeolitový minerál	Klasifikačný znak (podľa tab. 1—3)
1	Nížný Hrabovec — ložisko	klinoptilolit	A11 — B1 — C1 — D1 — E111
2	Nížný Hrabovec — Pod Skalou	klinoptilolit	A13 — B4 — C2 — D5 — E122
3	Kučín — Pusté Čemerné	klinoptilolit	A11 — B1 — C1 — D1 — E111
4	Majerovce	klinoptilolit	A11 — B1 — C1 — D4 — E121
5	Vranov n/T. — Pod dubom	klinoptilolit	A11 — B1 — C1 — D4 — E121
6	Vranov n/T. — Fučíkova ul.	mordenit	A11 — B2 — C4 — D5 — E222
7	Vranov n/T. — Lipová ul.	klinoptilolit	A11 — B1 — C1 — D5 — E122
8	Fintice I	chabazit	A21 — B3 — C3 — D5 — E322
9	Fintice II	chabazit	A21 — B3 — C3 — D5 — E322
10	Záhradné — Maliniak	chabazit	A23 — B4 — C2/3 — D5 — E322
11	Záhradné II	stilbit	A21 — B3 — C3 — D3 — E322
12	Hubošovce — Lysá stráž	chabazit	A21 — B3 — C3 — D5 — E322
13	Vechec	chabazit	A21 — B3/4 — C2/3 — D5 — E322
14	Zlatá Baňa	laumontit	A21 — B3 — C3 — D5 — E322
15	Zemplínske Hámre	stilbit	A23 — B4 — C3 — D5 — E322
16	Veľká Trňa — Trebuľka	mordenit	A12 — B2 — C2 — D2 — E2121
17	Veľká Trňa	klinoptilolit	A11 — B1 — C1 — D5 — E1121
18	Remetské Hámre — Morské oko	chabazit	A21 — B3 — C3 — D5 — E322
19	Trnava pri Laborci	chabazit	A21 — B3 — C3 — D5 — E322
20	Kuzmice	klinoptilolit	A11 — B1 — C1 — D5 — E1122
21	Vyšná Šebastová — Maglovec	chabazit	A21 — B3/4 — C2/3 — D5 — E322
22	Kazimír	klinoptilolit	A11 — B1 — C1 — D5 — E122
23	Luhýňa	klinoptilolit	A11 — B1 — C1 — D5 — E122
24	Poša	klinoptilolit	A11 — B1 — C1 — D5 — E1122
25	Petrovce — Oblík	mordenit	A12 — B2 — C2 — D4 — E221
26	Nová Bašta	klinoptilolit	A11 — B1 — C1 — D4 — E121
27	Tisovec — Bánovo	chabazit	A21 — B3 — C3 — D5 — E322
28	Víglašská Huta — Kalinka	chabazit	A22 — B4 — C3 — D4 — E321
29	Stožok	chabazit	A22 — B4 — C3 — D5 — E322
30	Šiatorošská Bukovinka	laumontit	A21 — B3 — C3 — D5 — E322
31	Banská Belá — Žakýľ	heulandit	A21 — B3 — C3 — D5 — E322
32	Prenčov — kameňolom	chabazit	A21 — B3 — C3 — D5 — E322
33	Bartošova Lehôtka — Paseka	mordenit	A12 — B2 — C2 — D2 — E2121
34	Bartošova Lehôtka — Jastrabská	mordenit	A12 — B2 — C2 — D5 — E2121
35	Sklené Teplice	laumontit	A21 — B3 — C3 — D5 — E322
36	Gondovo	mordenit	A21 — B3 — C3 — D5 — E322
37	Kozárovce	klinoptilolit	A21 — B3 — C3 — D5 — E322
38	Dobrá Niva	analcim	A21 — B3 — C3 — D5 — E322
39	Brehy — Liešny potok	chabazit	A21 — B3 — C3 — D5 — E322
40	Rudno nad Hronom	chabazit	A21 — B3 — C3 — D5 — E322
41	Fíľakovo — Hradný vrch	phillipsit	A31 — B3 — C3 — D5 — E322
42	Hajnáčka — Hradný vrch	laumontit	A31 — B3 — C3 — D5 — E322
43	Nová Bašta — Medvedzia	garronit	A31 — B3 — C3 — D5 — E322
44	Petrovce — Lazy	chabazit	A23 — B3 — C3 — D5 — E322

tu) nedosahujú také rozmery a mineralizácia také koncentrácie, aby sa dali klasifikovať ako ložiská. Azda to súvisí aj s vývojom intermediárnych vulkanitov na strednom i východnom Slovensku, ktoré sa uložili prevažne v suchozemskom prostredí a v ktorých chýbajú vulkanoklastiká sedimentované v morskem až brakickom prostredí. Tiež zastúpenie pelitickej frakcie vulkanoklastík je malé. S takými podmienkami pravdepodobne súvisí nielen relatívny nedostatok zeolitovej mineralizácie v intermediárnych stratiformných telesách, ale aj relatívny nedostatok ílových minerálov, čo vynikne najmä v porovnaní s obrovskou masou intermediárnych vulkanoklastík. Pravdepodobne iným faktorom, ktorý neumožnil vznik zeolitovej mineralizácie, je nevhodné zloženie pórových roztokov generovaných v prostredí intermediárnych vulkanitov a všeobecne vyššia termalita hydrotermálnej premeny (propylitizácie), navyše odohrávajúca sa v takých P-T podmienkach, kde vznik zeolitových paragenéz je málo pravdepodobný: vyžrážali sa až v závere hydrotermálnych premien a nachádzajú sa v pomerne úzkych pásmach (puklinový a mandľovcový typ).

Počas klasifikácie sme sledovali aj geografickú distribúciu výskytov. Na rozdiel od predpokladov geografická distribúcia vyčlenených typov nemá zvláštny význam. Z registrovaných výskytov je 26 východoslovenských (59 ‰), 12 stredoslovenských (27 ‰) a 6 výskytov je v ostatných oblastiach (14 ‰). Vo východoslovenských neovulkanitoch sa vyskytujú najmä v kyslých vulkanoklastikách a vo forme stratiformných akumulácií. Do rovnakých skupín spadajú iba dva výskyty v stredoslovenských neovulkanitoch. Výskyty v intermediárnych vulkanitoch sú proporcionálne zastúpené (14 a 8). Rovnaké rozdiely možno zistiť pri kritériu morfológického typu a genetických podmienok. Rozdiely vyplý-

vajú z väčšieho rozšírenia kyslých vulkanogénnych klastík na východnom Slovensku.

Výsledky klasifikácie potvrdili, že zeolitové akumulácie na Slovensku dosahujú pri vhodných geologických podmienkach také rozmery a kvalitatívne črty, ktoré umožňujú porovnať ich s podobnými ložiskami v iných, geologicky podobných lokalitách vo svete, kde sa táto surovina využíva. Intenzívne práce na zistení akumulácií suroviny, veľmi podrobné údaje o distribúcii kvalitatívnych vlastností a aj vypočítané zásoby tejto suroviny umožňujú jej rovnako intenzívne využívanie. Ak sa napriek dosiahnutým výsledkom zeolitová surovina v širšej miere doteraz nevyužíva, je to zapríčinené najmä nedokončeným výskumom jej aplikácií. Technicky a ekonomicky podložené a overené aplikácie v súčasnosti nemotivujú zavádzať túto surovinu do každodennej priemyselnej praxe, a to napriek mnohostranným vlastnostiam suroviny, ktoré boli čiastočne aj odskúšané. A tak hoci geologicky overené zásoby suroviny sú značné, nemožno doterajšie práce na zavedenie tejto suroviny a jej úplné „osvojenie“ považovať za vyriešené.

Literatúra

- B t a t o v, V. I. 1985: Kriteriji prognozirovaniya i poiskov ceolitov. In: *Metody diagnostiki i količestvennogo opredeleniya soederžanij ceolitov v gornych porodach. Materialy vsesojuz. soveščaniya*. Novosibirsk, 106—107.
- Č e l i š e v, N. F. 1986: Promyšlenno-geologičeskaja tipizacija ceolitov. *Sov. geol.*, 2, 54—60.
- H a y, R. L. 1966: Zeolites and zeolitic reactions in sedimentary rocks. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*, 85, 130 s.
- I i j i m a, A. 1980: Natural zeolites and zeolitic rocks. In: *Proc. 5th Int. Conference Zeolites, Naples. Napoli*, 103—118.
- K r a u s, I., Š a m a j o v á, E. 1983: ílové a zeolitové suroviny východoslovenskej panvy. *Manuskript — archiv PF UK Bratislava*, 90 s.
- M u m p t o n, F. A. 1973: Worldwide deposits

- and utilization of natural zeolites. *Ind. Miner.*, 30—45.
- Nistratov, Ju. A., Soboleva, T. N., Gorškova, I. E. 1985: Ceolity Nižnego Priamuria, Kamčatky i Primoria. In: *Metody diagnostiki i količestvennogo opredelenija sodержanij ceolitov v gornych porodach. Materialy vsesojuz. soveščanija. Novosibirsk*, 189—191.
- Semenov, E. F. 1985: Osobennosti razmeščeniya i genezis ceolitov Primoria. In: *Metody diagnostiki i količestvennogo opredelenija sodержanij ceolitov v gornych porodach. Materialy vsesojuz. soveščanija. Novosibirsk*, 191—194.
- Senderov, E. E., Chitarov, N. I. 1970: Ceolity, ich sintez i uslovija obrazovaniya v prirode. *Moskva, Nauka*, 283 s.
- Šamajová, E. 1977: Autigénny klinoptilolit v ryodacitovom tufite z Nižného Hrabovca. *Acta geol. geogr. Univ. Comen.*, 32, 111—125.
- Šamajová, E. 1981: Ložiskové výskyty zeolitov v neogéne Západných Karpát. In: *Zb. 4. geol. konfer. Manuskript — Dom techniky ČSVTS. Bratislava*, 101—107.
- Šamajová, E., Kraus, I. 1985: Distribution of smectites and zeolites in the West Carpathians. In: *Proc. 5th Meeting European Clay Groups, Prague*, 321—327.
- Varga, I., Hodermarská, A., Horský, S., Mihalič, A., Varga, M. 1985: Nižný Hrabovec — zeolitový tuf, predbežný prieskum. [Záverečná správa a výpočet zásob.] *Manuskript — GP Spišská Nová Ves, Geofond Bratislava*.
- Varga, I., Horský, S., Mihalič, A. 1987: Slovensko — zeolity, štúdia. [Čiastková záverečná správa.] *Manuskript — GP Spišská Nová Ves, Geofond Bratislava*.

Economic geological classification of zeolite occurrences in Slovakia

Hitherto used classifications of zeolite occurrences in the world are mostly based on mineralogical and genetic criteria. The classifications applied are either setting out from purely geological and mineralogical data (complemented by genetic considerations) or from technological requirements for the zeolite raw. In the first case the resulting classification is mostly aimed to serve for deductions on genetic conditions of the zeolite mineral or mineral assemblage and, due to the lack of quantified data (grade of the raw, distribution pattern of mineral constituents in the assemblage, size of economic concentration), it hardly may be used for assessments of economic value. In the second case however, although quantified data are available, the knowledge is not enough to extrapolate into non-explored areas.

Recently the Slovakian zeolite occurrences have been examined with the aim to assess their significance as a new variety of mineral raw and to account with prognostic reserves of this raw. It appeared that only the combination of geological and minerogenetic criteria with a qualitative meaning and of further economic and technological criteria of quantitative value allow to obtain quantified final classification criteria. The applied criteria include data on lithological, genetic and geometric conditions in a qualitative way

(the data are hardly quantifiable) whereas further data as the exploration degree (level) as well as the technological requirements are unambiguously quantified.

For the indicated purpose, the applied classification criteria used in the five various groupings were as follows:

- A Geological environment
- A1 Acidic volcanogenous clastics
- A11 Volcanogenous clastics sedimented in marine to brackish environment (pelitic to psammitic sediment)
- A 12 Volcanogenous clastics sedimented in continental environment (dry land and limnic environment)
- A13 Volcanite in contact with wet marine sediment
- A2 Volcanite of intermediate composition
- A21 Hydrothermal altered zone (amygdaloidal to fissure type)
- A22 Zone of solphatara activity
- A23 Contact of volcanite towards sediments and xenolith enclosed in volcanic rock
- A3 Basic volcanite
- A31 Product of postvolcanic activity in amygdaloides and fissures
- B Morphology of zeolite-bearing body
- B1 Stratabound body concordantly mineralized
- B2 Stratabound body discordantly mineralized

- B3 Amygdaloidal and fracture zone (sub-vertical attitude)
- B4 Contact zone of intrusive body
- C Genetic conditions
- C1 Diagenetic to epigenetic process (saline interstitial water)
- C2 Contact-near alteration (hydrothermal-metasomatic)
- C3 Postmagmatic activity of within mother-rock source
- C4 Low temperature hydrothermal alteration without evident relation to any identifiable source

The indicated three groupings of criteria may be considered to be purely qualitative. To the contrary, further two groupings are indicating quantitative classification criteria:

- D Exploration level
- D1 Deposit size with reserves of C1 and C2 category
- D2 Deposit size with prognostic reserves of P1 category
- D3 Deposit size with prognostic reserves of P2 category
- D4 Deposit size with prognostic reserves of P3 category (deposit size probable)
- D5 Unprognostic mineral occurrence. Unambiguously quantitative classification is

needed in applying the following criteria.

- E Technological requirements
- E1 Clinoptilolite raw
- E2 Mordenite raw
- E3 Occurrence of other zeolite mineral(s)
- E11, E21, E31 Known distribution of technological parameters
- E111, E211, E311 Technological requirements determined
- E112, E212, E312 Technological requirements undetermined
- E121, E221, E321 Workable quality inferred
- E1122, E2122, E3122 Non-workable quality inferred
- E12, E22, E32 Unknown distribution of technological parameters
- E121, E221, E321 Workable quality inferred
- E122, E222, E322 Non-workable quality inferred

Obtained classification results for 44 zeolite occurrences in Slovakia show that economic deposits of zeolite tuff (clinoptilolite and/or mordenite) have quality and size comparable with other deposits of zeolite minerals in the world. Accounted reserves of the zeolite raw are base for a more wide use of this new kind of mineral raw in the national economy.