**Bark beetle infestations affect water quality in the Rocky Mountains of North America**

**Napadnutie podkôrnym hmyzom vplýva na kvalitu vody v Rocky Mountains v Severnej Amerike**

By Kristin Mikkelson, Colorado School of Mines, USA, Dr. Eric Dickenson, Southern Nevada Water Authority, USA, and Professors Reed Maxwell, John McCray and Jonathan Sharp, Colorado School of Mines, USA

Figure 1. A forest that had been infested with bark beetles. This particular forest on the west side of Rocky Mountain National park in is in the ‘grey’ stage and was initially infested approximately 5+ years ago. The trees are no longer transpiring, have dropped their needles and are beginning to lose their root stability.

Obrázok 1. Les, ktorý je zničený podkôrnym hmyzom. Tento konkrétny les na západnej strane Rocky Mountain National Park je v "šedej" fáze a bol napadnutý pred cca 5+ rokmi. Tieto stromy už viac netranspirujú, znížilo sa množstvo ich ihličia a začínajú strácať svoju ​​koreňovú stabilitu.

Forest dieback related to climate-change associated stresses such as drought, heat, and insect outbreaks has emerged as a global concern and has been documented on all wooded continents and across diverse forest types.1,2 With warming temperatures, outbreaks are predicted to shift towards higher latitudes and higher elevations,3 impacting previously unscathed forests. In addition, as tree mortality within infested forests increases, the deforested zone shifts from a carbon sink to a carbon source, which may further contribute to climate change.4

Odumieranie lesov v súvislosti so zmenou klímy zdôrazňujúcej sucho, teplo a hmyzie ohniská predstavuje globálne znepokojenie. Odumieranie lesov bolo dokumentované vo všetkých zalesnených kontinentoch, a to naprieč rôznorodosti lesných typov 1,2 Predpokladá sa, že so zvyšovaním teploty sa ohniská presúvajú k vyšších zemepisných šírkam a vyšším nadmorským výškam,3 s dopadom predtým bez úhony na lesy. Okrem toho, ako sa úmrtnosť stromov v postihnutých lesov zvyšuje, odlesnená zóna môže ďalej prispieť k zmenám klímy – v zmysle ukladanie uhlíka do zdrojov uhlíka (zvyšovanie množstva uhlíka v pôvodných uhlíkových zdrojoch).4

A poignant example is the mountain pine beetle (Dendroctonus ponderosae; MPB) infestation in the Rocky Mountain west of North America. This native beetle’s range encompasses most of western North America; however, the current infestation has reached epidemic proportions throughout the Rocky Mountains with over 4 million acres of mortality in Colorado and Wyoming alone in the past decade (Figure 2).5,6 While the visual impact of dying forests is stunning, less visible hydrological and biogeochemical changes are taking place in impacted watersheds.

Dojemným príkladom je chrobák horskej borovice (Dendroctonus ponderosae, MPB) napadnuté porasty v Rocky Mountain na západe Severnej Ameriky. Tento rod chrobáka obsadil väčšinu západnej časti Severnej Ameriky, súčasné napadnutie dosiahlo epidemických rozmerov celej oblasti „Skalistých hôr“ s viac ako 4 milióny akrov úmrtnosti v Colorade a Wyomingu v poslednom desaťročí (obr. 2) .5,6 Kým vizuálny dopad umierajúcich lesov je ohromujúci, v ovplyvňovaných povodiach sa odohrávajú menej viditeľné hydrologické a biochemické zmeny.

When beetles infect healthy trees they transport with them a blue-staining fungus that helps to restrict nutrient and water transport into the tree. This eventually can cause tree mortality that results in large canopy changes (see Figure 1) altering multiple components of the water and energy cycles, including interception of precipitation and radiation, canopy wind speed, snow accumulation and melt and evapotranspiration.7 Along with alterations in the water and energy budgets, bark beetle infestations have the potential to alter forest biogeochemistry, solute transport and hence water quality. One major water quality issue for local water treatment plants receiving their source waters from beetle-infested watersheds is changes in organic carbon loading.

Keď chrobáky nakazia zdravé stromy, menia ich na modrajúce špongie, spôsobujú obmedzenie živín a transport vody do stromu. To nakoniec môže spôsobiť stromu úmrtnosť, ktorá vedie do veľkých zmien (pozri obr. 1) meniacich vodné a energetické cykly, vrátane zadržania zrážok a žiarenia, zmien rýchlosť vetra, akumulácie snehu, topenia snehu a evapotranspirácie.7 Spolu so zmenami vo vodných a energetických cykloch, napadnutia lykožrútom majú potenciál zmeniť lesnú biochémiu, transport rozpustených látok a tým aj kvalitu vody. Jedným z hlavných problémov je vplyv na kvalitu vody pre ohrozené rastliny rastúce v zamokrených povodiach, ktoré sú pod vplyvom zaťaženia organickým uhlíkom.

Total organic carbon (TOC) is ubiquitous in surface and groundwaters and originates from both natural and man-made sources. Typically, spring runoff in mountainous watersheds mobilizes dissolved organic matter into surface waters8 creating a more pronounced seasonal release. Bark beetle infestations have the ability to influence TOC release and loading as decreases in canopy cover can increase runoff rates, alter hydrologic flow paths through more carbon rich soil layers and excess needle loss onto the forest floor can lead to increased decay and soil organic matter leaching.

Celkový organický uhlík (TOC) je všadeprítomný v povrchových a podzemných vodách a pochádza z prírodných i umelých zdrojov. Typicky jarný odtok v horských povodiach mobilizuje rozpustené organické látky do povrchových vôd a vytvára výraznejšie sezónne uvoľnenie. Napadnutia lykožrútom majú schopnosť ovplyvňovať uvoľňovanie TOC a zaťažovať porastové koruny, môžu tiež zvýšiť odtokové množstvo organických látok, meniť cyklus látok na chodníkoch cez zvýšené ukladanie uhlíka do vrstiev pôdy, ochudobňovať ihličie na lesnej pôde („lesnom poschodí“), čo môže viesť k zvýšenému úbytku a  vylúhovaniu organických látok.

Figure 2. A map showing the level of infestation in the past decade (up until 2011) along with location of the different water treatment facilities (Mikkelson et al., 2012)

Obrázok 2. Mapa zobrazujúca úroveň zamorenia v poslednom desaťročí (až do 2011) spolu s umiestnením rôznych zariadení na úpravu vody (Mikkelson et al., 2012)

These changes in TOC concentrations and properties can be problematic for water treatment facilities as chlorination of TOC-rich waters can lead to potentially carcinogenic disinfection byproducts (DBPs).9 Humic like substances typically found in dissolved organic matter, have been shown to be common DBP precursors when combined with chlorine disinfection. DBPs are heavily regulated by the United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA).

Tieto zmeny v TOC koncentrácii a vlastnosti môžu byť problematické pre zariadenia na úpravu vody, ako chlórovanie na TOC bohaté vody môže viesť k tvorbe potenciálnych karcinogénnych vedľajších produktov dezinfekcie (DBPs) 0,9 humínovými látkami, ktoré sa zvyčajne vyskytujú v rozpustenej organickej hmote. DBPs sú silne regulované United States Environmental Protection Agency (US EPA).

Our study, based on water quality data sets from water treatment plants throughout the Colorado region, reveals on average about 300% more TOC and DBPS at water treatment facilities located in MPB-infested watersheds.10 We also saw an increasing trend in one particular class of DBPs since the initial onset of the bark beetle epidemic around 2004. This significant increase in DBP concentration was accompanied by only a modest increase in TOC concentrations. Our results revealed that at water treatment plants receiving their source waters from MPB-infested watersheds, trihalomethanes (THM) have significantly increased while haleoacetic acids (HAA) have not. THMs form from chlorination of the hydrophobic fraction of natural organic matter, while HAAs form from the chlorination of the hydrophilic fraction. Thus, our results indicate that while we are only seeing a slight increase in TOC levels due to the bark beetle epidemic, it appears that the composition of the TOC is changing and becoming more hydrophobic in nature.

Naša štúdia, na základe údajov o kvalite vôd od vodární v celom regióne Colorado, odhalila v priemere o 300% viac TOC (trvalý organický uhlík) a DBPS v zariadeniach na úpravu vôd nachádzajúcich sa v MPB-zamorenej zóne.10 Videli sme tiež rastúci trend v jednej konkrétnej triede z DBPs od počiatočného nástupu epidémie lykožrúta okolo 2004. Tento významný nárast koncentrácie DBP bol sprevádzaný len miernym nárastom koncentrácie TOC. Naše výsledky odhalili, že u čistiarní odpadových vôd dostávajúcich svoje zdrojové vody z MPB-zamorených povodí, množstvo trihalometánov (THM) sa významne zvýšilo, zatiaľ čo haleoacetické kyseliny (HAA) nemajú. THM sa tvorí z chlorácie hydrofóbnej frakcie prírodnej organickej hmoty, zatiaľ čo HAA forma z chlórovania hydrofilnej frakcie. Naše výsledky ukazujú, že zatiaľ, čo my sme len svedkami mierne zvýšenie TOC kvôli epidémii lykožrúta, zdá sa, že zloženie TOC sa mení a stáva sa čoraz viac hydrofóbne v prírode.

Along with the bark beetle epidemic changing the composition of TOC, our results demonstrate that the seasonal coupling of high-flow rates, high TOC concentrations and high DBP concentrations has been altered. In beetle-impacted catchments we found the highest THM concentrations during the low flow months of July through September. What is interesting about this finding is that the increase in THM levels was not accompanied by an increase in TOC levels. The water treatment plants were still seeing the highest TOC levels in spring and early summer, as is typical in snow-dominated watersheds. However, the TOC reaching the treatment plants in the late summer and early fall seemed to be more reactive with the chlorine, despite its lower concentrations.

Lykožrútovou epidémiou meniace sa zloženie TOC (celkový organický uhlík) - naše výsledky ukazujú, že sezónne vysoké prietoky s vysokou koncentráciou TOC a s vysokou DBP koncentráciou sa stále menia. V chrobákom ovplyvňovaných povodiach sme zistili, že najvyššie koncentrácie THM boli zaznamenané v priebehu nízkych prietokov v mesiacoch júl až september. Na tomto zistení je zaujímavé, že vzostup hladiny THM nebol sprevádzaný zvýšením hladiny TOC. V čistiarňach odpadových vôd sú zaznamenávané najvyššie hladiny TOC úrovne na jar a začiatkom leta, ako je typické pre snehom ovládané povodia. Avšak, zaznamenávanie TOC čistiarňami odpadových vôd v neskorom lete a rannej jeseni ukázalo, že vtedy je viac reaktívny s chlórom, aj napriek jeho nižším koncentráciám.

While the scientific significance of water quality impacts resulting from a climate-induced phenomenon is not fully understood, the practical and local implications of this study are of immediate concern. Individual water treatment plants have experienced quarterly THM concentrations that are more than 30 ug/l above the EPA’s regulatory limits. From an economic perspective, it is essential to determine if the change in TOC loading and composition is going to occur seasonally and for what duration in order for water treatment facilities to better prepare and possibly modify water treatment processes. It is unknown whether or not these trends are only going to occur in the mountainous watersheds of Colorado, or if other bark beetle infested watersheds throughout the world could experience similar changes in water quality.

Zatiaľ čo vedci poukazujú na vplyvy na kvalitu vody, dôsledok vyvolaného javu na klímu nie je úplne známy. Praktické a miestne dôsledky tejto štúdie vyvolávajú obavy. Jednotlivé odpadové vody sú zaťažené štvrťročne THM koncentráciami, ktoré sú o 30 ug / l vyššie ako je povolené množstvo regulačných obmedzení EPA. Z ekonomického hľadiska je potrebné určiť, ako prebieha zmena zaťaženia TOC sezónne a ako by sa mali zariadenia na úpravu vody lepšie pripraviť a prípadne upraviť procesy úpravy vôd. Nevie sa, či sa tieto trendy budú vyskytovať iba v hornatých povodiach Colorada, alebo aj na iných lykožrútom napadnutých povodiach na celom svete, mohlo by však dôjsť na podobné zmeny v kvalite vody.

References:

1. Williams, D. W. & Liebhold, A. M. Climate change and the outbreak ranges of two North American bark beetles. Agricultural and Forest Entomology 4, 87-99 (2002).
2. Allen, C. D. et al. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. Forest Ecology and Management 259, 660-684 (2010).
3. Dale, V. H. et al. Climate change and forest disturbances. BioScience 51, 723-734 (2001).
4. Kurz, W. A. et al. Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. Nature 452, 987-990 (2008).
5. Raffa, K. F. et al. Cross-scale drivers of natural disturbances prone to anthropogenic amplification: the dynamics of bark beetle eruptions. BioScience 58, 501-517 (2008).
6. Amman, G. D., McGregor, M. D. & Dolph, R. E. Mountain pine beetle. (USDA Forest Service, Pacific Northwest Region, Forest Insects and Diseases, 1997).
7. Mikkelson, K. M. et al. Mountain pine beetle infestation impacts: modeling water and energy budgets at the hill-slope scale. Ecohydrology, DOI: 10.1002/eco.1278 (2011).
8. Boyer, E. W., Hornberger, G. M., Bencala, K. E. & McKnight, D. M. Response characteristics of DOC flushing in an alpine catchment. Hydrological Processes 11, 1635-1647 (1997).
9. Nikolaou, A. D. & Lekkas, T. D. The Role of Natural Organic Matter during Formation of Chlorination By products: A Review. Acta Hydroch. Hydrob. 29, 63-77 (2001).
10. Mikkelson, K. M., Dickerson, E. R., McCray, J. E., Maxwell, R. M. & Sharp, J. O. Water quality impacts from climate-induced forest die-off. Nature Climate Change doi:10.1038/nclimate1724 (2012).