

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$ a $\delta^{18}\text{O}$ vo fosílnych schránkach mäkkýšov z morského, brakického a sladkovodného prostredia terciéru Západných Karpát

KLEMENT FORDINÁL¹, JÁN KRÁL¹, EMÍLIA HARČOVÁ¹, PETER ČECH¹,
GRZEGORZ ZIELIŃSKI² a ALEXANDER NAGY¹

¹Štátny geologický ústav D. Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava, Slovenská republika

²Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Laboratorium Analiz
w Mikroobszarze, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa, Polska

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ in mollusc fossil shells from marine, brackish and freshwater environments from the Western Carpathians Tertiary sequences

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic ratio in Tertiary mollusc shells (64 samples), and 14 freshwater limestones along with the carbon and oxygen isotopic data ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, 65 measurements) from marine (Kiscelian – Sarmatian), marine brackish (Sarmatian) and freshwater environments (Pannonian – Pontian) of the central Paratethys, later changed to the Pannonian lake, were analysed. Samples come from the Vienna Basin and Danube Basin and closed intermontane Turčianska kotlina Basin.

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic ratios in the most of the fossil marine mollusc shells converted to SIS numerical scale are consistent with their accepted stratigraphic position (20 samples). The transition of marine water to brackish environment from the Upper Sarmatian in the study area is generally manifested by decreasing $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios, if compared to values of the contemporary seawater. However, the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ values in the freshwater Pannonian E shells are very close to the contemporary seawater. Samples from closed Turčianska kotlina Basin (Sarmatian?/Pannonian – Pontian) represent fresh waters signal with typical $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ between 0.7082 – 0.7083. Different paleo-environmental conditions are indicated by $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ data from the Danube Basin and closed Turčianska kotlina Basin. While $\delta^{18}\text{O}$ values from both areas vary in the same range of negative values (–10 to –2, and –4 to –9 respectively), $\delta^{13}\text{C}$ values of samples from the Danube Basin and Turčianska kotlina Basin are clearly different (–9 to 0 and 0 to +5.3 respectively).

Key words: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, mollusc shells, Tertiary, Central Paratethys

Úvod

Terciérne usadeniny Západných Karpát sú reprezentované rôznymi litofáciami – od plytkovodných až po hlbokovodné. Plytkovodné okrajové fácie sa vyznačujú málo diverzifikovanými asociáciami organizmov, v ktorých jednotlivé taxóny majú široké stratigrafické rozšírenie, čo znemožňuje presné stratigrafické zaradenie týchto sedimentov. Ďalším nepriaznivým faktorom sťažujúcim biostratigrafické začleňovanie terciérnych usadenín je skutočnosť, že vo vývoji sedimentárnych paniev Západných Karpát dochádzalo v niektorých časových obdobiach k strate spojenia s otvoreným morom – k izolácii, k vysladzovaniu prostredia a následne aj k vytvoreniu endemických spoločenstiev organizmov.

Izotopové zloženie kyslíka ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) a uhlíka ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) vo fosílnych uhličitanových schránkach sa už prakticky pol storočia používa na charakterizáciu prostredia, v ktorom fosílny organizmy žili (Keith et al., 1964; Nelson a Smith, 1996). Izotopové zloženie kyslíka závisí od salinity a teploty vody a izotopové zloženie uhlíka je v značnej miere ovplyvňované lokálnym prostredím a tiež fyziologickými procesmi. Morské, brakické a sladkovodné prostredie

má svoje izotopové odlišnosti a zachovaný pôvodný izotopový signál poskytuje informácie o charaktere paleoenvironmentálnych podmienok, v ktorých fosílny organizmy žili, a tiež o ich zmenách v priebehu času.

Od prvých prác Petermana et al. (1970), Veizera a Compstona (1974), Burkeho et al. (1982) bolo publikovaných množstvo prác, ktoré definovali variabilitu $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ v morskej vode v priebehu fanerozoika, čím otvorili možnosť adjustácie získaného izotopového pomeru $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (najčastejšie fosílny schránky) na numerickú časovú škálu. Stronciová izotopová stratigrafia (SIS) sa takto stala vhodným stratigrafickým nástrojom, významne doplnujúcim klasický metodický arzenál používaný v stratigrafii (Hodell et al., 1989; Veizer, 1989; Howarth a McArthur, 1997; McArthur et al., 2001). Bližšie informácie o princípoch a technológii SIS možno získať z prác McArthura (1994, 1998) a v slovenskej literatúre z článku Krála et al. (1995). Komplexný pohľad na izotopové zloženie stroncia, uhlíka, kyslíka a čiastočne síry z morských fosílnych schránok a na príčiny tejto variability v priebehu fanerozoika publikoval Veizer et al. (1999).

Definovaná variabilita izotopového zloženia $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ v morskej vode vo fanerozoiku umožňuje aj

významné izotopovo-geochemické aplikácie. Pomer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ v morskej vode v danom čase je v globálnom meradle identický a takto reprezentuje referenčný údaj na porovnanie údajov z odlišných vodných prostredí, v ktorých dochádzalo, resp. dochádza k miešaniu morskej a sladkej vody, čo bolo testované v mnohých prácach, napr. Andersson et al. (1992, 1994), Faure (1982, 1986), Galy et al. (1999), Goldstein a Jacobsen (1987, 1988) a i. Takéto informácie môžu tvoriť základ nielen pre širšie geologicko-tektonické aplikácie (Edmond, 1992; Vasiliiev et al., 2010), ale aj pre prípadnú konštrukciu lokálnych stratigrafických škál v oblastiach, kde sa izotopový vývoj odlišuje od morského (Eidvin et al., 2014).

Cieľom predloženej práce bolo získať základný prehľad o izotopovom zložení kyslíka, uhlíka a stroncia v schránkach terciérnych mäkkýšov z morského, brakického a sladkovodného prostredia rôznych lokalít centrálnej Paratetýdy, postupne sa meniacej do vysladeného Panónskeho jazera.

Informácie o izotopovom zložení kyslíka a uhlíka vo fosílnych schránkach z neogénnych sedimentov Západných Karpát boli publikované v prácach Fordinála a Harčovej (1997), Hladilovej a Hladíkovej (1993), Hladilovej et al. (1998), Kováčovej a Hudáčkovej (2009), Kováčovej et al. (2009) a Šutovskej a Kantora (1992). Izotopové zloženie $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ zo západokarpatskej oblasti (z druhohorných vápencov) bolo publikované už dávno (Veizer a Comston, 1974) a omnoho neskôr z rôznych fosílnych schránok neogénnej fauny v prácach Krála et al. (1995), Vassa et al. (2003), Hudáčkovej et al. (2003) a Pipíka et al. (2012).

Stručný geologický vývoj študovaných neogénnych panví Západných Karpát

Neogénne panvy Západných Karpát (Viedenská a Dunajská panva) reprezentujú zálivy epikontinentálneho paratetýdneho mora s odlišnosťami v geodynamickom vývoji a sedimentárnych faciách (Kováč, 2000).

V egenburgu sa v priestore centrálnych Západných Karpát vytvoril sedimentačný priestor charakteru členitého archipelágového mora s klastickou sedimentáciou. Transgresia prenikla do oblasti dnešnej Viedenskej panvy cez front flyšových príkrovov z čelnej predhlbne (Kováč et al., 1993). Na okraji panvy sa v dobre presvetlenom litorálnom morskem prostredí usadzovali hruboklastické sedimenty s charakteristickou faunou bivalvií čelade Pectinidae (Bílek, 1966; Čtyroký 1961a, b). Postupujúca transgresia spôsobila, že neritická šlírová fácia lužického súvrstvia egenburského veku sa z depocentier Viedenskej panvy postupne rozširovala smerom k jej okrajom a postupne prekryla sublitorálne sedimenty. Na území dnešnej llavskej kotliny v čele postupujúcej transgresie vznikali lagúny, v ktorých sa usadzovali sivé a tmavosivé vápnité íly s brakickou faunou (Seneš, 1963). Následne sa pri okraji panvy usadzovali klastické sedimenty (zlepence, pieskovce) klačnianskych zlepencov obsahujúce morskú faunu (Čtyroký, 1959). V panve v prostredí hlbšieho neritika sedimentovali vápnité íly čausianskeho súvrstvia s bohatou mikrofaunou (Salaj a Zlinská, 1991).

Na hranici egenburgu a otnangu nastal vo Viedenskej panve krátkotrvajúci ústup hladiny, ktorý spôsobil progradáciu deltového telesa hodonínskych pieskov smerom do panvy. Po prechodnom splytčení prostredia došlo neskôr k prehĺbeniu prostredia, a to v panvovej časti do stredného neritika a v ostatných oblastiach do vrchného neritika. Koncom otnangu došlo opäť k splytčeniu prostredia, a to v panvovej časti až do vrchného neritika, a v okrajových častiach vzniklo sublitorálne prostredie a miestami nastala až regresia. V tomto období dochádza lokálne k znižovaniu salinity a rozvoju spoločenstiev so silicoplacentinami (Jiříček, 1988).

V karpate začala výrazná tektogenéza a v oblasti Západných Karpát dochádzalo k výrazným paleo-geografickým zmenám. V západnej časti orogénu existoval súvislý sedimentačný priestor pokrývajúci severnú časť Viedenskej panvy a Považia až do oblasti dnešnej Bánovskej kotliny bez náznakov vynorenia neskôr vyzdvižených jadrových pohorí (Malé Karpaty, Považský Inovec). Časť jadrových pohorí (Tribeč, Žiar, Nízke Tatry) tvorili ostrovy rôzneho plošného rozsahu (Kováč et al., 2005) s nízkym paleoreliéfom (Kvaček et al., 2006). Karpatskú morskú transgresiu charakterizujú nové prvky morskej fauny a flóry z mediteránu. Fauna dierkavcov poukazuje v spodnom karpate Viedenskej panvy na morské hlbokovodné prostredie (Schlögl et al., 2011), ktoré sa vo vrchnom karpate mení na plytkovodné hypo- a hypersalinné prostredie.

Spodnobádenská morská transgresia zasiahla územie väčšiny západokarpatských panví o niečo neskôr ako južné oblasti centrálnej Paratetýdy. Tektonicky kontrovaná transgresia počas spodného bádenu bola rýchlo vystriedaná výrazným prehĺbením sedimentačného prostredia. Depozičný priestor sa zaplňal predovšetkým usadeninami riečnych delt smerujúcich z vyzdvihujúcich sa Álp a Karpát. Po poklese morskej hladiny koncom spodného bádenu strednobádenská záplava dosiahla skoro rozmery západokarpatských neogénnych panví, okrem už vyzdvižených oblastí. Od stredného bádenu pozorujeme postupné zaplňanie panvy predovšetkým rozsiahlymi deltami. Následkom toho sa vnútrozemské more centrálnej Paratetýdy splytčovalo (Kováč et al., 2005).

Na hranici stredný/vrchný bádenu bola v oblasti centrálnej Paratetýdy zaznamenaná zmena v zložení spoločenstiev planktonických dierkavcov. Teplomilné taxóny, charakteristické pre spodný a stredný bádenu, sa už vo vrchnom bádene neobjavili a nahradili ich typické chladnomilné a boreálne druhy (*Globigerina bulloides*, *G. diplostoma* a i.). Uvedená zmena sa pripisuje klimatickej zmene spojenjej s ochladením vo vrchnom bádene (Böhme, 2003; Hudáčková a Spezzaferri, 2002; Kováčová a Hudáčková, 2009). V oblasti Západných Karpát sa v tomto období vytvoril riečny systém, čo sa prejavilo tvorbou rozsiahlych deltových systémov (Kováč et al., 2005). Tie okrem transportu terestrického materiálu do sedimentačného prostredia zvýšili aj prítok sladkej vody, ktorý spôsobil vznik brakického prostredia v okrajových častiach sedimentačného priestoru, ako aj cyklický prienik osladienej povrchovej vody v čele deltových systémov hlboko

do panvového prostredia a následne tvorbu hyposalinnej vrstvy vrchnej časti vodného stĺpca (Čierna, 1974).

V sarmate sa vytvoril epikontinentálny polymorský bazén s relatívne uniformnými podmienkami (Rögl, 1998) a rôznymi typmi marginálnych prostredí (Harzhauser a Piller, 2004) rozprestierajúci sa od Álp na západe až po Aralské more na východe. Vyznačoval sa epizodickými spojeniami s mediteránom (Paramonova, 1994). Fauna sarmatu sa vyznačuje výskytom endemickej morskej fauny a neprítomnosťou stenohalinných skupín organizmov (koraly, rádiolárie, stenohalinné druhy mäkkýšov a dierkavcov; Piller a Harzhauser, 2005). Morská voda v sarmate mala vysokú alkalinitu a obsah karbonátov (Pisera, 1996).

Na hranici sarmat/panón došlo k výrazným paleogeografickým, klimatickým a paleoekologickým zmenám, ktoré boli podmienené výzdvihom horského reťazca Álp a Karpát. Spôsobil to izoláciu centrálnej Paratetydy od susedných morských bazénov a vznik rozsiahleho Panónskeho jazera, ktorého severné zálivy tvorili Viedenská, Dunajská a Východoslovenská panva. Znižovanie salinity akvatického prostredia zapríčinilo vymretie veľkého množstva skupín živočíchov. V panóne sa uvedenej zmene dokázala prispôsobiť len malá časť predtým tu žijúceho spoločenstva mäkkýšov.

Charakteristickou črtou pobrežia severného okraja Panónskeho jazera bola počas panónu jeho členitosť a vývoj deltových systémov smerujúcich na juh do centra jazera. Jednotlivé zálivy (Dunajská a Východoslovenská panva) alebo estuáriá (Viedenská panva) sa postupne zapíňali usadeninami deltových vejárov, až sa v priebehu vrchného panónu vytvorila rozsiahla nížinná oblasť s rozvojom aluviálnych a riečnych fácii a malých jazierok a močiarov zarastajúcich vegetáciou (Harzhauser a Tempfer,

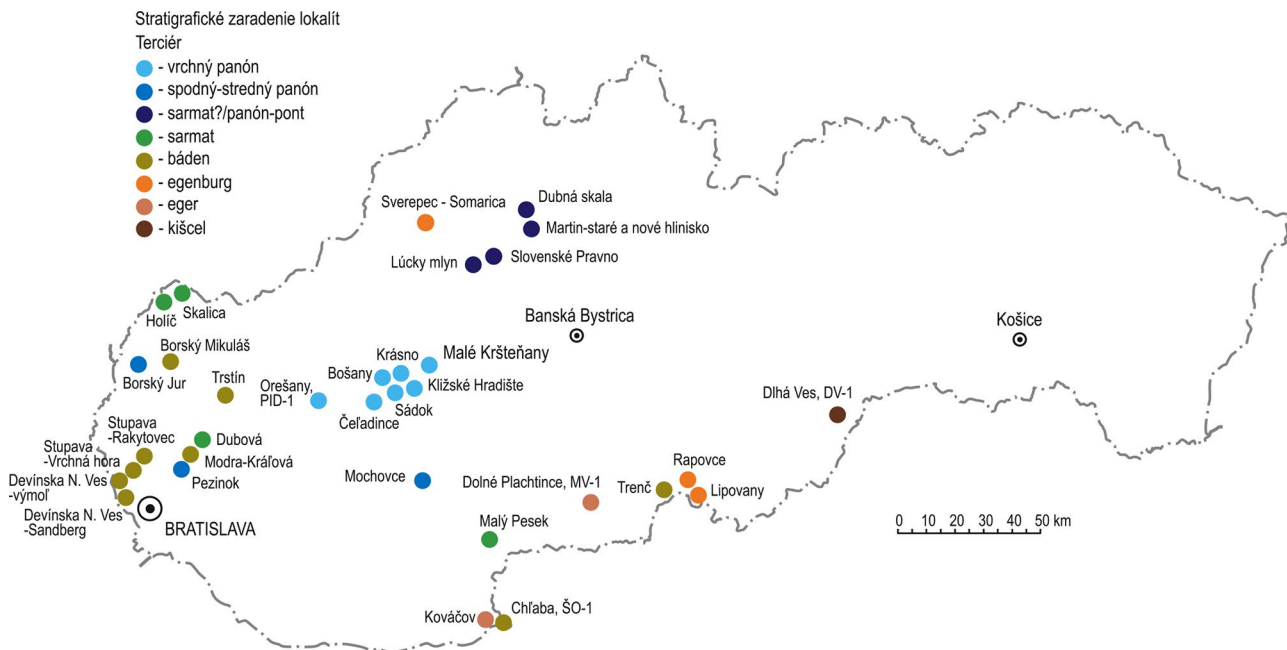
2004; Kováč, 2000). V týchto prostrediach dochádzalo k usadzovaniu zelenosivých silno hrdzavoškvrnitých a žltohnedoškvrnitých ílov s vrstvami pieskov a zriedkavo aj uhoľných ílov a lignitov volkovského súvrstvia (Kováč et al., 2011). Pri okrajoch pohorí, pri tektonických líniách, dochádzalo k výverom mineralizovaných vôd, tvorbe travertínov a usadzovaniu sladkovodných vápencov a jazernej kriedy hlavinských vrstiev obsahujúcich bohatú autochtónnu faunu sladkovodných ulitníkov a lastúrničiek a z pobrežia spláchnuté schránky suchozemských ulitníkov (Fordinál, 1994, 1996, 1998; Fordinál a Nagy, 1996, 1997; Fordinál et al., 1996) a zvyšky cicavcov (Joniak, 2013).

Stručná charakteristika študovaných lokalít

Študované lokality sa nachádzajú hlavne v oblasti Dunajskej a Viedenskej panvy, menej v oblasti Turčianskej kotliny a Juhoslovenskej panvy (obr. 1, príloha 1). Vzorky pochádzajú zo zberov autorov (K. F. a A. N.) a †RNDr. M. Rakúsa, CSc. Lokality sú usporiadané od najstarších po najmladšie bez ohľadu na ich lokalizáciu v jednotlivých panvách.

Dlhá Ves, DV-1 (vzorky č. 28, 29)

Vrt DV-1 sa nachádza JZ od obce Dlhá Ves. Študované fosílie z hĺbky 227 – 228 m (*Corbula* sp., *Mytilus* sp.) pochádzajú z tmavosivých ílov a siltov hostišovských vrstiev čízskeho súvrstvia kišcelského veku (Vass a Elečko et al., 1989). Uvedený interval vrtu DV-1 obsahoval bohaté spoločenstvo mäkkýšov (Ondrejčková, 1975). Sedimenty hostišovských vrstiev sa usadili v lagúne-marši, resp. na vnútornej strane bariérového ostrova v prostredí vnútornej platformy (Vass, 2002).



Obr. 1. Lokalizácia a stratigrafické zaradenie študovaných lokalít.

Fig. 1. Location and stratigraphic position of studied localities.

Kováčov (vzorka č. 30)

Lokalita, z ktorej pochádzajú študované fosílie (*Glycymeris* ex. gr. *obovatus*), sa nachádza v záreze železničnej trate, východne od zastávky Kováčov. V lokalite sú odkryté piesky a rozpadavé pieskovce s vrstvami vápnitých ílov a ojedinele aj štrkov, resp. rozpadavých zlepcov. Uvedené sedimenty, litostratigraficky začlenené do kováčovských pieskov lučenského súvrstvia (Vass, 2002), obsahujú bohaté spoločenstvá mäkkýšov (Seneš, 1958).

Dolné Plachtince, vrt MV-1 (vzorka č. 27)

Vrt MV-1 bol realizovaný za účelom objasnenia geologickej stavby spodnomiocénnej výplne Ipelskej kotliny a jej predterciérneho podložia. Lokalizovaný bol južne od Dolných Plachtiniec. Boli ním prevrtané sedimenty egerského veku v pestrom litologickom vývoji. Študovaná schránka lastúrnika pochádzala z piesčito-štrkovitého súvrstvia, ktoré bolo tvorené hrubými vrstvami pieskov (pieskovcov) a štrkov, medzi ktorými sa nachádzala hrubá vrstva slienitých aleuritov (Vass et al., 1976).

Sverepec-Somarica (vzorka č. 26)

Lokalita je reprezentovaná malým lomom nachádzajúcim sa 1,7 km SSZ od severného okraja obce Sverepec, na južnom okraji kóty Somarica. V lome vystupujú sivožlté drobné- až strednozrné karbonatické pieskovce so silne rekryštalizovaným tmelom. Fauna je zachovaná väčšinou vo forme skulptúrnych jadier a odtlačkov, len pri lastúrnikoch čelade Pectinidae sú zachované pôvodné schránky (Čtyroký, 1960).

Lipovany (vzorka č. 23)

V pieskovni 500 m severne od obce Lipovany sú odkryté egenburgské sedimenty. Na báze odkryvu sa nachádzajú jemnozrné pieskovce, v ktorých sa vyskytujú tenké vrstvičky ílovcov. V ich nadloží sa vyskytujú drobné- a strednozrné glaukonitické pieskovce s krížovým zvrstvením a bohatou faunou mäkkýšov (Brestenská et al., 1961).

Trenč (vzorka č. 20)

V okolí obce Trenč na východných svahoch Strážnej hory vystupujú na povrch tufiticko-ílovcové vrstvy vinickej formácie, reprezentované ílovcami svetlozelenej, olivovozelenej až okrovej farby. V uvedených sedimentoch sa ojedinele nachádzajú vrstvy riasových tufitických vápencov s hojnými schránkami morských organizmov (Vass a Elečko, 1992). Pochádza z nich aj študovaná schránka lastúrnika *Ostrea digitalina*. V tufitických ílovcach vinickej formácie boli vo vrte N-34 nájdené foraminifery *Globigerinoides sicanus*, *Globigerina obesa*, *G. praebulloides* a iné, ktoré poukazujú na spodnobádenský vek sedimentov (Kantorová, 1985).

Chlaba, ŠO-1 (vzorka č. 21)

Vrt ŠO-1 bol vyhlbený východne od obce Chlaba, v blízkosti rieky Ipeľ. Bol ním prevrtaný vrstevný sled tvorený piesčitými a tufitickými siltovcami s vrstvami tufitických a vápnitých pieskovcov, na báze vrtu aj organogénnych

vápencov. Tento vrt je faciostatotypom spodného bádenu. Sedimenty vrtu ŠO-1 obsahovali bohaté spoločenstvá mäkkýšov a dierkavcov (Ondrejčková, 1978).

Stupava-Vrchná hora (vzorky č. 2 – 5)

Lokalita Stupava-Vrchná hora sa nachádza vo svahu kóty Vrchná hora juhovýchodne od Stupavy, ktorá je budovaná vápnitými pieskami a pieskovcami. Vrchol kóty je tvorený piesčitými litotamniovými vápencami. Uvedené sedimenty reprezentujú plytkovodné usadeniny stupavských vrstiev jakubovského súvrstvia strednobádenského veku (Fordinál in Kohút et al., 2007). V pieskoch boli nájdené schránky mäkkýšov reprezentované druhmi *Flabellipecten besseri* (Andr.), *F. solarium* (Lam.), *Aequipecten elegans* (Andr.), *A. malvinae* (Dub.) atď. (Buday, 1939) a chudobné málo diverzifikované spoločenstvá dierkavcov, v ktorých mali najhojnejšie zastúpenie zástupcovia rodu *Elphidium* [*E. crispum* (L.), *E. macellum* (F.-M.), *E. fichtelianum* (Orb.)] a druh *Ammonia beccarii* (L.), Zlinská (2007).

Stupava-Rakytovec (vzorka č. 1)

Lokalita sa nachádza severne od Stupavy, v záreze lesnej cesty JV od kóty Rakytovec. Vystupujú v nej žltosfarbené kremenné piesky obsahujúce chudobnú faunu mäkkýšov, ako aj dierkavcov. Začlenené boli do stupavských vrstiev jakubovského súvrstvia (Fordinál et al., 2012).

Trstín (vzorka č. 19)

Fosília pochádza zo starej pieskovne (dnes už zaniknutej) v obci Trstín, v ktorej boli odkryté drobnnozrné vápnité piesky dolianskych vrstiev (Fordinál in Maglay et al., 2011). Obsahovali hojnú faunu mäkkýšov. Stratigraficky boli tieto sedimenty začlenené do stredného bádenu – zóny Spiroplectamina carinata (Brestenská et al., 1961).

Borský Mikuláš (vzorka č. 15)

Študovaná fosília (*Diloma* sp.) pochádza z lokality (dnes už zaniknutej) nachádzajúcej sa 2,5 km JJZ od obce Borský Mikuláš a cca 200 m SV od kóty 257 Vinohrádky. Boli v nej odkryté sivé a sivohnedé vápnité íly bádenského veku s tenkými vrstvičkami jemnozrných hnedých pieskov. Obsahovali bohatú faunu morských lastúrnikov (Švagrovský, 1981b) a ulitníkov (Švagrovský, 1982a, b, 1984).

Modra-Kráľová (vzorky č. 6 – 9)

Lokalitu tvorila kopaná ryha vo dvore rodinného domu v blízkosti kostola. Boli ňou odkryté sedimenty tvorené na báze pieskami s bohatým a diverzifikovaným spoločenstvom mäkkýšov, v ktorom boli najhojnejšie zastúpené gastropódy reprezentované taxónmi: *Bittium reticulatum* (Costa), *Turritella dertonensis* May, *Nassa dujardini* (Desh.), *Clithon pictus tuberculatus* (Schreter), *Euspira catena helicina* (Brocchi). Z bivalvií bol najhojnejšie zastúpený druh *Loripes dentatus* (Defr.). V ich nadloží sa nachádzali íly, v ktorých bolo zistené v porovnaní s predchádzajúcim spoločenstvom výrazne ochudobnené spoločenstvo. Kvantitatívne v najväčšom množstve bol

zastúpený druh *Ostrea lamellosa* (Brocchi). Okrem neho sa vyskytovali gastropódy *Clithon pictus tuberculatus* (Schreter) a bivalvie *Loripes dentatus* (Defr.) (Hladilová a Fordinál, 2013). Na základe fauny foraminifer boli fosilonosné sedimenty začlenené do vrchného bádenu (Zlinská et al., 2007).

Devínska Nová Ves-Sandberg (vzorky č. 10 – 13)

Lokalita Sandberg, bývalá pieskovňa, sa nachádza na južnom okraji obce Devínska Nová Ves. V súčasnosti je chránenou paleontologickou lokalitou. Reprezentuje stratotyp sandberských vrstiev – okrajových sedimentov studienčanského súvrstvia vrchnobádenského veku. Tieto vrstvy transgredujú v lokalite Sandberg na mezozoické podložie (Baráth et al., 1994). Zo sandberských vrstiev bolo opísané bohaté spoločenstvo mäkkýšov. Z biostratigraficky významných druhov bol zistený výskyt lastúrníkov *Striarca papillifera* (M. Hoern.), *Pecten aduncus* Eichw., *Chlamys elegans* (Andrz.) a z ulitníkov *Gibbula affinis pseudoangulata* Boettg., *Rissoina decussata* (Mont.), *Astraea meynardi* (Michel.), *Turritella tricincta* Bors. atď. (Švagrovský, 1981a).

Devínska Nová Ves-výmoľ (vzorka č. 14)

Študovaná lokalita sa nachádza severne od Devínskej Novej Vsi, mestskej časti Bratislavy. Reprezentuje ju výmoľ, v stenách, ktorého vystupujú sivonazelenalé vápnité íly a silty s bohatou foraminiferovou mikrofaunou vrchnobádenského veku (Zlinská et al., 2013).

Malý Pesek (vzorka č. 37)

Lokalita sa nachádza SV od obce Veľký Pesek, vo svahu kóty 205,1. V ojedinelých výchozoch sú odkryté tufitické pieskovce, na niektorých miestach aj zlepenca. V nich sa nachádzajú malé patch rify machovkovo-serpuloých vápencov spodnosarmatského veku (Nagy et al., 1998).

Dubová (vzorka č. 31)

Lokalita Dubová, reprezentovaná umelým odkryvom (úložisko komunálneho odpadu), sa nachádza pri obci Dubová. Boli ňou odkryté sivozelené íly vrábelského súvrstvia spodnosarmatského veku, v ktorých boli zistené bohaté spoločenstvá mäkkýšov (ulitníkov, lastúrníkov), dierkavcov, lastúrníciok, machoviek a zelených rias (Fordinál et al., 2006).

Skalica (vzorky č. 33, 34)

Študovaná lokalita v Skalici sa nachádza v blízkosti železničnej stanice a reprezentuje ju umelý odkryv (zárez vo svahu), v ktorom vystupujú drobné- a strednozrnité piesky a pieskovce skalického súvrstvia vrchnosarmatského veku. Uvedené sedimenty obsahujú bohaté spoločenstvá gastropódov, bivalvií, foraminifer a ostrakódov (Fordinál a Zlinská, 1998).

Nexing (vzorky č. 35, 36)

Lokalita Nexing sa nachádza v rakúskej časti Viedenskej panvy. Je holostatotyp stratigrafického stupňa sarmat (Papp a Steininger, 1974). Na jej báze sa vyskytujú zelené

aleuropelity s rozptýlenými zvyškami rastlín. V ich nadloží sa nachádzajú piesky preplnené schránkami mäkkýšov a jemnozrnité piesky s valúnami flyšových hornín, oolitov a útržkov ílov, v ktorých sa vyskytujú drobné čeriny (Harzhauser a Piller, 2009). Uvedené sedimenty patria do skalického súvrstvia.

Mochovce, vrt JVM-5 (vzorka č. 72)

Vrt JVM-5 bol vyhlbený SSV od obce Mochovce, cca 120 m SZ od kóty 260. Boli ním prevrtané zelenosivé íly ivanského súvrstvia (panón – zóna B), ktoré prechádzali až do vápnných ílov až ílovitých vápencov. Nachádzajú sa v nadloží andezitov sarmatského veku (Hók et al., 2003).

Pezinok (vzorky č. 75 – 77)

Študovaná lokalita v Pezinku, nachádzajúca sa 1 km JV od železničnej stanice, je reprezentovaná umelým odkryvom – ťažobnou jamou na íly pre miestnu tehelnú. V ílovisku sú odkryté sedimenty ivanského (zóna E) a beladického súvrstvia (zóna F) panónskeho veku s bohatou faunou mäkkýšov (Fordinál, 1997), lastúrníciok (Pipík, 1998) a cicavcov (Sabol et al., 2004). Odkryté sedimenty tvorené sivozelenými, sivomodrými, čiernymi ílmi, žltými a sivými pieskami, ojedinele aj lignitmi reprezentujú usadeniny plytkého jazera, lagúny, maršov, plážových valov a aluviálnej planiny (Baráth et al., 1999).

Borský Jur (vzorka č. 78)

Lokalitu tvorí staré opustené hlinisko tehelne, nachádzajúce sa na juhovýchodnom okraji obce Borský Jur. Sú v ňom odkryté íly, silty a drobnozrnité piesky záhorských vrstiev bzeneckého súvrstvia. Boli v nich nájdené bohaté spoločenstvá ostrakódov, mäkkýšov a stavovcov. Z lastúrníciok boli zistené druhy *Candona* (*Candona*) *mutans* Pokorný, *C. (Caspioella) unguicula* (Reuss), *Cyprideis heterostigma* (Reuss) etc. (Pipík a Holec, 1998). Z mäkkýšov bol zistený výskyt ulitníkov *Melanopsis affinis* Handmann, *M. vindobonensis* Fuchs a lastúrníkov *Congerina subglobosa* Partsch. Zo stavovcov boli identifikované taxóny *Monosaulax minutus* (H. v. Meyer), *Perunium ursogulo* Orlov, *Megacricetodon minor* (Lartet), *Democricetodon brevis* (Schaub), *Microtocricetus molassicus* Fahlbusch a Mayr. etc. Ich výskyt umožňuje uvedené sedimenty zaradiť do ranného vallesianu – zóny MN9 (Joniak, 2002).

Orešany, vrt PID-1 (vzorky č. 73, 74)

Vrt PID-1 bol vyhlbený JZ od obce Orešany, pri východnom okraji Považského Inovca. Boli ním prevrtané hrdzavoškvrnité a zelené íly volkovského súvrstvia a vápnné sedimenty (jazerná krieda, sladkovodné vápence, travertíny) hlavinských vrstiev obsahujúce bohatú faunu sladkovodných a suchozemských ulitníkov (Fordinál, 1994).

Sádok (vzorky č. 70 – 71)

Študovaný sladkovodný vápenec pochádza z travertínovej kopy nachádzajúcej sa juhovýchodne od obce Sádok pri západnom okraji pohoria Tribeč. Jej spodnú časť tvoria žltohnedofarbené pevné kompaktné vrstvy

Tab. 1

Výsledky izotopových analýz $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$ a $\delta^{18}\text{O}$ z fosilných morských (1a), brakických až morských (1b) a sladkovodných (1c) schránok mäkkýšov
Results of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ isotopic analyses from marine (1a), marine-brackish (1b) and freshwater (1c) samples

1a: Morské prostredie						
Č.	Lokalita	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	SIS age (Ma)	Interval(Ma)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{[PDB]}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{[PDB]}}$
1	<i>Pecten</i> sp., bádén, Stupava-Rakytovec	0,708812 ± 10	13,44	13,29 – 13,60	0,36	-2,69
2	<i>Ostrea</i> sp., bádén, Stupava-Vrchná hora	0,708814 ± 10	13,35	13,20 – 13,50	1,42	-0,53
3	<i>Pecten</i> sp., bádén, Stupava-Vrchná hora	0,708833 ± 10	12,51*	12,37 – 12,64	-0,43	-0,17
4	litotamnie, Stupava-Vrchná hora, bádén	0,708820 ± 10	13,08	12,93 – 13,22	-3,34	-2,98
5	schránka lastúrnika, bádén, Stupava-Vrchná hora	0,708826 ± 7	12,80	12,67 – 12,94	0,50	0,31
6	<i>Ostrea</i> sp. (1), bádén, Modra-Kráľová	0,708792 ± 9	14,46*	14,30 – 14,61	1,10	-3,36
7	<i>Ostrea</i> sp. (2), bádén, Modra-Kráľová	0,708790 ± 9	14,55*	14,39 – 14,69	0,04	-1,22
8	<i>Turritella</i> sp., bádén, Modra-Kráľová	0,708819 ± 10	13,12	12,98 – 13,26	0,60	-1,23
9	<i>Parvilucina</i> sp. (2), bádén, Modra-Kráľová	0,708808 ± 10	13,63	13,48 – 13,80	1,36	-0,51
10	<i>Ostrea</i> sp., vrchný bádén, Devínska Nová Ves-Sandberg, stredná časť profilu	0,708805 ± 10	13,79	13,63 – 13,96	1,07	-0,16
11	<i>Pecten adunctus</i> , vrchný bádén, Devínska Nová Ves-Sandberg, stredná časť profilu	0,708819 ± 9	13,12	12,98 – 13,26	-0,26	-1,61
12	<i>Flabellipecten bessi</i> , vrchný bádén, Devínska Nová Ves-Sandberg, stredná časť profilu	0,708821 ± 8	13,02	12,88 – 13,17	0,37	-0,40
13	Dierkavce, vrchný bádén, Devínska Nová Ves-Sandberg-vrchná časť profilu	0,708827 ± 8	12,76	12,63 – 12,90	-0,52	-1,31
14	<i>Amphistegina</i> sp., vrchný bádén, Devínska Nová Ves-výmól	0,708826 ± 9	12,80	12,67 – 12,94	-0,43	-1,24
15	<i>Diloma</i> sp., bádén, Borský Mikuláš	0,708827 ± 10	12,76	12,63 – 12,90	-0,34	2,42
16	<i>Turritella</i> sp., vrchný bádén, Mikulov	0,708875 ± 6	10,83*	10,69 – 10,95	2,75	0,33
17	<i>Arca</i> sp. (1), vrchný bádén, Mikulov	0,708934 ± 8	8,46*	8,04 – 8,76	0,73	0,60
18	<i>Arca</i> sp. (2), vrchný bádén, Mikulov	0,708948 ± 6	7,27*	7,08 – 7,54	1,19	0,49
19	<i>Conus</i> sp., bádén, Trstín	0,708815 ± 9	13,31	13,16 – 13,44	0,54	0,43
20	<i>Ostrea digitalina</i> , spodný bádén, Trenč	0,708747 ± 11	15,94	15,86 – 16,02	n. d.	n. d.
21	<i>Aporrhais</i> sp., spodný bádén, Chlaba, ŠO-1 (108-111 m)	0,708806 ± 5	13,73*	13,58 – 13,91	0,48	1,07
22	<i>Chlamys</i> sp., egenburg, Lipovany	0,708611 ± 14	18,02*	17,97 – 18,07	n. d.	n. d.
23	Schránka lastúrnika, egenburg, Lipovany	0,708566 ± 8	18,56	18,51 – 18,61	2,18	-1,12
24	<i>Ostrea cf. edulis</i> , egenburg, Rapovce	0,708574 ± 5	18,46	18,42 – 18,51	-0,75	-2,03
25	<i>Ostrea cf. edulis</i> , egenburg, Rapovce	0,708569 ± 8	18,52	18,48 – 18,57	-0,45	-1,27
26	<i>Pecten</i> sp., egenburg, Sverepec-Somarica	0,708434 ± 6	20,35	20,29 – 20,41	0,53	-1,23
27	Schránka lastúrnika, eger, Dolné Plachtince, MV-1 (11 m)	0,708336 ± 12	22,15	22,07 – 22,23	n. d.	n. d.
28	<i>Corbula</i> sp., kišcel, DV-1, 227 – 228 m	0,708325 ± 8	22,38*	22,31 – 22,46	n. d.	n. d.
29	<i>Mytilus</i> sp., kišcel, DV-1, 227 – 228 m	0,708317 ± 19	22,56*	22,48 – 22,64	n. d.	n. d.
30	<i>Glycymeris</i> ex. gr. <i>obovatus</i> , eger, Kováčov	0,708292 ± 10	23,11	23,03 – 23,11	1,63	-1,78

1b: Brakické až morské prostredie				
Č.	Druh, strat. pozícia, lokalita	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{[PDB]}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{[PDB]}}$
31	<i>Ervillia dissita</i> , spodný sarmat, Dubová	0,708805 ± 10	-0,79	-1,39
32	<i>Irus</i> sp., vrchný sarmat, Holíč	0,708610 ± 9	-1,17	-2,14
33	<i>Pirenella picta mitralis</i> , vrchný sarmat, Skalica	0,708657 ± 6	1,33	-1,45
34	<i>Ervillia dissita</i> , vrchný sarmat, Skalica	0,708590 ± 8	0,7	-1,59
35	<i>Pirenella</i> sp., vrchný sarmat, Nexing	0,708828 ± 15	5,10	-6,07
36	<i>Cerastoderma latisulcum</i> , vrchný sarmat, Nexing	0,708878 ± 9	4,72	-6,41
37	vápenec s machovkami, spodný sarmat, Malý Pesek	0,708835 ± 21	-5,94	-6,38

Pokračovanie tab. 1

1c: Sladkovodné prostredie				
Č.	Druh, strat. pozícia, lokalita	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{[PDB]}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{[PDB]}}$
38	<i>Pomatias conica</i> , viečko, pont, Dubná Skala R	0,708329 ± 9	n. d.	n. d.
39	<i>Pomatias conica</i> , ok. vápenec, pont, Dubná Skala R	0,708300 ± 17	5,27	-7,34
40	sladkovodný vápenec, pont, Dubná Skala R	0,708287 ± 16	5,30	-8,94
41	<i>Unio</i> sp., sarmat?/panón, Martin, nové hlinisko R	0,708226 ± 9	1,96	-3,17
42	<i>Viviparus neumayri</i> , sarmat?/panón, Martin, nové hlinisko R	0,708286 ± 11	2,88	-4,97
43	<i>Melanoptychia</i> sp., sarmat?/panón, Martin, nové hlinisko R	0,708218 ± 10	3,81	-4,78
44	<i>Theodoxus</i> sp., sarmat?/panón, Martin, nové hlinisko R	0,708283 ± 8	3,46	-3,83
45	<i>Theodoxus</i> sp., pont, Martin, nové hlinisko	0,708299 ± 8	3,95	-4,18
46	<i>Unio</i> sp., pont, Martin, nové hlinisko	0,708294 ± 13	0,59	-5,71
47	<i>Viviparus</i> sp., sarmat?/panón, Martin, nové hlinisko	0,708428 ± 9	0,16	-4,43
48	<i>Unio</i> sp., sarmat?/panón, Martin, nové hlinisko	0,708497 ± 5	n. d.	n. d.
49	<i>Melanopsis</i> sp., sarmat?/panón, Martin, nové hlinisko	0,708254 ± 18	2,94	-5,11
50	<i>Melanoptychia</i> sp., sarmat?/panón, Martin, nové hlinisko	0,708295 ± 8	0,97	-5,51
51	<i>Melanoptychia variocosta</i> , sarmat?/panón, Martin, staré hlinisko	0,708285 ± 6	2,46	-4,19
52	<i>Theodoxus</i> sp., sarmat?/panón, Martin, staré hlinisko	0,708280 ± 9	3,56	-4,44
53	<i>Hydrobia</i> sp., sarmat?/panón, Martin, staré hlinisko	0,708295 ± 8	4,55	-3,87
54	<i>Congerina sarmatica</i> , sarmat?/panón, Martin, staré hlinisko	0,708274 ± 8	3,22	-4,88
55	<i>Planorbis</i> sp., panón, Lúcky mlyn R	0,708196 ± 16	n. d.	n. d.
56	<i>Planorbis</i> sp., kalcitová výplň, panón, Lúcky mlyn R	0,708117 ± 11	n. d.	n. d.
57	<i>Lymnea</i> sp., panón, Lúcky mlyn R	0,708139 ± 21	n. d.	n. d.
58	<i>Lymnea</i> sp., kalcitová výplň, panón, Lúcky mlyn R	0,708112 ± 8	n. d.	n. d.
59	<i>Kosovia bouei</i> , pont, Slovenské Pravno R	0,708163 ± 22	2,66	-5,23
60	<i>Congerina</i> ex. gr. <i>ornitopsis</i> , panón, Slovenské Pravno	0,708093 ± 10	n. d.	n. d.
61	<i>Congerina</i> ex. gr. <i>ornitopsis</i> , panón, Slovenské Pravno	0,708079 ± 8	n. d.	n. d.
62	<i>Congerina</i> ex. gr. <i>ornitopsis</i> , panón, Slovenské Pravno R	0,708047 ± 9	0,55	-5,77
63	sladkovodný vápenec, panón H, Krásno	0,708305 ± 12	-8,05	-7,08
64	sladkovodný vápenec, panón H, Čeladince	0,707951 ± 7	-5,06	-6,91
65	sladkovodný vápenec, panón H, M. Kršteňany Pa-2	0,708172 ± 14	-4,82	-6,94
66	sladkovodný vápenec, panón H, M. Kršteňany lom	0,708225 ± 20	-0,26	-7,69
67	travertín, panón H, Kl. Hradište, KH-2	0,708105 ± 18	-9,15	-7,14
68	travertín, panón H, Kl. Hradište, KH-3	0,708166 ± 27	-9,19	-6,98
69	sladkovodný vápenec, panón H, Bošany, B-1	0,708671 ± 14	-4,37	-7,57
70	sladkovodný vápenec, panón H, Sádok, S-4, báza	0,708234 ± 15	-4,42	-7,14
71	sladkovodný vápenec, panón H, Sádok, S-2	0,708235 ± 16	-2,28	-7,52
72	sladkovodný vápenec, panón B, Mochovce, vrt JVM-5 (5,8 m)	0,708345 ± 28	-0,21	-9,93
73	sladkovodný vápenec, panón H, PID-1 (35 m), Orešany	0,708918 ± 11	-7,30	-7,33
74	<i>Planorbis</i> sp., panón H, PID-1 (35 m), Orešany	0,708416 ± 8	-7,04	-6,71
75	<i>Congerina subglubosa</i> , panón E, Pezinok (vrstva 36)	0,708916 ± 4	-0,78	-2,78
76	<i>Psilunio</i> sp., panón E, Pezinok (vrstva 36)	0,708889 ± 6	-2,62	-3,40
77	<i>Psilunio</i> sp., panón E, Pezinok (vrstva 42)	0,708901 ± 5	-7,34	-9,62
78	<i>Congerina subglubosa</i> , panón E, Borský Jur	0,708895 ± 5	-0,02	-1,87

1a (č. 1 – 30) – stratigrafické rozpätie kišcel – baden; **1b** (č. 31 – 37) – stratigrafické rozpätie spodný sarmat – vrchný sarmat; **1c** (č. 38 – 78) – stratigrafické rozpätie sarmat?/panón – pont; n. d. – neurčené hodnoty; 12,51* – veku nekompatibilné s určenou stratigrafickou pozíciou.

1a (No. 1–30) – stratigraphic range Kiscelian – Badenian; **1b** (No. 31–37) – stratigraphic margin Lower Sarmatian – Upper Sarmatian; **1c** (No. 38–78) – stratigraphic range Sarmatian?/Pannonian – Pontian; n. d. – undetermined values; 12.51* – ages incompatible with the specified stratigraphic position.

travertínov a sladkovodných vápencov, vrchnú časť tvorí pórovitý travertín s viditeľnými prírastkovými vrstvičkami. Vo vápencoch boli zistené úlomky schránok ulitníkov, riasy *Rivularia* cf. *haemitites* Schaffer et Stapf a onkoidy (Töröková a Fordinál, 1999).

Bošany, Krásno (vzorky č. 63, 69)

Uvedené lokality reprezentujú povrchové odkryvy sladkovodných vápencov hlavinských vrstiev.

Čefadince (vzorka č. 64)

Lokalita je reprezentovaná denudačným zvyškom sladkovodných sedimentov nachádzajúcich sa na západnom úpätí pohoria Tribeč. Reprezentuje parastratotyp hlavinských vrstiev (Fordinál a Nagy, 1997). Prevažná časť uvedených sedimentov je tvorená bielym a krémovo sfarbeným vápencom, ktorý tvorí 2 až 6 m hrubé subhorizontálne uložené vrstvy s faunou sladkovodných aj terestrických gastropódov. Medzi nimi sa v menšej miere nachádzajú vrstvy zelenosivých ílov a v spodnej časti odkrytého profilu aj vrstva drobnozrnných kremenných štrkov (Fordinál et al., 1996).

Klišské Hradište (vzorky č. 67 – 68)

Lokalitu tvorí umelý odkryv – lom nachádzajúci sa cca 2 km SZ od obce Klišské Hradište. Sú v ňom odkryté sladkovodné vápence a travertíny hlavinských vrstiev. V spodnej časti odkryvu sú vápence svetlohnedej a krémovej farby a v kompaktných vápencoch sa nachádzajú ojedinele aj vrstvy pórovitých vápencov. Smerom do nadložia tieto pórovité vápence pribúdajú a vrchnú časť odkryvu tvoria zvetrané travertíny s červeno sfarbenými krasovými hlinami, ktoré vypĺňajú krasové dutiny (Ivanička et al., 1998).

Malé Kršteňany (vzorka č. 65)

Lokalitu reprezentuje zárez vo svahu v obci Malé Kršteňany, v ktorom sa nachádzali bloky sladkovodných vápencov v slabo spevnenej vápnitej medzernej hmote. Blokovitost bola zapríčinená rozlamovaním pri sklzávaní (Mišík a Reháková, 2009). Uvedené sedimenty boli začlenené do hlavinských vrstiev vrchnopanónskeho veku. Boli v nich nájdené jadrá schránok suchozemských (*Aegopinella orbicularis* (Klein), *Leucochroopsis kleini* (Klein), *Fortuna clairi* Schlickum-Strauch atď.) a sladkovodných (*Planorbis* sp.) ulitníkov (Töröková a Fordinál, 1999).

Malé Kršteňany – lom (vzorka č. 66)

Študované sedimenty pochádzajú z lomu východne od obce Malé Kršteňany. Sú v ňom odkryté vrchnopanónske sedimenty (sladkovodné vápence) hlavinských vrstiev, ktoré ležia transgresívne v nadloží ramsauských dolomitov chočského príkrovu. V sladkovodných vápencoch boli nájdené jadrá schránok suchozemských (*Leucochroopsis kleini* (Klein), *Tropidomphalus* (*Mesodontopsis*) cf. *doderleini* (Brusina)) a sladkovodných (*Aplexa* cf. *subhypnorum* Gottsch, *Anisus* sp. a *Viviparus* sp.) ulitníkov (Töröková a Fordinál, 1999).

Turčianska kotlina (vzorky č. 38 – 62)

Vápňité schránky ulitníkov a lastúrníkov, ktoré boli spracované z oblasti Turčianskej kotliny, pochádzajú z troch litostratigrafických jednotiek. Keďže od obdobia sarmatu sa Turčianska kotlina stala uzavretým bazénom, dochádzalo k vysladzovaniu vodného prostredia a všetky schránky reprezentujú sladkovodnú faunu.

Vzorky č. 41 – 54 (tab. 1c) pochádzajú z martinského súvrstvia, ktoré Buday (1962) definoval ako martinské vrstvy. Gašparik et al. (1995) ich redefinoval na martinské súvrstvie. Súvrstvie tvorí hlavnú časť neogénnej výplne severnej časti kotliny. Litofaciálne je premenlivé, pričom hlavnou zložkou sú íly s rôznym podielom piesčitej prímеси. Vyskytujú sa aj uhoľné íly, slojky lignitu, ílovité piesky až piesky, vzácne pieskovce, drobné- až strednozrnné karbonatické zlepenice, sladkovodné vápence a ojedinele tufity. Vek je podľa Rakúsa a Hóka (2002) stredný sarmat až pont a v citovanej práci je aj popis profilov zo starej a novej tehelne, z ktorých vzorky pochádzajú.

Vzorky č. 55 – 62 (tab. 1c) z pravnianských vrstiev (Gašparik et al., 1995) sú tvorené svetlosivými, niekedy namodralými a zelenkavými, jemne piesčitými vápnitými ílmi s akumuláciami rastlinnej drte, ale hlavne schránok sladkovodných ulitníkov. V oblasti Lúckeho mlyna (J od Slovenského Pravna) sa vyskytujú sladkovodné vápence s faunou suchozemských a sladkovodných gastropódov tvoriace teleso s hrúbkou cca 15 m viazané na okrajovú zlomovú líniu, ale aj lavice (20 – 30 cm) vložené v piesčitých íloch. Svojou pozíciou, litologickou charakteristikou sú súveké s hlavinskými vrstvami (vrchný panón – pont), kopírujúcimi svojim výskytom najmladšie tektonické pohyby v Západných Karpatoch S – J smeru pri okrajoch jadrových pohorí – Tribeča, Považského Inovca a Malých Karpát (Fordinál a Nagy, 1996, 1997; Fordinál et al., 1996; Fordinál et al., 2001; Ivanička et al., 1998; Pristaš et al., 2000; Vass, 2002; Maglay et al., 2011; Polák et al., 2012). Stratigrafické rozpätie na základe fauny a porovnania paleontologického materiálu s hlavinskými vrstvami nám umožňuje zaradiť tieto vrstvy do vrchného panónu – pontu.

Dubná skala (vzorky č. 38 – 40)

Lokalita Dubná skala je reprezentovaná starým lomom nachádzajúcim sa SZ od Vrútok. Sú v ňom odkryté sladkovodné vápence svetlohnedých farieb dubnoskalských vrstiev pontského veku (Kováč et al., 2011). Vápence sú masívne, lavicovité, často travertínového vzhľadu. Sú rôzne litifikované. Vyskytujú sa variety veľmi pevné a, naopak, aj drobné. V spodnej časti profilu sa nachádzajú piesčité íly s polohami karbonatických zlepenecov. Vo vápencoch bola nájdená fauna suchozemských a sladkovodných ulitníkov čelade Helicidae, Pomatidae, Strobilopsidae a Lymnaeidae, zvyšky vodných rastlín rodu *Typha*, stielky charophyt a drevín rodu *Glybostrobos*. Nájdené boli aj fosílné zvyšky hmyzožravca rodu *Paenelimnoecus* (Pipík et al., 2011).

Lúcky mlyn (vzorky č. 55 – 58)

V uvedenej lokalite vystupujú svetlosivé, niekedy namodralé a zelenkavé vápnité íly s lavicami (20 – 30 cm) béžových väčšinou pevných, niekedy „travertínových“

sladkovodných vápencov s faunou suchozemských (*Strobilops*, *Carychium*, *Succinea*) a sladkovodných (*Planorbis*, *Lymnaea*) ulitníkov. Tieto sedimenty patria k pravnianskym vrstvám vrchnopanónsko-pontského veku (Rakús a Hók, 2002).

Martin – staré hlinisko (Schulzova tehelňa) (vzorky č. 51 – 54)

Staré hlinisko sa nachádzalo pri západnom okraji mesta Martin. Dnes je uvedená lokalita zaniknutá. Pôvodne to bolo viacetážové hlinisko nachádzajúce sa v nárazovom brehu rieky Turiec. V hlinisku bolo odkrytých približne 30 m sedimentov tvorených sivými a tmavosivými ílmi s polohami lignitov a béžových až svetlohnedastých vápencov s bohatou faunou. Z mäkkýšov boli z tejto lokality opísaní zástupcovia lastúrníkov rodov *Congerina*, *Anodonta*, *Unio*, *Pisidium* a z gastropódov taxóny rodu *Melanopsis*, *Melanoptychia*, *Bithynia*, *Pseudamnicola Viviparus* a *Planorbis* (Rakús, 1958). Sedimenty odkryté v hlinisku patria do martinského súvrstvia a najpravdepodobnejšie sú panónskeho veku (Rakús a Hók, 2002).

Martin – nové hlinisko (vzorky č. 41 – 50)

Nové hlinisko sa nachádza západne od zaniknutého starého hliniska. Zachovalo sa v ňom niekoľko etáží zarastených vegetáciou. Neogénne sedimenty martinského súvrstvia sú viditeľné v mnohých ronových ryhách. Predstavujú ich najmä sivé a zelenosivé íly, piesčité íly, piesky, tmavosivé až čierne uhoľné íly, časté sú zuhoľnatené zvyšky rastlín, vzácné sa vyskytujú sladkovodné vápence (do 5 cm hrúbky). V súčasnosti sa zaväzva z JV strany smerom na SZ komunálnym odpadom a čoskoro úplne zanikne.

Slovenské Pravno (vzorky č. 59 – 62)

Zárez poľnej cesty v lokalite Hliny, 200 m JZ od školy pri Slovenskom Pravne, už neexistuje. Andrusov (1954) z neho popísal piesčité svetlomodré až zelenkavé piesčité íly a jemnozrnné piesky s faunou sladkovodných a suchozemských ulitníkov.

Metodika

Vzorky na izotopové analýzy Sr, C a O boli chemicky pripravené na oddelení izotopovej geológie ŠGÚDŠ podľa štandardných metodík používaných na pracovisku. Pozornosť bola venovaná mechanickej úprave vzoriek pred ich chemickou preparáciou – analyzované schránky boli dôsledne mechanicky očistené pod binokulárnou lupou a bola odstránená najvrchnejšia časť schránok.

a) Meranie izotopového zloženia kyslíka a uhlíka

10 – 20 mg čistého karbonátu alebo 50 mg horniny sa podrvilo v achátovej miske na veľkosť zrna 0,02 až 0,04 mm a žihalo sa 30 minút pri 470 °C vo vzduchu, aby sa odstránili prípadné organické kontaminanty. Rozklad vzorky prebiehal pomocou metódy uzavretej reakčnej

nádoby (McCrea, 1950), pri ktorej sa karbonát rozpúšťa vo vákuu a pri konštantnej teplote v kyseline fosforečnej s vysokou hustotou (1,88 g/cm³), ktorá bola pripravená viacnásobnou destiláciou.

Čistý kalcit a aragonit sa rozkladal pri teplote 25 °C. Uvoľnený CO₂ bol po ukončení reakcie odseparovaný od ostatných plynov pomocou série kryogénnych pascí a zatažený v sklenenej kapiláre.

Izotopové zloženie uhlíka ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) a kyslíka ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) vo forme CO₂ sa meralo na modernizovanom hmotnostnom spektrometri Finnigan MAT 250 (ŠGÚDŠ, Bratislava). Získané izotopové pomery sú vyjadrené pomocou konvenčnej δ -notácie a prepočítané vzhľadom na hodnoty medzinárodného štandardu V-PDB. Hodnoty $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_2}$ sú korigované na frakcionáciu kyslíka medzi CaCO₃ a H₃PO₄ pomocou frakcionačného faktora $a = 1,01025$ (Friedman a O'Neil, 1977).

b) Meranie izotopového zloženia stroncia

Približne 5 mg schránky sa rozpustilo v 3 M kyseline octovej, aby sme zabránili rozkladu prípadných inklúzií silikátových minerálov, ktoré by sa mohli eventuálne vo vzorkách vyskytovať, a ktoré by mohli obsahovať Rb (McArthur, 1994). Prípadný nerozpustný zvyšok zo vzorky bol z roztoku odstránený odstredením. Čistý roztok bol vysušený, zaliaty 6 M kyselinou chlór vodíkovou (HCl), znovu vysušený a suchý zvyšok bol rozpustený v 1 ml 2,5 M HCl. Stroncium sme z roztoku oddelili od iných chemických zložiek elučnou chromatografiou pomocou kolón z kremenného skla (10 cm³) vyplnených iónomeničom Dowex Biorad 50W-X8 s veľkosťou zrna 200 – 400 mesh. Na prípravu vzoriek boli použité čisté chemikálie (Merck, trieda SUPRAPUR®) a deionizovaná voda (18,3 M Ω). Analytické pozadie v priebehu analýz (blank) bolo nižšie ako 0,2 ng. Merania boli uskutočnené na hmotnostnom spektrometri VG-54E v Ústave geologických vied Poľskej akadémie vied vo Varšave (Instytut Nauk Geologicznych PAN, Warszawa, Polska). Čisté Sr (cca 1 μg) bolo dávkané do mikrolitrovej kvapky H₃PO₄ na tantalový filament. Teplota ionizácie Sr (1 350 – 1 450 °C) bola kontrolovaná automaticky optickým pyrometrom. Pomer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ bol meraný v dynamickom multikolektorovom moduse a uvádzané hodnoty predstavujú vážený priemer zo 100 – 120 meraní. Na korekciu meraného izotopového pomeru $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ bola použitá hodnota $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0,1194$. Iónový prúd na pilotnom signáli ^{88}Sr bol udržiavaný medzi hodnotami 7 – 8 x 10⁻¹¹ A. Prípadná prítomnosť ^{85}Rb bola na začiatku meraní kontrolovaná pomerom 85/86, ktorý bol bezvýznamný vo všetkých meraných vzorkách. Výsledky sú uvedené v tab. 1 aj s analytickou neistotou meraní (\pm dvojnásobok štandardnej chyby priemeru 2 x S.E., na šiestom, resp. piatom desiatinnom mieste pomeru).

Spolu so vzorkami bol meraný štandard stroncia NIST 987. 12 meraní malo priemernú hodnotu 0,710267 \pm 22 (2 SD). Všetky namerané hodnoty vo vzorkách boli adjustované na akceptovanú hodnotu tohto štandardu $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,710248$. Dlhodobú stabilitu analytického systému (chemická príprava vzoriek + vlastné meranie izotopového pomeru) sme kontrolovali opakovanou

chemickou prípravou a meraním interného štandardu (vzorka č. 34, tab. 1b) spolu s NIST 987 v každej meranej sade. Oproti NIST 987 mal interný štandard výhodu v tom, že pomer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ má bližšie k meraným vzorkám. Adjustované údaje (12 meraní) na NIST 987 mali priemernú hodnotu $0,708590 \pm 8$ (2 SD z opakovaných meraní).

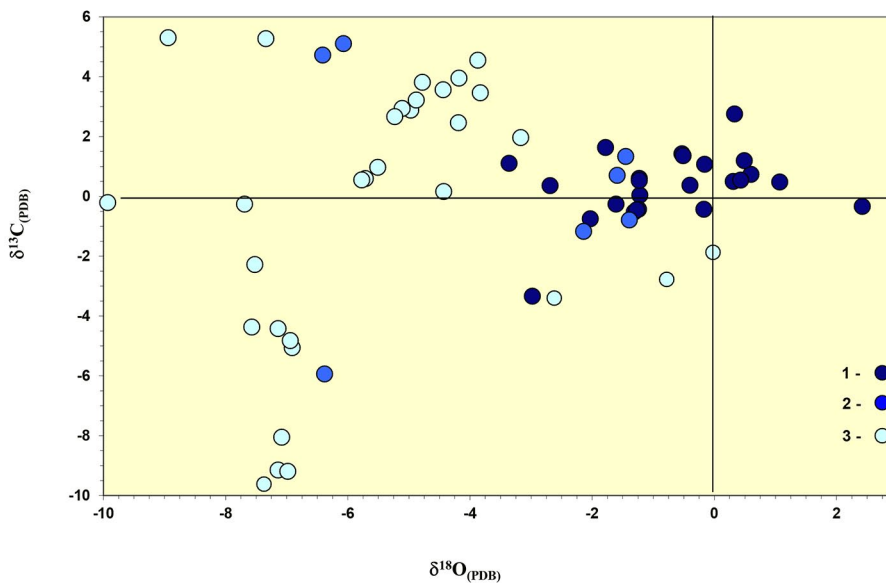
Výsledky práce

Analyzované izotopové pomery $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (78 meraní) a hodnoty $\delta^{13}\text{C}$ a $\delta^{18}\text{O}$ z fosílnych schránok z morského, brakického a sladkovodného prostredia (vápence) z neogénnych panví Západných Karpát sú uvedené v tab. 1. Fosílna schránka boli začlenené do jednotlivých

skupín na základe nárokov skúmaných taxónov na salinitu prostredia. Okrem mäkkýšov bola analyzovaná 1 vzorka dierkavcov (tab. 1a, č. 13) a 14 vzoriek sladkovodných vápencov (tab. 1c) z nich 2 vzorky označené ako travertíny. Celkový prehľad o variabilite izotopových analýz $\delta^{13}\text{C}$ a $\delta^{18}\text{O}$ vo vzorkách je uvedený na obr. 2. Zistené hodnoty majú značný rozptyl:

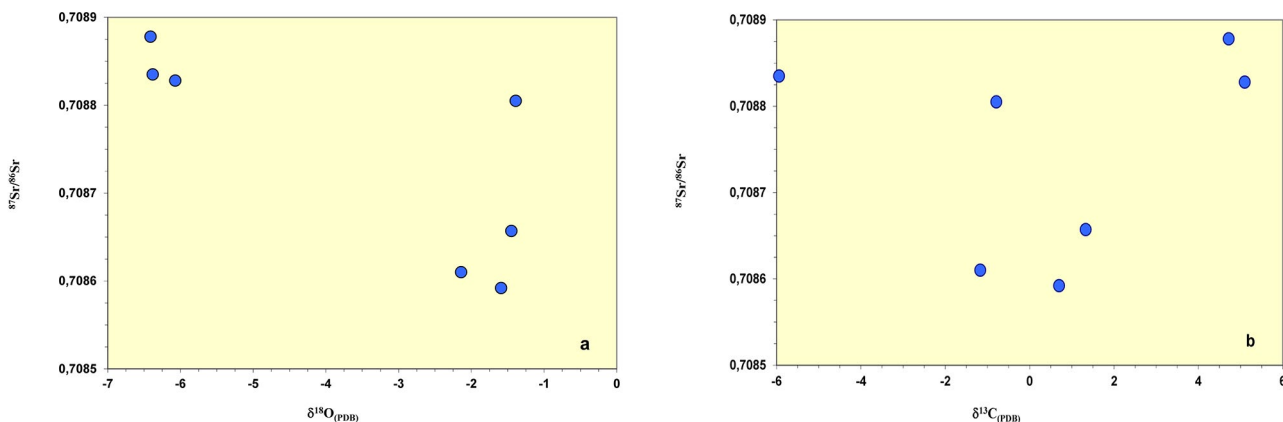
– schránky morských mäkkýšov (tab. 1a, kišcel – vrchný bádén) $\delta^{13}\text{C}$ od +2,75 do -3,34; $\delta^{18}\text{O}$ od +2,42 do -3,36;

– schránky brakických mäkkýšov (tab. 1b, spodný a vrchný sarmat) $\delta^{13}\text{C}$ od +5,10 do -5,94; $\delta^{18}\text{O}$ od -1,39 do -6,41, pričom štyri schránky (č. 31 – 34, tab. 1b) majú „morské“ hodnoty izotopových pomerov;



Obr. 2. $\delta^{13}\text{C}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ v analyzovaných vzorkách mäkkýšov a sladkovodných vápencov z morského, morskobrakického a sladkovodného prostredia študovaných terciálnych panví. Stratigrafické rozpätie kišcel – pont. 1 – morské mäkkýše; 2 – brakické prostredie; 3 – sladkovodné mäkkýše a vápence.

Fig. 2. $\delta^{13}\text{C}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ in the analysed samples of molluscs and freshwater limestones from marine, marine – brackish and freshwater environments of the studied Tertiary basins. Stratigraphic range Kiscelian – Pontian. 1 – marine molluscs; 2 – brackish environment; 3 – freshwater mollusc and limestones.



Obr. 3. Mäkkýše z morskobrakického prostredia (sarmat, tab. 1b). a – $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$; b – $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. $\delta^{13}\text{C}$.

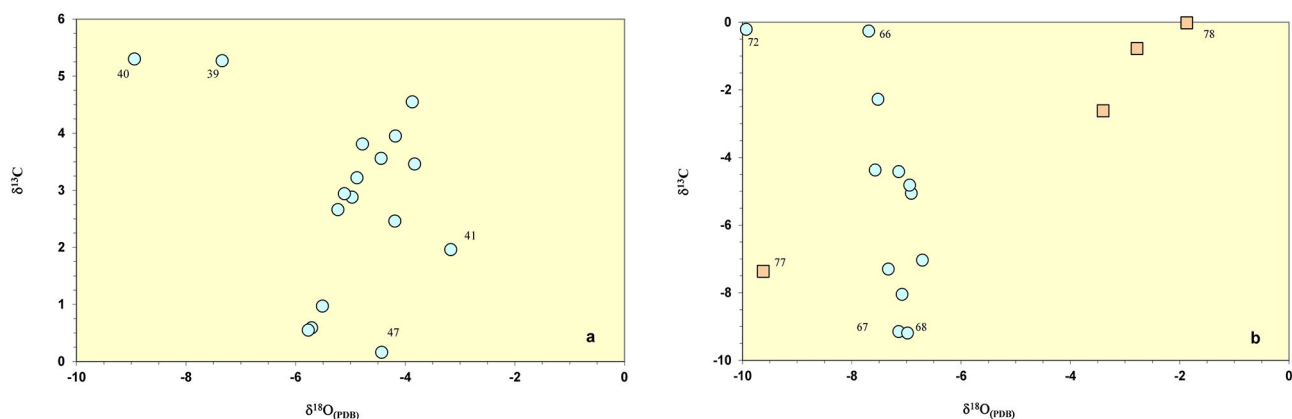
Fig. 3. Mollusc from marine – brackish environment (Sarmatian, Tab. 1b). a – $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$; b – $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. $\delta^{13}\text{C}$.

– schránky sladkovodných mäkkýšov a vápencov (tab. 1c, sarmat?/panón – pont) majú najväčší rozptyl, $\delta^{13}\text{C}$ od +5,3 do -9,19; $\delta^{18}\text{O}$ od -1,87 do -9,93.

V morských fosíliách bol meraný pomer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ prevedený na numerický vek podľa Look-Up Table (Howarth a McArthur, 1997) a takto získaný numerický vek mohol byť konfrontovaný s ich stratigrafickým zaradením (tab. 1a). Z 30 vzoriek je podľa SIS škály 20 vekov kompatibilných s ich stratigrafickým zaradením. V ostatných prípadoch je SIS vek nižší, resp. vyšší, t. j. príslušné pomery $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ sú vyššie, resp. nižšie v porovnaní so súvekovou vodou zodpovedajúcou ich stratigrafickému zaradeniu. Ako príklad môžeme uviesť lokalitu Mikulov (tab. 1, č. 16 – 18), kde výsledky sú vo výraznom rozpore s ich stratigrafickým zaradením. V tomto prípade (ale aj v iných) je zrejmé, že meraný pomer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ nereprezentuje pôvodný izotopový signál, čo je kritickou podmienkou pri takom

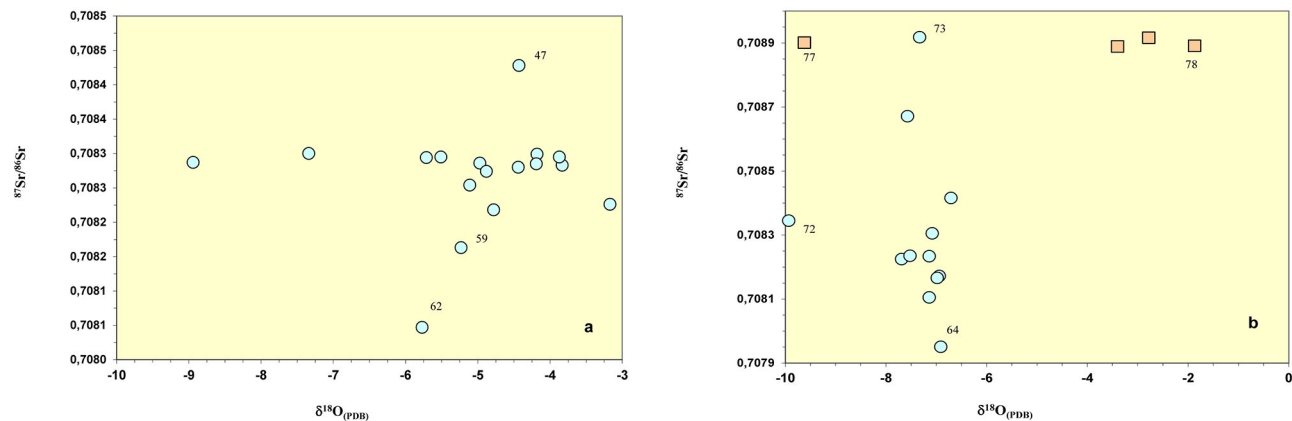
druhu prác. Pritom schránky vykazujú hodnoty $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ akceptovateľné pre morské prostredie (Woodruff a Savin, 1991).

Fosílie z brakického a sladkovodného prostredia (sarmat – pont) boli použité s cieľom zistiť regionálnu variabilitu ich izotopového zloženia a pomery $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ porovnať s parametrami súvekej morskej vody. Na obr. 3a, b uvádzame hodnoty pomeru $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oproti hodnotám $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^{13}\text{C}$ v brakických schránkach. Je viditeľná tendencia znižovania pomeru $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ pri zvyšovaní hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ (obr. 3a). Z pohľadu izotopového zloženia stroncia je pre schránky z brakického prostredia spodného a vrchného sarmatu charakteristický odklon izotopových hodnôt prislúchajúcich súvekej morskej vode k nižším hodnotám izotopového pomeru $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Súveká morská voda v období vrchného sarmatu mala izotopový pomer cca 0,70884, brakické schránky (z vysladzovanej pôvodnej



Obr. 4. $\delta^{13}\text{C}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ v sladkovodných vzorkách mäkkýšov z Turčianskej kotliny a Dunajskej panvy. a – analýzy zo schránok mäkkýšov Turčianskej kotliny. Stratigrafické rozpätie sarmat?/panón – pont; b – vzorky z Viedenskej a Dunajskej panvy (hlavne rišňovská depresia), stratigrafické rozpätie panón B – panón H. Štvorce – panón E (Viedenská a Dunajská panva).

Fig. 4. $\delta^{13}\text{C}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ in samples from the Turčianska kotlina Basin (mainly mollusc shells) and the Danube Basin (mainly freshwater limestone). a – Analysis of mollusc shells from Turčianska kotlina Basin. Stratigraphic range Sarmatian?/Pannonian – Pontian; b – Samples from the Vienna Basin and Danube Basin (Rišňovce depression mainly), stratigraphic range Pannonian B – Pannonian H. Squares – Pannonian E (Vienna Basin and Danube Basin).



Obr. 5. a – $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ v sladkovodných schránkach Turčianskej kotliny (tab. 1c), stratigrafické rozpätie sarmat?/panón – pont; b – $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ v mäkkýšoch a v sladkovodných vápencoch Viedenskej a Dunajskej panvy (hlavne rišňovská priehlbina), stratigrafické rozpätie panón B – panón H. Štvorce – panón E (Viedenská a Dunajská panva).

Fig. 5. a – $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ in freshwater shells from Turčianska kotlina Basin (Tab. 1c), Stratigraphic range Sarmatian?/Pannonian – Pontian; b – $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ in mollusc and freshwater limestones from the Vienna Basin and Danube Basin (Rišňovce depression mainly), stratigraphic range Pannonian B – Pannonian H. Squares – Pannonian E (Vienna Basin and Danube Basin).

morskej vody mimo lokality Nexing) z tohto obdobia majú už izotopový pomer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ cca 0,70859 – 0,70863. Táto zmena sa zrejme udiala z hľadiska časovej škály vrchného sarmatu veľmi rýchlo. Dve fosílie z lokality Nexing (tab. 1b) predstavujú zrejme jeden z najskorších časových oporných bodov identifikácie začiatku procesu vysladzovania morskej vody v centrálnej Paratetýde.

Na obr. 4a, b sú porovnané izotopové údaje z Turčianskej kotliny (obr. 4a) a Dunajskej panvy (obr. 4b). Fosílna schránka zo sladkovodného prostredia sa vyznačuje veľkým rozptylom hodnôt izotopového zloženia $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$. Rozdiely v izotopovom zložení sú však charakteristické. Pokiaľ variabilita hodnôt $\delta^{18}\text{O}$ v obidvoch oblastiach kolíše v úzkych intervaloch od -6 do -4 , resp. od -8 do -6 , hlavný rozdiel je v hodnotách $\delta^{13}\text{C}$. Vzorky z uzavretej Turčianskej kotliny majú všetky hodnoty kladné (0 až +6), ale vzorky z Dunajskej panvy (hlavne rišňovská priehlbina) majú všetky tieto hodnoty záporné, až do -10 . S problematikou interpretácie takýchto rozdielov sa zaoberal veľmi podrobne napr. Spero (1991).

Pomer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ (obr. 5, 6) vo vzorkách z Turčianskej kotliny osciluje najčastejšie medzi hodnotami 0,7082 – 0,7083, vzorky z Dunajskej panvy vykazujú omnoho väčší rozptyl, od 0,7079 až po 0,7089, aj keď väčšina pomerov kolíše okolo 0,7081 – 0,7084 (obr. 5, 6). Najnižší, ale aj najvyšší izotopový pomer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ v skúmanom súbore majú vzorky zo sladkovodných vápencov, stratigraficky určených ako panón – zóna H. Vzorka č. 64 (Čeladince, tab. 1c) s hodnotou 0,707951 a najvyšší č. 73 (Orešany, tab. 1c) 0,708918. Špecifické pozície predstavujú vzorky z panónu – zóny E (štvorce na obr. 4b). Vzorky zo zóny E panónu (štvorce na obr. 5, 6) sú charakteristické veľmi nízkou variabilitou tohto pomeru. Všeobecne možno konštatovať, že pomer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ má veľkú variabilitu (izotopovo nehomogénne prostredie v danom stratigrafickom rozpätí), pričom tak ako brakické, aj vzorky zo sladkovodného prostredia majú výrazne nižší

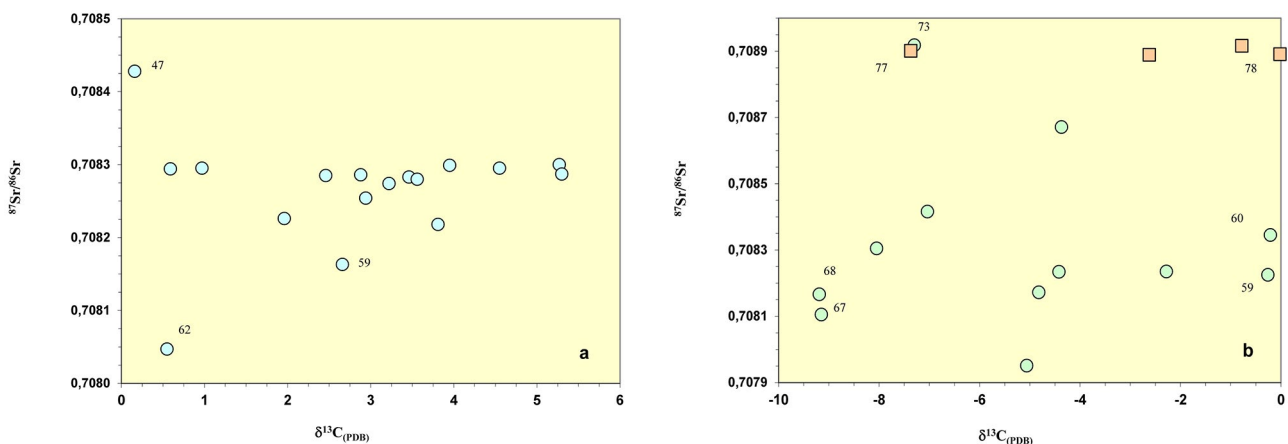
izotopový pomer ako súveká morská voda a izotopové zloženie stroncia vykazuje nízku variabilitu až na štvrtom desatinnom mieste meraného izotopového pomeru.

Diskusia

Hlavným cieľom tejto práce bolo dokumentovať rozdiely v izotopickom zložení fosílnych schránok z morského, brakického a sladkovodného prostredia počas epizódy vysladzovania morskej vody centrálnej Paratetýdy a jej zmeny na sladkovodné Panónske jazero. Zmena izotopového zloženia $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ a $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ v schránkach v priebehu času umožňuje kvantitatívny odhad izotopových parametrov sladkej vody (pozri Marshall, 1992). Okrem iného je to potenciálne aj dôležitá informácia o takých parametroch, ako je napr. geologický (horninový) charakter paleopovodí, resp. o zmene paleoklimatických podmienok v danom čase v oblasti Západných Karpát. Tieto informácie možno využiť na lepšie pochopenie procesov spojených s časovým vývojom neogénnych panv Západných Karpát. Získané poznatky by potenciálne mohli poslúžiť ako základ na vytvorenie presnejšej stratigrafickej škály vo vysladených sedimentoch. Máme tieto oporné body:

a) presne dokumentovaný vývoj izotopového pomeru $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ v morskej vode v planetárnom meradle v skúmanom čase (kišcel – pont, v numerickej škále času časový interval cca 25 – 3 Ma; Howarth a McArthur, 1997; McArthur et al., 2001). Ak v analyzovaných schránkach bol zachovaný pôvodný izotopový pomer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, potom pomer možno konvertovať na numerický vek podľa Look Up Table (Howarth a McArthur, 1997);

b) záznam izotopových zmien vo fosíliách z brakických vôd, ktoré sú výsledkom miešania sladkej a morskej vody, rozdielov $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ v izotopovom zložení, kontrastu medzi týmito dvoma médiami a rozdielov v koncentracii Sr v obidvoch zdrojoch. Takéto štúdie možno použiť



Obr. 6. a – $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. $\delta^{13}\text{C}$ v sladkovodných schránkach mäkkýšov z Turčianskej kotliny, stratigrafické rozpätie sarmat?/panón – pont (tab. 1c); b – $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. $\delta^{13}\text{C}$ v sladkovodných vápencoch. Viedenská a Dunajská panva (hlavne rišňovská priehlbina), stratigrafické rozpätie panón B – panón H. Štvorce – panón E (Viedenská a Dunajská panva).

Fig. 6. a – $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. $\delta^{13}\text{C}$ in freshwater shells from the Turčianska kotlina Basin, stratigraphic range Sarmatian?/Pannonian – Pontian (Tab. 1c); b – $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. $\delta^{13}\text{C}$ mainly in freshwater limestones. Circles (Danube Basin, Rišňovce depression, stratigraphic range Pannonian B – Pannonian H. Squares – Pannonian E (Vienna Basin and Danube Basin).

v širokom spektre geologických a geochemických výskumov (Andersson et al., 1992, 1994; Holmden et al., 1997; Spencer a Patchett, 1997);

c) izotopové zloženie zaznamenané v sladkovodných fosílnych schránkach, resp. sladkovodných vápencoch, reprezentujúce izotopové charakteristiky paleopovodí. Týmito otázkami sa zaoberalo množstvo autorov (napr. Andersson et al., 1992, 1994; Brass a Turekian, 1977; Dasch, 1969; Derry a France-Lanord, 1996; Faure, 1982, 1986; Galy et al., 1999; Goldstein a Jacobsen, 1987, 1988; Harris, 1995; Palmer a Edmond, 1989, 1992; Reinhardt et al., 1998; Schmitz et al., 1991, 1997; Wadleigh et al., 1985).

A. Pomer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vo vzorkách z morského, brakicko-morského a sladkovodného prostredia

a) *Fosílna schránka z morského prostredia:* Z 30 analyzovaných morských schránok 20 vekových údajov je kompatibilných z ich stratigrafickým zaradením. Výsledky však dokumentujú problémy. Principiálnou otázkou je, či analyzované schránky zachovali svoj pôvodný izotopový signál (Cochran et al., 2010). Nezhoda stratigrafického veku s konvertovaným SIS vekom v 1/3 prípadov indikuje rekryštalizáciu schránok a zmenu pôvodného izotopového zloženia v priebehu diagenézy. V analyzovaných schránkach nebola zistená systematická zmena. Pokiaľ napr. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vo vzorkách z Mikulova má systematicky vyššie hodnoty, v iných nekompatibilných vzorkách sú zasa hodnoty nižšie (napr. Vass et al., 2003). Môže to súvisieť s rozdielnymi izotopovými zdrojmi v priebehu rekryštalizácie schránok počas diagenetických zmien. Týmito otázkami sme sa v práci nezaoberali. Treba podotknúť, že stratigrafické začlenenie analyzovaných vzoriek má tiež rozdielnu váhu (napr. bádén – vrchný bádén), okrem toho ani ich vzájomnú pozíciu nebolo možné kontrolovať, keďže vzorky pochádzajú z rôznych lokalít. Väčšina analýz fosílnych schránok generálne potvrdzuje, že morská voda, v ktorej mäkkýše žili (v stratigrafickom rozpätí kišcel – spodný sarmat), bola kompatibilná so súvekou morskou vodou.

b) *Fosílna schránka z brakicko-morského prostredia:* Fosílna schránka boli začlenené do tejto skupiny iba na základe vyskytujúcich sa skúmaných taxónov a ich nárokov na salinitu prostredia, takže presnejší odhad salinity sme k dispozícii nemali. Brakické prostredie z hľadiska prezentovaných izotopových údajov by malo znamenať odklon od morských hodnôt (znižovanie $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) a podľa izotopového zloženia stroncia sladkej vody nižšie alebo vyššie hodnoty $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Štyri zo siedmich vzoriek vykazujú hodnoty $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ akceptovateľné pre morské prostredie. Vzorka č. 31 by mala zodpovedajúci vek 13,79 Ma, nekompatibilný so stratigrafickým zaradením (spodný sarmat) a vzorka č. 37 zo spodného sarmatu 12,42 Ma (kompatibilná). Táto vzorka, vápenec s machovkami, reprezentuje v našom súbore najmladšiu vzorku, ktorej izotopové zloženie je ešte kompatibilné so súvekou morskou vodou, aj keď zdanlivo paradoxne, pretože hodnoty $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ poukazujú na vysladené prostredie. Finálna dezintegrácia centrálnej Paratetydy

so zánikom morskej fauny je odhadovaná v numerickej časovej škále neogénu na 11,6 Ma (Magyar et al., 1999; Harzhauer et al., 2004). Vody vznikajúceho Panónskeho jazera boli spočiatku brakické, slabo alkalické a pomaly sa vysladzovali (Harzhauer a Mandić, 2008). Vzorky z Nexingu (vrchný sarmat, č. 35, 36) už môžu registrovať stopy po kontinentálnom Sr. To sa odrazilo aj na pomere $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ zo vzoriek z vekovo rovnakej vrstvy, kde konvertované „veky“ by mali hodnoty 12,72, resp. 10,71 Ma, už nekompatibilné so stratigrafickým zaradením. Takto na piatich vzorkách je už preukázateľný vplyv zmiešavania stroncia zo sladkých vôd, kde v brakických vodách dochádza oproti súvekej morskej vode k znižovaniu pomeru $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, na čo už vo Viedenskej panve poukázal Král et al. (1995). Hodnoty izotopového pomeru $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ kolíšu v rozpätí od 0,708592 do 0,708878. Až na jednu vzorku sú nižšie ako súveká morská voda (cca 0,70884). Sladká voda vytvárajúca brakické prostredie z pôvodnej morskej vody musela mať izotopové zloženie $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ nižšie ako vrchnosarmatská morská voda a tiež nižšie ako výsledné hodnoty izotopového pomeru v brakických vodách. Je to podstatná informácia pre možnosť približného definovania pôvodu stroncia v sladkých vodách, t. j. na odhad horninového zloženia vtedajšieho povrchu, na horninovú skladbu sladkými vodami drénovaných oblastí, rýchlosti zvetrávania a prípadne aj na postihnutie paleoklimatických zmien v danom čase (Harris, 1995).

c) *Fosílna schránka a vápenec zo sladkovodného prostredia:* analyzované vzorky pochádzajú z rozdielnych oblastí, z Turčianskej kotliny a severných výbežkov Dunajskej panvy.

Sedimentárny záznam v Turčianskej kotline dokazuje, že to bola sladkovodná uzavretá panva izolovaná už pravdepodobne od sarmatu (Rakús a Hók, 2002; Kováč et al., 2011). Kompletný vrstevný sled a štúdium izotopového zloženia $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vo fosílnych schránkach, resp. sladkovodných vápencoch (až do pontu) teda predstavuje unikátny záznam o izotopových parametroch v sladkých vodách v priebehu času. Analyzované vzorky geograficky pokrývajú celú plochu kotliny od juhu (Slovenské Pravno) až po sladkovodné vápence pontu SZ od Vrútok. Sedimenty kotliny obsahujú endemickú faunu, ktorou sa podrobne zaoberal Pipík et al. (2012). Získané analýzy pochádzajú nielen s uhlčitanových schránok fosílií, ale aj z ich kalcitovej výplne, resp. kalových vápencov, v ktorých fosílie ležia. To umožňuje doplniť izotopové informácie z uhlčitanových sedimentov, ak neobsahujú fosílnu zvyšky. Takýto prístup použili Veizer a Compston (1974) pri získavaní údajov o variabilite $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vo fanerozoických horninách, pričom podstatná časť vzoriek druhohorných vápencov pochádzala zo Západných Karpát.

Porovnaním $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ pomerov v troch pároch schránka/vápenec sme zistili, že hodnoty izotopového pomeru $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ sú vždy menšie v schránkach, pričom v dvoch prípadoch sú rozdiely v izotopovom zložení v rámci analytickej chyby. Potvrdili sme tiež aj rozdiely $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ v južnej a severnej časti kotliny (Pipík et al., 2012). V južnej časti kotliny hodnoty kolíšu zhruba medzi 0,7081 – 0,7082, v severnej medzi 0,7083 – 0,7085, čo podľa citovaných

autorov možno vysvetliť rozdielnym horninovým prostredím (t. j. rozdielne izotopové zloženie vo vodách drénujúcich okolie na severe a juhu, ako aj cirkulačnou bariérou prekážajúcou izotopovej homogenizácii v celkovom vodnom objeme jazera. Izotopové zloženie $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ a koncentrácia Sr vo vodných tokoch sú výsledkom interakcie povrchových a podzemných vôd s horninovým prostredím, kde dominantnú úlohu môžu zohrávať práve podzemné vody; de Villiers, 2005). Z tohto pohľadu sme teda získali záznam (aj keď areálovo obmedzený) o priemernom izotopovom zložení $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ v povrchových tokoch dotujúcich uzavreté miocénne jazero, použiteľný v jednoduchom modelovaní podmienok vysladzovania morskej vody centrálnej Paratetýdy a zmeny na sladkovodné Panónske jazero.

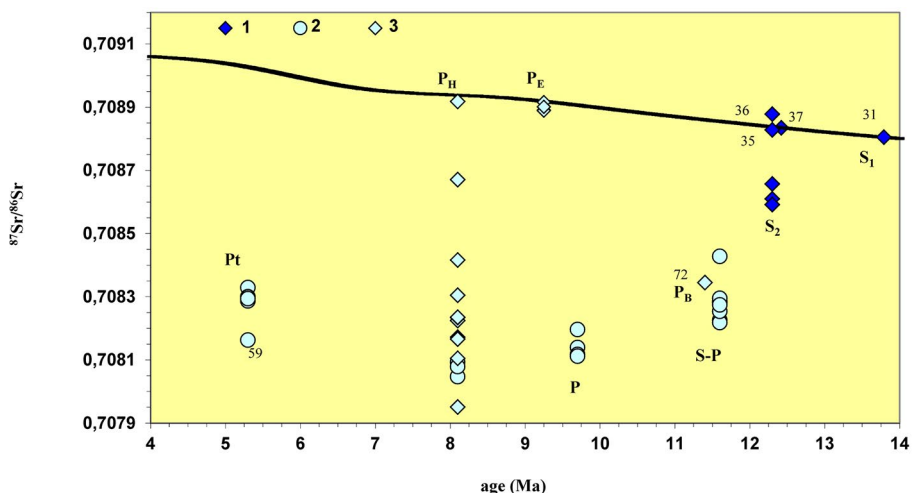
Omnoho väčšia izotopová heterogenita $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ bola zistená v schránkach a sladkovodných vápencoch z Dunajskej panvy. Stratigraficky najstaršia vzorka (panón – zóna B, č. 72) je izotopovo kompatibilná so vzorkami Turčianskej kotliny. Údaje zo schránok zóny E panónu sú aj zo vzdialených lokalít (Pezinok, Borský Jur, tab. 1c, č. 75 – 78) prekvapujúco veľmi blízko súvekej morskej vode. Pomer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ v štyroch vzorkách zo zóny E panónu konvertovaný na numerickú škálu SIS dáva vek kompatibilný s ich stratigrafickým zaradením (od 9,35 do 10,31 Ma). Keďže nepoznáme ich presnú stratigrafickú pozíciu, nemožno presne odhadnúť, do akej miery je ich morské stroncium ovplyvnené príspevkom kontinentálneho stroncia. Pretože predpokladáme, že sladké vody prinášali stroncium s nižším $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ pomerom (ako sme poukázali v predchádzajúcom texte), konvertované „vek“ predstavujú najvyššie hodnoty. Problém možno riešiť,

čo je otázka vstupných parametrov modelu zmiešavania, ktorým sa budeme zaoberať v ďalšom texte. Zóna H panónu (najviac vzoriek pochádza z rišňovskej priehlbiny Dunajskej panvy) má z celého súboru najvyššiu variabilitu, zrejme spôsobenú izotopovou heterogenitou sladkých vôd za prispievania podzemných, so vznikom travertínov.

Súhrnný prehľad o variabilite pomeru $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vo vzorkách z rôznych oblastí a v rôznom čase uvádzame na obr. 7. Charakteristické črty sú viditeľné pre vývoj $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ v brakických vodách: vzorky zo spodného (č. 31), resp. vrchného sarmatu (č. 37) ešte zachovávajú svoj pôvodný $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ morský izotopový signál, s najmladším vekom 12,42 Ma, ale vekovo veľmi blízke vzorky z Nexingu už nie. Rýchle vysladzovanie a prínos Sr z kontinentálnych zdrojov prudko znižuje ich $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotopový pomer. Tento trend je viditeľný aj v sladkých vodách uzavretej Turčianskej kotliny (biele krúžky), kde od hranice sarmat?/panón pomer klesá až do zóny H panónu, ale potom je zrejme zvýšenie pomerov v ponte. Je pravdepodobné, že tento vývoj je odrazom viacerých paleofaktorov v priebehu času.

B. Model zmiešavania morskej a sladkej vody vo vrchnom sarmate

Pri úvahách nad pomerom $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ a koncentráciou Sr v sladkých vodách môžeme akceptovať ako jeden z parametrov izotopové hodnoty z uzavretej Turčianskej kotliny. Priemerné izotopové zloženie sladkých vôd možno odvodiť z fosílií na hranici sarmatu a panónu s časťami hodnotami medzi 0,7082 – 0,7083. Koncentráciu Sr v morskej (M) a sladkej (S) vode nepoznáme, ale tento

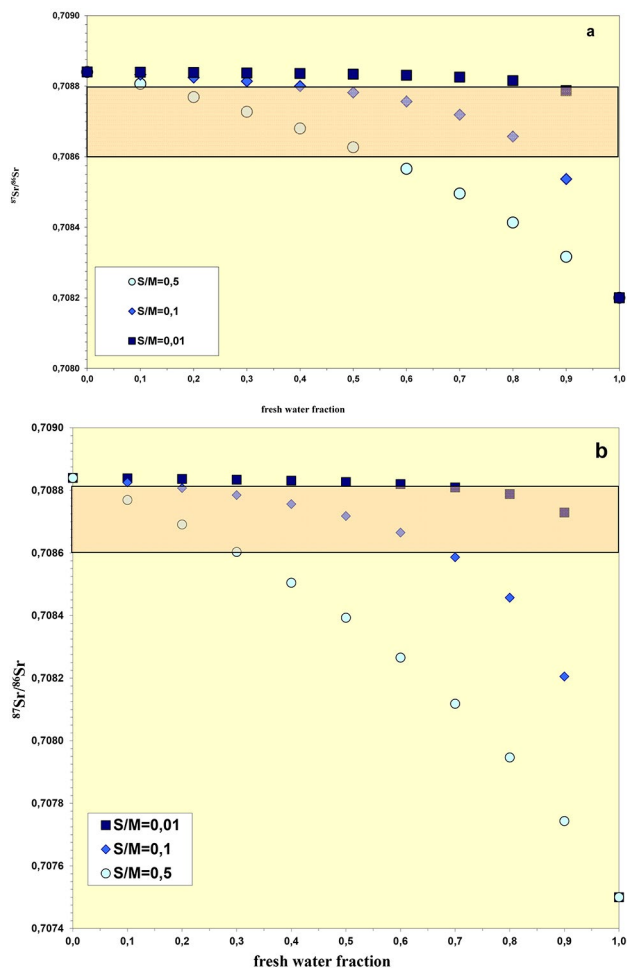


Obr. 7. Variabilita $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ v schránkach z morско-brakického (schránky) a sladkovodného prostredia v časovom rozpätí od sarmatu po pont. 1 – vzorky z morско-brakického prostredia (Viedenská a Dunajská panva); 2 – vzorky z uzavretej Turčianskej kotliny (hlavne sladkovodné mäkkýše); 3 – sladkovodné vápence a mäkkýše z Viedenskej a Dunajskej panvy (hlavne rišňovská priehlbina); S₁ – spodný sarmat; S₂ – vrchný sarmat; S-P – hranica sarmatu a panónu; P_B – zóna B panónu; P_E – zóna E panónu; P_H – zóna H panónu; P – panón; Pt – pont.

Fig. 7. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ variability from marine – brackish (shells) and freshwater environments in the time span from the Sarmatian to the Pontian. 1 – samples from marine – brackish environment (Vienna Basin and Danube Basin); 2 – samples from a closed Turčianska kotlina Basin (fresh waters mollusc mainly); 3 – freshwater limestones and mollusc from Vienna Basin and Danube Basin (Rišňovce depression mainly); S₁ – Lower Sarmatian; S₂ – Upper Sarmatian; S-P – Sarmatian and Pannonian boundary; P_B – Pannonian B, P_E – Pannonian E, P_H – Pannonian H; P – Pannonian; Pt – Pontian.

parameter môžeme odvodiť ako pomer koncentrácie S/M. V súčasnosti má morská voda pomer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,709175 \pm 30$ a koncentráciu Sr 7,62 ppm. Pri vysokom váženom pomere $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ cca 0,711 – 0,712 (Palmer a Edmond, 1989; Wadleigh et al., 1985) v súčasných vodných tokoch má stroncium omnoho nižšiu koncentráciu. Goldstein a Jacobsen (1987) udávajú priemerný obsah Sr zo súčasných najväčších svetových riek 0,0619 ppm Sr, teda v porovnaní s morskou vodou viac ako 100x nižšiu. Koncentrácia Sr a pomer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ je v sladkých vodách značne variabilná a závisí od horninovej charakteristiky riekami drénovaných oblastí (Edmond, 1992; Wadleigh et al., 1985). Andersson et al. (1992) uvádzajú klasický príklad z Baltického mora: silne vysladená voda v Botnickom zálive má vyšší pomer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (až $0,709718 \pm 41$) ako súčasná morská voda jednoducho preto, že stroncium znášané

riekami z Baltického štítu je vysoko rádiogénne (t. j. vysoký $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ pomer, až do hodnôt 0,733035, spôsobený starými horninami a ich vysokým Rb/Sr pomerom), ale koncentrácia Sr v sladkých vodách je omnoho nižšia (cca 0,011 ppm). Znos stroncia z fanerozoických hornín, včítane sedimentárnych, má iný charakter: nižší pomer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (v prípade Visly cca 0,709), ale koncentrácia Sr v takýchto riekach môže byť omnoho vyššia (0,2 – 0,5 ppm). Hlavné rieky vtekajúce do Čierneho mora majú pomer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ medzi 0,7085 – 0,7089 a koncentráciu Sr 0,22 – 0,24 ppm. Volga, hlavný donátor sladkej vody do Kaspického mora, má pomer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,70802$, ale koncentráciu Sr až 9,92 (Major et al., 2006; Palmer a Edmond, 1989). V podzemných vodách Slovenska Rapant et al. (1996) zistil najnižšiu koncentráciu 0,01 – 0,06 ppm Sr z kryštalinika a neovulkanitov, naopak, vyššia koncentrácia 0,2 až 0,7 ppm sa viaže na karbonátové prostredie. Existuje teda veľa zdrojov s rôznym izotopovým pomerom $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. V našej oblasti sú to horniny kryštalinika (0,708 – 0,740; Cambel et al., 1990), druhohorné vápence (0,7068 až 0,7078; Burke et al., 1982), vulkanické horniny (okolo 0,707) a sedimenty tiež s veľkou variabilitou. Všetky prispievajú k celkovému izotopovému zloženiu Sr v sladkých vodách rôznou mierou, a to vzhľadom na rozdielny izotopový pomer a koncentráciu Sr. Možné eventuality možno modelovať zmiešavaním dvoch zdrojov, ktoré majú rozdielne izotopové zloženie aj rozdielne koncentrácie stroncia (Faure, 1986). Tento zjednodušený postup síce nemusí potvrdiť skutočnú realitu, ale prinajmenej vylúči nepravdepodobné predstavy. Na obr. 8a, b znázorňujeme výsledky dvoch modelov, s rozdielnym $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ v sladkej vode, ale s rovnakým pomerom koncentrácie Sr v sladkej (S) a morskej (M), S/M. Z uvedených grafov vyplýva (a – neogénne vody Turčianskej kotliny, b – hypotetické vody, napr. vápencové), že rozhodujúcim parametrom je pomer koncentrácie S/M. Veľký stupeň vysladenia morskej vody (zníženie salinity) nemusí ekvivalentne znamenať aj merateľnú zmenu v $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, a teda dramatický odklon od parametrov súvekej morskej vody. Pri veľmi nízkom pomere S/M aj pri vysokom vysladení sa pomer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ mení pomaly (môže to byť prípad vzoriek zo zóny E panónu) a rýchlejšiu zmenu poklesu tejto hodnoty na úroveň, ktorú sme zistili v brakických vodách (horizontálne pole na grafoch), je možné dosiahnuť iba zvyšovaním S/M pomeru. Teda morskobrakické vody mohli vzniknúť miešaním sladkej vody, v ktorej bola oproti morskej vyššia koncentrácia Sr. Rozhodujúcim zdrojom tu mohlo byť stroncium pochádzajúce z druhohorných vápencov, aj keď nemožno vylúčiť iné zdroje s vyšším $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ pomerom, ale s menším príspevkom.



Obr. 8. Výsledky zmiešavacieho modelu sarmatskej morskej vody so sladkou vodou. a – sladká voda s pomerom $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ sarmatskej/panónskej vody Turčianskej kotliny; b – hypotetický zdroj s nižším $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ pomerom; S/M – pomer koncentrácie Sr v sladkej a morskej vode.

Fig. 8. The results of the mixing model of Sarmatian marine water with fresh water. a – fresh water with $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio as Sarmatian/Pannonian water of the Turčianska kotlina Basin; b – the source with a lower $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio. S/M – ratio of the Sr concentration in fresh and sea water.

Záver

Práca sa zaoberá hlavne vývojom izotopového zloženia pomeru $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vo fosílnych schránkach mäkkýšov z morského, brakického až morského a sladkovodného prostredia (vápencov) centrálnej Paratetýdy, neskôr Panónskeho jazera v stratigrafickom rozpätí od kišcelu do pontu (obr. 1). Analyzovali sme 78 vzoriek na izotopový

pomer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ a 65 vzoriek na izotopové zloženie uhlíka a kyslíka (tab. 1, obr. 2 – 7).

Získané výsledky z morských mäkkýšov (20 vzoriek) dokazujú, že izotopové zloženie $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ morskej vody centrálnej Paratety bolo generálne kompatibilné s morskou vodou v danom čase (kišcel – báden). 1/3 vzoriek, ktoré nie sú v zhode so stratigrafickým zaradením, bola pravdepodobne ovplyvnená sekundárnymi procesmi, rekryštalizáciou v priebehu diagenézy, ktoré zdeformovali pôvodný, originálny izotopový signál (tab. 1a).

Na základe izotopového zloženia $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vo fosílnych schránkach vrchného sarmatu možno prijať predpoklad, že prvé stopy vysladzovania morského prostredia sladkými vodami v skúmaných lokalitách sú zaznamenané po období 12,4 mil. rokov (podľa numerickej SIS škály). Vzorkový materiál použitý v tejto práci dokazuje, že izotopové zloženie sladkých vôd, ich $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ pomer, ktoré sa zmiešavali s pôvodnou súvekou morskou vodou, bol v týchto vodách vždy výrazne nižší, aký mala súveká morská voda. Preto aj výsledok zmiešavania sladkej a morskej vody – brakické vody – má nižší izotopový pomer ako súveká morská voda. Sladké vody, ktoré vysladzovali morskú vodu v centrálnej Paratety, boli pravdepodobne geneticky viazané na chemické rozpúšťanie vápencov, aj keď nemožno vylúčiť iné zdroje s vyšším $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ pomerom, ale s menším príspevkom. Na základe izotopového štúdia fosílií, resp. vápencov z vysladeného prostredia (hlavne rišňovská priehlbina Dunajskej panvy), resp. z uzavretej panvy (Turčianska kotlina), boli získané originálne údaje týkajúce sa izotopového zloženia sladkých vôd v neogéne. Na základe výsledkov je Turčianska kotlina dobrým príkladom. Tu boli zaregistrované zmeny izotopového signálu $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ v sladkých vodách (v Turčianskej kotline), ktorý, ako sa ukazuje, nebol stacionárny, ale menil sa v čase od sarmatu?/panónu po pont (obr. 7). V priebehu času sa izotopový signál menil od priemerných hodnôt cca 0,7083 (predpokladaný sarmat?/panón) a klesal na úroveň 0,7081 (panón), potom znovu stúpil k priemerným hodnotám 0,7083 (pont). Vzorky z rišňovskej priehlbiny Dunajskej panvy v podstate generálne kopírujú nižší izotopový pomer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ v zóne B a H panónu (aj keď s väčšou variabilitou). Pozoruhodná je blízka zhoda vzoriek zo zóny E panónu so súvekou morskou vodou. Nemožno vylúčiť lokálne spojenie v časti Dunajskej, resp. Viedenskej panvy s otvoreným morom v kombinácii s nízkou koncentráciou Sr v sladkých vodách. Naproti tomu pomer koncentrácie Sr v sladkej a morskej vode (S/M) v prípade sarmatských mäkkýšov z brakicko-morského prostredia, musel byť vyšší (obr. 8).

Podakovanie. Práca vznikla v rámci úlohy „Aktualizácia geologickej stavby problémových území Slovenska v mierke 1 : 50 000, čiastková úloha T-08/06“, financovanej MŽP SR. J. K. ďakuje prof. Dr. hab. J. Burchartovi (ING PAN, Varšava) za všestrannú podporu počas analytických prác vo Varšave. Pri výbere vzorkového materiálu do tejto práce sme získali významný príspevok zo vzoriek Turčianskej kotliny, ktoré nám venoval RNDr. Miloš Rakúš, CSc. (*1934 – †2005), označených v tab. 1 písmenom R. Článok venujeme jeho pamiatke. Pripomenky a komentáre doc. Ing. Š. Hladilovej, CSc. a doc. Mgr. N. Hudáčkovej, PhD. pomohli vylepšiť pôvodný text článku.

References

- ANDERSSON, P. S., WASSERBURG, G. J. & INGRI, J., 1992: The sources and transport of Sr and Nd isotopes in the Baltic Sea. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 113, 459 – 472.
- ANDERSSON, P. S., WASSERBURG, G. J., INGRI, J. & STORDAL, M. C., 1994: Strontium, dissolved and particulate loads in fresh and brackish waters: the Baltic Sea and Mississippi Delta. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 124, 195 – 210.
- ANDRUSOV, D., 1954: O veku výplne Turčianskej kotliny a o vývine pliocénu na strednom Slovensku. *Geol. Sbor. Slov. Akad. Vied*, 5, 1 – 4, 255 – 269.
- BARÁTH, I., FORDINÁL, K. & PÍPIK, R., 1999: Lacustrine to alluvial sedimentary cyclicity (Pannonian Zone E, Danube Basin). *Geol. Carpath.*, 50, 14 – 16.
- BARÁTH, I., NAGY, A. & KOVÁČ, M., 1994: Sandberské vrstvy – vrchnobádenské marginálne sedimenty východného okraja Viedenskej panvy. *Geol. Práce, Spr.*, 99, 59 – 66.
- BÍLEK, K., 1966: Burdigalská fauna chropovských slepenců. *Geol. Práce, Zpr.*, 40, 5 – 37.
- BÖHME, M., 2003: The Miocene Climatic Optimum: Evidence from ectothermic vertebrates of Central Europe. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 195, 389 – 401.
- BRASS, G. W. & TUREKIAN, K. K., 1977: Comment on: “The strontium isotopic composition of seawater and seawater-oceanic crust interaction” by E. T. C. Spooner. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 34, 165 – 166.
- BRESTENSKÁ, E., BUDAY, T., IVAN, L. & SENEŠ, J., 1961: Sekcia C – Neogén. In: Sjazdový sprievodca. XII. sjazd Čs. spoločnosti pre mineralógiu a geológiu, Slovenský výbor. Čs. spoločnosť pre mineralógiu a geológiu. *GÚDŠ, Bratislava*, 87 – 111.
- BUDAY, T., 1939: Tři lokality tortonské fauny na západním úpätí Malých Karpat. *Příroda*, 32, 3, 94 – 96.
- BUDAY, T., 1962: Neogén Turčianskej kotliny. *Sbor. Ústř. Úst. geol.*, 27 (1960), 475 – 502.
- BURKE, W. H., DENISON, R. E., HETHERINGTON, E. A., KOEPNICK, R. B., NELSON, H. F. & OTTO, J. B., 1982: Variation of seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ throughout Phanerozoic time. *Geology*, 10, 516 – 519.
- CAMBEL, B., KRÁL, J. & BURCHART, J., 1990: Izotopová geochronológia kryštalinika Západných Karpát (s katalógom údajov). *Veda, Bratislava*, 183 s.
- COCHRAN, J. K., KALLENBERG, K., LANDMAN, N. H., HARRIES, P. J., WEINREB, D., TUREKIAN, K. K., BECK, A. J. & COBBAN, W. A., 2010: Effect of diagenesis on the Sr, O, and C isotope composition of late Cretaceous molluscs from the Western Interior Seaway of North America. *Amer. J. Sci.*, 310, 2, 69 – 88.
- ČIERNA, E., 1974: Mikropaläontologische und Biostratigraphische Untersuchungen einiger Bohrproben aus der weiteren Umgebung von Rohožník. *Acta geol. geogr. Univ. Comen.*, *Geol.*, 26, 113 – 187.
- ČTYROKÝ, P., 1959: Fauna mořských měkkýšů spodního burdigalu na Považí. *Geol. Práce, Zoš.*, 51, 55 – 140.
- ČTYROKÝ, P., 1960: Fauna litorálních sedimentů spodního burdigalu z okolí Považské Bystrice. *Geol. Práce, Zpr.*, 18, 141 – 152.
- ČTYROKÝ, P., 1961a: Zpráva o paleontologickém výzkumu spodno-burdigalských slepenců v okolí Chropova (v severovýchodní části Dolnomoravského úvalu). *Zpr. geol. Výzk. v Roce 1959*, 122 – 123.
- ČTYROKÝ, P., 1961b: Fauna spodnoburdigalských slepenců z okolí Chropova na západním Slovensku. *Čas. Mineral. Geol.*, 6, 1, 6 – 14.
- DASCH, E. J., 1969: Strontium isotopes in weathering profiles, deep-sea sediments, and sedimentary rocks. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 33, 1 521 – 1 552.
- DERRY, L. A. & FRANCE-LANORD, Ch., 1996: Neogene Himalayan weathering history and river $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$: impact on the marine Sr record. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 142, 59 – 74.
- DE VILLIERS, S., 2005: The correct use of Sr isotopes in river-groundwater mixing models: A Breede case study. *Water SA*, 31, 3, 397 – 398.
- EDMOND, J. M., 1992: Himalayan Tectonics, Weathering Processes,

- and the Strontium Isotope Record in Marine Limestones. *Science*, 258, 1 594 – 1 597.
- EIDVIN, T., ULLMANN, C. V., DYBKJÆR, K., RASMUSSEN E. S. & PIASECKI, S., 2014: Discrepancy between Sr isotope and biostratigraphic datings of the upper middle and upper Miocene succession (Eastern North Sea Basin, Denmark). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 411, 267 – 280.
- FAURE, G., 1982: The marine-strontium geochronometer. In: *Odin, D. S. (ed.): Numerical Dating in Stratigraphy. John Wiley & Sons Ltd.*, 73 – 79.
- FAURE, G., 1986: Principles of Isotope Geology. *John Wiley & Sons, New York, 2nd edition*, 464 p.
- FORDINÁL, K., 1994: Vrchný panón (zóna H) východného okraja Považského Inovca. *Geol. Práce, Spr.*, 99, 67 – 75.
- FORDINÁL, K., 1996: Terrestrial gastropods of the Upper Pannonian in the northern part of the Danube Basin. *Slovak Geol. Mag.*, 1, 5 – 16.
- FORDINÁL, K., 1997: Mollusc (gastropoda, bivalvia) from the Pannonian deposits of the western part of the Danube Basin (Pezinok – clay pit). *Slovak Geol. Mag.*, 3, 4, 263 – 283.
- FORDINÁL, K., 1998: Freshwater gastropods of Upper Pannonian age in the northern part of the Danube Basin. *Slovak Geol. Mag.*, 4, 4, 293 – 300.
- FORDINÁL, K. & HARČOVÁ, E., 1997: Izotopové zloženie O a C vo vápnnitých schránkach panónskych mäkkýšov z územia Bratislavy – indikátor paleoekologických pomerov. *Miner. Slov.*, 29, 1, 50 – 60.
- FORDINÁL, K., MAGLAY, J., ELEČKO, M., NAGY, A., MORAVCOVÁ, M., VLAČIKY, M., KOHÚT, M., NÉMETH, Z., BEZÁK, V., POLÁK, M., PLAŠIENKA, D., OLŠAVSKÝ, M., BUČEK, S., HAVRILA, M., HÓK, J., PEŠKOVÁ, I., KUCHARIČ, L., KUBEŠ, P., MALÍK, P., BALÁŽ, P., LIŠČÁK, P., MADARÁS, J., ŠEFCÍK, P., BARÁTH, I., BOOROVÁ, D., UHER, P., ZLINSKÁ, A. & ŽECOVÁ, K., 2012: Vysvetlivky ku geologickej mape Záhorskej nížiny 1 : 50 000. *Št. Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava*, 7 – 232.
- FORDINÁL, K. & NAGY, A., 1996: Fauna panónskych sladkovodných vápencov okolia Turčianok (západný okraj pohoria Trábeč). *Geol. Práce, Spr.*, 102, 51 – 54.
- FORDINÁL, K. & NAGY, A., 1997: Hlavinské vrstvy – okrajové vrchnopánonské sedimenty rišňovskej priehlbiny. *Miner. Slov.*, 29, 401 – 406.
- FORDINÁL, K., NAGY, A. & FEJDIOVÁ, O., 1996: Vrchnopánonské sladkovodné sedimenty okolia Čeladiniec (západný okraj pohoria Trábeč). *Miner. Slov.*, 28, 4, 307 – 311.
- FORDINÁL, K., NAGY, A. & VASS, D., 2001: Problémy stratigrafie a litostratigrafie vrchného miocénu podunajskej panvy. *Miner. Slov.*, 1, 33, 7 – 14.
- FORDINÁL, K., ŽAGORŠEK, K. & ZLINSKÁ, A., 2006: Early Sarmatian biota in the northern part of the Danube Basin (Slovakia). *Geol. Carpath.*, 57, 2, 123 – 130.
- FORDINÁL, K. & ZLINSKÁ, A., 1998: Fauna vrchnej časti holičského súvrstvia (sarmat) v Skalici (viedenská panva). *Miner. Slov.*, 30, 2, 137 – 146.
- FRIEDMAN, I. & O'NEIL, J. R., 1977: Compilation of stable isotope fractionation factors of geochemical interests. *U. S. Geol. Surv. Prof. Paper*, 440-KK.
- GALY, A., FRANCE-LANORD, Ch. & DERRY, L. A., 1999: The strontium isotopic budget of Himalayan rivers in Nepal and Bangladesh. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 63, 13 – 14, 1 905 – 1 925.
- GAŠPARIK, J., HALOUZKA, R., MIKO, O., RAKÚS, M., BUJNOVSKÝ, A., LEXA, J., PANÁČEK, A., SAMUEL, O., GAŠPARIKOVÁ, A., PLANDEROVÁ, E., SNOPOKOVÁ, P., FENDEK, M., HANÁČEK, J., MOTLIDBA, I., KLUKANOVÁ, A., ŽÁKOVÁ, E., HORNIS, J. & ONDREJČKOVÁ, A., 1995: Vysvetlivky ku geologickej mape Turčianskej kotliny 1 : 50 000. *GÚDŠ, Bratislava*, 196 s.
- GOLDSTEIN, S. J. & JACOBSEN, S. B., 1987: The Nd and Sr isotopic systematics of river-water dissolved material: Implications for the sources of Nd and Sr in seawater. *Chem. Geol.*, 66, 245 – 272.
- GOLDSTEIN, S. J. & JACOBSEN, S. B., 1988: Nd and Sr isotopic systematics of river water suspended material: Implications for crustal evolution. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 87, 249 – 265.
- HARRIS, N., 1995: Significance of weathering Himalayan metasedimentary rocks and leucogranites for the Sr isotope evolution of seawater during the early Miocene. *Geology*, 23, 9, 795 – 798.
- HARZHAUSER, M. & MANDIC, O., 2008: Neogene lake systems of Central and South-Eastern Europe: Faunal diversity, gradients and interrelations. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 260, 417 – 434.
- HARZHAUSER, M. & PILLER, W. E., 2004: Integrated stratigraphy of the Sarmatian (Upper Middle Miocene) in the western Central Paratethys. *Stratigraphy*, 1, 1, 65 – 86.
- HARZHAUSER, M. & PILLER, W. E., 2009: Molluscs as a major part of subtropical shallow-water carbonate production: An example from a Middle Miocene oolite shoal (Upper Serravallian, Austria). *Int. Assoc. Sedimentol. Spec. Publ.*, 42, 185 – 200.
- HARZHAUSER, M. & TEMPFER, P. M., 2004: Late Pannonian Wetland Ecology of the Vienna Basin based on Molluscs and Lower Vertebrate Assemblages (Late Miocene, MN 9, Austria). *Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg*, 246, 55 – 68.
- HLADILOVÁ, Š. & FORDINÁL, K., 2019: Upper Badenian molluscs (Gastropoda, Bivalvia, Scaphopoda) from the Modra-Kráľová locality (Danube Basin, Slovakia). *Miner. Slov.*, 45, 1 – 2, 35 – 44.
- HLADILOVÁ, Š. & HLADÍKOVÁ, J., 1993: Paleoecology and isotopic analysis of Eggenburgian molluscs from the SW part of the Carpathian Foredeep in Moravia (Czech Republic). *Jb. Geol. B.-A.*, 136, 4, 757 – 768.
- HLADILOVÁ, Š., HLADÍKOVÁ, J. & KOVÁČ, M., 1998: Stable isotope record in Miocene fossils and sediments from Rohožník (Vienna Basin, Slovakia). *Slovak Geol. Mag.*, 4, 2, 87 – 94.
- HOLMDEN, C., CREASER, R. A. & MUEHLENBACHS, K., 1997: Paleosalinities in ancient brackish water systems determined by $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios in carbonate fossils: A case study from the Western Canada Sedimentary Basin. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 61, 10, 2 105 – 2 118.
- HOWARTH, R. J. & MCARTHUR, J. M., 1997: Statistics for Strontium Isotope Stratigraphy: A Robust LOWESS Fit to the Marine Sr-Isotope Curve for 0 to 206 Ma, with Look-up Table for Derivation of Numeric Age. *J. Geol.*, 106, 441 – 456.
- HÓK, J., KOVÁČ, M. & ŠUJAN, M. (eds.), 2003: Geologické hodnotenie územia EMO. *Manuskript. Archív EQUIS, s. r. o., Bratislava*.
- HUDÁČKOVÁ, N., HALÁSOVÁ, E., FORDINÁL, K., SABOL, M., JONIAK, P. & KRÁL, J., 2003: Biostratigraphy and radiometric dating in the Vienna Basin Neogene (Slovak part). *Slovak Geol. Mag.*, 9, 4, 233 – 235.
- HUDÁČKOVÁ, N. & SPEZZAFERI, S., 2002: Statistical approach to reconstruct paleoenvironments: An example from the Miocene of Devínska Nová Ves (Central Paratethys, Vienna Basin Slovak Part). *EMMM2002. The third International Congress Environmental Micropaleontology, Microbiology and Meioenvironmentology, Vienna*, 99 – 101.
- IVANIČKA, J., HÓK, J., POLÁK, M., HATÁR, J., VOZÁR, J., NAGY, A., FORDINÁL, K., PRISTAŠ, J., KONEČNÝ, V., ŠIMON, L., KOVÁČIK, M., VOZÁROVÁ, A., FEJDIOVÁ, O., MARCIN, D., LIŠČÁK, P., MACKO, A., LANC, J., ŠANTAVÝ, J. & SZALAIOVÁ, V., 1998: Vysvetlivky ku geologickej mape Trábeča 1 : 50 000. *GS SR, Bratislava*, 236 s.
- JIRIČEK, R., 1988: Stratigrafie, paleogeografie a mocnosť sedimentu neogénu vídeňské pánve. *Zem. Plyn, Nafta*, 33, 4, 583 – 622.
- JONIAK, P., 2002: Early Vallesian rodents from Borský Sv. Jur (Slovakia). In: *Michalik, J., Hudáčková, N., Chalupová, B. & Starek, D. (eds.), 2002: Paleogeographical, Paleoclimatological, Paleoclimatological Development of Central Europe. Abstract Book, 5-7th June 2002, Institute of Geology, Slovak Academy of Science, Bratislava*, 21 – 23.
- JONIAK, P., 2013: New finds of rodents from the Upper Miocene sediments of Danube Basin (Slovakia). Neogene to Quaternary Geological Evolution of Mediterranean, Paratethys and Black Sea. *14th RCMNS Congress, Istanbul.*, p. 248.
- KANTOROVÁ, V., 1985: Mikrobiostratigrafické zhodnotenie vzoriek z listu Lučenec/4 podľa foraminiferevej mikrofauny. In: *Vass, D., Elečko, M., Konečný, V., Pristaš, J., Škvarka, L., Šucha,*

- P. & Krippel, P. (eds.): *Vysvetlivky ku geologickej mape list 46-214 Lučenec/4. Manuskript. Archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava.*
- KEITH, M. L., ANDERSON, G. M. & EICHLER, R., 1964: Carbon and oxygen isotopic composition of mollusc shells from marine and fresh-water environments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 28, 1 757 – 1 786.
- KOHÚT, M., PLAŠIENKA, D., FORDINÁL, K., MAGLAY, J. & KUČERA, M., 2007: Vysvetlivky ku geologickej mape 1 : 25 000, listy 44-221 Stupava a 44-224 Bernolákovo. *Manuskript. Archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava.*
- KOVÁČ, M., 2000: Geodynamický, paleogeografický a štruktúrny vývoj karpatsko-panónskeho regiónu v miocéne: Nový pohľad na neogénne panvy Slovenska. *Veda, Bratislava*, 202 s.
- KOVÁČ, M., FORDINÁL, K., GRIGOROVICH, A. S., HALÁSOVÁ, E., HUDÁČKOVÁ, N., JONIÁK, P., PÍPIK, R., SABOL, M., KOVÁČOVÁ, M. & SLIVA, L., 2005: Západokarpatské fosilné ekosystémy a ich vzťah k paleoprostediu v kontexte neogénneho vývoja eurázijského kontinentu. *Geol. Práce, Spr.*, 111, 61 – 121.
- KOVÁČ, M., HÓK, J., MINÁR, J., VOJTKO, R., BIELIK, M., PÍPIK, R., RAKÚS, M., KRÁL, J., ŠUJAN, M. & KRÁLIKOVÁ, S., 2011: Neogene and Quaternary development of the Turiec Basin and landscape in its catchment: A tentative mass balance model. *Geol. Carpath.*, 62, 4, 361 – 379.
- KOVÁČ, M., MARKO, F. & BARÁTH, I., 1993: Štruktúrny a paleogeografický vývoj západného okraja centrálnych Západných Karpát v neogéne. In: *Rakús, M. & Vozár, J. (eds.): Geodynamický model a hlbinná stavba Západných Karpát. Konf., Symp., Sem. Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava*, 45 – 56.
- KOVÁČOVÁ, P. & HUDÁČKOVÁ, N., 2009: Late Badenian foraminifers from the Vienna Basin (Central Paratethys): Stable isotope study and paleoecological implications. *Geol. Carpath.*, 60, 1, 14 – 16.
- KOVÁČOVÁ, P., EMMANUEL, L., HUDÁČKOVÁ, N. & RENARD, M., 2009: Central Paratethys paleoenvironment during the Badenian (Middle Miocene): Evidence for foraminifera and stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$) study in the Vienna Basin (Slovakia). *Int. J. Earth Sci.*, 98, 1 109 – 1 127.
- KRÁL, J., ZIELIŃSKI, G. & FORDINÁL, K., 1995: Izotopový pomer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ v troch schránkach mäkkýšov z terciéru Západných Karpát. *Miner. Slov.*, 27, 5, 365 – 374.
- KROOPNICK, P., WEISS, R. F. & CRAIG, H., 1972: Total CO_2 , ^{13}C , and dissolved oxygen – ^{18}O at geosecs II in the North Atlantic. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 16, 103 – 110.
- KVAČEK, Z., KOVÁČ, M., KOVAR-EDER, J., DOLÁKOVÁ, N., JECHOREK, H., PARASHIV, V., KOVÁČOVÁ, M. & SLIVA, L., 2006: Miocene evolution of landscape and vegetation in the Central Paratethys. *Geol. Carpath.*, 57, 295 – 310.
- MAGLAY, J. (ed.), PRISTAŠ, J., NAGY, A., FORDINÁL, K., ELEČKO, M., HAVRILA, M., BUČEK, S., KOVÁČIK, M. (BA), HÓK, J., BARÁTH, I., KUBEŠ, P., KUCHARIČ, L., MALÍK, P., KLUKANOVÁ, A., LIŠČÁK, P., ONDRÁŠIK, M., ZUBEREC, J., BALÁŽ, P. & ŠEFČÍK, P., 2011: Vysvetlivky ku geologickej mape Podunajskej nížiny – Trnavskej pahorkatiny 1 : 50 000. *Št. Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava*, 322 s.
- MAGYAR, I., GEARY, D. H. & MÜLLER, P., 1999: Paleogeographic evolution of the Late Miocene Lake Pannon in Central Europe. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 147, 151 – 167.
- MAJOR, C. O., GOLDSTEIN, S. L., RYAN, W. B. F., LERICOLAIS, G., PIOTROWSKI, A. M. & HAJDAS, I., 2006: The co-evolution of Black Sea level and composition through the last deglaciation and its paleoclimatic significance. *Quat. Sci. Rev.*, 25, 2 031 – 2 047.
- MARSHALL, J. D., 1992: Climatic and oceanographic isotopic signals from the carbonate rock record and their preservation. *Geol. Mag.*, 2, 143 – 160.
- McARTHUR, J. M., 1994: Recent trends in strontium isotope stratigraphy. *Terra Nova*, 6, 331 – 358.
- McARTHUR, J. M., 1998: Strontium Isotope Stratigraphy. In: *Doyle, P. & Bennett, M. R. (eds.): Unlocking the Stratigraphical Record: Advances in Modern Stratigraphy. John Wiley & Sons Ltd.*, 221 – 241.
- McARTHUR, J. M., HOWARTH, R. J. & BAILEY, T. R., 2001: Strontium Isotope Stratigraphy: LOWESS Version 3: Best Fit to the Marine Sr-Isotope Curve for 0–509 Ma and Accompanying Look-up Table for Deriving Numerical Age. *J. Geology*, 109, 155 – 170.
- McCREA, J. M., 1950: On the isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale. *J. Chem. Phys.*, 18, 849 – 857.
- MÍŠÍK, M. & REHÁKOVÁ, D., 2009: Vápence Slovenska. I. časť, biohermné, krinoidové, sladkovodné, ooidové, onkoidové. *Veda, Vyd. Slov. Akad. Vied, Bratislava*, 186 s.
- MÜLLER, P., GEARY, D. H. & MAGYAR, I., 1999: The endemic molluscs of the Late Miocene Lake Pannon: Their origin, evolution, and family-level taxonomy. *Leithaia*, 32, 1, 47 – 60.
- NAGY, A., HALOUZKA, R., KONEČNÝ, V., LEXA, J., FORDINÁL, K., HAVRILA, M., VOZÁR, J., LIŠČÁK, P., STOLÁR, M., BENKOVÁ, K. & KUBEŠ, P., 1998: Vysvetlivky ku geologickej mape Podunajskej nížiny, východná časť 1 : 50 000. *GS SR, Bratislava*, 187 s.
- NELSON, C. S. & SMITH, A. M., 1996: Stable oxygen and carbon isotope compositional fields for skeletal and diagenetic components in New Zealand Cenozoic nontropical carbonate sediments and limestones: A synthesis and review. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 39, 93 – 107.
- ONDREJČKOVÁ, A., 1975: Makrofauna z vrhu DV-1. In: *Elečko, M., Pristaš, J., Mello, J., Pecho, J. & Škvarka, L. (eds.): Vysvetlivky ku základnej geologickej mape listy: M-34-125-D-a (Šafarikovo), M-34-125-D-b (Dlhá Ves). Manuskript. Archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava.*
- ONDREJČKOVÁ, A., 1978: Faciostratotypus: Chlába bei Štúrovo, Bohrung ŠO-1, Westslowakische Donautiefebene, Tschechoslowakei. In: *Chronostratigraphie und Neostratotypen M4 badenien. Veda, Bratislava*, 173 – 180.
- PALMER, M. R. & EDMOND, J. M., 1989: The strontium isotope budget of the modern ocean. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 92, 11 – 26.
- PALMER, M. R. & EDMOND, J. M., 1992: Controls over the strontium isotope composition of river water. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56, 2 099 – 2 111.
- PAPP, A. & STEININGER, F., 1974: Holostratotypus NEXING, N. Ö. Wiener Becken, Österreich. In: *Papp, A., Marinescu, F. & Senes, J. et al. (eds.): Chronostratigraphie und Neostratotypen, IV, Miozän M 5 Sarmatien. Veda, Bratislava*, 162 – 166.
- PARAMONOVA, N. P., 1994: Istorija sarmatskych a akčagylskich dvustvorčatych molljuskov. *Trudy Paleont. Inst. (Moskva)*, 260, 212.
- PETERMAN, Z. E., HEDGE, C. E. & TOURTELLOT, H. A., 1970: Isotopic composition of strontium in seawater throughout Phanerozoic time. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 34, 105 – 120.
- PILLER, W. E. & HARZHAUSER, M., 2005: The myth of the brackish Sarmatian Sea. *Terra Nova*, 17, 5, 450 – 456.
- PÍPIK, R., 1998: Salinity changes recorded by Ostracoda assemblages found in Pannonian sediments in the western margin of the Danube Basin. In: *Crasquin-Soleau, S., Braccini, E. & Lethiers, F. (eds.): What about ostracoda? 3rd European ostracodologists meeting Paris – Bierville (France), July 8-12 th 1996, Memoire 20, Pau*, 167 – 177.
- PÍPIK, R., BODERGAT, A. M., BRIOT, D., RENAUD, S., KRÁL, J. & KOVÁČ, M., 2012: Physic and biologic properties of the Late Miocene long-lived lake Turiec Basin (Slovakia) and reconstruction of its paleobiomes. *J. Paleolimnol.*, 47, 233 – 249.
- PÍPIK, R. & HOLEC, P., 1998: Panónske lastúrníčky (Crustacea, Ostracoda) a stavovce (Chordata, Vertebrata) z hliniska tehelne v Borskom Svätom Jure. *Miner. Slov.*, 30, 3, 185 – 194.
- PÍPIK, R., KOVÁČ, M., LEXA, J., MIKUŠ, T. & STAŇOVÁ, S., 2011: Stop 2: Dubná skala – limnic terminal deposits. In: *Pípič, R., Stašek, D. & Staňová, S. (eds.): The 4th International Workshop on the Neogene from the Central and South-Eastern Europe. Abstracts and Guide of Excursion. Matej Bel University, Banská Bystrica*, 55 – 56.
- PISERA, A., 1996: Miocene reefs of the Paratethys: A review. *SEMP Concepts in Sedimentology and Paleontology*, 5, 97 – 104.
- POLÁK, M., PLAŠIENKA, D., KOHÚT, M., PUTIŠ, M., BEZÁK, V., MAGLAY, J., OLŠAVSKÝ, M., FILO, I., HAVRILA, M., BUČEK, S., ELEČKO, M., FORDINÁL, K., NAGY, A., HRAŠKO, L., NÉMETH, Z., MALÍK, P., LIŠČÁK, P., MADARÁS, J., SLAVKAY, M., KUBEŠ, P., KUCHARIČ, L., BOOROVÁ, D., ZLINSKÁ, A., SIRÁŇOVÁ, Z. & ŽECOVÁ, K., 2012:

- Vysvetlivky ku geologickej mape regiónu Malé Karpaty 1 : 50 000. *ŠGÚDŠ, Bratislava*, 287 s.
- PRISTAŠ, J. (ed.), ELEČKO, M., MAGLAY, J., FORDINÁL, K., ŠIMON, L., GROSS, P., POLÁK, M., HAVRILA, M., IVANIČKA, J., HATÁR, J., VOZÁR, J., TKÁČOVÁ, H., TKÁČ, J., LIŠČÁK, P., JÁNOVÁ, V., ŠVASTA, J., REMŠIK, A., ŽÁKOVÁ, E. & TÖRÖKOVÁ, I., 2000: Vysvetlivky ku geologickej mape Podunajskej nížiny – Nitrianskej pahorkatiny 1 : 50 000. *ŠGÚDŠ, Bratislava*, 250 s.
- RAKÚS, M., 1958: Paleontologický výskum neogénu okolia Martina. *Manuskript. Archív PrIF UK, Praha*.
- RAKÚS, M. & HÓK, J., 2002: Geológia Turčianskej kotliny. In: *Janočko, J. & Elečko, M. (eds.): Tektogenéza terciérnych panví Západných Karpát. Manuskript. Archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava*.
- RAPANT, S., VRANA, K. & BODIŠ, D., 1996: Geochemický atlas Slovenska. I. Podzemné vody. *GS SR, Bratislava*, 127 s.
- REINHARDT, E. G., STANLEY, D. J. & PATTERSON, R. T., 1998: Strontium isotopic-paleontological method as a high-resolution paleosalinity tool for lagoonal environments. *Geology*, 26, 11, 1 003 – 1 006.
- RÖGL, F., 1998: Paleogeographic consideration for Mediterranean and Paratethys seaways (Oligocene to Miocene). *Ann. Naturhist. Mus. (Wien)*, 99 A, 279 – 310.
- SABOL, M., JONIAK, P. & HOLEC, P., 2004: Succession (-s) of mammalian assemblages during the Neogene: A case study from the Slovak part of the Western Carpathians. *Scripta Fac. Sci. Nat. Univ. Masaryk. Brun., geology, Brno*, 31 – 32, 65 – 84.
- SALAJ, J. & ZLINSKÁ, A., 1991: Spodnomiocénne sedimenty slienitej fácie od Považskej Teplej. *Miner. Slov.*, 23, 2, 173 – 178.
- SENEŠ, J., 1958: Pectunculus-Sande und Egerer Faunentypus im Tertiär bei Kováčov im Karpatenbecken. *Geol. Práce, Monogr. ser.*, 1, 7 – 232.
- SENEŠ, J., 1963: Zpráva o analýze makrofauny z vrtu PB-1 pri Svrepčí. In: *Gabčo, R., Senoš, J., Lehotařová, R. H. & Planderová, E., 1963: Zpráva o geologickom mapovaní neogénu na liste mapy 1 : 50 000 Považská Bystrica v roku 1962. Manuskript. Archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava*.
- SCHLÖGL, J., CHIRAT, R., BALTER, V., JOACHIMSKI, M., HUDÁČKOVÁ, N. & QUILLÉVÉRÉ, F., 2011: Aturia from the Miocene Paratethys: An exceptional window on nautilid habitat and lifestyle. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 308, 330 – 338.
- SCHMITZ, B., ABERG, G., WERDELIN, L., FOREY, P. & BENDIX-ALMGREEN, S. E., 1991: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, Na, F, Sr and La in skeletal fish debris as a measure of paleosalinity of fossil-fish habitats. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 103, 786 – 794.
- SCHMITZ, B., INGRAM, S. L., DOCKERY III, D. T. & ABERG, G., 1997: Testing $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ as a paleosalinity indicator on mixed marine, brackish-water and terrestrial vertebrate skeletal apatite in late Paleocene-early Eocene near-coastal sediments, Mississippi. *Chem. Geology*, 140, 275 – 287.
- SPENCER, J. E. & PATCHETT, P. J., 1997: Sr isotope evidence for a lacustrine origin for the upper Miocene to Pliocene Bouse Formation, lower Colorado River trough, and implications for timing of Colorado Plateau uplift. *GSA Bulletin*, 96, 6, 767 – 778.
- SPERO, H. J., 1991: Opening the carbon isotope "vital effect" black box, 2, Quantitative model for interpreting foraminiferal carbon isotope data. *Paleoceanography*, 6, 6, 639 – 655.
- ŠUTOVSKÁ, K. & KANTOR, J., 1992: Oxygen and carbon isotopic analysis of Karpatian foraminifera from LKŠ-1 borehole. (Southern Slovakian Basin). *Miner. Slov.*, 24, 3 – 4, 209 – 218.
- ŠVAGROVSKÝ, J., 1981a: Lithofazielle Entwicklung und Molluskenfauna des oberen Badenians (Miozän, M4d) in dem Gebiet Bratislava – Devínska Nová Ves. *Západ. Karpaty, Sér. Paleont.*, 7, 5 – 203.
- ŠVAGROVSKÝ, J., 1981b: Bivalvia des Oberen Badenians (Miozän) von Borský Mikuláš (NO-Teil des Wiener Beckens) und ihr Lebensmilieu. *Geol. Zbor. Geol. carpath.*, 32, 4, 387 – 426.
- ŠVAGROVSKÝ, J., 1982a: Gastropoda, Prosobranchia, Teil I. Archaeogastropoda und Mesogastropoda des oberen Badenians von Borský Mikuláš (NO-Teil des Wiener Beckens) und ihre stratigraphische Bedeutung. *Geol. Zbor. Geol. carpath.*, 33, 1, 3 – 50.
- ŠVAGROVSKÝ, J., 1982b: Gastropoda, Prosobranchia, Teil II. Neogastropoda des oberen Badenians von Borský Mikuláš (NO-Teil des Wiener Beckens) und ihre stratigraphische Bedeutung. *Geol. Zbor. Geol. carpath.*, 33, 4, 383 – 435.
- ŠVAGROVSKÝ, J., 1984: Gastropoda, Euthyneura, Opistobranchia des oberen Badenians aus der Umgebung von Borský Mikuláš (NO-Teil des Wiener Beckens) und ihre stratigraphische Bedeutung. *Geol. Zbor. Geol. carpath.*, 35, 2, 165 – 194.
- TÖRÖKOVÁ, I. & FORDINÁL, K., 1999: Fresh-water limestones of the Hlavina Bed in the Rišňov Furrow and Bánovce Depression. *Slovak Geol. Mag.*, 5, 3, 213 – 226.
- VASILIEV, I., REICHART, G. J., DAVIES, G. R., KRIJGSMAN, W. & STOICA, M., 2010: Strontium isotope ratios of the Eastern Paratethys during Mio-Pliocene transition; Implication for interbasinal connectivity. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 292, 123 – 131.
- VASS, D., 2002: Litostratigrafia Západných Karpát: neogén a budínsky paleogén. *Št. Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava*, 202 s.
- VASS, D. & ELEČKO, M. et al., 1989: Geológia Rimavskej kotliny. *GÚDŠ, Bratislava*, 162 s.
- VASS, D. & ELEČKO, M. (eds.), 1992: Vysvetlivky ku geologickej mape Lučenskej kotliny a Cerovej vrchoviny 1 : 50 000. *GÚDŠ, Bratislava*, 196 s.
- VASS, D., FRANKO, O., GAZDA, S., HUSÁK, L., KANTOROVÁ, V., KLINEC, A., MARKOVÁ, M. & ONDREJČIKOVÁ, A., 1976: Geologické výsledky vrtov MV-2, MV-1, VV-1, VV-5 (Ipeľská kotlina). *Region. Geol. Západ. Karpát*, 6, 7 – 96.
- VASS, D., KRÁL, J., FORDINÁL, K. & ELEČKO, M., 2003: Hodnotenie výsledkov stronciovej izotopovej stratigrafie juhoslovenského kenozoika. *Miner. Slov.*, 32, 2, 117 – 124.
- VEIZER, J., 1989: Strontium isotopes in seawater through time. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 17, 141 – 167.
- VEIZER, J. & COMPSTON, W., 1974: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ composition of seawater during the Phanerozoic. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 38, 1 461 – 1 484.
- VEIZER, J., ALA, D., AZMY, K., BRUCKSCHEN, P., BUHL, D., BRUHN, F., CARDEN, G. A. F., DIENER, A., EBNETH, S., GODDERIS, Y., JASPER, T., KORTE, Ch., PAWELLEK, F., PODLAHA, O. G. & STRAUSS, H., 1999: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ evolution of Phanerozoic seawater. *Chem. Geology*, 161, 59 – 88.
- WADLEIGH, M. A., VEIZER, J. & BROOKS, Ch., 1985: Strontium and its isotopes in Canadian rivers: Fluxes and global implications. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 49, 1 727 – 1 736.
- WOODRUFF, F. & SAVIN, S. M., 1991: Mid-Miocene isotope stratigraphy in the deep sea: High-resolution correlations, paleoclimatic cycles, and sediment preservation. *Paleoceanography*, 6, 6, 755 – 806.
- ZLINSKÁ, A., 2007: Zhodnotenie mikrofauny z listu 44-221 (Stupava). In: *Kohút, M., Plašienka, D., Fordinál, K., Maglay, J. & Kučera, M. (eds.): Vysvetlivky ku geologickej mape 1 : 25 000, listy 44-221 Stupava a 44-224 Bernolákovo. Manuskript. Archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava*.
- ZLINSKÁ, A., FORDINÁL, K. & LABAJOVÁ, E., 2007: Fauna bádenských sedimentov východného okraja Malých Karpát. In: *Zlinská, A. (ed.): 8. paleontologická konferencia. Konf., Symp., Sem. Št. Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava*, 114 – 116.
- ZLINSKÁ, A., ZORN, I. & ŽAGORŠEK, K., 2013: Foraminifery, ostrakódy a machovky z okolia Devínskej Novej Vsi a Záhorskej Bystrice (slovenská časť Viedenskej panvy). *Miner. Slov.*, 45, 4, 185 – 200.

Príloha 1/Attachement 1
 Zoznam študovaných lokalít a ich geografická pozícia
 List of studied localities and their geographic position

Lokality	Súradnice		Vzorky
	zemepisná šírka	zemepisná dĺžka	
Viedenská panva			
Borský Mikuláš	48° 36' 22.64"	17° 11' 59.66"	č. 15
Devínska Nová Ves-Sandberg	48° 12' 01.14"	16° 58' 30.00"	č. 10 – 13
Devínska Nová Ves-výmoľ	48° 14' 30.18"	16° 58' 07.08"	č. 14
Stupava-Vrchná hora	48° 15' 39.65"	17° 02' 51.92"	č. 2 – 5
Stupava-Rakytovec	48° 17' 53.95"	17° 03' 42.83"	č. 1
Holíč	48° 47' 55.44"	17° 10' 25.59"	č. 32
Skalica	48° 51' 09.53"	17° 13' 25.26"	č. 33, 34
Dunajská panva a Považie			
Kováčov	47° 49' 25.06"	18° 46' 51.46"	č. 30
Sverepec-Somarica	49° 05' 26.31"	18° 23' 56.28"	č. 26
Lipovany	48° 13' 32.77"	18° 23' 56.28"	č. 23
Chĺaba, vrt ŠO-1	47° 49' 44.36"	18° 51' 00.81"	č. 21
Modra-Kráľová	48° 21' 07.69"	17° 19' 28.58"	č. 6 – 9
Trstín	48° 31' 54.66"	17° 28' 31.85"	č. 19
Malý Pesek	48° 05' 10.40"	18° 44' 33.30"	č. 37
Dubová	48° 12' 52.15"	17° 21' 12.50"	č. 31
Mochovce, vrt JVM-5	48° 16' 28.84"	18° 27' 27.12"	č. 72
Pezinok	48° 16' 38.46"	17° 16' 46.32"	č. 75 – 77
Borský Jur	48° 36' 24.39"	17° 03' 01.58"	č. 78
Orešany, vrt PID-1	48° 30' 26.65"	17° 53' 40.20"	č. 73, 74
Bošany	48° 35' 01.19"	18° 15' 50.50"	č. 69
Čeladince	48° 30' 19.72"	18° 11' 05.61"	č. 64
Klížské Hradište	48° 34' 22.43"	18° 21' 22.07"	č. 67, 68
Malé Kršteňany	48° 38' 09.52"	18° 24' 10.15"	č. 65
Malé Kršteňany-lom	48° 38' 22.19"	18° 26' 03.33"	č. 66
Krásno	48° 35' 48.60"	18° 18' 46.66"	č. 63
Sádok	48° 33' 22.30"	18° 15' 34.57"	č. 70, 71
Juhoslovenská panva			
Dolné Plachtince, vrt MV-1	48° 11' 12.94"	19° 18' 31.31"	č. 27
Dlhá Ves, vrt DV-1	48° 28' 47.37"	20° 23' 25.45"	č. 28, 29
Turčianska kotlina			
Dubná skala	49° 07' 56.2"	18° 53' 26.2"	č. 38, 40
Lúcky mlyn	48° 54' 01.0"	18° 44' 20.0"	č. 55 – 58
Martin – staré hlinisko	49° 03' 22.5"	18° 53' 15.0"	č. 51 – 54
Martin – nové hlinisko	49° 04' 10.0"	18° 60' 50.0"	č. 41 – 50
Slovenské Pravno	48° 54' 10.0"	18° 45' 05.0"	č. 59 – 62

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ in mollusc fossil shells from marine, brackish and freshwater environments from the Western Carpathians Tertiary sequences

Tertiary sediments of the Western Carpathians are represented by different shallow-water up to the deep-water lithofacies. Shallow-water marginal facies are characterized by little diversified associations of organisms in which individual taxa have broad stratigraphic extension, which prevents precise stratigraphic classification of these sediments. Another adverse factor complicating biostratigraphy of Neogene sediments is the fact that in the development of sedimentary basins of the Western Carpathians there occurred the insolation – in some time periods in a loss of connection to the open sea – the shift to freshwater environment and consequently the origin of endemic communities of organisms.

The main objective of this work was to describe differences in the isotopic composition of fossil shells from marine, brackish and freshwater environments during an episode of transition of Central Paratethys seawater and its change to the Pannonian lake.

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic ratio in Neogene mollusc shells (64 samples), and 14 freshwater limestones along with the carbon and oxygen isotopic data ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, 65 measurements) from marine (Kiscelian – Badenian), marine – brackish (Sarmatian) and freshwater environments (Sarmatian?/Pannonian – Pontian) of central Paratethys, later changed to Pannonian lake, were analysed. Samples come from the Vienna Basin and Danube Basin and closed intermontane Turčianska kotlina Basin.

Methods: Samples for isotopic analysis of Sr, C and O were chemically prepared according to standard methodologies used in ŠGÚDŠ laboratories. Isotopic composition of carbon and oxygen in the form of CO_2 was measured applying a modernized mass spectrometer Finnigan MAT 250 (ŠGÚDŠ, Bratislava). $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_2}$ were corrected for fractionation of oxygen between CaCO_3 and H_3PO_4 using the fractionation factor $\alpha = 1.01025$ (Friedman and O'Neil, 1977). The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic ratios were measured on VG-54E mass spectrometer at the Institute of Geological Sciences, Polish Academy of Sciences, Warszawa, Poland, in dynamic multicollector mode along with NIST 987 (12 runs). The average value was 0.710267 ± 22 (2SD). All raw samples data were adjusted to the accepted value $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710248$. Long-term stability of the analytical system was checked by repeated chemical preparation and runs of the internal standard (sample No. 34, Tab. 1b) along with NIST 987 measured in each set. Adjusted data to the NIST 987 (12 runs) had an average value of 0.708590 ± 8 (2SD).

Results:

a) Marine shells (stratigraphic range Kiscelian – Badenian, Tab. 1a, No. 1–30): Variability of $\delta^{13}\text{C}$ values lies between -3.34 and $+1.42$, $\delta^{18}\text{O}$ from -3.36 to $+2.42$ (Tab. 1a, Fig. 2). $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic ratios in the 20 samples of the fossil marine mollusc shells, converted to SIS

numerical scale (Look Up Table; Howarth and McArthur, 1997), are in agreement with their defined stratigraphic position. However, in 10 samples converted ages do not match with their stratigraphic position (for example Mikulov, No. 16–18 in Tab. 1a), which documents problems with preservation of their original isotopic signal (Cochran et al., 2010). The discrepancy of the accepted stratigraphic ages with converted SIS age in these marine samples and feature of the change indicates loss of the original isotopic composition most probably by samples recrystallization during diagenesis.

b) Marine-brackish shells (Sarmatian, Tab. 1b, No. 31–37): the transition of marine water to brackish environment from the Upper Sarmatian in the study area is generally manifested by large differences in the values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ (Figs. 2 and 3a, b). The strontium isotopic composition varies significantly, but characteristic feature is the decreasing of the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios in comparison to contemporary seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio. The Upper Sarmatian sea water had isotopic ratio of about 0.70884, marine-brackish sea samples from this period have already $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotope ratio lowered up to 0.70859. But the isotopic ratio of the sample No. 37 is still compatible with seawater and its converted “age” is 12.42 Ma (Fig. 7).

c) Fresh water shells (Tab. 1c): The sample analysed from the Danube Basin and Vienna Basin (stratigraphic range Pannonian B – Pannonian H) and from the Turčianska kotlina Basin (Sarmatian?/Pannonian – Pontian) show the different paleo-environmental conditions which are indicated by $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ data (Fig. 4). While majority of $\delta^{18}\text{O}$ values from both areas vary in the near range of negative values (-8 to -6 , and -6 to -3.5 respectively), $\delta^{13}\text{C}$ values of samples are clearly different (-9 to 0 and 0 to $+5.3$ respectively). $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic signal is also very different. The sedimentary record in the Turčianska kotlina Basin proves that it was closed freshwater lake isolated probably from the Sarmatian (Rakús and Hók, 2002; Kováč et al., 2011; Pipík et al., 2012), with majority of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ data between 0.7082–0.7083 (Fig. 5a), which means that the isotopic composition thus represents a unique record of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ average composition in fossil freshwater from the Sarmatian to Pontian. Isotopic composition of samples from Vienna and Danube basins is significantly heterogeneous (Fig. 5b). But one sample defined as Pannonian B is comparable with Sarmatian?/Pannonian samples from the Turčianska kotlina Basin (Fig. 7). In addition, the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ values of the freshwater shells from Pannonian E zone are very close to the contemporary Pannonian seawater, too (Figs. 5b and 6b). Thus, the local connection of the part of the Danube (Vienna) basin with marine environments can not be excluded. Fig. 7 presents the variability of the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio in samples from different areas and different stratigraphic positions.

Fig. 8 shows the results of a simple mixing model for marine (M) and fresh water (S) during Upper Sarmatian. The results of the model indicate that a decisive influence on the resulting isotope ratios in marine-brackish waters is not only the difference in strontium isotopic composition of these sources, but also the ratio

of Sr concentrations in freshwater (S) and seawater (M). Based on the modeled data there may be supposed that main source of the continental, freshwater strontium could be derived from the Mesozoic limestones, although other sources with a small volume contribution can not be excluded.