

Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-15-0575****Paleoklimatický záznam a variabilita miocénnej klímy v centrálnej a východnej Paratetyde**Zodpovedný riešiteľ **doc. RNDr. Marianna Kováčová, PhD.**Príjemca **Univerzita Komenského v Bratislave - Prírodovedecká fakulta**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra geológie a paleontológie, Ilkovičova 6, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava, Slovenská republika

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Česká geologická služba, Brno

Naturalis Biodiversity Center in Leiden, Holandsko

Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid, Španielsko

Ege University Izmir, Turecko

MARUM - Center for Marine Environmental Sciences, University of Bremen, Bremen, Nemecko

Bulharská akadémia vied, Sofia, Bulharsko

Senckenberg Research Institute and Natural History Museum Frankfurt/M.

Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

Medzi plánované výstupy a výsledky projektu neboli zahrnuté patenty, vynálezy a úžitkové vzory.

Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

Viček T., Šarinová K., Rybár S, Hudáčková N., Jamrich M., Šujan M., Franců J., Nováková P., Sliva L., Kováč M., Kováčová M., 2020: Paleoenvironmental evolution of Central Paratethys Sea and Lake Pannon during the Cenozoic, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 559, 109892

Nováková P, Rybár S., Šarinová K, Nagy A., Hudáčková N., Jamrich M., Teodoridis V., Kováčová M., Šujan M., Viček T and Kováč M., 2020: The late Badenian–Sarmatian (Serravallian) environmental transition calibrated by sequence stratigraphy (eastern Danube Basin, Central Paratethys) GEOLOGICA CARPATHICA, , 71, 4, 291–313, <https://doi.org/10.31577/GeolCarp.71.4.1>

Kováč, M., Halássová, E., Hudáčková, N., Holcová, K., Hyžný, M., Jamrich, M. & Ruman, A., 2018: Towards better correlation of the Central Paratethys regional time scale with the standard geological time scale of the Miocene Epoch. Geologica Carpathica, 69, 3, 283-300.

Kováč, M., Hudáčková, N., Halássová, E., Kováčová, M., Holcová, K., Oszczypko-Clowes, M., Báldi, K., Less, Gy., Nagymarosy, A., Ruman, A., Klučiar, T. & Jamrich, M. 2017: The Central Paratethys palaeoceanography: a water circulation model based on microfossil

- proxies, climate, and changes of depositional environment. *Acta Geologica Slovaca*, 9, 2, 75–114.
- Ruman, A., Ćorić, S., Halássová, E., Harzhauser, M., Hudáčková, N., Jamrich, M., Palzer-Khomenko, M., Kranner, M., Mandić, O., Rybár, S., Šimo, V., Šujan, M. and Kováč, M. 2021: The “Rzehakia beds” on the northern shelf of the Pannonian Basin: biostratigraphic and palaeoenvironmental implications. *Facies*, 67, 1 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10347-020-00609-6>
- Hudáčková, N., Soták, J., Ruman, A., Rybár, S. & Milovský, R., 2018: Marsh-type agglutinated foraminifera from Upper Miocene sediments of the Danube Basin. *Micropaleontology*, 64, 5-6, 481-492.
- Hudáčková, N., Holcová, K., Halássová, K., Kováčová, M., Doláková, N., Trubač, J., Rybár, S., Ruman, A., Stárek, D., Šujan, M., Jamrich, M. and Kováč, M. 2020: The Pannonian Basin System northern margin paleogeography, climate, and depositional environments in the time range during MMCT (Central Paratethys, Novohrad-Nógrád Basin, Slovakia). *Palaeontologia Electronica*, 23(3):a50. <https://doi.org/10.26879/1067>
- Van den Hoek Ostende L, Bilgin M, Braumuller Y, Hír J, Joniak P, Peláez-Campomanes P, Prieto J, Skandalos P, Casanovas-Vilar I. 2020. Generically speaking, a survey on Neogene rodent diversity at the genus level in the NOW database. *Fossil Imprint*. 76(1):118–127.
- Joniak P, Šujan M, Fordinál K, Braucher R, Rybár S, Kováčová M, Kováč M, Aumaître G, Bourlès DL, Keddadouche K. 2020. The age and paleoenvironment of a late Miocene floodplain alongside Lake Pannon: Rodent and mollusk biostratigraphy coupled with authigenic ¹⁰Be/⁹Be dating in the northern Danube Basin of Slovakia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 538:109482.
- Joniak P, Šujan M. 2020. Systematic and morphometric data of late Miocene rodent assemblage from Triblavina (Danube Basin, Slovakia). *Data in Brief*. 28:104961.
- Filek T. & Joniak P., 2020: Small mammal assemblage from lacustrine Late Pleistocene deposits near Ovčiarско (Northern Slovakia). *Acta Geologica Slovaca*, 12, 2, 121-135.
- van den Hoek Ostende LW, Joniak P, Rojay B, Aten C, Bilgin M, Peláez-Campomanes P. 2019. Early Miocene insectivores of Gökler (Kazan Basin, Central Anatolia, Turkey). *Palaeobio Palaeoenv*. 99(4):701–722.
- Joniak P, Peláez-Campomanes P, van den Hoek Ostende LW, Rojay B. 2019. Early Miocene rodents of Gökler (Kazan Basin, Central Anatolia, Turkey). *Historical Biology*. 31(8):982–1007.
- Joniak P, Peláez-Campomanes P, Mayda S, Bilgin M, Halaçlar K, van den Hoek Ostende LW. 2019. New faunas of small mammals from old Harami mine (early Miocene, Anatolia, Turkey). *Palaeobio Palaeoenv*. 99(4):673–700.
- Čermák S, Joniak P, Rojay B. 2019. A new early Pliocene locality Tepe Alagöz (Turkey) reveals a distinctive tooth phenotype of *Trischizolagus* (Lagomorpha, Leporidae) in Asia Minor. *Palaeontologia Electronica* 22.1.14A 1-21. <https://doi.org/10.26879/924>
- Bilgin M, Joniak P, Mayda S, Göktaş F, Kaya T, Campomanes PP, van den Hoek Ostende LW. 2019. Sabuncubeli too, Bornova, a second micromammal assemblage from the Sabuncubeli section (early Miocene, western Anatolia). *Palaeobio Palaeoenv*. 99(4):655–671.
- Joniak P, Hír J, Šujan M, Mészáros L. 2017. Small mammals from Vértesacska as a contribution to chronology of the late Miocene Zagyva Formation (W Hungary). *AGEOS*. 9(1):15–24.
- Joniak P. 2016. Upper Miocene rodents from Pezinok in the Danube Basin, Slovakia. *AGEOS*. 8(1):1–14.
- Fejfar, O., Heintz, É., Ďurišová, A. & Sabol, M., 2016: Pliocene vertebrates from Ivanovce and Hajnáčka (Slovakia). X. Cervidae. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abh.* 281/1, 1-33.

Uplatnenie výsledkov projektu

Počas riešenia projektu sme sa zamerali na stanovenie kvantifikovaných paleoklimatických parametrov na základe biotických a abiotických údajov pre vybrané oblasti Paratetýdy, súčasne s biostratigrafickým upresnením eventov a identifikáciou odrazu zmien klímy v morskem prostredí, ako aj definovanie hlavných klimatických výkyvov počas mladších treťohôr v Paratetýdnej oblasti. Výsledky sa uplatnia pri špecifikácii biostratigrafického veku hornín vo vzťahu ku globálnym klimatickým eventom, ako aj pri datovaní výrazných

paleogeografických zmien. Výsledky umožňujú predikovať zmenu funkcie ekosystému ako odpoveď na zmenu ekologického, alebo klimatického faktora. Praktické uplatnenie výsledkov z hľadiska štúdia odpovede asociácií na takéto zmeny je využitie pri vyhľadávaní uhľovodíkov, čo bolo počas projektu opakovane využité (spolupráca s Nafta a.s.; Vermillion). Pre analýzu biomarkerov a interpretáciu paleoklimatického vývoja, z obdobia stredného až neskorého miocénu v Dunajskej panve, bolo dôležité sledovať predovšetkým distribúciu normálnych alkánov (n-alkány) a následne vypočítať indexy používané na vyhodnotenie klimatických parametrov. Stratigraficky najstaršie sedimenty neskorého bádenu vykazovali zvýšené hodnoty Paq a nízke hodnoty indexov CPI a ACL27-33, čo indikovalo subtropickú a humídnu klímu. Tento fakt potvrdzuje aj prevládanie n-alkánov n-C27 a n-C29 voči n-C31 a n-C33. Alkány n-C27 a n-C29 sú derivované z voskov listov stromov a alkány s dlhším reťazcom napríklad n-C31 a n-C33 pochádzajú predovšetkým z tráv a bylín. Niektoré sarmatské vzorky vykazovali zvýšene hodnoty n-C31 a n-C33, čo môže signalizovať ústup lesných porastov a nástup stepí spojených s aridnejšou a chladnejšou klímou. Počas sarmatu boli zdokumentované výrazne fluktuácie skúmaných parametrov, čo indikuje striedanie teplých a humídnych období s chladnejšími a suchšími. Avšak bol viditeľný celkový trend mierneho ochladzovania z neskorého bádenu cez sarmat až do panónu. To je v zhode s predošlými prácami, ktoré sa zaoberali vývojom klímy počas miocénu v oblasti Centrálnej Paratetydy. Na začiatku panónu hodnoty CPI a Pwax dosahujú maximá a naopak hodnoty Paq klesajú čo indikuje relatívne chladnejšiu klímu korelovateľnú s miernym klimatickým pásmom severnej pologule v súčasnosti. Následne nastalo otepľovanie smerom do panónu, čo bolo zaznamenané vo všetkých skúmaných proxy (CPI, ACL27-33, Paq, Pwax ...). Biomarkery, údaje z peľovej, palynofaciálnej a celohorninovej geochemickej analýzy poskytujú primárne biotické a abiotické údaje, pomocou ktorých možno komplexne vyhodnotiť trendy a vývoj klimatických zmien v geologickej minulosti skúmaného územia. Získané taxonomické a biostratigrafické údaje boli uplatnené pri rekonštrukcii lokálneho paleoprostredia ako odraz klimatického vývoja v oblasti Centrálnej Paratetydy nielen počas raného miocénu, ale aj v post-miocénnom období počas pliocénneho klimatického optima (Pliocene Greenhouse). Lokality a fauny objavené a študované v rámci tohto projektu významným spôsobom prispievajú k poznaniu biodiverzity drobných cicavcov v rámci Európy a blízkeho východu. Interpretácia paleoekologických nárokov, klímy a paleogeografie zasadená do presnejšieho časového rámca bude tvoriť solídny základ pre ďalšie syntetické práce zaoberajúce sa danou tematikou v širšom geografickom rámci.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)

V rámci projektu boli analyzované vzorky z Bulharska, Turecka a Slovenska. Geochemické proxy nie je možné plnohodnotne porovnávať najmä ak sa líšia proveniencie a zdrojové oblasti analyzovaného materiálu. Generálne trendy sú však stále platné a tento projekt prináša základ unikátnej databázy na porovnávanie geochemických proxy v rôznych časových obdobiach. Získané výsledky potvrdzujú, že biotické a abiotické proxy generálne dobre korelujú, aj keď abiotické proxy vykazujú menšiu citlivosť na zmeny ako biotické proxy. Porovnávanie geochemických proxy z uvedených lokalít potvrdzuje predpokladané trendy nárastu teploty a poklesu zrážok smerom v juhovýchodnom smere. V oblasti Centrálnej Paratetydy možno vyčleniť tieto eventy:

- a) 17.3 Ma (otnang/karpat) – subtropické dažďové pralesy s palmami. Absolútne $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ datovanie tufov z floristicky významných lokalít Lipovany a Mučín potvrdilo, že lokality prislúchajú k formácii so svetoznámu lokalitou Ipolytarnóc a predstavujú záznam klímy z hranice otnang/ karpat a nie egenburg/ otnang ako dokumentovali staršie práce.
- b) Karpat – subtropické močiarny lesy. Vyššie spomenuté údaje posúvajú flóru Salgotarjárskeho súvrstvia výhradne do karpatu. Výsledky analýz z Centrálnej Paratetydy dokumentujú nástup Middle Miocene Climatic Transition (MMCT) v sedimentoch mladších ako 15 Ma. V tomto čase pretrvávali oxické podmienky v dnových vodách.
- c) cca 13.8 Ma nastúpila ďalšia transgresívna fáza, ktorá bola výrazne ovplyvnená aj tektonikou oblasti. V niektorých oblastiach Centrálnej Paratetydy prebiehala na báze cyklu evaporitová sedimentácia bádenskej salinitnej krízy, ktorá však v priestore Dunajskej panvy nebola zaznamenaná. Počas tohto obdobia stále pretrvávali vo vegetácii subtropické prvky. Nastupujúca transgresia viedla k rozvoju upwellingu a poklesu obsahu kyslíka v dnových

vodách. Zároveň stúpla karbonátová precipitácia ako odraz zvýšenej humidity v prostredí. Klimatické proxy vykazujú nízku variabilitu s postupným nárastom humidity, najmä počas panónu. V týchto obdobiach sa už subtropické prvky klímy vyskytujú minoritne. Pomocou štúdia vzťahov zmien klímy a paleoprostredia vo vzťahu k morským a okrajovým morským prostrediam sa nám podarilo dokázať, že veľké klimatické zmeny v strednom miocéne, viditeľné v celosvetovej mierke (MMCO, MMCT), nie sú zjavne čitateľné v asociáciách morských mikrosfosílií Novohradsko-Noográdskej panvy a severného okraja Viedenskej Panvy ani podľa analýzy spoločenstva, ani podľa analýzy pomeru izotopov kyslíka a uhlíka. V priestore Centrálnej Paratetydy boli príbrežné oblasti v tomto období výrazne ovplyvnené vulkanickou činnosťou, ktorá prednostne určovala morfológiu pobrežia a chemizmus príbrežných vôd. Základný výskum zaoberajúci sa analyzovaním biomarkerov (molekulárnych fosílií) zo sedimentov z Dunajskej panvy, priniesol nové poznatky o vývoji miocénnej klímy a vegetácie v oblasti Centrálnej Paratetydy. Výskum biomarkerov je v súčasnosti najpoužívanejší nástroj na identifikáciu paleoklimatických podmienok. Výsledky z analýzy biomarkerov skvelo dopĺňajú poznatky získané z iných metodík predovšetkým z peľovej analýzy. Zistili sme, že najlepší prediktor na určovanie vývoja klímy sú organické chemické zlúčeniny, ktoré pozostávajú z atómu uhlíka a vodíka spojených jednoduchou kovalentnou väzbou tzv. n-alkány. Na základe distribúcie n-alkánov sa podarilo identifikovať subtropické/paratropické klimatické podmienky počas neskorého bádenu pretrvávajúce až do začiatku sarmatu. Klíma počas sarmatu sa výrazne menila a bol potvrdený trend ochladzovania až do panónu. Na začiatku panónu boli mierne klimatické podmienky podobné tým súčasným v miernom klimatickom pásme severnej pologule s následným otepľovaním počas panónu. Materiál drobných cicavcov získaný výskumom študovaných lokalít z oblasti centrálnej Európy a západnej Anatólie bol porovnaný s materiálom z ďalších lokalít v rámci Európy. Získané dáta boli zaradené do medzinárodnej databázy NOW (Neogene of the Old World Database). Ako významný syntetický výstup projektu bolo porovnanie miocénnych fáu z celej Európy a Anatólie na úrovni rodovej diverzity hlodavcov do ktorej už boli zaradené aj novoobjavené a publikované fauny. Anatólia paleogeograficky zohrávala významnú rolu vo vývoji a migrácii druhov medzi Áziou a Európou, keďže bola počas miocénu viac krát izolovaná od Európy. Analýza jednotlivých nových spoločenstiev, ako aj syntetické práce priniesli nové poznatky o paleogeografii kontinentu, možných migračných trasách ako aj o faktoroch ktoré migráciu a distribúciu druhov v čase ovplyvňovali (napr. vplyv humidity, teploty, konkurenčného tlaku, vegetačného pokryvu a pod.). Z tohto pohľadu boli interpretované niektoré hypotézy týkajúce sa geograficky limitovaného výskytu určitých morfológických znakov, ktorých vývoj bol pravdepodobne ovplyvnený prostredím (vyššia humidita).

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)

Within the project the material from Bulgaria, Turkey and Slovakia were analyzed. Geochemical proxies are not comparable in a case the source area differs in material composition. However, the general trends are still valid and this project provides the base of unique database for comparing geochemical proxies in different time periods. Based on the obtained results, it can be concluded that biotic and abiotic proxies fit well, although abiotic proxies show less sensitivity to changes than biotic proxies. The comparison of geochemical proxies confirms the expected trends of temperature increase and precipitation decrease towards the South and East. These events were identified within the northern part of Central Paratethys:

- a) 17.3 Ma (Otnangian / karpatian) - subtropical rainforests with palm: Absolute $^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$ dating of tuffs from floristically important localities Lipovany and Mučín confirmed that the localities belong to the flora of the Ipolytárnoc and represent a climate record from the Otnangian /Karpatian, which is different from older works.
- b) Karpatian - subtropical swamp forests. The above-mentioned data move the flora of the Salgotarjan Formation exclusively to the Karpatian. The results of analyzes from Central Paratethys document the onset of the Middle Miocene Climatic Transition in sediments less than 15 Ma. At this time, oxic conditions persisted in the bottom waters.
- c) Around 13.8 Ma, another transgressive phase began, which was significantly influenced by the tectonics of the area. In some areas of the Central Paratethys, evaporative sedimentation (Badenian Salinity Crisis) took place on the basis of a cycle, but it was not

recorded in the area of the Danube Basin. Subtropical elements still existed during this period. The onset of transgression led to the development of upwelling and a decrease in the oxygen content of the bottom waters. At the same time, carbonate precipitation increased. Climatic proxies show low variability with a gradual increase in humidity, especially during the Pannonian. During these periods, subtropical elements of the climate no longer occur.

Using a study of the relationship between climate change and the paleoenvironment in relation to marine and marginal marine environments, we have been able to prove that major climate change in the middle Miocene, visible worldwide (MMCO, MMCT), is not clearly legible in the Novohrad-Noograd basin and the northern edge of the Vienna Basin, either according to the community analysis or according to the analysis of the oxygen / carbon isotope ratio. In the area of the Central Paratethys, the riparian areas during this period were significantly influenced by volcanic activity, which primarily determined the morphology of the coast and the chemistry of shallow waters. The basic research dealing with analysis of biomarkers (molecular fossils) obtained from sediments deposited in the Danube Basin, brought new knowledge about the development of Miocene climate and vegetation in the Central Paratethys region. Biomarker research is currently the most widely used tool for identifying paleoclimatic changes. The result obtained from the biomarker analysis perfectly supplements findings from pollen analysis. We found that the best predictor of climate change are organic chemical compounds, which consist of a carbon and hydrogen atom joined by a single covalent bond called normal alkanes (n-alkanes). Based on the distribution of n-alkanes, the subtropical/paratropical climate condition during the late Badenian up to the early Sarmatian was documented. The climate during the Sarmatian changed significantly and the trend of cooling was confirmed until the Pannonian. During the early Pannonian, climatic conditions were like those in the temperate zone of the Northern Hemisphere, followed by a warming period continuing to the Pannonian. The material of small mammals obtained from studied localities in Central Europe and Western Anatolia was compared with the material from other already known localities within Europe. The obtained data were included in the database NOW (Neogene of the Old World Database). As a significant synthetic output of the project was the comparison of the Miocene diversity of rodents from whole region at the rodent genera level. It already includes newly discovered and published fauna. Anatolia played paleogeographically an important role in the development and migration of species between Asia and Europe, as it was several times isolated from Europe during the Miocene. The analysis of new assemblages, as well as synthetic works resulted in new knowledge about the paleogeography of the continent, possible migration routes as well as the factors that influenced migration and distribution of species over time (eg influence of humidity, temperature, competitive stress, vegetation cover, etc.). From this point of view, some hypotheses concerning the geographical occurrence of certain morphological dental features (posterior endoloph, mesoloph/id, etc.) whose development was probably driven more by paleoenvironment (higher humidity) were interpreted.