

s teodoxom termálnym (*Theodoxus prevostianus*) a bytinelou termálnou (*Bythinella pareyssii*).

Príčiny ohrozenia a sozologický status

V súčasnosti obidva druhy vymizli z väčšiny slovenských riek v dôsledku znečistenia priemyslovými odpadmi a pravdepodobne aj splachmi z poľí, čo sa týka aj iných pontokaspických druhov a platí pre všetky naše väčšie prítoky Dunaja. Pre územie Slovenska navrhujeme lokálny status IUCN (2003) "VU" (vulnerable).

PodĎakovanie

Príspevok bol finančne podporený projektom 2/0037/11

Literatúra

- ČEJKA, T. 2010. Mollusca, pp. 50-61. In: MIŠÍKOVÁ-ELEXOVÁ, E., HAVIAR, M., LEŠŤÁKOVÁ, M., ŠČERBÁKOVÁ, S. (eds) Zoznam zistených taxónov na monitorovaných lokalitách vodných útvarov povrchových vôd Slovenska. Časť 1. Bentické bezstavovce. Acta Envir. Univ. Comeniana (Bratislava), Univ. Komenského, Bratislava 18(1).
- GLÖER, P. & GROH, K. 2007. A contribution to the biology and ecology of the threatened species *Anisus vorticulus* (Troschel, 1834) (Gastropoda: Pulmonata: Planorbidae). Mollusca 25: 33-40.
- IUCN. 2003. Guidelines for Application of IUCN Red List Criteria at Regional Levels: Version 3.1. IUCN Species Survival Commission. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- LOŽEK V. 1956. Klíč československých měkkýšů. Vyd. Slov. akad. vied, Bratislava, 436 pp.
- LOŽEK, V. 1980. Z červené knihy našich měkkýšů – piskořka (Fagotia). Živa 28(2): 61.

Litorálna bentická makrofauna niektorých tatranských plies v období zotavovania z acidifikačného stresu

Renáta GELIENOVÁ

Fakulta prírodných vied, Univerzita Mateja Bela, Tajovského 40, Banská Bystrica, 974 01
e-mail: renata.gelienova@gmail.com

Úvod

Bentické bezstavovce používajú už dlhšiu dobu ako organizmy „prvého varovania“ na identifikáciu možných vplyvov antropogénnej acidifikácie na sladkovodné ekosystémy (Raddum & Fjellheim 1984). Na základe schopnosti jednotlivých druhov makrozoobentosu tolerovať rozdielne acidifikačné podmienky boli vytvorené modely aplikovateľné pre monitoring acidifikácie a biologickej obnovy vodných ekosystémov (Raddum & Fjellheim 1995; Larsen et al. 1996; Raddum et al. 2001). Preto v období, keď sa tatranské plesá zotavujú z acidifikačného stresu, slúžia bentické bezstavovce ako vhodná modelová skupina, štúdiom ktorej je možné zachytiť začiatok a rýchlosť biologickej obnovy jazerných ekosystémov.

K redukcii emisií síry a dusíka začiatkom 90-tych rokov došlo v stredoeurópskom priestore nielen vďaka podpísaniu medzinárodných dohovorov, ale prispeli k tomu aj sociálno-ekonomické zmeny, najmä pokles spotreby energie, poľnohospodárskej produkcie a zmena palivovej základne. Tieto zmeny spôsobili v Tatrách pokles depozície S o viac ako 50 % a foriem N o približne 30 % počas 90-tych rokov (Kopáček et al. 2001). Zmeny chemizmu vody v horách Európy a intenzita týchto zmien sa líši nielen medzi jazerami rôznych pohorí, ale aj v rámci jazier tej istej oblasti (Kopáček et al. 2004). Obnova acidifikovaných plies v Tatrách patrí svojim rozsahom k najväčším medzi európskymi horskými ekosystémami (Evans et al. 2001; Wright et al. 2005). Jej priebeh je však pomerne pomalý, čo je spôsobené chemickými procesmi prebiehajúcimi tak v rámci jazera, ako aj v systéme jazero – povodie.

Prezentované výsledky boli súčasťou diplomovej práce (Geliénová 2010), ktorá bola spracovaná v rámci projektu VEGA 1/4334/07 „Planktonické a bentické spoločenstvá v období zmien antropickej záťaže na ekosystémy tatranských jazier (2007–2009) a jej cieľom bolo i) zistiť zloženie bentických spoločenstiev vybraných tatranských plies z dát získaných v rokoch 2004 a 2007 a ii) na základe dostupných údajov o zmenách chemizmu vody v tomto období interpretovať zmeny v štruktúre bentickej makrofauny a zistiť stav biologickej obnovy v minulosti acidifikovaných plies.

Metódy

V septembri 2004 a v septembri 2007 boli odobrané vzorky bentickej makrofauny z 13 plies v Západných a Vysokých Tatrách: Nižné Kozie, Malé Batizovské, Malé Žabie, Nižné Žabie, Bielovodské, Vyšné Sesterské, Nižné Walenbergovo, Vyšné Žabie pleso, Vyšné Satanie pliesko, Vyšné Jamnícke, Nižné Jamnícke, Horné Roháčske, Tretie Roháčske a Dolné Roháčske pleso.

Detaily k metódam odberu a laboratórnemu spracovaniu vzoriek pozri Krno et al. (2006). Nepublikované údaje o chemizme vody sledovaných plies z rokov 2004 a 2007 boli poskytnuté s láskavým dovolením prof. Ing. Jiřího Kopáčka, PhD. (Hydrobiologický ústav AVČR České Budějovice). Spôsob odberu a analýzy chemických ukazovateľov použitých v tejto práci (pH, SO₄, NO₃, Na, K, Ca, Mg a ANC – kyselinová neutralizačná kapacita) sú uvedené v prácach Kopáček et al. (1995) a Stuchlík et al. (2006).

Zmeny v chemizme študovaných jazier boli analyzované s využitím permutačného prístupu k mnohorozmernej analýze variancie (perMANOVA; Anderson 2001). Podobnosť, resp. nepodobnosť jednotlivých vzoriek bola vyjadrená pomocou Gowerovho koeficientu (Gower 1971). Hodnoty pravdepodobnosti boli vypočítané na základe 9999 permutácií pôvodných údajov.

Biologické dáta boli zosumarizované v matici pozostávajúcej z 28 taxónov a 26 vzoriek reprezentujúcich 13 plies a 2 odberové obdobia. Z matice boli vylúčené zriedkavé druhy ($n < 5$ jedincov). Pre vyhodnotenie časových rozdielov medzi spoločenstvami bola použitá perMANOVA, pričom boli analyzované kvantitatívne aj kvalitatívne charakteristiky spoločenstva. Okrem štruktúry spoločenstva bola hodnotená aj diverzita reprezentovaná taxónovým

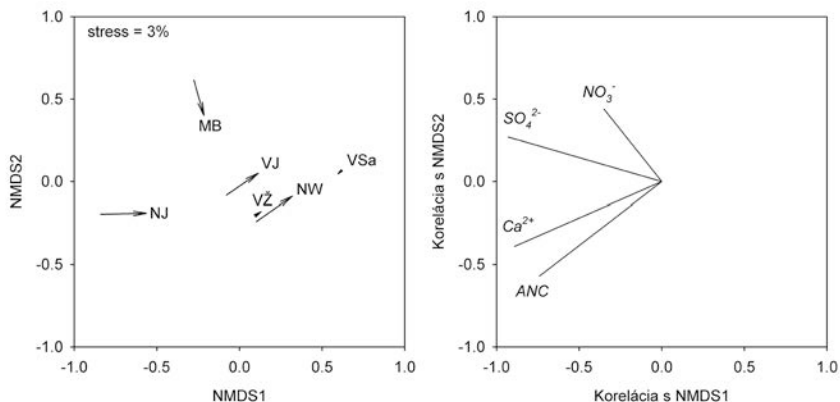
bohatstvom. Aj v tomto prípade neboli zriedkavé taxóny ($n < 5$) v analýze zohľadnené. Pre detailnejšie pochopenie časových zmien v chemizme jazier, ako aj rozdielov v taxonomickom zložení medzi odberovými obdobiami, bol použitý Wilcoxonov párový test (StatSoft Inc. 2001). Pri všetkých analýzach boli za štatisticky preukazné považované výsledky na hladine významnosti $\alpha = 5\%$.

Výsledky mnohorozmernej analýzy boli zobrazené pomocou nemetrickeho mnohorozmerného škálovania (NMDS, Kruskal 1964). Pri hľadaní konfigurácie s najmenším stresom (t.j. hodnotami $< 10\%$) bol proces reštartovaný 1000 krát a výsledná konfigurácia bola otočená tak, aby prvá os reprezentovala najväčšiu časť variability. Zobrazené boli len tie taxóny, ktorých indikátorová váha pre isté odberové obdobie bola vyššia ako 75% (Dufřrène & Legendre 1997).

Výsledky a diskusia

Chemizmus študovaných plies sa počas obdobia rokov 2004 až 2007 preukazne zmenil (pseudo- $F = 10,1$; $p = 0,002$). Spoločným trendom však bolo možné vysvetliť len $4,7\%$ variability v chemickom zložení vody. Detailná analýza jednotlivých premenných ukázala, že štatisticky preukazná zmena nastala v prípade koncentrácie síranov, dusičnanov, vápnika a ANC. Od roku 2004 do roku 2007 hodnoty koncentrácií u všetkých ukazovateľov poklesli, okrem koncentrácie draslíka, ktorý ostal na tej istej úrovni. Uvedené zmeny sú zreteľne viditeľné na ordinačnom grafe (Obr. 1).

Na základe pufráčnej kapacity (pH, alkalinita, koncentrácia Al) (Fott et al. 1992) patrili v rokoch 1984 a 1993-1994 Nižné Žabie Bielovodské, Nižné Kozie,



Obr. 1. Ordinačný graf NMDS zobrazujúci zmeny celkového chemizmu študovaných jazier v čase (graf vľavo). Začiatok šípky zobrazuje chemizmus jazera v roku 2004 a koniec šípky zobrazuje chemizmus jazera v roku 2007. Vektory premenných zobrazujú korelačné koeficienty nameraných hodnôt so skóre vzoriek na ordinačných osiach (graf vpravo). Zobrazené sú len tie premenné, ktoré prekonal štatisticky preukazné zmeny medzi rokmi 2004 a 2007.

Horné, Tretie a Dolné Roháčske, Nižné a Vyšné Jamnícke a Vyšné Žabie pleso do kategórie neacidifikovaných plies. Do kategórie acidifikovaných patrilo Nižné Wahlenbergovo pleso a medzi silne acidifikované patrili Vyšné Sesterské, Vyšné Satanie a Malé Batizovské pleso (Stuchlík et al. 2006). V roku 2004 patrilo už Nižné Wahlenbergovo pleso do kategórie plies neacidifikovaných, Vyšné Sesterské, Vyšné Satanie a Malé Batizovské pleso mali v tom čase ešte stále vyčerpanú pufráčnú kapacitu (Kopáček et al. 2006), aj keď hodnota pH týchto plies bola už nad 5,0.

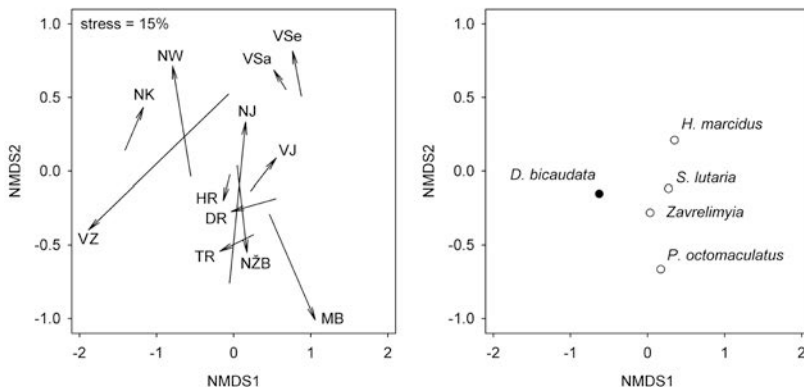
V porovnaní s rokom 2004, poklesol v roku 2007 obsah síranov a dusičnanov vo vode, čo je v súlade s dlhodobými trendmi v tejto oblasti (Kopáček et al. 2006). Znížil sa však aj obsah Ca a ANC (kyselinovej neutralizačnej kapacity), teda aj pufráčná kapacita jazernej vody. Táto situácia sa už v roku 2009 nezapokalovala (Kopáček, nepubl. údaje). Jav môže súvisieť so zložitými interakciami jazier s ich povodiami a naznačuje, že dlhodoboklesajúce koncentrácie síranových a dusičnanových iónov spojených s nárastom alkalinity a pH môžu byť krátkodobo prerušované, čo by mohlo mať vplyv na biologickú obnovu.

Pri hodnotení zmien v štruktúre spoločenstva neboli zaznamenané žiadne výrazné kvalitatívne posuny (perMANOVA založená na Sørensenovom indexe: pseudo- $F = 1,8$; $p = 0,094$). V kvantitatívnej analýze (perMANOVA založená na Bray-Curtisovej vzdialenosti) však boli zistené štatisticky preukazné výsledky (pseudo- $F = 2,2$; $p = 0,022$). Tento spoločný trend bol však pomerne nevýrazný o čom svedčí fakt, že faktorom času bolo možné vysvetliť len 5,6 % variability v kvantitatívnej štruktúre spoločenstiev. Zmeny v čase sú viditeľné ako presun centroidov v ordinačnom priestore (Obr. 2). Taxóny, ktoré sa pravidelne vyskytovali v plesách v roku 2004, ale znížili svoju početnosť, resp. absentovali v roku 2007, boli *Sialis lutaria* (Megaloptera), *Heterotrissocladius marcidus*, *Zavrelimyia* spp. a *Psectrocladius octomaculatus* (Diptera: Chironomidae). Indikátorovým druhom pre rok 2007 sa ukázal byť *Diura bicaudata* (Plecoptera). Štatisticky preukazné časové zmeny v druhovom bohatstve však zaznamenané neboli ($T = 27$; $p = 0,563$).

Štruktúra litorálnej bentickej makrofauny všetkých troch Roháčskych plies zostala pomerne stabilná a charakter zmien bol viac-menej rovnaký, čo sa v ordinačnom priestore prejavuje ako pomerne malý posun rovnakým smerom.

Zmeny v štruktúre makrozoobentosu Jamníckych plies boli rozdielne napriek ich relatívnej topografickej blízkosti. Kým fauna Vyšného Jamníckeho plesa zostala stabilnejšia, v Nižnom Jamníckom boli zmeny rozsiahlejšie. Taxonomickým zložením si však boli obe plesá v roku 2007 navzájom podobnejšie, ako v roku 2004 a rozdiely medzi nimi a podobne situovanými subalpínskymi Roháčskymi plesami sa zvýšili, čo môže byť výsledkom prítomnosti populácie hlaváča pásoplutvého (*Cottus poecilopus*).

Pozícia Nižného Žabieho Bielovodského plesa v ordinačnom priestore aj napriek posunu zostáva v blízkosti ostatných subalpínskych plies (Roháčske a Jamnícke). Bentická fauna Nižného Kozieho a Nižného Wahlenbergovho plesa zostala relatívne stabilná a v roku 2007 si bola navzájom viac podobná než v roku 2004.



Obr. 2. Ordinačný graf NMDS založený na Bray-Curtisovej vzdialenosti zobrazujúci zmeny v kvantitatívnej štruktúre spoločenstiev (graf vľavo). Začiatok šípky zobrazuje štruktúru spoločenstva v roku 2004 a koniec šípky zobrazuje štruktúru spoločenstva v roku 2007. Graf vpravo zobrazuje centroidy indikátorových druhov pre rok 2004 (biele krúžky) a 2007 (čierny krúžok).

Vysvetlivky: VZ – Vyšné Žabie pleso, MB – Malé Batizovské pleso, NŽB – Nižné Žabie Bielovodské pleso, HR – Horné Roháčske pleso, TR – Tretie Roháčske pleso, DR – Dolné Roháčske pleso, NJ – Nižné Jamnícke pleso, VJ – Vyšné Jamnícke pleso, NK – Nižné Kozie pleso, NW – Nižné Wahlenbergovo pleso, VSA – Vyšné Satanie plesko a VSe – Vyšné Sesterské pleso.

Obe dlhodobo acidifikované plesá, Vyšné Satanie a Vyšné Sesterské, vykazovali pomerne stabilnú štruktúru bentickej makrofauny, čo svedčí o tom, že biologická obnova týchto plies sa ešte vôbec nezačala. Iarošová (2010) poukázala na to, že od roku 2000 majú silne acidifikované plesá osobitnú faunu pakomárov, čo ich pomerne zreteľne odlišuje od ostatných plies.

Najväčšie časové zmeny v štruktúre bentickej fauny sú viditeľné vo Vyšnom Žabom a Malom Batizovskom plese. Pre obe plesá je viditeľný výrazný posun v ordinačnom priestore a v opačnom smere, ako u ostatných plies. Fauna oboch plies je veľmi chudobná. Vo Vyšnom Žabom plese bolo zistené v oboch rokoch celkom odlišné taxonomické zloženie. Napriek tomu, že Malé Batizovské pleso po chemickej stránke nesie doteraz všetky známky acidifikovaného plesa, jeho litorálna fauna je odlišná od ostatných acidifikovaných plies a svedčí o neacidifikovaných podmienkach. Nie sú však k dispozícii staršie údaje, aby sa dala konštatovať obnova pôvodných spoločenstiev.

Literatúra

- ANDERSON, M.J. 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Aust. Ecol.* 26: 32-46.
- DUFRÉNE, M. & LEGENDRE, P. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67: 345-366.

- EVANS, C.D., CULLEN, J.M., ALEWELL, C., MARCHETTO, A., MOLDAN, F., KOPÁČEK, J., PRECHTEL, A., ROGORA, M., VESELÝ, J. & WRIGHT, R.F. 2001. Recovery from acidification in European surface waters. *Hydrol. Earth System Sci.* 5: 283-297.
- FOTT, J., STUHLÍK, E. & STUHLÍKOVÁ, Z. 1987. Acidification of lakes in Czechoslovakia. In: MOLDAN, B. & PAČES, T. (eds), *Extended abstracts of the International workshop on geochemistry and monitoring in representative basins*. Geological Survey, Prague: 77-79.
- FOTT, J., STUHLÍK, E., STUHLÍKOVÁ, Z., STRAŠKRABOVÁ, V., KOPÁČEK, J. & ŠIMEK, K. 1992. Acidification of lakes in Tatra Mountains (Czechoslovakia) and its ecological consequences. In: MOSELLO, R., WATHNE, B.M. & GIUSSANI, G. (eds), *Limnology on groups of remote lakes: ongoing and planned activities*. Documenta Ist. ital. Idrobiol. 32: 69-81.
- GELIENOVÁ, R. 2010. Litorálna bentická makrofauna tatranských plies v období zotavovania z acidifikačného stresu. Diplomová práca, Katedra biológie a ekológie FPV UMB, Banská Bystrica, 59 pp.
- GOWER, J.C. 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics* 27: 857-874.
- IAROŠOVÁ, K. 2010. Aktuálna klasifikácia vysokotatranských jazier na základe zoskupení pakomárov (Diptera, Chironomidae). Diplomová práca, Katedra biológie a ekológie FPV UMB, Banská Bystrica, 50 pp.
- KOPÁČEK, J., PROCHÁZKOVÁ, L., STUHLÍK, E. & BLAŽKA, P. 1995. The nitrogen phosphorus relationship in mountain lakes: Influence of atmospheric input, watershed, and pH. *Limnol. Oceanogr.* 40: 930-937.
- KOPÁČEK, J., VESELÝ, J. & STUHLÍK, E. 2001. Sulphur and Nitrogen Fluxes and Budgets in the Bohemian Forest and Tatra Mountains during the Industrial Revolution (1850-2000). *Hydrol. Earth System Sci.* 5: 391-405.
- KOPÁČEK, J., HARDEKOPF, D., MAJER, V., PŠENÁKOVÁ, P., STUHLÍK, E. & VESELÝ, J. 2004. Response of alpine lakes and soils to changes in acid deposition: the MAGIC model applied to the Tatra Mountain region, Slovakia-Poland. *J. Limnol.* 63: 143-156.
- KOPÁČEK, J., STUHLÍK, E. & HARDEKOPF, D. 2006. Chemical composition of the Tatra Mountain lakes: Recovery from acidification. *Biologia, Bratislava* 61/Suppl. 18: 21-33.
- KRNO, I., ŠPORKA, F., GALAS, J., HAMERLÍK, L., ZAŤOVIČOVÁ, Z. & BITUŠÍK, P. 2006. Littoral benthic macroinvertebrates of mountain lakes in the Tatra Mountains (Slovakia, Poland). *Biologia, Bratislava* 61/Suppl. 18: 147-166.
- KRUSKAL, J.B. 1964. Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis. *Psychometrika* 29: 1-27.
- LARSEN, J., BIRKS, H.J.B., RADDUM, G.G. & FJELLHEIM, A. 1996. Quantitative relationships of invertebrates to pH in Norwegian river systems. *Hydrobiologia* 328: 57-74.
- RADDUM, G.G. & FJELLHEIM, A. 1984. Acidification and early warning organisms in freshwater in western Norway. *Verh. Int. Verein. Limnol.* 22: 1973-1980.
- RADDUM, G.G. & FJELLHEIM, A. 1995. Acidification in Norway – Status and trends, biological monitoring – Improvements in the invertebrate fauna. *Water, Air, and Soil Pollut.* 85: 647-652.
- RADDUM, G.G., FJELLHEIM, A. & SKJELKVÅLE, B.L. 2001. Improvements in water quality and aquatic ecosystems due to reduction in sulphur deposition in Norway. *Water, Air, and Soil Pollut.* 130: 87-98.
- STATSOFT INC. 2001. STATISTICA (data analysis software system), version 6.
- STUHLÍK, E., KOPÁČEK, J., FOTT, J. & HOŘICKÁ, Z. 2006. Chemical composition of the Tatra Mountain lakes: Response to acidification. *Biologia, Bratislava*, 61/Suppl. 18: S11-S20.
- WRIGHT, R.F., LARSEN, T., CAMARERO, L., COSBY, B.J., FERRIER, R.C., HELLIWELL, R., FORSIUS, M., JENKINS, A., KOPÁČEK, J., MAJER, V., MOLDAN, F., POSCH, M., ROGORA, M. & SCHÖPP, W. 2005. Recovery of acidified European surface waters. *Environ. Sci. Technol.* 39: 64A-72A.