

KONFERENCIE • SYMPÓZIÁ • SEMINÁRE



Štátny geologický ústav Dionýza Štúra
Oddelenie geochemie životného prostredia



Univerzita Komenského v Bratislave
Prírodovedecká fakulta
Katedra geochemie



Slovenská asociácia geochemikov

GEOCHÉMIA 2024

Zborník vedeckých príspevkov z konferencie

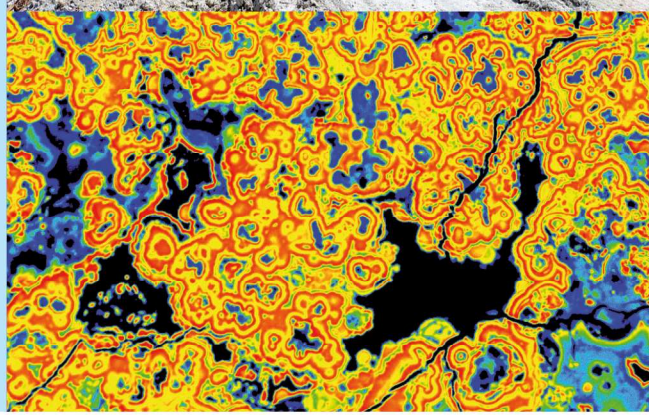
Bratislava

10. 4. – 11. 4. 2024

Editori:

Ľubomír Jurkovič, Jozef Kordík a Claudia Čičáková

Štátny geologický ústav Dionýza Štúra Bratislava 2024





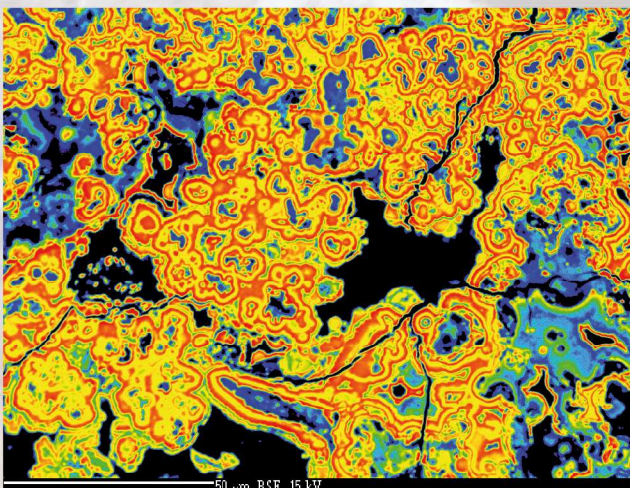
Kontrolné vzorkovanie podzemných vôd počas OGD na skládke KO Drahý vrch (Stará Turá)
(foto: M. Jankulár)



Nádrž gudrónov Predajná
(foto: Ľ. Jurkovič)



Nižný Hrabovec – lom a ložisko zeolitu (ZEOCEM s.r.o.)
(foto: Ľ. Jurkovič)



Digitálne zafarbená BSE snímka nátekovvej formy hypergénneho FeOOH z oblasti polymetalickej mineralizácie pri štolni Mária, Zlatá Baňa. (foto: R. Demko)



Štátny geologický ústav Dionýza Štúra Bratislava

Oddelenie geochémie životného prostredia



Univerzita Komenského v Bratislave

Prírodovedecká fakulta

Katedra geochémie



Slovenská asociácia geochemikov

GEOCHÉMIA 2024

Zborník vedeckých príspevkov z konferencie

Bratislava

10. 4. - 11. 4. 2024

Editori

Ľ. Jurkovič – J. Kordík – C. Čičáková

Čestné predsedníctvo

RNDr. Igor Slaninka, PhD. (ŠGÚDŠ)

RNDr. Viera Maťová (MŽP SR)

prof. RNDr. Peter Fedor, DrSc.(PriF UK)

Odborní garanti

prof. Dr. Juraj Majzlan, PhD. (Friedrich Schiller University Jena)

prof. RNDr. Edgar Hiller, PhD. (PriF UK Bratislava)

RNDr. Jozef Kordík, PhD. (ŠGÚDŠ Bratislava)

doc. RNDr. Martin Urík, PhD. (PriF UK Bratislava)

RNDr. Jan Bartoň (GEOtest, a. s., Brno)

Organizačný výbor

doc. RNDr. Ľubomír Jurkovič, PhD. (PriF UK)

RNDr. Michal Jankulár, PhD. (ŠGÚDŠ)

Mgr. Zuzana Pilková (PriF UK)

Mgr. Claudia Čičáková (PriF UK)

Predslov

Vážené kolegyně, vážení kolegovia,

čas beží rýchlo a po roku opäť študujete zborník príspevkov z tradičnej vedeckej konferencie „GEOCHÉMIA 2024“. Aktuálny 27. ročník konferencie sa koná už v novom jarnom termíne, ale po dlhšom čase v tradičnom priestore Štátneho geologického ústavu Dionýza Štúra v Bratislave a je organizovaný vo viacerých tematických sekciách. Okrem tradičných odborných sekcií, zameraných na exogénnu a environmentálnu geochémiu či výsledky aplikovanej geochémie v prieskume a sanácii životného prostredia, súčasťou konferencie je samostatná sekcia venovaná geochémii a petrológii v komplexnom pohľade na varísky vývoj kryštalinika Západných Karpát (pod gesciou prof. Juraja Majzlana z Friedrich Schiller University v Jene).

Konferencia GEOCHÉMIA dlhodobo reprezentuje tradičné fórum, kde sa prezentujú najnovšie poznatky z geochemickej problematiky rôznych vedeckých zameraní, orientovaných na základný výskum a výsledky z aplikovaného výskumu a prieskumu geologického a životného prostredia. Dôležitou súčasťou konferencie sú aj tento rok súkromné spoločnosti, ktoré sa zaoberajú geochemickými a geologickými prácami rôzneho zamerania, a ktoré prezentujú výsledky svojich výskumných aktivít. V zborníku „GEOCHÉMIA 2024“ opäť nájdete aj množstvo ďalších zaujímavých a hodnotných príspevkov z oblasti geochémie, prípadne z ďalších príbuzných vedných odborov. Prierez tém poukazuje na široký záber, význam a perspektívu geochémie ako vedného odboru, ale aj ako odboru s veľkým praktickým využitím.

Konferencia je usporiadaná v rámci činnosti Slovenskej asociácie geochemikov v spolupráci s Oddelením geochémie životného prostredia ŠGÚDŠ v Bratislave a Katedrou geochémie PriF UK v Bratislave. Pozornosť na konferencii bola opätovne venovaná aj mladým vedeckým pracovníkom, celkovo je prihlásených 9 prednášok zaradených do súťaže mladých vedeckých pracovníkov do 35 rokov o najlepšiu prednášku (cena akademika B. Cambela) a 6 posterov v súťaži o najlepší poster (cena S. Gazdu). Dúfame, že týmto spôsobom prispejeme k motivácii mladých vedeckých pracovníkov v ich úsilí o zapojenie sa do vedeckej práce v rámci geochémie a príbuzných geovedných a environmentálnych disciplín. Zároveň je konferencia dobrou príležitosťou pre mladých odborníkov, doktorandov a študentov na stretnutie sa s vedeckými pracovníkmi staršej generácie.

Ďakujeme všetkým, ktorí prispeli k vzniku a naplneniu tohto zborníka, ako aj k celkovému zorganizovaniu a priebehu konferencie „GEOCHÉMIA 2024“. Sú to predovšetkým autori jednotlivých príspevkov, ale aj recenzenti, odborní garanti, členovia čestného predsedníctva a organizačného výboru. Dúfame, že ich úsilie nevyjde nazmar a budete po skončení konferencie odchádzať s dobrým pocitom a plný inšpirácie do Vašej ďalšej tvorivej vedeckej práce.

V Bratislave 10. apríla 2024

Lubomír Jurkovič & Jozef Kordík & Claudia Čičáková

Obsah

Emanace radonu z odvalu šachty č. 15 a č. 4 a dopad na okolní atmosféru	8
<i>Theodor Adam, Petr Otáhal, Josef Vošahlík, Ladislav Němeček, Miroslav Jurda</i>	
Využitie DTA/TG analýzy pri hodnotení kalcinovaných dolomitov ako medziproduktov pre silikotermickú prípravu kovového horčička	11
<i>Alexandra Bekényiová, Zuzana Danková, Katarína Čechovská, Erika Fedorová, Zuzana Kollová, Pavel Bačo, Jaroslav Briančin, Martin Fabián</i>	
Limnosilicity a jazerné sedimenty na ložisku Lutilla I (Kremnické vrchy).....	13
<i>Jana Brčeková, Katarína Šarinová, Adrián Biroň, Jaroslav Lexa, Peter Uhlík, Marek Osacký, Faisal A. Gread, Juraj Štepiča, Jozef Hodermarský, Miroslav Pereszleny</i>	
Varísky granitový magmatizmus v Západných Karpatoch: geochémia, mineralógia a geodynamické príčiny	15
<i>Igor Broska, Marian Janák, Sergii Kurylo, Michal Kubiš, Lubica Puškelová, Mária Maraszewska</i>	
Geochemický model transformácie gabra na rodingit	18
<i>Juraj Butek, Ján Spišiak, Sébastien Fabre, Stéphanie Duchene, Michel Grégoire</i>	
Použitie šesťstupňovej sekvenčnej extrakcie na stanovenie frakcií zinku a fosforu v meditariánskych pôdach.....	22
<i>Veronika Cyprichová, Antonio Gelsomino</i>	
Elektro-oxidácia natívnej podzemnej vody znečistenej ropnými látkami a amónnymi iónmi z modelovej lokality pravdepodobnej environmentálnej záťaže	25
<i>Claudia Čičáková, Daniel Kupka, Jana Hroncová, Eva Mačingová, Tomáš Faragó, Lubomír Jurkovič, Lenka Hagarová, Roman Tóth</i>	
Transport As-Sb a petrogenetický význam Sb/As fluviálnych sedimentov horskej krajiny	30
<i>Rastislav Demko</i>	
Aplikácia EP mikroanalýzy pre identifikáciu kontaminácie prostredia arzénom po úniku bankých vôd počas havárie (máj 2023) na baníckom námestí v Novej bani.....	34
<i>Rastislav Demko, Peter Paudiš, Jana Mikušová</i>	
Hydrogeochemická mapa Gemerskej pahorkatiny v mierke 1 : 50 000	37
<i>Daniel Dénes, Jozef Kordík</i>	
Akumulácia a distribúcia jódu v mrkve (<i>Daucus carota</i> L.)	39
<i>Eva Duborská, Marek Bujdoš</i>	
Slag dust from Kabwe (Zambia) - one of the most polluted places on Earth: mineralogy and contaminant bioaccessibility	41
<i>Vojtěch Ettler, Martin Mihaljevič, Petr Drahotka, Bohdan Kříbek, Imasiku Nyambe</i>	
Bioextrakcia mangánu mikroskopickou vláknitou hubou	42
<i>Bence Farkas</i>	
Experimentálne skúšky úpravy kremencov pre výrobu metalurgického a vysokočistého kremíka	44
<i>Erika Fedorová, Katarína Čechovská, Zuzana Danková, Alexandra Bekényiová, Zuzana Kollová, Pavel Bačo</i>	
Štúdium vzniku korózných javov v oblasti Pršavého komína (Býčí skála, Moravský kras)	46
<i>Barbora Daniela Filová, Pavel Pracný</i>	
Using dimensionality reduction techniques to differentiate between Slovak bentonite deposits based on the geochemical data and spectral signatures.....	50
<i>Faisal A. Gread, Peter Uhlík</i>	

KONFERENCIE • SYMPÓZIA • SEMINÁRE

Hydrogeochemická mapa východnej časti Cerovej vrchoviny v mierke 1 : 50 000.....	54
<i>Ivan Győrög, Jozef Kordík</i>	
Získavanie antimónu biolúhovaním tetraedritu.....	56
<i>Lenka Hagarová, Zuzana Bártová, Lubomír Jurkovič, Daniel Kupka, Claudia Čičáková</i>	
Podiel emisií hutníckeho priemyslu na atmosférickej depozícii tuhých častíc v oblasti Košíc.....	60
<i>Jozef Hančulák, Petra Červeňáková, Eva Mačingová, Oľga Šestinová, Lenka Findoráková</i>	
Environmentálna geochémia pôd historickej skládky Vrakuňa s dôrazom na rizikové chemické prvky.....	64
<i>Edgar Hiller, Martin Kolesár, Tomáš Faragó, Lenka Filová, Martin Mihaljevič, Lubomír Jurkovič, Rastislav Demko, Martina Vítková, Andrej Machlica, Ján Štefánek</i>	
Polychlórované bifenyly (PCB): prehľad degradačných prístupov testovaných v mikrokozme	66
<i>Hana Horváthová, Katarína Dercová, Marcela Tlčíková, Lubomír Jurkovič</i>	
Identifikácia minerálov v izolačných doskách so zameraním na azbest.....	70
<i>Slavomír Hredzák, Marek Matik, Oľga Šestinová, Anton Zubrik, Jaroslav Briančin, Silvia Dolinská, Ingrid Znamenáčková</i>	
Využitie bakteriálnej aktivity pri eliminácii znečistenia z vôd	72
<i>Jana Hroncová, Alena Luptáková</i>	
Paleovaríske vulkano-sedimentárne sulfidické mineralizácie (VMS) Západných Karpát	74
<i>Martin Chovan, Peter Ivan, Juraj Majzlan</i>	
Relikty variskej oceánskej kôry v Západných Karpatoch – kľúčový prvok pri rekonštrukcii formovania variského orogénu v tejto oblasti.....	80
<i>Peter Ivan</i>	
Geologická stavba gemerika: litostratigrafické jednotky a ich pozícia v geodynamicknej evolúcii variského orogénu	85
<i>Peter Ivan</i>	
Litologické členenie predalpínskych horninových komplexov Západných Karpát.....	92
<i>Peter Ivan</i>	
Aktualizácia výsledkov monitorovania znečistenia podzemných vôd v okolí Turbínovej ulice v Bratislave	98
<i>Michal Jankulár, Jozef Kordík, Igor Stríček, Daniel Dénes, Ivan Győrög</i>	
Korelace devonské–raně karbonské plutonické aktivity Českého masivu a Západných Karpát.....	100
<i>Vojtěch Janoušek, Igor Broska, Milan Kohút, Igor Soejono</i>	
Assessment of rare mineralisation potentials in residual soils of parts of Ibadan, Southwestern Nigeria	104
<i>Chrisfanel E. Kianguebene – Koussingounina, Jerry O. Olajide – Kayode, Ibrahim A. Oyediran</i>	
Genéza antimonitovej mineralizácie v epitermálnych systémoch Kremnica a Zlatá Baňa na základe izotopového zloženia antimónu a síry	107
<i>Peter Koděra, Ryan Mathur, Degao Zhai, Rastislav Milovský, Pavel Bačo, Juraj Majzlan</i>	
Geochémia metabazitov tatrika Západných Karpát	111
<i>Milan Kohút</i>	
Monitorovanie znečistenia podzemnej vody látkou metyl-terc-butyléter a jej produktom rozkladu terc-butylalkoholom.....	115
<i>Martin Kolesár, Zoltán Seres, Michaela Borošová, Andrej Machlica, Zuzana Pilková</i>	

KONFERENCIE • SYMPÓZIA • SEMINÁRE

Draselno-med'natý oxalát v lišajníku <i>Polysporinopsis rugulosa</i> zo Španej doliny (Slovensko).....	117
<i>Viktória Krajanová, Bronislava Lalinská-Voleková</i>	
Výsledky monitoringu EZ na lokalite Špania Dolina - Piesky	119
<i>Dušan Kúšik, Rastislav Demko, Lubomír Kyrč</i>	
Výsledky monitoringu EZ na lokalite Ľubietová – Svätodušná a Kolba	123
<i>Lubomír Kyrč, Rastislav Demko, Dušan Kúšik</i>	
Mobilní analytika jako efektivní nástroj pro operativní řízení sanačních prací.....	127
<i>Petr Lacina</i>	
Fingerprinting metallogeny of the Low Tatra Pluton, Central Western Carpathians, Slovakia by accessory minerals – the preliminary Insights.....	130
<i>Maria Maraszewska, Igor Broska, Sergiy Kurylo</i>	
Petrológia a geochemia varískych granitoidov veporského plutónu v masíve Fabovej hole a ich alpínska mylonitizácia.....	135
<i>Alexandra Molnárová, Martin Ondrejka, Marán Putiš, Ondrej Nemeč</i>	
Geochemický vývoj dŕlných vod na ložisku Rožná I.....	140
<i>Kateřina Musilová</i>	
Posuzování fytoxicity vodných výluhů termicky aktivního odvalu Ema.....	144
<i>Oto Novák, Markéta Drešlová, Hana Vojtková</i>	
Využitie receptorového modelu <i>Positive Matrix Factorisation</i> a izotopového pomeru $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ v environmentálnej geochemii: príklad Bratislavy.....	146
<i>Zuzana Pilková, Lenka Filová, Edgar Hiller, Martin Mihaljevič</i>	
Kvantitatívne stanovenie $\text{Mn}^{3+}/\text{Mn}^{4+}$ vo vzorkách sekundárnych Mn minerálov titračnou metódou	149
<i>Eva Proroková, Tomáš Mikuš, Lucia Žatková, Stanislava Milovská, Juraj Majzlan</i>	
Origin and age determination of Early Paleozoic mafic complexes from the Variscan basement of the Western Carpathians: Indicators of demised Tethyan oceanic basins (review and new data)	151
<i>Marián Putiš, Qiu-Li Li, David Chew, Xian-Hua Li, Ondrej Nemeč, Martin Ondrejka, Lukáš Ackerman, Ján Spišiak, Ján Madarás, Zoltán Németh, Peter Ružička</i>	
Transport zlatých nanočastíc aplikovaných na listy šošovice sledovaný LA-ICP-MS	156
<i>Martin Šebesta, Shadma Afzal, Michaela Bahelková, Tomáš Vaculovič</i>	
Vplyv hydroponickej aplikácie nanočastíc oxidu zinočnatého na klíčenie a počiatkový rast vybraných poľnohospodárskych plodín.....	158
<i>Viktor Straka, Nivitha Vani Sankaralingam, Monish Krishnamoorthy Baby, Marek Kolenčík, Dávid Ernst, Luba Ďurišová, Samuel Kšiňan, Lenka Tomovičová</i>	
Monitoring vplyvu vytekajúcich banských vôd na sedimenty rieky Slaná	160
<i>Igor Striček, Michal Jankulár, Jozef Kordík, Ivan Györög</i>	
„ARAGORN“ – Achieving Remediation And GOVERning Restoration of contaminated soils Now	162
<i>Veronika Špirová, Hana Horváthová</i>	
Perspektíva zelenej nanotechnológie v oblasti dekontaminácie polutantov	164
<i>Marcela Tlčíková, Hana Horváthová, Katarína Dercová, Jana Gavúrová, Gabriela Világi, Katarína Turanská, Lukáš Harant, Lubomír Jurkovič</i>	

KONFERENCIE • SYMPÓZIA • SEMINÁRE

Nízkomolekulární organické kyseliny jako ukazatel vývoje půdní organické hmoty na odlesněných půdách	168
<i>Václav Tejnecký, Lenka Pavlů, Ondřej Drábek, Tereza Hesounová, Marek Kučírek, Karel Němeček, Petra Vokurková, Luboš Borůvka, Věra Fadrhonsová, Martin Valtera, Radek Novotný</i>	
„NYMPHE - New system-driven bioremediation of polluted habitats and environment“ – projekt grantovej schémy HORIZON EUROPE	170
<i>Roman Tóth, Hana Horváthová, Pavol Takáč, Vladimír Malý, Veronika Váji Nagyová, Juraj Macek</i>	
Granitové pegmatity Západných Karpát: súčasný stav poznatkov	172
<i>Pavel Uher</i>	
Mineralogická analýza pôdných profilov v oblasti jazera Vinderel, Maramureş, Rumunsko	176
<i>Peter Uhlík, Stanislava Milovská, Lucia Žatková, Rastislav Milovský, Radovan Kyška-Pipík, Dušan Starek, Juraj Šurka, Barbora Uhlíková</i>	
Evaluation of iron oxides' stability after exposure to filamentous fungi	178
<i>Martin Urik, Zuzana Goneková, Silvia Vyhnáleková, Marcel B. Miglierini</i>	
Provenance of Late Paleozoic Sandstones from the Western Carpathians (Slovakia): Petrofacial analysis and U-Pb detrital zircon geochronology	181
<i>Anna Vozárová, Katarína Šarinová</i>	
Vývoj vegetácie okolia Popradského plesa v období holocénu na báze biomarkerov	185
<i>Lucia Žatková, Rastislav Milovský, Radovan Kyška-Pipík</i>	
Mikrotextúry a chemické zloženie Ťažkých minerálov eolických sedimentov Východoslovenskej Nížiny – provenienčné implikácie	187
<i>Katarína Bónová, Ján Bóna, Tomáš Mikuš, Andrea Ferková</i>	
Biodostupné formy potenciálne toxických prvkov v antropogénnej pôde odvalu rudného ložiska Cínovec	189
<i>Pavol Midula, Sára Svobodová, Peter András, Jana Ševčíková, Ján Tomaškin</i>	

GEOCHEMICKÝ MODEL TRANSFORMÁCIE GABRA NA RODINGIT

Juraj Butek¹, Ján Spišiak¹, Sébastien Fabre², Stéphanie Duchene³, Michel Grégoire³¹Departement of Geography and Geology, Faculty of Natural Sciences, Matej Bel University, Tajovského 40, 97401 Banská Bystrica, Slovakia; juraj.butek@umb.sk²IRAP, Uni. Paul Sabatier, CNRS, Observatoire Midi-Pyrénées, 14 Av. Edouard Belin, Toulouse, 31400, France³Géosciences Environnement Toulouse (GET), CNRS, UPS, IRD, CNES, Université de Toulouse, Observatoire Midi Pyrénées (OMP), 14 Av. E. Belin, 31400 Toulouse, France

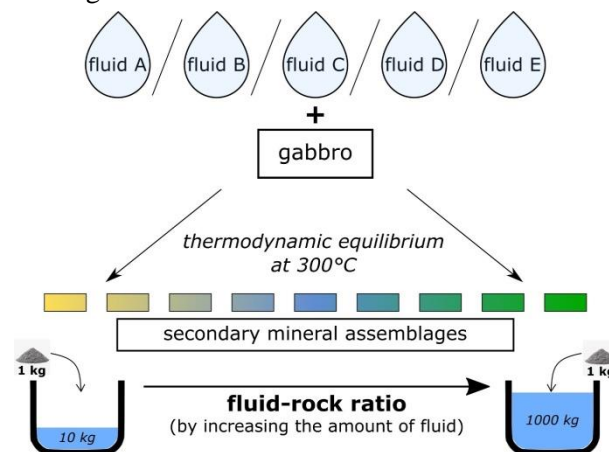
ÚVOD

V serpentinizovaných ultramafických horninách sa často nachádzajú telesá heterogénnej bledej horniny známej ako rodingit. Vznik rodingitov je pripisovaný hydrotermálnej alterácii mafických telies (gabier), ku ktorej dochádza počas serpentinizácie. Rodingit je Ca-bohatá a Si-chudobná metasomatická hornina bežne obsahujúca minerály ako hydratovaný granát, diopsid, chlorit, vesuvianit, epidot a prehnit (Li et al., 2004; Schandl et al., 1989). Petrografické štúdie naznačujú, že heterogenita minerálneho zloženia rodingitov je ovplyvnená rozsahom hydrotermálnej premeny, ale tento predpoklad zatiaľ nebol dostatočne podložený termodynamickými výpočtami. V poslednej dobe bolo publikovaných viacero prác, ktoré sa zaoberali termodynamickým modelovaním paragenézy rodingitov (Bach and Klein, 2009; Frost et al., 2008), avšak s výnimkou práce od Palandri a Reed (2004), žiadny z týchto modelov nezahŕňal vesuvianit. Vesuvianit predstavuje dominantný minerál v intenzívne rodingitizovaných horninách, ktorých celohorninové zloženie sa významne líši od mafického protolitu. Množstvo prác taktiež skúmalo P-T-x podmienky vzniku rodingitov pomocou dobre známych softvérov ako Perple_X alebo Thermocalc, avšak tieto programy sú zamerané na identifikáciu stabilných fáz pri konkrétnych P-T podmienkach a ich schopnosť špecifikovať chemické zloženie hydrotermálnych roztokov zostáva obmedzená. V tejto práci skúmame proces rodingitizácie pomocou geochemického softvéru PHREEQC (Parkhurst and Appelo, 2013). Hlavným cieľom je analyzovať vplyv chemického zloženia a množstva hydrotermálnych roztokov na diverzitu minerálneho zloženia v rodingitoch, predovšetkým prítomnosť vesuvianitu v intenzívne rodingitizovaných horninách.

METODIKA

Séria termodynamických výpočtov bola vykonaná v softvéri PHREEQC s použitím

termodynamickej databázy SUPCRTBL (Zimmer et al., 2016), ktorá bola v programe SupPhreeqc (Zhang et al., 2020) prekonvertovaná do formátu použiteľného vo PHREEQC. Výpočty prebehli pri konštantnej teplote 300°C a tlaku v súlade so saturáciou H₂O, teda približne 8,58 MPa. Interakcie horniny s fluidom boli modelované v systéme Na-K-Ca-Fe-Mg-Al-Si-H-O-C-S-Cl. Tuhé roztoky minerálov ani kinetické faktory neboli zahrnuté. Chemická rovnováha (konečný ideálny stav) bola docielená osobitne v každom výpočte kryštalizáciou sekundárnych minerálov (obr. 1). Množstvo protolitu (gabro s priemerným chemickým zložením) bolo konštantne nastavené na 1 kg.



Obr. 1 Schéma termodynamických výpočtov.

Zmeny v pomere fluidum/hornina boli dosiahnuté variabilným množstvom hydrotermálneho fluida v modelovanom systéme (10 – 1000 kg). Množstvo fluida sa zhoduje s rozsahom transformácie pôvodnej horniny a môže byť teda korelované s progresom reakcie. V tomto zmysle malé množstvo fluida predstavuje začiatok metasomatickej premeny, zatiaľ čo veľmi veľké množstvá reprezentujú otvorený hydrotermálny systém s veľkým objemom cirkulujúcich fluida a teda pokročilý stav premeny. Chemicky rôzne roztoky boli testované vo výpočtoch: čistá voda, morská voda, hydrotermálny roztok z oceánskeho dna analyzovaný in-situ v blízkosti oceánskeho chrbta (Logatchev), ako aj experimentálne serpentinizované roztoky vyvinuté reakciou morskej

vody s ultramafickými horninami (Klein et al., 2015; Seyfried et al., 2007).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Obohacovanie o Ca a ochudobňovanie o Si sú typické zmeny prebiehajúce počas rodingitizácie. Tento vývoj celohorninového chemického zloženia je dobre reprodukovateľný našimi výpočtami (tab. 1). Navrhujeme, že progres transformácie môže byť kvantifikovaný pomocou molálneho pomeru Si/Ca. Prírodné nealterované gabrá bežne majú tento pomer v intervale 3,4 – 4,4, ale počas rodingitizácie Si/Ca klesá až k hodnote okolo 1 pri tých najintenzívnejšie premenených gabrách. Takáto zmena chemického zloženia je dobre viditeľná aj vo vykonaných termodynamických výpočtoch pre interakciu gabra s experimentálnym serpentinitizačným roztokom (obr. 2).

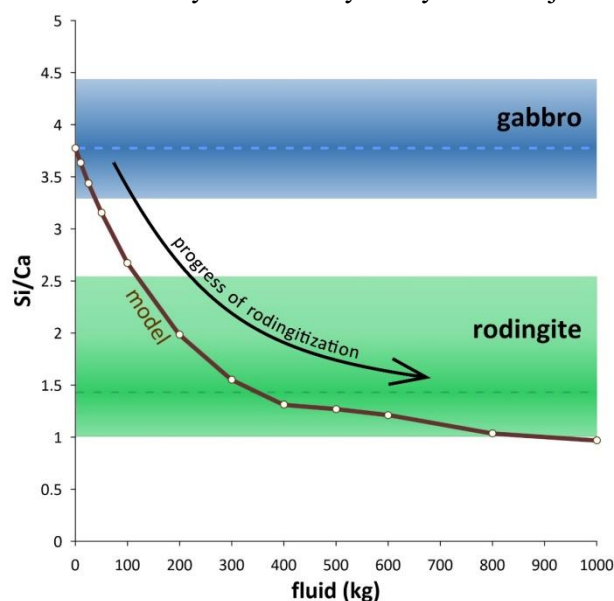
Tab. 1 Vypočítané celohorninové chemické zloženie gabra (1 kg) po reakcii s variabilným množstvom hydrotermálneho fluida.

Fluid (kg)	0	10	100	500	1000
SiO ₂	51,97	49,18	47,09	42,41	38,77
Al ₂ O ₃	16,58	15,85	15,04	10,35	11,10
FeO	6,38	6,08	6,05	5,63	4,60
CaO	12,84	12,62	16,44	31,19	37,32
MgO	9,14	8,72	8,67	8,08	6,60
Na ₂ O	3,03	3,62	3,85	0,52	0,00
K ₂ O	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	0,00	3,93	2,85	1,83	1,61

Termodynamické výpočty ukazujú, že pri nízkych množstvách fluida (fluidum/hornina 10) je stabilná paragenéza sekundárnych minerálov reprezentovaná hlavne chloritom, prehnitom, albitom, epidotom, tremolitom a ďalšími. Vesuvianit je predikovaný iba pri použití chemického zloženia experimentálneho serpentinitizačného roztoku, ktorý je charakteristický vysokým pH (12,2), vysokou koncentráciou H₂ (153 mmol/kg) a nízkymi až nulovými obsahmi Mg a S (Seyfried et al., 2007). Naproti tomu, pri vysokých množstvách fluida (fluidum/hornina 1000) je vesuvianit prítomný až pri troch chemicky rozdielnych fluidách a v prípade experimentálneho serpentinitizačného roztoku jeho modálne zastúpenie v hornine dokonca presahuje 50 %. Tieto výsledky jednoznačne ukazujú, že veľké množstvo fluida (otvorený hydrotermálny systém) je potrebné pre vznik rodingitov obsahujúcich vesuvianit.

Proces rodingitizácie je často v literatúre považovaný za izovolumický proces, teda pri

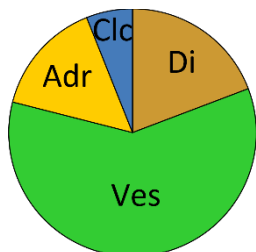
ktorom nedochádza k zmene objemu horniny. Množstvo výpočtov na zachovanie hmotnosti ako aj chýbajúce známky deformácie v teréne len potvrdzujú tento predpoklad, avšak v našich modeloch dochádza k nárastu objemu pri intenzívnej rodingitizácii (1000 kg fluida) až o 120 %. Na tento nesúlad existujú tri možné vysvetlenia: 1) extrémne rodingitizované horniny sú v prírode relatívne vzácne; 2) pri rodingitizácii dochádza k nárastu objemu, avšak sprievodná deformácia v teréne nebýva pozorovaná, pretože plasticita okolitých serpentinitov môže absorbovať takéto zmeny; 3) výsledná hustota horniny (a s tým súvisiaca zmena objemu) závisí od minerálneho zloženia. Rodingity dominantne zložené z granátu ako hlavného minerálu s najvyššou hustotou by teda nemuseli vykazovať taký veľký nárast objemu.



Obr. 3 Progres rodingitizácie môže byť vyjadrený pomocou molálneho pomeru Si/Ca, keďže náš model ukazuje, že táto hodnota je závislá od množstva fluida v systéme a počas transformácie gabra na rodingit postupne klesá.

Slabo rodingitizované gabrá opísané v literatúre často obsahujú najmä prehnit, chlorit, epidot, prípadne albit alebo tremolit (Schandl et al., 1989; Li et al., 2017). Vznik týchto minerálov je v našich modeloch predpokladaný pri nízkych množstvách fluida, teda na začiatku procesu rodingitizácie. Na druhej strane, prírodné vzorky gabier postihnutých intenzívnou premenou obsahujú diopsid, granáty a viac alebo menej zastúpený vesuvianit (Li et al., 2008; Duan et al., 2022; Butek et al., 2022). Vznik takejto paragenézy je taktiež úspešne reprodukovateľný v našich výpočtoch, dokonca vypočítané modálne zloženie horniny (obr. 3) nápadne pripomína rodingity obsahujúce vesuvianit opísané z Álp a Západných Karpát (Li et al., 2008; Butek et al., 2022).

Keďže rodingitizácia nepopierateľne zahŕňa obohacovanie horniny o vápnik, často býva označovaný ako Ca-metasomatóza. To často vedie k predpokladu, že cirkulujúce hydrotermálne roztoky sú nejakým spôsobom obohatené o vápnik. Naše výpočty však ukazujú, že vysoký obsah Ca vo fluide nie je nutná podmienka pre vznik vesuvianitu, a teda ani celkovo pre paragenézu rodingitov. Zvýšená koncentrácia Mg by naopak mohla obmedziť vznik vesuvianitu, ale počas serpentinizácie je tento prvok efektívne viazaný do serpentínu a brucitu, čo spôsobuje, že Mg sa v serpentinizáčnych roztokoch prirodzene nenachádza. Podobne ako Mg, nízke koncentrácie Si sú potrebné pre vznik špecifickej rodingitovej paragenézy (Frost et al., 2008). Desilikácia je súčasťou rodingitizácie a napriek tomu, že interakcia fluida s mafickými horninami zvyšuje obsah Si vo fluide, veľký objem serpentinizovanej ultramafickej horniny v porovnaní s malými mafickými telesami pravdepodobne vedie k nízkej aktivite Si v celom hydrotermálnom systéme. Fázy predikované v našich výpočtoch sú výrazne ovplyvnené aj pH cirkulujúceho fluida. Výsledky ukazujú, že typické minerály rodingitov (granát, diopsid, vesuvianit) vznikajú iba za predpokladu, že pH hodnoty sú veľmi vysoké (11 – 12). Toto zistenie je v súlade s chemickým zložením serpentinizáčnych roztokov (Kelley et al., 2001) a potvrdzuje fakt, že proces rodingitizácie je časovo aj priestorovo úzko spätý so serpentinizáciou ultramafických hornín.



Obr. 3 Vypočítané modálne zloženie rodingitu, ktoré sa zhoduje so vzorkami rodingitov obsahujúcich vesuvianit opísanými v literatúre. Adr – andradit, Clc – klnochlór, Di – diopsid, Ves – vesuvianit.

ZÁVER

- Otvorený systém s veľkým objemom hydrotermálneho fluida je potrebný pre transformáciu gabra na rodingit. Najintenzívnejšie rodingitizované gabrá sú charakteristické prítomnosťou vesuvianitu, ktorý je stabilizovaný iba pri vysokom pomere fluidum/hornina.
- Vývoj celohorninového chemického zloženia (obohacovanie o Ca a ochudobňovanie o Si) počas transformácie gabra na rodingit je úspešne simulovaný termodynamickými

výpočtami. Progres rodingitizácie môže byť kvantifikovaný molálnym pomerom Si/Ca, pretože hodnota Si/Ca postupne klesá počas metasomatózy.

- Geochemický model interakcie gabra s hydrotermálnym fluidom pri teplote 300°C adekvátne zobrazuje vznik paragenézy rodingitov. Navyše ukazuje, že variabilita v minerálnom zložení rodingitov je zapríčinená najmä rozdielnym množstvom fluida cirkulujúcim v hydrotermálnom systéme.
- Roztok bohatý na vápnik nie je potrebný pre proces rodingitizácie. Fluidum musí však byť však chudobné na Si a mať nízke až nulové koncentrácie Mg. Takéto chemické zloženie majú fluidá derivované z morskej vody a je prirodzene dosiahnuté serpentinizáciou okolitých hornín.
- Vysoké pH a redukčné vlastnosti vedú k vyšším obsahom vesuvianitu a sú pravdepodobne dôležitým predpokladom pre vznik paragenézy rodingitov. To je v súlade so záverom, že k rodingitizácii dochádza počas serpentinizácie okolitých hornín.

Pod'akovanie: Práca bola podporená projektami APVV-22-0092 a SK-FR-22-0010.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- Bach, W., and Klein, F., 2009:** The petrology of seafloor rodingites: Insights from geochemical reaction path modeling: *Lithos*, 112, 103-117.
- Butek, J., Grégoire, M., Spišiak, J., Duchene, S., and Kopáčik, R., 2022:** On the origin of vesuvianite-rich rodingites from the Western Carpathians, Slovakia: *Lithos*, v. 432-433, p. 106902.
- Duan, W.-Y., Li, X.-P., Schertl, H.-P., Willner, A.P., Wang, S.-J., Chen, S., Sun, G.-M., 2022:** Rodingitization records from ocean-floor to high pressure metamorphism in the Xigaze ophiolite, southern Tibet: *Gondwana Research*, v. 104, 126-153.
- Frost, B.R., Beard, J.S., McCaig, A., Condliffe, E., 2008:** The Formation of Micro-Rodingites from IODP Hole U1309D: Key To Understanding the Process of Serpentinization: *Journal of Petrology*, v. 49, 1579-1588.
- Kelley, D.S. et al., 2001:** An off-axis hydrothermal vent field near the Mid-Atlantic Ridge at 30° N: *Nature*, v. 412, 145-149.
- Klein, F., Grozeva, N.G., Seewald, J.S., McCollom, T.M., Humphris, S.E., Moskowitz, B., Berquó, T.S., Kahl, W.-A., 2015:** Experimental constraints on fluid-rock reactions during incipient serpentinitization of harzburgite: *American Mineralogist*, v. 100, 991-1002.

- Li, X.-P., Duan, W.-Y., Zhao, L.-Q., Schertl, H.-P., Kong, F.-M., Shi, T.-Q., Zhang, X., 2017:** Rodingites from the Xigaze ophiolite, southern Tibet – new insights into the processes of rodingitization: *European Journal of Mineralogy*, v. 29, 821-837.
- Li, X.-P., Rahn, M., Bucher, K., 2008:** Eclogite facies metarodingites – phase relations in the system $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-FeO-MgO-CaO-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$: an example from the Zermatt-Saas ophiolite: *Journal of Metamorphic Geology*, v. 26, 347-364.
- Li, X.-P., Rahn, M., Bucher, K., 2004:** Metamorphic Processes in Rodingites of the Zermatt-Saas Ophiolites: *International Geology Review*, v. 46, 28-51.
- Palandri, J.L. & Reed, M.H., 2004:** Geochemical models of metasomatism in ultramafic systems: serpentinization, rodingitization, and sea floor carbonate chimney precipitation: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 68, 1115-1133.
- Parkhurst, D.L. & Appelo, C.A.J., 2013:** Description of Input and Examples for PHREEQC Version 3—A Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations., in *Techniques and Methods 6–A43*, U.S. Geological Survey, *Techniques and Methods*.
- Schandl, E.S., O’Hanley, D.S., Wicks, F.J., 1989:** Rodingites in serpentinized ultramafic rocks of the Abitibi Greenstone belt, Ontario: *Canadian Mineralogist*, v. 27, 579-591.
- Seyfried, W.E., Foustoukos, D.I., Fu, Q., 2007:** Redox evolution and mass transfer during serpentinization: An experimental and theoretical study at 200°C, 500bar with implications for ultramafic-hosted hydrothermal systems at Mid-Ocean Ridges: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 71, 3872-3886.
- Zhang, G., Lu, P., Zhang, Y., Tu, K., Zhu, C., 2020:** SupPhreeqc: A program for generating customized Phreeqc thermodynamic datasets from Supcrtbl and extending calculations to elevated pressures and temperatures: *Computers a Geosciences*, v. 143, p. 104560.
- Zimmer, K., Zhang, Y., Lu, P., Chen, Y., Zhang, G., Dalkilic, M., Zhu, C., 2016:** SUPCRTBL: A revised and extended thermodynamic dataset and software package of SUPCRT92: *Computers a Geosciences*, v. 90, 97-111.

GEOCHÉMIA 2024
Zborník vedeckých príspevkov z konferencie

Vydal Štátny geologický ústav Dionýza Štúra Bratislava 2024

Vedúci odd. vydavateľstva ŠGÚDŠ a propagácie : RNDr. Ladislav Martinský

Technické spracovanie: doc. RNDr. Ľubomír Jurkovič, PhD., RNDr. Jozef Kordík, PhD.,
Mgr. Claudia Čičáková

Recenzenti: Všetky príspevky v zborníku prešli anonymným recenzným konaním.

Návrh obálky: RNDr. Ladislav Martinský

Rukopis neprešiel jazykovou úpravou

Tlač a knihárske spracovanie: Štátny geologický ústav Dionýza Štúra

ISBN 978-80-8174-075-6



Vzorkovanie podzemných vôd v rušňovom depe Nitra
(foto: M. Jankulár)



Proces elektrokoagulácie pre odstraňovanie ropných látok zo znečistenej podzemnej vody s použitím Fe elektród (realizácia experimentov – Ústav geotechniky SAV Košice, foto: C. Čičáková)



Vzorkovanie oxidačnej zóny na žily Droždiak v Rudňanoch. Výskumom izotopov ortuti sa zistilo, že cca 20 % ortuti sa pri zvetrávaní vyparuje do atmosféry (Majzlan et al., 2023 – <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2023.126019>) (foto: J. Majzlan)



Priesakové vody - sanácia EZ ZH (015) / Žiar nad Hronom – stará skládka PO ZSNP (foto: Ľ. Jurkovič)



Solidifikačná linka na technologickú úpravu nebezpečných odpadov (ENVIRONCENTRUM, s.r.o. Košice) (foto: P. Sekula)



Prieskum ropného znečistenia v areáli bývalej rafinérie v Kuçove (Albánsko) (foto: J. Bartoň)

