



JAN POKORNÝ,
PETRA HESSLEROVÁ

Odlesňování a klima

Klimatické změny v Mau Forest v západní Keni

Rychlý populační růst v Africe vede k zásadním změnám krajiny – odlesnění, odvodnění mokřadů a jejich přeměně na zemědělskou půdu, devastaci savan nadměrnou pastvou. Změny probíhají několikanásobně rychleji, nežli tomu bylo ve středověku při kolonizaci lesů Evropy. Odehrávají se v rozmezí desítek let a jejich následky rozezná i jediná lidská generace. Zemědělské produkty extrémně levné pracovní síly se prosazují v globální ekonomice. Tlak na přírodní zdroje se stupňuje. Chybí účinné zákony na ochranu lesů, vody a krajiny. K dispozici je moderní technika i kapitál a hlavně domorodé paže s mačetou a motykou.

Východoafrická Keňa nebyla ani v minulosti nikdy souvisle zalesněna. V nížinách na severu i ve východní polovině země převládají

polopouště a suché travnaté či keřovité savany. Pouze hornatá část na západě Keni má klimatické podmínky vhodné pro zapojené vysokokmenný porost. V druhově bohatých lesích původně žily jen kmeny lovců a sběračů, ale postupně je osídlili také zemědělci. Odlesňování vyvrcholilo ve druhé polovině dvacátého století. Dnes, na začátku století jednadvacátého, zaujímají původní tropické lesy méně než 2 % rozlohy Keni i Etiopie. Ze souvislého pásu horských deštných lesů zůstalo v Keni pouhých pět fragmentů na území Mt. Keňa, Aberdare, Mt. Elgon, Cherangani Hills a nejrozsáhlejší zlomová oblast Mau Forest. Afričané je výstižně nazývají „vodárny“, neboť jsou zdrojovými oblastmi velkých keňských řek.

Lesní komplexy, podobně jako velká jezera, poskytují obživu, takže v jejich okolí dosahuje populační hustota až 1000 obyvatel na km².

Doc., RNDr. Jan Pokorný, CSc., (*1946) vystudoval biologii a chemii na přírodovědecké fakultě UK. Zabýval se fotosyntézou a ekofyziologií vodních rostlin a revitalizací mokřadů v Botanickém ústavu ČSAV. Ředitel ENKI, o. p. s., zaměřuje se na úlohu rostlin v distribuci sluneční energie a utváření mezoklimatu. Přednáší na PřF UK, ČZU v Praze, University Applied Sciences Turku.

RNDr. Petra Hesslerová, Ph.D., (*1979) vystudovala fyzickou geografii a geoekologii na Přírodovědecké fakultě UK. Ve společnosti ENKI, o. p. s., se zabývá krajinnou ekologií a dálkovým průzkumem Země. Částečně působí jako pedagog na České zemědělské univerzitě v Praze.

← Na protější straně: Jeden z pilířů keňské ekonomiky – jezero a národní park Nakuru, Ramsarská lokalita, známá jako druhé největší hnízdiště plameňáků na světě. Žije tu plameňák malý (*Phoenicopiterus minor*) a plameňák růžový (*Phoenicopiterus ruber roseus*). Následkem dlouhotrvajícího sucha jezero vysychá, ohrožena je i okolní fauna.

Lidé zde chovají kozy, skot, drůbež, pěstují zeleninu, pálí dřevo a ilegálně je těží pro výrobu dřevěného uhlí i pro přímý prodej – les řídne a mizí z něj velké stromy. Drasticky ovšem působí nadnárodní společnosti, které přeměňují velké plochy lesa na plantáže. Teprve r. 2003 keňská vláda poprvé přiznala, že bude muset čelit vážným environmentálním problémům, vyplývajícím z nerozvážného lesního hospodaření – pokud se ovšem dá v případě nekontrolované těžby a velkoplošného odlesnění vůbec hovořit o hospodaření.

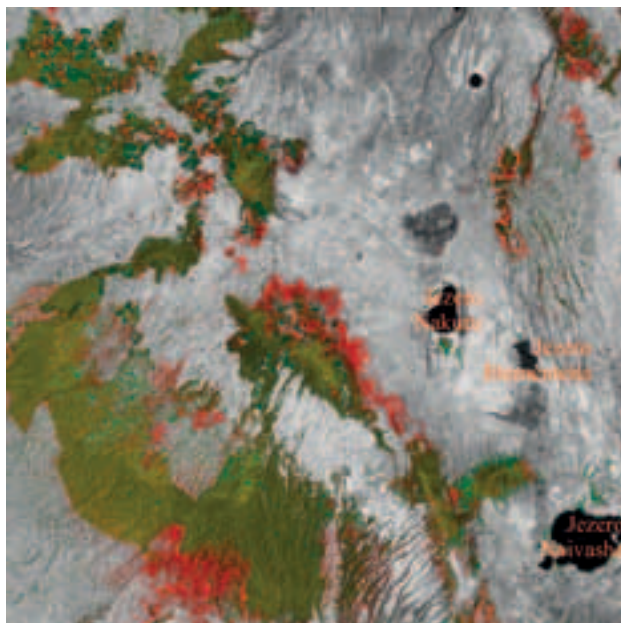
Místní obyvatelé začínají pociťovat následky odlesnění na vlastní kůži a začínají se ozývat. Například v Ugandě zatím neuspěla společnost *Sugar Corporation of Uganda Limited*, jež hodlala vykácet zhruba čtvrtinu z 300 km² původního lesa Mabiru a přeměnit ji na plantáže cukrové třtiny. Tento les mezi městy Kampala a Jinja místní lidé hájí argumentem, že jeho vykácení by je připravilo o vodu. V roce 2007 stály protesty 4 lidské životy. Nepomáhají ani sliby ugandské vlády, že plantáže poskytnou 3500 nových pracovních míst a do státní pokladny přinesou 6 milionů dolarů.

Satelitní snímky družice Landsat zachycují zemský povrch v různých částech spektra. Systematicky se pořizují již od začátku osmdesátých let. Umožňují dlouhodobé kvalitativní i kvantitativní sledování změn krajinného pokryvu, mimo jiné také zhodnocení teploty krajiny. Pro znázornění postupu odlesnění a souvisejících změn rozložení teplot jsme zpracovali tři satelitní snímky oblasti Mau Forest z 28. ledna 1986, 27. ledna 2000 a 21. prosince 2009. Každý snímek zachycuje plochu 124×125 km. (Podrobněji viz Hesslerovou a Pokorného, 2010.)

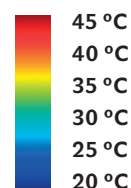
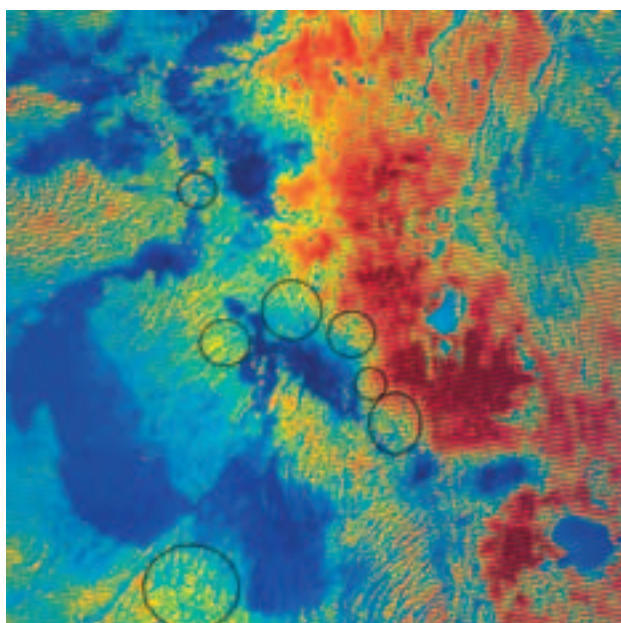
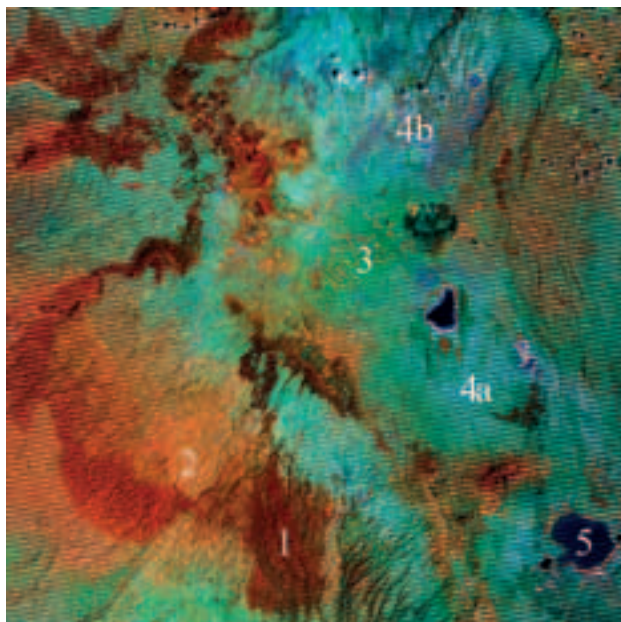
Nahoře: Červenou barvou jsou plochy, na nichž byl v tomto období vykácen les, zelenohnědé jsou plochy zalesněné v obou termínech a několik malých tmavozelených ploch dokládá nové zalesnění v roce 2000 oproti r. 1986. Černá barva znázorňuje vodní plochy.

Uprostřed: Stav lesních porostů v prosinci 2009 lze dobře detekovat i na syntéze spektrálních kanálů družice Landsat ETM+. Snímek je znázorněn v nepravých barvách, protože krom červené viditelné části spektra obsahuje především blízkou i střední infračervenou oblast: 1 – hustý, vlhký les; 2 – vykácený les přeměněný na pole se zbytky lesa, popřípadě plantáže; 3 – suchá nelesní vegetace; 4a,b – povrch bez vegetace; 5 – vodní plochy. Porovnáme-li snímek se situací na předchozím obrázku, je patrný úbytek lesa především v oblasti Maasai a Eastern Mau. Za povšimnutí stojí i vymizení jezera Elmenteita r. 2009 a zmenšení vodních ploch obou velkých jezer Nakuru i Naivasha.

Dole: Družice Landsat poskytuje i údaje o teplotách povrchu díky spektrálnímu kanálu TM6, který snímá dlouhovlnné vyzařování zemského povrchu. Teplotní snímek zachycuje situaci v prosinci 2009. Zakroužkované lokality vymezují některá místa, na nichž po vykácení lesa vzrostla povrchová teplota, mnohdy více než o 15 °C. Na plochách bez vegetace se teploty pohybují okolo 40 °C. Chladicí efekt lesa je tedy na družicových snímcích dobře prokazatelný.



- přírůstek lesa mezi lety 1986–2000
- úbytek lesa mezi lety 1986–2000
- les v letech 1986–2000





Mau Forest

Mau Forest začíná asi 150 km severozápadně od Nairobi. Pokrývá západní svahy zlomu Mau Escarpment v nadmořských výškách 1200–2600 m. Zaujímá rozlohu 4000 km² a tvoří jej šest hlavních celků. Nacházejí se na úrodných vulkanických půdách s dostatkem srážek (1000–2000 mm ročně). Mau Forest je zdrojovou oblastí mnoha řek. Odhaduje se, že na hydrologickém systému oblasti Mau Forest přímo závisí více než 10 miliónů lidí. Rozlohou poměrně malý, avšak hojně navštěvovaný národní park kolem jezera Nakuru je hlavním zdrojem valut pro keňskou ekonomiku. Celá oblast (především její východní část) se postupně odlesňuje, osidluje a zemědělsky využívá. Hustota populace roste k hodnotám 500 obyvatel na km².

Zbývající původní les si zachoval výškovou zónaci. Okolo 2300 m n. m. převažuje afroalpínský les složený z jehličnanů (*Juniperus procera*, *Widdringtonia cupressoides*, *Podocarpus latifolius*), na níže položených svazích rostou vysokokmenné afromontánní lesy s *Aningeria adolfi-friederici* a *Strombosia schefleri*, které místy střídají bambusoviny, různé křoviny a travnaté porosty. Odlesněné plochy obhospodařují zemědělci nebo zarůstají pionýrskými dřevinami, jako jsou *Tabernaemontana stapfiana* (známá podle plodů velikosti kopacího míče), hřebíčkovec *Syzygium guineense* (zdroj koření), prýsčovitá *Neoboutonia macrocalyx* (zdroj léčivých terpenoidů), olivovník *Olea capensis* (s velmi tvrdým dřevem), slivoň *Prunus africana* („africký švestka“ s kůrou využívanou při léčení prostaty), citlivkovitá *Albizia gummifera* a jehličnan *Podocarpus latifolius* (užitečný svým dřevem).

Osídlení Mau Forest

Na území Keňské republiky žije 42 etnických skupin. Vlastnictví půdy v určité oblasti není podle keňské ústavy vázáno na příslušnost k určitému kmeni. Příslušník jakéhokoli etnika se může usadit v kterémkoli regionu. Praxe je ovšem jiná – většina venkovských oblastí je etnicky homogenní a rozlišují se starousedlíci a přistěhovalci. Míšení etnik zesílilo s populačním růstem v druhé polovině dvacátého století. Politici přidělo-

Nahoře: Na místě původního lesa se mezi pařezy pěstuje kukuřice, v lepším případě plantážový les. Půda však úrodnost rychle ztrácí a za několik málo let i zde bude vyprahlá a vyčerpaná krajina.

Uprostřed: K elektrické energii má v Keni přístup pouhých 10 % obyvatel. Většina je závislá na dřevu a dřevěném uhlí, na kterém se vaří i přes den, kdy by sluneční svit (1000 W/m²) mohl pohánět levné solární vařiče, které by ušetřily dřevo a umožnily obnovu lesa. V Keni je více než 200 000 producentů dřevěného uhlí a dalších půl milionu zaměstnává jeho distribuce. Roční produkce se odhaduje na 1,6 milionu tun, z čehož plynou příjmy 400 milionů USD, tedy jako z čajového průmyslu.

Dole: Zde byl před 15 roky les. Lidé přicházejí za prací a zakládají nová sídla, jejichž centrem je často továrna na zpracování dřeva.

vali půdu „spolehlivým jednotlivcům“, příslušníkům svého kmene.

Na území Mau Forest ve Velké příkopové propadlině žili původně lovci, sběrači a nomádi kmenů Ogiek, Massai a Kalenjin. Přistěhovali se zejména Kikuyové, jejichž příslušníci zvítězili ve volbách. Lidé různých kmenů dokážou žít v dobrých sousedských vztazích, před volbami se ovšem napětí stupňuje. K násilnostem hraničícím s občanskou válkou došlo na přelomu let 2007–2008. V oblasti Velké příkopové propadliny bylo zabito na 1500 lidí a z domovů byly vyhnány tisíce rodin. Zásadním problémem poslední doby je nezaměstnanost mladých lidí. Dospívá generace sirotků bez domova. Ti vytvářejí gangy, které si lze najmout a zneužít pro jakoukoli činnost.

Následky odlesnění

V posledních letech výrazně poklesl průtok vody v řekách tekoucích z odlesněných částí Mau Forest. Lidé jsou nuceni čerpat víc vody ze studní, čímž se zrychluje pokles hladiny podzemní vody. Městské úpravní vody a vodárny zápolí s nedostatkem surové vody. V posledních letech nápadně ubývá vody ve světoznámých jezerech Nakuru (rozloha 5–45 km²), Naivasha (130 km²) a Elementeita (18 km²), neboť jí řekami přitéká méně. Nejmenší jezero Elementeita vyschlo již r. 2008. Bílá barva sody vysrážené na dně zářila do dálky a nedala se přehlédnout.

Následky odlesnění získaly vážný mezinárodní rozměr. Hydroelektrárna o kapacitě 60 MW dostavěná r. 2007 na řece Sondu-Miriu kvůli nedostatku vody nevyrábí elektřinu. Japonský investor žaloval keňskou vládu, že mu poskytla nepravdivé informace o průtoku řeky a zastavil práce na téměř dokončené druhé hydroelektrárně. Keňský premiér Odinga v červenci 2008 oznámil, že v Mau Forest bylo za posledních 10 let ilegálně přeměněno 1000 km² lesa v zemědělskou půdu. Potvrdil rovněž záměr vlády oplotit stávající les, vystěhovat asi 200 000 lidí a na vysídlených plochách les obnovit, aby se do krajiny vrátila voda. První násilné vysídlování více než 100 000 osob proběhlo již v letech 2004–2006.

Dnes se dá těžko rozlišit, kdo osídlil oblast legálně a kdo ilegálně, protože instituce, které přidělovaly a prodávaly půdu, jí prodaly více, než povolila vláda – noví osídlenci kupovali půdu v dobré víře. Navštívili jsme místa, kde lidé sklízeli úrodu a po několika týdnech měli být vystěhováni. Policie tak činí v noci. Během několika hodin nemilosrdně odstěhuje obyvatele a jejich obydlí i zbylou úrodu zapálí, aby znemožnila lidem návrat. Násilí spojené s vystěhováním a úlohu politiků dokumentuje Amnesty International a podrobně se jím zabývá zpráva vrchního soudce Keňské republiky (Waki Report) z podzimu 2008.

Keňská vláda dala oplotit též další hydrologicky významný lesní komplex Aberdare. Elektrický plot o délce 400 km má ochránit les před ilegální těžbou a zajistit dostatek vody v dolním povodí.



Úvaha o funkci lesa

Odlesnění tisíce km² krajiny Mau Forest v posledních deseti letech a přeměna na zemědělskou půdu má za následek pokles srážek, úbytek vody v řekách a její kritický nedostatek v dolním povodí na plochách mnohonásobně větších, než jsou ty odlesněné.

Současná věda nevysvětluje úlohu lesa v hydrologii povodí jednoznačně. Spíše převládají názory, že les vodu odebírá. Hydrologie i rostlinná fyziologie pracují s pojmem „ztráta vody evapotranspirací“. Z lesních porostů odtéká méně srážkové vody řekami nežli z porostů travních nebo z odvodněných polí. Ale zkušenosti z Afriky a východní Austrálie ukazují, že rozsáhlé odlesnění a odvodnění vede k poklesu srážek.

Úlohu lesních komplexů ve vodním cyklu (mechanismus, jak les „přitahuje vodu“) vysvětlují nově Makarieva a Gorškov. Tito teoretici fyzici z Petrohradu zhodnotili závislost úhrnu srážek na vzdálenosti od moře na zalesněném a nezalesněném území. Hodnotili až několik tisíc kilometrů dlouhé úseky. Závěr je jednoznačný: na nezalesněných územích srážky se vzdáleností od moře rychle klesají, zatímco na územích pokrytých přirozenými lesy úhrny srážek se vzdáleností od moře neklesají, v některých případech i stoupají. Makarieva a Gorškov zformulovali princip *biotické pumpy*, podle nějž srážení

Původní horský rovníkový les si zachoval svoji patrovitou strukturu. Přechod do zemědělské krajiny zarůstá pionýrskými dřevinami.

Abstract: Deforestation and climate by Jan Pokorný and Petra Hesslerová. The article presents both environmental and social consequences of deforestation in Mau Forest region in western Kenya; points out the forest functions in terms of its ability to keep moisture and precipitation and explains its role in regional climate.



Řeka Njoro je jeden z hlavních přítoků do jezera Nakuru, pramenící v oblasti Mau Forest. Situace v období dešťů v říjnu 2008. Obvykle vodní hladina sahala po horní hranici mostu.

vodních par nad chladným lesem vede ke snížení tlaku, což vyvolá proudění vzduchu (a tím přísun vodní páry) z míst, kde je tlak vyšší. Tlak se postupně vyrovná. Les je ovšem schopen vodu udržet, díky teplotní inverzi – bylinné patro lesa má přes den nižší teplotu nežli sluncem ozářené koruny. V nočních hodinách je naopak v bylinném patře tepleji než v korunách stromů, u kterých dochází k výdeji zářivého tepla proti chladné obloze. Nad zápojem vodní pára kondenzuje. Vytváří se mlha, drobné kapičky padají dolů a udržují vlhkost v ekosystému. Současně se snižuje tlak vzduchu – biotická pumpa nasává vzduch s vodou z okolí nad chladné koruny.

Ve vědeckých časopisech i s vysokým impaktním faktorem se opakovaně objevují články, v nichž je klimatická úloha lesa redukována na problém, v jaké míře les jako „úložiště“ CO_2 přispívá k tlumení klimatické změny a v jaké míře otepluje globální klima nízkým odrazem slunečního záření. Z toho pak vyplýne absurdní závěr, že vypálením lesa v mírném pásmu by se zmírnilo globální oteplení, protože zvýšení odrazu slunečního záření je vyšší nežli oteplení působené uvolněným CO_2 . Autoři těchto úvah ignorují fakt,

že funkční les patří díky evapotranspiraci k nejchladnějším ekosystémům a opomíjí funkci biosféry v disipaci sluneční energie.

Vlhkost nad lesem a odlesněnou plochou

Vzduch nasycený vodou při teplotě 25 °C obsahuje přibližně 22 gramů vodní páry v m^3 , zatímco vzduch o teplotě 40 °C pojme více než dvojnásobek (50 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Teplý vzduch o relativně nízké vlhkosti do sebe pojme velké množství vody a vynáší ji do vyšších vrstev atmosféry. Může tedy odebírat vlhkost z horských ledovců (a ledovce ubývají). Naopak chladný a relativně vlhký vzduch na ledovcích snáze dosáhne rosného bodu a ledovec přibývá. Teplý vzduch má schopnost přinášet do vyšších vrstev atmosféry absolutně více vody i více energie nežli vzduch chladný – následkem mohou být intenzivní srážky.

Odlesněná krajina je podstatně teplejší. Vysvětlujeme si to rychlým odtokem vody a odnosem vodní páry přehřátým vzduchem. Pokles evapotranspirace o 2 mm na 1 km^2 za den je roven poklesu výparu o 2 miliony litrů. Výparné teplo 2 milionů litrů vody je asi 1,4 miliony kWh. Pokud se sluneční energie neváže do skupenského tepla vody při výparu, uvolní se jako zjevné teplo. V komplexu Mau Forest se odlesnilo na 1000 km^2 . Z takové plochy se za jediný den uvolňuje na 1,4 miliardy kWh (což je ekvivalent rekordní měsíční produkce jaderné elektrárny Temelín dosažené v lednu 2010).

Vliv vegetace na regionální klima

Celosvětový nárůst pastvin, polí a urbanizovaných ploch na úkor původních ekosystémů vede ke zvýšení teploty těchto území. Úbytek dešťových srážek a snížení průtoku v řekách po odlesnění byly zdokumentovány v Indii, Číně a dalších zemích. Známým příkladem je historie zásobování New Yorku vodou. Zdrojem kvalitní vody pro město je povodí Catskill Mountains. V minulosti získali část povodí developéři. New York se rozrůstal, stoupala spotřeba vody a zhoršovala se její kvalita. Město stálo před rozhodnutím, zda postavit a provozovat nákladnou úpravnu vody, nebo zda odkoupit pozemky zpět – pochopitelně za vyšší cenu než byly prodány. Stavba úpravy by stála 6–8 miliard a roční provozní náklady 300 milionů dolarů. Protože na výkup pozemků stačila 1 miliarda dolarů, město pozemky vykoupilo a zalesnilo je. Povodí nyní poskytuje kvalitní vodu pro 8 milionů obyvatel.

Vegetace a voda mají přímý vliv na regionální klima a hydrologii (Vesmír 89, 263, 2010/4). Biosféra udržuje dynamickou rovnováhu ve složení atmosféry a podílí se výrazně na distribuci sluneční energie a vody na pevninách. Odvodnění a odlesnění zvyšují tok zjevného tepla (zvyšují teplotu) a snižují tok latentního tepla (výpar vody) – mění se tedy nejenom teplota, ale i množství vody v oběhu. Příklad oblasti Mau Forest ukazuje význam vegetace a vody pro regionální klima a nutnost „pobídek“ pro obnovu trvalé vegetace a vodního cyklu v krajině.

Autoři děkují prof. RNDr. Ing. Janu Jeníkovi, CSc. Dr.h.c. za poskytnuté materiály a neocenitelné připomínky. Článek uvádí výsledky projektů 6thFP BOMOSA a MŠMT 2B06023.

K DALŠÍMU ČTENÍ

- Foley J. A. et al.: Global consequences of land use. *Science* 309, 570–574, 2005.
 Foley J., Costa M. H., Delire Ch., Ramankutty N., Snyder P.: Green surprise? How terrestrial ecosystems could affect earth's climate. *Front Ecol Environ* 1(1), 38–44, 2003.
 Hesslerová P., Pokorný J.: Forest clearing, water loss and land surface heating as development costs. *Int. J. Water* 5, 401–418, 2010/4
 Kravčík M., Pokorný J., Kohutiar J., Kováč M., Tóth E.: Voda pre ozdravenie klímy – Nová vodná paradigma, Municipalia, Žilina 2007.
 Makarieva A. M., Gorshkov V. G., Li B. L.: Conservation of water cycle on land via restoration of natural closed-canopy forests: implications for regional landscape planning. *Ecological Research* 21, 897–906, 2006.
 Makarieva A. M., Gorshkov V. G.: Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11, 1013–1033, 2007.
 Ripl W.: Water: the bloodstream of the biosphere. *Philosophical Transactions of the Royal Society London B* 358, 1921–1934, 2003.
 Meher-Homji V. M.: Probable impact of deforestation on hydrological processes. *Climatic Change* 19, 163–173, 1991.