

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

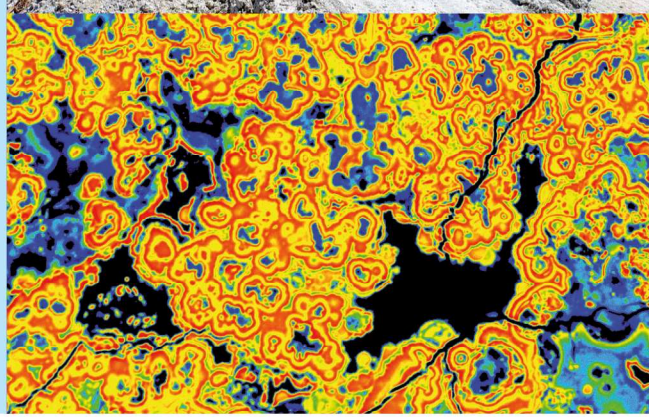
Bratislava

10. 4. – 11. 4. 2024

Editori:

Ľubomír Jurkovič, Jozef Kordík a Claudia Čičáková

Štátny geologický ústav Dionýza Štúra Bratislava 2024





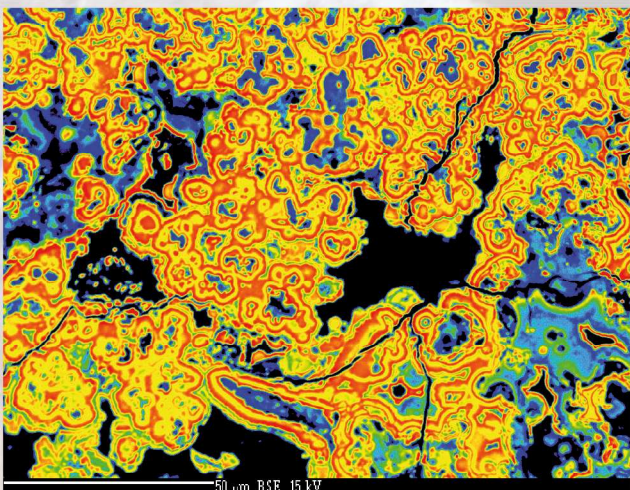
Kontrolné vzorkovanie podzemných vôd počas OGD na skládke KO Drahý vrch (Stará Turá)
(foto: M. Jankulár)



Nádrž gudrónov Predajná
(foto: Ľ. Jurkovič)



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



Digitálne zafarbená BSE snímka nátekovkej 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-mednatý oxalát v lišajniku <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>	

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)

Marián Putiš¹, Qiu-Li Li², David Chew³, Xian-Hua Li², Ondrej Nemeč¹, Martin Ondrejka¹, Lukáš Ackerman⁴, Ján Spišiak⁵, Ján Madarás⁶, Zoltán Németh⁷, Peter Ružička¹

¹Faculty of Natural Sciences, Comenius University in Bratislava, Slovakia, marian.putis@uniba.sk

²Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, liqiuli@mail.iggcas.ac.cn

³Department of Geology, School of Natural Sciences, Trinity College Dublin, Ireland, chewd@tcd.ie

⁴Institute of Geology of the Czech Academy of Sciences, Prague, Czech Republic, ackerman@gli.cas.cz

⁵Faculty of Natural Sciences, Matej Bel University, Banská Bystrica, Slovakia, jan.spisiak@umb.sk

⁶Earth Science Institute of the Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Slovakia, j.madaras@savba.sk

⁷State Geological Institute of Dionýz Štúr, Bratislava, Slovakia, zoltan.nemeth@geology.sk

INTRODUCTION

Mafic and ultramafic rocks within orogenic zones may indicate remnants of ancient oceanic basins. This contribution reviews our published and new geological, petro-chronological, and geochemical results from the Western Carpathians basement. We report the Early Variscan and Late Variscan complexes, which include the Prototethyan (Ordovician), or Paleotethyan (Devonian) ophiolitic complexes, respectively, derived from the northern Gondwana.

METHODICS

Mineral chemical compositions were determined on a Cameca SX-100 and a JEOL Super-probe JXA-8530F electron probe micro-analyzers at the State Geological Institute of Dionýz Štúr in Bratislava, and at the Earth Science Institute of Slovak Academy of Sciences in Banská Bystrica, Slovakia, respectively. The whole-rock major and trace element analyses were made in ACME and BV Labs in Vancouver, Canada. Strontium and Nd isotopic compositions were acquired at the Institute of Geology of the Czech Academy of Sciences in Prague. The U-Pb dating of zircon, rutile, and titanite was performed on a Cameca IMS-1280HR SIMS at the Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences in Beijing. Laser-ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS) U-Pb zircon and apatite age data were determined using a Photon Machines Analyte Excite 193 nm ArF excimer LA system with a HelEx 2-volume ablation cell coupled to an Agilent 7900 ICP-MS at the Department of Geology, Trinity College in Dublin, Ireland.

RESULTS AND DISCUSSION

Early Variscan complexes

The **Layered amphibolite Complex (LAC)**; also called banded amphibolite rocks by Spišiak and Pitoňák, 1990, banded amphibolite complex by Putiš, 1992, or Leptyno-amphibolite complex by Hovorka and Méres, 1993; Hovorka et al., 1997) separates the **Upper Jarabá** and the **Lower Hron complexes** included in the Alpine (Cretaceous) Tatric and Veporic units (e.g., Putiš et al., 2009).

The lower part of the LAC (Fig. 1a) is comprised of Ky-Grt gneisses of inferred Cadomian origin (Putiš et al., 2008). These gneisses, with detrital zircon dates of **~3400-550 Ma**, contain lens-shaped bodies of massive metamafic rocks, such as Ol-Px-Spl or Grt-Px metagabbros, rare peridotites, and gabbro-eclogites (Putiš et al., 1997; Korikovskiy and Putiš, 2002; Janák et al., 2007, 2020). Zircon from a gabbroic protolith in an eclogite was dated at **478±3 Ma** and an associated granitic orthogneiss gave an age of **493±3 Ma** (Putiš et al., 2017, 2018). The metamafic rocks are enriched in TiO₂ (1-3 wt.%), with av. La_N=53.70, av. La_N/Yb_N=4.77, and largely show variable Nd isotopic compositions ($\epsilon\text{Nd}_{(500)}=+7.7$ to 0.0, TDM_(2st) 0.58-1.18 Ga). Their chondrite (C1) normalized patterns document an enrichment in LREE relative to HREE.

The ca 200-300 m thick, upper layered part of the LAC (Fig. 1b) consists of Cpx-Amp cummulate, gabbro, diorite to leucotonalite layers, the latter enriched in magnetite ($\epsilon\text{Nd}_{(480)}=+10.1$ to +5.5, TDM_(2st) 0.37-0.73 Ga). The layered metamafites with 0.17-2.7 wt.% TiO₂ have av. La_N=48.18 and av. La_N/Yb_N=3.33. Petrological-geochemical variability of the meta-igneous layers is typical. Relatively wider, sharply separated layers show distinct LREE fractionation with a

wide ratio interval of $(La/Sm)_n^{C1}$. An increasing content of REE, and particularly LREE, from melagabbros, through gabbro-diorites to tonalites and leucotonalites, as well as a distinct negative Eu anomaly in the latter, document accumulation of these elements into pale layers during fractional crystallization (Filová and Putiš, 2004). In contrast, newly formed narrow layers of partial-melting leucosome, rimmed by melanosome, fit model hyperbolas of two-component mixing. These leucotonalitic leucosomes show, vice-versa, strongly decreased REE contents, and a distinct positive Eu anomaly.

The lower metamafites are WPT, less E-MORB, and rare N-MORB, while the upper layered underplated fractionated metamafites are mostly N-MORB, less E-MORB, or OIB, after the Meschede (1986) and Pearce (2008) classification.

The lower $\epsilon Nd(t)$ values of the basal metamafites may reflect derivation from the subcontinental lithospheric mantle during the continental rifting stage. In contrast, the layered amphibolites, with higher $\epsilon Nd(t)$ values, indicate their formation by melting of more juvenile mantle sources beneath the spreading centre of an oceanic BAB (Putiš et al., 2009, 2023).

The magmatic compositional layering of the LAC was dated in an interval of $\sim 503\text{--}480$ Ma in the Tatric (Jasenie mine) and Veporic basement, or

$\sim 480\text{--}450$ Ma in the Tatric Branisko Mountains. Magmatic oscillatory zoned zircons (Th/U 0.22–0.45) of the fractionated gabbro-dioritic and tonalitic-leucotonalitic layers provided identical, or very similar (within analytical uncertainty) ages (Putiš et al., 2008, 2009, 2017, 2018, 2023).

The northward subduction and metamorphic overprint of the LAC is registered in some zircon pale patches (Th/U 0.12–0.15) that yielded a concordia age of 394 ± 5 Ma. The post-collision extension and exhumation-related melting of the metamorphosed LAC was determined by dating of newly formed dioritic to leucotonalitic layers and veins at $\sim 370\text{--}360$ Ma (Putiš et al., 2009, 2023).

The LAC is tectonically overlain by a few km thick succession of paragneisses with rare calc-silicate rocks, amphibolites and orthogneisses of the **Jarabá Complex**. The granitic protoliths of orthogneisses were dated at **515 to 440 Ma**. The deposition of sedimentary protoliths may have lasted until Silurian/Devonian boundary according to the youngest detrital zircon ages. This succession may represent a forearc basin. This complex in the Strážovské vrchy Mountains (Suchý part) gave a metamorphic age of **368 \pm 6 Ma** and the migmatitic leucome of **347 \pm 4 Ma** (Putiš et al., 2023). The micaschists of the LAC underlying **Hron Complex** may represent a passive margin.

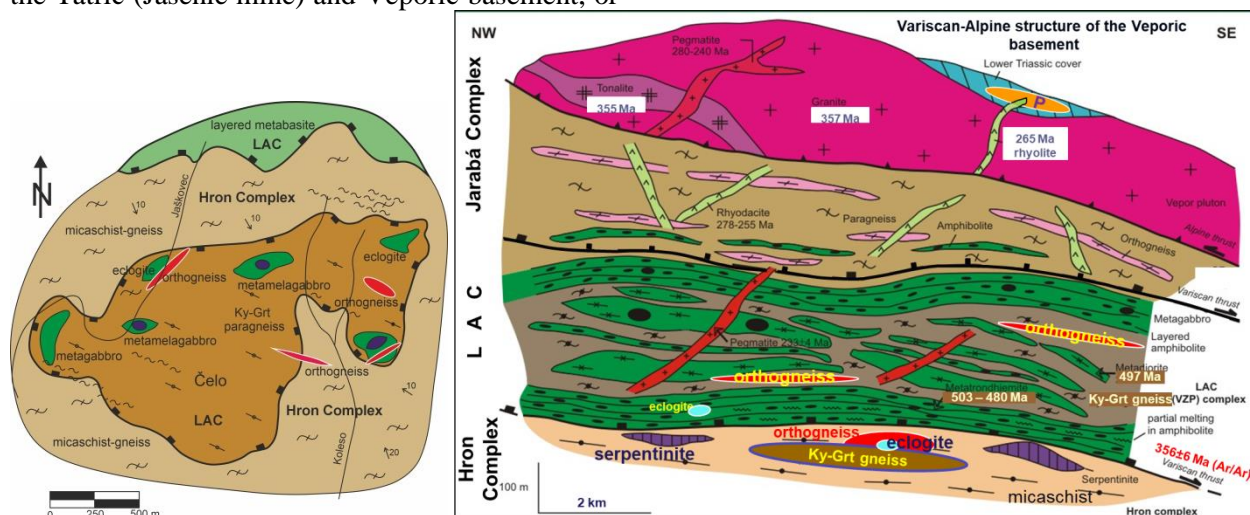


Fig. 1 The LAC defines an oceanic suture between the passive margin Hron Complex and a forearc Jarabá Complex, left after the Prototethys closure (Putiš et al., 1997, 2009). (a) Basal Ky-Grt gneisses and massive metamafic rocks of the LAC, north of the Helpa village. (b) The upper layered part of the LAC in the Veľký Zelený Potok Valley, east of the Brezno town (middle Slovakia).

Late Variscan complexes

The coupled **Rakovec-Klátov Complex** (Grecula, 1982; Németh, 2002; Radvanec et al., 2017; Radvanec and Németh, 2018) separates the Early Paleozoic **Lower Gelnica Complex** (Vozárová et al., 2010) from the **Upper Hladomorná Dolina-Klenovec Complex** in a southvergent tectonic structure (Putiš et al., 2009).

The **Rakovec Complex Sykavka Unit** (formation in Bajaník et al., 1984; Hovorka et al., 1988) comprises pillow basalts, dolerites, gabbro-porphyrates and less gabbros ($\epsilon\text{Nd}_{(400)}=+8.2$ to $+3.7$, $\text{TDM}_{(2\text{st})}$ 0.46-0.81 Ga; av. $\text{La}_N=74.96$, av. $\text{La}_N/\text{Yb}_N=4.76$) have a composition of mostly WPT and less E-MORB types from continental to incipient oceanic rifting stages. Magmatic ages of the **Sykavka Unit** were obtained from a porphyritic metagabbro of the Šajby Hill area dated at **405±5 Ma**, whereas a metagabbro from Poráč Valley, Slovinky mine yields an age of **395±5 Ma**. However, the felsic metavolcanics from the base **Smrečinka Unit** (Bajaník et al., l.c.) in the Babiná Hill area are Ordovician (**471±3** and **468±3 Ma**).

The **Klátov Complex Nižný Klátov Unit** isotropic to layered gabbros, plagiogranites ($\epsilon\text{Nd}_{(400)}=+9.8$ to $+5.4$, $\text{TDM}_{(2\text{st})}$ 0.34-0.68 Ga; av. $\text{La}_N=18.27$, av. $\text{La}_N/\text{Yb}_N=1.10$) are exclusively N-MORB type magmas associated with peridotites, talc calc-schists and carbonates, representing a Devonian ophiolite complex (Putiš et al., 2009, 2017, 2018). Six metagabbro samples from this unit at Dobšiná, Rudňany, Košická Belá, and Nižný Klátov yield magmatic ages of **410-383±3-5 Ma**, and a metaplagiogranite boulder from a Carboniferous mélangé zone at Závadka **398±4 Ma** (Putiš et al., 2009, 2017, 2018, 2023).

The **Zlatník Unit** N-MORB-type basalts, dolerites, gabbros and ultramafic rocks (formation in Ivan and Méres, 2012) may belong to the **Klátov Complex** oceanic section (av. $\text{La}_N=25.27$, av. $\text{La}_N/\text{Yb}_N=1.44$). They are metamorphosed in greenschist to blueschist facies and incorporated in a mélangé. An anorthositic metagabbro (Hnilčík, Zimná Valley) yields a U-Pb zircon age of **~410 Ma** and a titanite core gave an age of **388 Ma**.

A distinct part of the **Klátov Complex Ružín Unit**, contains deformed calc-alkaline quartz (meta)diorites to (meta)tonalites (av. $\text{La}_N=97.89$, av. $\text{La}_N/\text{Yb}_N=5.77$). Gneissic rocks are mainly derived from igneous sources (Hovorka and Spišiak, 1997), while Radvanec (1994) reported also „semipelites“, representing mixed siliciclastic and volcanoclastic sources. They may represent a former continental margin sedimentary-magmatic suite. Typical occurrences are at Dobšiná in the Vlčia Valley but also at the Ružín dam, Košická Belá, and Košice-

Jahodná. Apatite from a Qz metadiorite yielded a U-Pb age of **382±4 Ma** (at Dobšiná in the Vlčia Valley), and a metatonalite **385±4 Ma** (at the Ružín dam). Zircon from a Qz metadiorite at Košice-Jahodná yielded an age of **389±3 Ma**, and this sample contains inherited zircons dated at **482±9 Ma** and **578±12 Ma**.

The **Klátov Complex(?) Zlatník Unit** anorthositic metagabbro (Hnilčík, Zimná Valley) has titanite with outer rims dated at **~340 Ma**. This titanite age is consistent with the metamorphic zircon age of **350±5 Ma** from a metagabbro-porphyrate of the **Rakovec Complex Sykavka Unit** below Ostrá Hill (Putiš et al., 2017, 2018). These dates indicate a metamorphic event (e.g., Radvanec, 1999; Faryad et al., 2020) related to Early Carboniferous closure of the Rakovec-Klátov Basin, and finally the formation of late Early Carboniferous shear and mélangé zones with eclogites, blueschists, amphibolites, dioritic to tonalitic gneisses, and greenschists of the coupled **Rakovec-Klátov Complex** (Fig. 2).

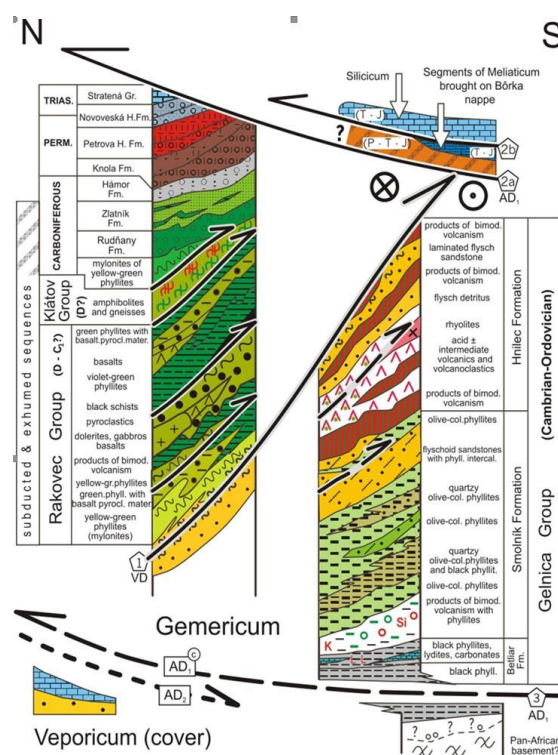


Fig. 2. The coupled Rakovec-Klátov Complex (groups in Németh, 2002) defines an oceanic suture between the Lower Gelnica and the Upper Hladomorná Dolina-Klenovec complexes, left after the Paleotethys closure. VD-Variscan, and AD Alpine thrust-faults, respectively.

The Late Devonian (dolerite dated at **371±4 Ma**; Putiš et al., 2009) ophiolitic **Pernek Complex** (Ivan et al., 2001) consists of deepwater silicic Mn-rich sediments and black shales, N-MORB-type basalts, dolerites, and rare gabbros ($\epsilon\text{Nd}_{(370)}=+10.4$ to $+8.0$, $\text{TDM}_{(2\text{st})}$ 0.27-0.43 Ga). This BAB closed at **~365-355 Ma**. The thrust plane of the metaophiolites

over the basin margin **Kuchyňa-Harmónia Complex** is crosscut by tonalite veins dated at **352-343 Ma** (Putiš et al., 2004, 2023).

CONCLUSIONS

(1) The transformation of the Gondwana margin thinned late Cadomian gneissic basement to a Prototethyan oceanic BAB is constrained by the Late Cambrian-Ordovician magmatic ages of the LAC. (2) The Early Devonian northward LAC subduction (~**405-385 Ma**) resulted in its suturing between the collisionally metamorphosed (~**385-370 Ma**) Late Cambrian-Silurian forearc Jarabá Complex and passive margin Hron Complex. Consequently, a detached Cadomian terrane Galatian microplate docked with Gondwana, generating the south-vergent structures in the Early Variscan basement (Putiš et al., 2008, 2009; Fig. 1b, 2). (3) Slab break-off and post-collisional extension-related exhumation resulted in partial melting of the LAC at ~**370-360 Ma**, pre-dating an older group of granitic to tonalitic plutons (Broska et al., 2022) within the Jarabá Complex (~**360-350 Ma**). However, the more distal portions of this complex from the LAC suture (e.g., the Strážovské Vrchy Mountains) underwent delayed collision, yielding a metamorphic age of **368±6 Ma**. Here, the post-collisional extension-related partial melting, constrained from a migmatitic leucosome dated at **347±4 Ma**, pre-dated the formation of a younger granitoid group at ~**350-340 Ma**. (4) The closing of Late Cambrian to Silurian pre-Variscan basin system triggered the rifting of the Gelnica Complex type basement on the Gondwana margin and finally the opening of the Paleotethyan Rakovec-Klátov Basin in the Early Devonian (~**410-380 Ma**). (5) The ~**370-350 Ma** closure of this basin by the northward subduction of oceanic/continental margin plate resulted in the accretion of adjacent Gelnica and Hladomorná Dolina-Klenovec complexes to the sutured Rakovec-Klátov Complex. (6) The Late Devonian Pernek BAB may have been opened by roll-back of a northward subducting slab (including the LAC) in combination with the incipient southward subduction of the Rheic Ocean beneath the Galatian microplate (Putiš et al., 2009). (7) The Pernek Complex was welded with the coupled Early Variscan complexes during Late Variscan southvergent thrusting of the Upper Jarabá Complex with the hanging wall LAC over the Hron Complex (mylonitic amphibole ^{40}Ar - ^{39}Ar age of **356±6 Ma**; Dallmeyer et al., 1996), while the coupled Rakovec-Klátov Complex, including the overlying Hladomorná Dolina-Klenovec Complex, overthrust the Gelnica Complex at ~**350-330 Ma**.

Acknowledgement: This research was funded by The Slovak Research and Development Agency

APVV-19-0065 (M.P.), APVV-22-0092 (M.O.), VEGA agency (1/0028/24, M.P.), the Chinese (2016YFE0203000, Q.-L.L.), and the Czech (RVO67985831, L.A.) scientific grants. D. Chew acknowledges support from Science Foundation Ireland through research grants 12/IP/1663, 13/RC/2092, and 13/RC/2092_P2 (iCrag Research Centre).

REFERENCES

- Bajaník, Š., Ivanička, J., Mello, J., Pristaš, J., Reichwalder, P., Snopko, L., Vozár J., Vozárová A., 1984: Geological map of the Slovenské rudohorie Mts. - eastern part, 1:50,000. D. Štúr Inst. Geol., Bratislava.
- Broska, I., Janák, M., Svojtka, M., Keewook, Yi, Konečný, P., Kubiš, M., Kurylo, S., Hrdlička, M., Maraszewska, M., 2022: Variscan granitic magmatism in the Western Carpathians with linkage to slab break-off. *Lithos*, 412, 106589.
- Dallmeyer, R.D., Neubauer, F., Handler, R., Fritz, H., Müller, W., Pana, D., Putiš, M., 1996: Tectonothermal evolution of the internal Alps and Carpathians: Evidence from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ mineral and whole-rock data. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 89, 203-227.
- Faryad, S.W., Ivan, P., Jedlička, R., 2020: Pre-Alpine high-pressure metamorphism in the Gemer unit: mineral textures and their geodynamic implications for Variscan Orogeny in the Western Carpathians. *International Journal of Earth Sciences*. 10.1007/s00531-020-01856-2.
- Filová, I., Putiš, M., 2004: Lithological-petrographical-structural study of the North Veporic metamafics. *Mineralia Slovaca*, 36, 195-204.
- Grecula, P., 1982: Gemicum – segment of the Paleotethyan riftogenous basin. Bratislava, *Mineralia Slovaca – Monograph, Alfa*, 1-263.
- Hovorka, D., Ivan, P., Jilemnická, I., Spišiak, J., 1988: Petrology and geochemistry of metabasalts from Rakovec (Paleozoic of Gemic unit, Inner Western Carpathians). *Geologický Zborník Geologica Carpathica*, 39,395-425.
- Hovorka, D., Méres, Š., 1993: Leptynitovo-amfibolitový komplex Západných Karpát: vystupovanie a litologická náplň. *Mineralia Slovaca*, 25, 1-9.
- Hovorka, D., Spišiak, J., 1997: Medium grade metamorphics of the Gemic unit. In: Grecula, P., Hovorka, D., Putiš, M. (eds.) *Geological evolution of the Western Carpathians*, *Mineralia Slovaca-Monograph*. Bratislava, 315-332.
- Hovorka, D., Ivan, P., Méres, Š., 1997: Leptyno-amfibolite complex of the Western Carpathians: Its definition, extent and genetical problems. In: Grecula, P., Hovorka, D., Putiš, M. (eds.) *Geological evolution of the Western Carpathians*, *Mineralia Slovaca-Monograph*. Bratislava, 269-280.

- Ivan, P., Méres, Š., Putiš, M., Kohút, M., 2001: Early Paleozoic metabasalts and metasedimentary rocks from the Malé Karpaty Mts. (Western Carpathians): evidence for rift basin and ancient oceanic crust. *Geologica Carpathica*, 52, 1-10.
- Ivan, P., Méres, Š., 2012: The Zlatník Group—Variscan ophiolites on the northern border of the Gemic Superunit (Western Carpathians). *Mineralia Slovaca*, 44, 39-56.
- Janák, M., Méres, Š., Ivan, P., 2007: Petrology and metamorphic P-T conditions of eclogites from northern Veporic Unit (Western Carpathians, Slovakia). *Geologica Carpathica*, 58, 121-131.
- Janák, M., Méres, Š., Medaris, G., Jr., 2020: Eclogite facies metaultramafite from the Veporic Unit (Western Carpathians, Slovakia). *Geologica Carpathica*, 71, 3, 209-220.
- Korikovsky, S.P., Putiš, M., 2002: Olivine-orthopyroxene-amphibole-talc-chlorite meta-serpentinites in the medium-temperature metamorphic complex of Northern Veporic, Western Carpathians: phase equilibria, metamorphic parameters, comparison with gneiss and amphibolite associations. *Petrology*, 10, 3-29.
- Meschede, M., 1986: A method of discrimination between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb–Zr–Y diagram. *Chemical Geology*, 56, 207-218.
- Németh Z., 2002: Variscan suture zone in Gemicum: Contribution to reconstruction of geodynamic evolution and metallogenic events of Inner Western Carpathians. *Slovak Geological Magazine*, 8, 247-257.
- Pearce, J.A., 2008: Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos*, 100, 14-48.
- Putiš, M., 1992: Variscan and Alpidic nappe structures of the Western Carpathian crystalline basement. *Geologica Carpathica*, 43, 369-380.
- Putiš, M., Filová, I., Korikovsky, S.P., Kotov, A.B., Madarás, J., 1997: Layered meta-igneous complex of the Veporic basement with features of the Variscan and Alpine thrust tectonics (the Western Carpathians). In: Grecula, P., Hovorka, D., Putiš, M. (eds.) *Geological evolution of the Western Carpathians*, Mineralia Slovaca-Monograph, Bratislava, 175-196.
- Putiš, M., Hrdlička, M., Uher, P., 2004: Lithology and granitoid magmatism in Lower Paleozoic complex of the Malé Karpaty Mts. *Mineralia Slovaca*, 23, 183-194.
- Putiš, M., Sergeev, S., Ondrejka, M., Larionov, A., Siman, P., Spišiak, J., Uher, P., Paderin, I., 2008: Cambrian–Ordovician metaigneous rocks associated with Cadomian fragments in the West-Carpathian basement dated by SHRIMP on zircons: a record from the Gondwana active margin setting. *Geologica Carpathica*, 59, 3-18.
- Putiš, M., Ivan, P., Kohút, M., Spišiak, J., Siman, P., Radvanec, M., Uher, P., Sergeev, S., Larionov, A., Méres, Š., Demko, R., Ondrejka, M., 2009: Meta-igneous rocks of the West-Carpathian basement, Slovakia: indicators of Early Paleozoic extension and shortening events. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 180, 6, 461-471.
- Putiš, M., Li, X.-H., Ondrejka, M., Radvanec, M., Németh, Z., Siman, P., Ružička, P., 2017: Neoproterozoic and Early Paleozoic complexes in the Variscan basement structure of the Western Carpathians constrained by U-Pb SIMS and LA-ICP-MS zircon ages. 13th Workshop on Alpine Geological Studies, Émile Argand Conference (EGU Series), Zlatibor, Serbia.
- Putiš, M., Németh, Z., Li, X.-H., Yang Y.-H., Li, Q.-L., Ling, X., Nemeč, O., Ondrejka, M., 2018: Prototethys, Paleotethys and Neotethys remnants in the Western Carpathians constrained by SIMS and LA-ICP-MS U–Pb zircon ages. EUG Conference, Abstract Book, Vienna, Austria.
- Putiš, M., Nemeč, O., Li, Q.-L., Li, X.-H., Ling, X., Ivan, P., Németh, Z., Ackerman, L., Spišiak, J., Ondrejka, M., Siman, P., Demko, R., Madarás, J., Ružička, P., Sobocký, T., 2023: Zircon ages and geochemistry of metamafic complexes from the Variscan suture zones of the West-Carpathian basement: Indicators of northern Gondwana breakup and collision events. 5th Bohemian Massif Symposium, Smolenice, Slovakia. Book of Abstracts, VEDA, Publishing House of the Slovak Academy of Sciences, 25-27.
- Radvanec, M., 1994: Petrology of the Gemic gneiss-amphibolite complex, northern part of the Rudňany deposits. Part I: P-T-x conditions and zonality of metamorphism. *Mineralia Slovaca*, 26, 223-238.
- Radvanec, 1999: Eklogitizované klinopyroxenické gabro s retrográdnou metamorfózou v pumpellyitovo-aktinolitovej fácií na vrchu Babiná a Ostrá (gemicum). *Mineralia Slovaca*, 31, 467-484.
- Radvanec, M., Németh, Z., Kráp, J., Pramuka, S., 2017: Variscan dismembered metaophiolite suite fragments of Paleo-Tethys in Gemic unit, Western Carpathians. *Mineralia Slovaca*, 49, 1-48.
- Radvanec, M., Németh, Z., 2018: Variscan epidote-eclogite, blueschists and pumpellyite-actinolite facies Cpx/Sr-rich epidote-metagabbro blocks exhumed in Carboniferous, with Permian amphibolite facies overprint (Gemic unit, W. Carpathians). *Mineralia Slovaca*, 50, 55-90.
- Spišiak, J., Pitoňák, P., 1990: The Nízke Tatry Mts. crystalline complex - new facts and interpretation (Western Carpathians, Czechoslovakia). *Geologický zborník - Geologica Carpathica*, 41, 377-392.
- Vozárová, A., Šarinová, K., Larionov, A., Presnyakov, S., Sergeev, S., 2010: Late Cambrian/Ordovician magmatic arc type volcanism in the Southern Gemicum basement, Western Carpathians, Slovakia: U–Pb (SHRIMP) data from zircons. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, 99, 17-37.

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 knižárske 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)

