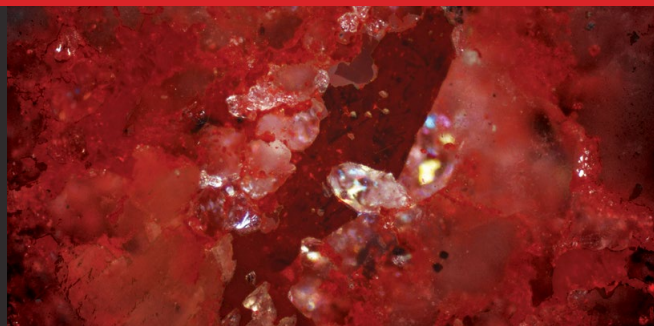


umb
UNIVERZITA
MATEJA BELA
V BANSKEJ BYSTRICI

ZÁKLADY MIKROSKOPIE RUDNÝCH MINERÁLOV

Stanislav Jeleň, Štefan Ferenc



2021

 BELIANUM

Obsah

| | |
|--|----|
| Predhovor | 8 |
| I. Úvod | 10 |
| I.1. Stručný vývoj rudnej mikroskopie | 12 |
| II. Teoretická časť | 17 |
| II.1. Základné metódy skúmania minerálov a prístroje | 17 |
| II.1.1. Chemické analýzy geologických vzoriek – rozdelenie | 17 |
| II.1.2. Chemická analýza („mokrým“ spôsobom) | 17 |
| II.1.3. Atómová absorpčná spektroskopia | 18 |
| II.1.4. Röntgenová fluorescenčná spektrometria | 18 |
| II.1.5. Hmotnostná spektrometria s indukčne viazanou plazmou a laserovou abláciou (LA-ICP-MS) | 19 |
| II.1.6. Elektrónová mikroskopia a mikroanalýza | 19 |
| II.1.7. Termická analýza | 20 |
| II.1.8. Fluorescencia | 21 |
| II.1.9. Štúdium plynokvapalných uzavrenín | 21 |
| II.1.10. RTG difraktometrické metódy | 22 |
| II.1.11. Systém difrakcie spätne odrazených elektrónov (EBSD) | 23 |
| II.1.12. Ramanova spektroskopia | 23 |
| II.1.13. Infračervená spektroskopia | 24 |
| II.1.14. Leptanie rudných minerálov a mikrochemické reakcie | 25 |
| II.2. Základy kryštaloptiky rudných minerálov | 26 |
| II.2.1. Stručne o odrazenom a polarizovanom svetle | 26 |
| II.2.2. Optické veličiny rudných minerálov | 29 |
| II.2.3. Šírenie a polarizácia svetla pri odraze | 30 |
| II.3. Rudný (odrazový) mikroskop – jeho základné časti a ich funkcia | 33 |
| II.3.1. Objektívy | 33 |
| II.3.2. Okuláre | 35 |
| II.3.3. Osvetľovacie zariadenie | 35 |
| II.3.3. Prídavné zariadenia rudného mikroskopu | 37 |
| II.3.4. Ručné tlačidlo na vyrovnanie nábrusov (tlačka) – príprava nábrusov na pozorovanie | 39 |
| II.3.5. Príprava mikroskopu na pozorovanie | 39 |

| | | |
|---------|--|-----|
| II.4. | Príprava preparátov pre pozorovanie v odrazenom svetle – základné postupy | 41 |
| II.4.1. | Zhotovovanie preparátov na pozorovanie – nábrusov | 41 |
| II.4.2. | Postup pri príprave špeciálnych preparátov – nábrusov | 41 |
| II.4.3. | Zhotovenie priehľadných leštených výbrusov | 44 |
| II.4.4. | Navrhovaný postup optimálnej prípravy nábrusov: | 44 |
| II.4.5. | Vyhotovenie špeciálnych preparátov pre rudnú mikroskopiu na Ústave vied o Zemi SAV | 45 |
| II.5. | Morfologické a štruktúrne vlastnosti rudných minerálov | 47 |
| II.5.1. | Tvar prierezov zrn (habitus kryštálových jedincov) | 47 |
| II.5.2. | Zonalita | 49 |
| II.5.3. | Štiepatelnosť a odlučnosť | 50 |
| II.5.4. | Dvojčatenie | 51 |
| II.6. | Optické vlastnosti rudných minerálov | 53 |
| II.6.1. | Odraznosť | 53 |
| II.6.2. | Farba rudných minerálov | 54 |
| II.6.3. | Dvojodraz a pleochroizmus | 56 |
| II.6.4. | Efekty anizotropie | 57 |
| II.6.5. | Vnútorne reflexy | 58 |
| II.7. | Príklady využitia metód odrazovej mikroskopie v iných geovedných odboroch a technickej praxi | 60 |
| II.7.1. | Odraznosť vitrinitu v uhlí a v sedimentoch | 60 |
| II.7.2. | Využitie odraznosti pri zisťovaní a rozbere kvality uhlia | 61 |
| II.7.3. | Výskum rozptýlenej organickej hmoty v sedimentoch metódou odrazovej mikroskopie | 62 |
| II.7.4. | Hydrotermálne premenená čierna uhoľná hmota z drahokovovo-polymetalického ložiska Banská Štiavnica a Hodruša - Hámre | 63 |
| II.8. | Kvantitatívne metódy uplatňované v odrazovej mikroskopii – mikrotvrdosť, odraznosť, meranie farby | 66 |
| II.8.1. | Meranie mikrotvrdoosti rudných minerálov | 66 |
| II.8.2. | Meranie odraznosti rudných minerálov | 84 |
| II.8.3. | Meranie farby rudných minerálov | 99 |
| II.9. | Opis fotodokumentácie a zaužívané skratky minerálov | 105 |

| | |
|--|-----|
| III. Systematická časť | 108 |
| III.1. Diagnostické vlastnosti základných rudotvorných minerálov | 108 |
| III.1.1. Zlato (<i>elektrum</i>) | 108 |
| III.1.2. Striebro | 110 |
| III.1.3. Meď | 112 |
| III.1.4. Železo (Ferrit) | 114 |
| III.1.5. Antimón | 115 |
| III.1.6. Amalgámy striebra | 117 |
| III.1.7. Grafit | 119 |
| III.1.8. Akantit | 121 |
| III.1.9. Hessit | 123 |
| III.1.10. Petzit | 125 |
| III.1.11. Pyrit | 127 |
| III.1.12. Markazit | 130 |
| III.1.13. Sfalorit | 132 |
| III.1.14. Galenit | 134 |
| III.1.15. Chalkopyrit | 136 |
| III.1.16. Pyrotit | 138 |
| III.1.17. Pentlandit | 141 |
| III.1.18. Bornit | 143 |
| III.1.19. Covellit | 145 |
| III.1.20. Chalkozín | 146 |
| III.1.21. Molybdenit | 148 |
| III.1.22. Antimonit | 150 |
| III.1.23. Cinabarit | 152 |
| III.1.24. Auripigment | 154 |
| III.1.25. Realgár | 155 |
| III.1.26. Arzenopyrit | 157 |
| III.1.27. Kobaltit | 158 |
| III.1.28. Gersdorffit | 161 |
| III.1.29. Pyrargyrit | 163 |
| III.1.30. Proustit | 164 |
| III.1.31. Polybazit | 166 |
| III.1.32. Pearceit | 168 |
| III.1.33. Miargyrit | 169 |
| III.1.34. Chalkostibit | 171 |
| III.1.35. Boulangerit | 172 |

| | |
|---|-----|
| III.1.36. Bournonit | 174 |
| III.1.37. Luzonit | 176 |
| III.1.38. Famatinit | 178 |
| III.1.39. Tetraedrit - Tennantit | 180 |
| III.1.40. Hodrušit | 183 |
| III.1.41. Hematit | 185 |
| III.1.42. Magnetit | 187 |
| III.1.43. Ilmenit | 189 |
| III.1.44. Spinel | 190 |
| III.1.45. Chromit | 192 |
| III.1.46. Rutil | 193 |
| III.1.47. Goethit | 195 |
| III.1.48. Kuprit | 197 |
| III.1.49. Kasiterit | 199 |
| III.1.50. VolfraMIT | 201 |
| III.1.51. Scheelit | 202 |
| III.1.52. Uranininit | 204 |
| III.1.53. Malachit | 207 |
| III.1.54. Azurit | 209 |
| III.2. Diagnostické vlastnosti základných nerudných – žilných minerálov | 212 |
| III.2.1. Kremeň | 212 |
| III.2.2. Kalcit | 213 |
| III.2.3. Dolomit | 214 |
| III.2.4. Siderit | 215 |
| III.2.5. Fluorit | 217 |
| III.2.6. Barit | 218 |
| III.2.7. Živce | 219 |
| III.2.8. Sľudy | 220 |
| III.3. Textúry a štruktúry rudných minerálov, ich štúdium a aplikácie v genetickej mineralógii. | 222 |
| III.3.1. Genetické štúdium rudných textúr a štruktúr | 222 |
| III.3.2. Asociácie a paragenézy minerálov | 222 |
| III.3.3. Vývoj (sukcesia) mineralizácie | 224 |
| III.3.4. Podmienky vzniku hydrotermálnej epitermálnej mineralizácie ložiska Banská Štiavnica | 228 |
| Register | 232 |

| | |
|--|-----|
| POUŽITÁ A ODPORÚČANÁ LITERATÚRA | 233 |
| PRÍLOHY | 246 |
| Príloha č. I . Textúry a štruktúry rúd | 246 |
| Príloha č. II. – Určovacie tabuľky | 248 |

Predhovor

Predkladaná vysokoškolská učebnica odrazovej mikroskopie (optické štúdium rudných minerálov v odrazenom svetle) prináša študentom nevyhnutné teoretické základy, jednoduchý manuál na používanie a obsluhu optického mikroskopu a hlavné metódy mikroskopickej diagnostiky nepriehľadných, resp. rudných, alebo tiež opakných minerálov. Nová učebnica atraktívnou formou spracováva predmetnú učebnú látku pomocou textu, autentických fotografií, kreslených obrázkov a schém. Zameranie obrazovej časti učebnice sa koncentruje najmä na mineralizácie z lokalít Slovenska. Zároveň predstavuje atlas, resp. kľúč podľa ktorého študenti jednoducho a bezpečne určia minerál v rudnom mikroskope, a pochopia mikroštruktúrne vzťahy medzi jednotlivými minerálnymi fázami. Prioritnou snahou autorov bolo čo najjednoduchšou formou sprístupniť základné informácie o rudných mineráloch, ktoré môžeme identifikovať jednoduchým mikroskopickým štúdiom. Nekladíme si za cieľ predstaviť vyčerpávajúcu charakteristiku tohto predmetu. Úlohou praktického kurzu je priblížiť základy rudnej mikroskopie a naučiť študentov základom mikroskopickej diagnostiky nepriehľadných minerálov, čím by si boli schopní samostatne osvojiť aj plný kurz odrazovej mikroskopie. V nevyhnutnom prípade čitateľ môže siahnuť na podrobnejšie vynikajúce práce Ramdohra, Juškovej, Volynského, Čvilevy, Galopina a Henryho, Craiga a Vaughana, Kašpara a iných, ktorých materiály boli využité pri príprave a spracovaní nasledujúcich textov.

V teoretickej časti predkladanej učebnice sú prehľadnou formou zhrnuté základné poznatky z optiky rudných minerálov, príprava špeciálnych preparátov pre pozorovanie v odrazenom svetle, základné časti mikroskopu, optické, morfológické vlastnosti rudných minerálov, stručne sú zhrnuté niektoré moderné metódy skúmania a aj kvantitatívne metódy uplatňované v odrazovej mikroskopii. Systematická časť obsahuje opis viac ako 60 minerálov, z toho asi 10 je nerudných, typických žilných minerálov, ktoré sa najčastejšie vyskytujú v rudnej výplni na ložiskách. Táto časť zároveň zahŕňa atlas farebných fotografií opisovaných minerálov v odrazenom svetle, spektrálne krivky odraznosti, hodnoty mikrotvrdości a taktiež tabuľky s analýzami chemického zloženia charakterizovaných minerálov pomocou elektrónovej mikrosondy. Komplexná charakteristika minerálov obsahuje aj základné údaje ich kryštálovej štruktúry (medzirovinnú vzdialenosť - d , prislúchajúcu najintenzívnejším röntgenovým difrakčným maximám s relatívnou intenzitou (**10-1**)). Na záver sme ešte pripojili využitie detailného štúdia textúr a štruktúr rudných minerálov v agregátoch rúd a ich aplikácie v genetickej mineralógii.

Okrem výberu základných rudných minerálov, ktoré sa bežne vyskytujú vo výplni hydrotermálnych žíl rudných ložísk, sme sa rozhodli rozšíriť najmä skupinu sulfidických minerálov aj o zriedkavejšie vyskytujúce sa minerály, najmä rôzne sulfosolí, s ktorými sa môžu študenti počas prípadných terénnych prác na Slovensku a následnom laboratórnom spracovaní rudných vzoriek aj stretnúť a poznávať ich charakteristické vlastnosti.

Prezentovaná mikrofotodokumentácia sa vyhotovila na špeciálnych preparátoch – nábrusoch a leštených výbrusoch z depozitu Katedry geografie a geológie FPV UMB, Ústavu vied o Zemi SAV, pracoviska v Banskej Bystrici, s využitím fotografického nadstavca a programového vybavenia pre univerzálny optický polarizačný mikroskop NIKON. Časť vzoriek rudnej žiloviny na laboratórne zhotovenie nábusov a leštených výbrusov sa odobrala aj počas terénnych prác v rámci rôznych projektov a taktiež i vlastných zberov autorov. Zároveň sa využili dlhoročné skúsenosti, praktické znalosti a získané výsledky z početných riešených projektov, ktoré sú prezentované ako praktické príklady využitia odrazovej mikroskopie a následných špeciálnych laboratórnych metód identifikácie a charakterizácie rudných minerálov.

Predkladaná učebnica prezentuje zároveň aj niektoré originálne doposiaľ nepublikované výsledky, získané počas interného doktorandského štúdia prvého z autorov na špičkovom vedeckom ústave Ruskej akadémie vied v Moskve v spolupráci s popredným odborníkom v oblasti kvantitatívneho zhodnocovania odraznosti – dr. L. N. Vjaľšovom na špeciálne ním vyvinutom dvojlúčovom spektrofotometri MSFP-2.

Predloženú vysokoškolskú učebnicu budú môcť využívať najmä študenti Fakulty prírodných vied Univerzity Mateja Bela, študijných programov Aplikovaná geológia a Geopotenciál regiónov. Publikácia je určená tiež pracovníkom odbornej geológie a taktiež mineralógie, prípadne aj tej časti verejnosti, ktorú zaujíma pohľad do mikrosveta prírodných rúd, ale aj rôznych technogénnych produktov. Zaujímavé a potrebné informácie z predkladaného materiálu využijú pri svojej práci aj mnohí odborníci z oblasti materiálového výskumu.

Publikácia vznikla aj vďaka univerzitným projektom APVV-19-0065, APVV-15-0083, VEGA 1/0326/18, VEGA 1/0313/20, KEGA 033 UMB - 4/2021 a finančnej podpore Vydavateľstva Belianum v Banskej Bystrici.

Úprimne ďakujeme všetkým, ktorí rôznym spôsobom a v rôznej miere prispeli k vzniku a vydaniu tejto vysokoškolskej učebnice: prof. RNDr. Martinovi Chovanovi, CSc. a prof. RNDr. Monike Huraiovej, PhD. z Katedry mineralógie, petrológie a ložiskovej geológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave a prof. Dr. Jurajovi Majzlanovi z Ústavu geovied Friedrich - Schiller Univerzity v Jene ako aj a mnohým ďalším chceme vyjadriť poďakovanie za cenné rady a konzultácie. Mgr. Sergejovi Kurylovi, PhD. a Mgr. Tomášovi Mikušovi, PhD. z Laboratória elektrónovej mikroanalýzy (EPMA) na pracovisku Ústavu vied o Zemi Slovenskej akadémie vied v Banskej Bystrici za vyhotovenie elektrónových mikroanalýz a časti fotodokumentácie na rastrovacom elektrónovom mikroskope, Braňovi Ramajovi za zhotovenie nábrusov, RNDr. Júlii Kotulovej, PhD. z Ústavu vied o Zemi SAV za odbornú pomoc, informácie a konzultácie. Za pomoc pri konečných úpravách textu a rôznych obrazových materiálov ďakujeme Mgr. Martine Bobokovej zo Žiaru nad Hronom, Mgr. Viere Šimonovej, PhD. a doktorandom Mgr. Richardovi Kopáčikovi a Mgr. Eve Hoppanovej z Katedry geografie a geológie Fakulty prírodných vied Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici. Učebnica vznikla s finančnou podporou Prírodovedeckej fakulty Univerzity Mateja Bela. Úprimne ďakujeme odborným recenzentom doc. RNDr. Zdeňkovi Lososovi, PhD., RNDr. Jiřímu Sejkorovi, PhD. a doc. RNDr. Jaroslavovi Pršekovi, PhD. za pozornú kontrolu a starostlivé posúdenie textov učebnice a tiež za všetky cenné pripomienky a za užitočné rady, rôzne podnety, návrhy a odporúčania na doplnenie a úpravy konečnej podoby textu ktoré výrazne zvýšili kvalitu pôvodnej práce. Za kvalitnú grafickú úpravu textu a obrázkov ďakujeme grafikovi Mgr. Jánovi Humajovi z vydavateľstva UMB. Autori navrhujú užívateľom knižnej verzie, najmä však študentom a pedagógom vysokých škôl, aby zasielali pripomienky k jej obsahu i forme (e-mail: stanislav.jelen@umb.sk). Akceptovateľné pripomienky a prípadné návrhy na doplnenie a rozšírenie vysokoškolskej učebnice, príp. kvalitnú fotodokumentáciu bude možné využiť pri následnej príprave a aj dopĺňaní internetovej stránky. V prípade záujmu môžu byť využité aj pri príprave druhého vydania.

V Banskej Bystrici, september 2021

Stanislav Jeleň a Štefan Ferenc