

Dopady růstu hladiny světového oceánu na pobřežní oblasti

Růst hladiny oceánu je středem zájmu zejména kvůli potenciálním negativním dopadům na životy lidí žijících v pobřežních oblastech, které bývají zpravidla velmi hustě osídleny. Zvýšení hladiny oceánu vede k zatopení nízko položených oblastí, k erozi pobřeží a poničení infrastruktury, kontaminaci podzemní vody a také k degradaci půdy. Růst hladiny oceánu má negativní vliv i na cenné pobřežní ekosystémy.

Úvod

Hladina světového oceánu kolísala po celou geologickou historii Země. Od konce posledního glaciálního maxima (asi před 20 000 lety), kdy se na severní polokouli nacházelo rozsáhlé zalednění, stoupla průměrná hladina světového oceánu zhruba o 120 m; přibližně před 2000 až 3000 lety se stabilizovala (Kominz 2001). Na konci 19. století, kdy se začala zvyšovat globální průměrná teplota vzduchu (o 0,8 °C od roku 1880 podle NASA, 2014), se růst hladiny světového oceánu obnovil. Na konci 20. století došlo k vzestupu rychlosti na dnešních 3,2 mm/rok, což mohlo souviset s globální změnou klimatu nebo se změnou metody měření výšky světového oceánu (současné metody měření shrnul Vatrt 2010). Zároveň je možné, že se hladina oceánu mění pravidelně v řádu několika desítek let a současný rychlý nárůst je dočasnou fází delšího cyklu (Church a kol. 2013).

Průměrná hladina světového oceánu má podle modelů ve 21. století dále stoupat. Tempo tohoto růstu záleží na tom, jak se bude v souvislosti s emisemi skleníkových plynů měnit globální průměrná teplota vzduchu. V současné době se odhady nárůstu hladiny oceánu do roku 2100 pohybují od 0,28 m do 0,98 m (Church a kol. 2013). V minulosti již byla hladina oceánu na vyšší úrovni, než je úroveň předpovídaná pro rok 2100. V minulém interglaciálu (asi před 115 000 až 130 000 lety), kdy bylo klima na Zemi pravděpodobně až o 2 °C teplejší, byla hladina oceánu nejméně o 5 m výše než nyní, na čemž se velkou mírou podílelo

masivní tání Grónského a Antarktického ledovce (Church a kol. 2013). Výše uvedené údaje nám mohou dát představu o tom, kam až by mohla hladina oceánu vystoupat, bude-li oteplování pokračovat.

Co způsobuje změny výšky hladiny oceánu?

Pokles či vzestup hladiny světového oceánu je výsledkem celé řady faktorů. Ty působí různou rychlostí, v různém měřítku a liší se i velikostí změny, kterou dokážou způsobit. Jedním z nejdůležitějších faktorů je teplota zemského klimatu. Výšku hladiny oceánu ovlivňuje teplotní roztažnost vody (růst globální průměrné teploty vzduchu a s ním spojené ohřívání oceánu způsobuje, že mořská voda nabývá na objemu) a množství vody, které je vázané na pevnině ve formě pevninských a horských ledovců. Teplotní roztažnost vody vysvětluje zhruba třetinu současného růstu, zatímco tání pevninských a horských ledovců téměř polovinu. Kromě těchto faktorů se na současném růstu průměrné hladiny oceánu podílí i nadměrné odčerpávání podzemní vody a s tím související zvýšený povrchový odtok z pevniny (způsobují růst o 0,34 až 0,54 mm/rok). Zadržování vody ve vodních nádržích hladinu oceánu naopak snižuje, a to až o 0,55 mm/rok (Chao a kol. 2008).

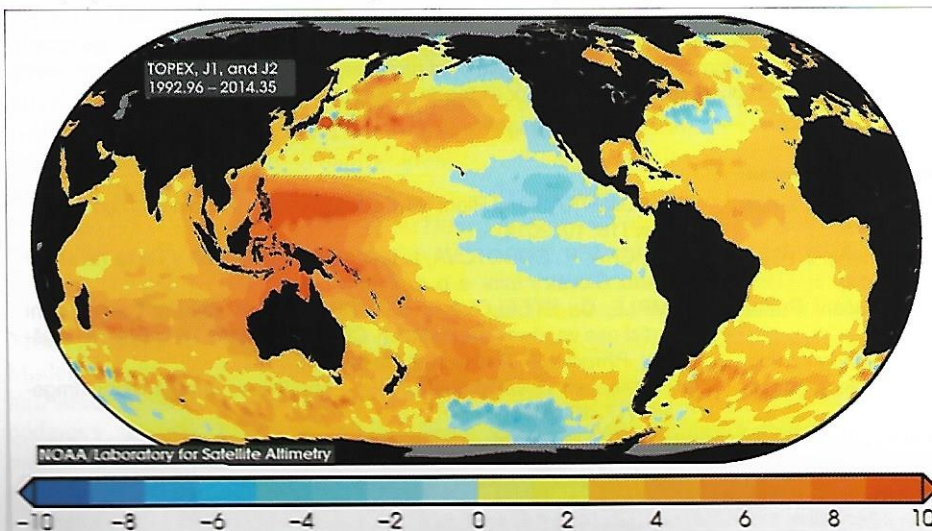
Zajímavá je souvislost mezi kolísáním hladiny světového oceánu a fázemi ENSO (El Niño Southern Oscillation). Obecně lze říci, že na globální úrovni souvisí kladná fáze (El Niño) s růstem hladiny oceánu,

zatímco záporná fáze (La Niña) s jejím poklesem (viz kladné a záporné odchylky od trendu na obr. 1 – uložen v Materiálech na webu GR). Například v letech 2010 a 2011 způsobila La Niña meziroční pokles hladiny světového oceánu o 5 mm, když došlo k enormnímu výparu z oceánu a přesunu vláhy nad Austrálii, Jižní Ameriku a jihovýchodní Asii (Boening 2012). Voda, která například v Austrálii způsobila ničivé záplavy, pak chyběla v oceánu.

Výše zmíněné faktory dokážou ovlivnit kolísání hladiny oceánu v globálním měřítku. Na regionální úrovni mají vliv i mořské proudy a atmosférická cirkulace. V oblastech konvergence mořských proudů nebo v oblastech s nižším atmosférickým tlakem je hladina oceánu vyšší. Změny hladiny na regionální úrovni dokáže způsobit i výše zmíněný jev El Niño, který se projevuje poklesem hladiny v západním tropickém Pacifiku a růstem hladiny v jeho východní části. V těchto oblastech může změna fází ENSO vyvolat meziroční kolísání hladiny oceánu až o desítky centimetrů (Woodroffe 2008). Na lokální úrovni ovlivňují výšku hladiny oceánu tektonické procesy a vertikální pohyby zemské kůry, jako izostatický zdvih a pokles nebo subsidence. K izostatickému zdvihu a poklesu dochází v důsledku odtání pevninského zalednění z poslední doby ledové. Dříve zaledněné části pevniny dnes vykazují zdvih (pobřeží Skandinávského poloostrova, Aljašky aj.), zatímco pobřeží a oceánské pánve, pod kterými se dříve hromadila hmota zemského pláště vytlačena hmotou ledovce, klesají (východní pobřeží Spojených států). Subsidence je pokles částí zemské kůry, který bývá často způsoben lidskou činností, např. odčerpáváním podzemní vody, těžbou nerostných surovin nebo přetížením podloží zástavbou. Velkým problémem je například na americkém pobřeží Mexického zálivu, kde pobřeží klesá zejména v důsledku těžby ropy a odčerpávání podzemní vody.

Dopady rostoucí hladiny oceánu na pobřežní oblasti

Výška hladiny oceánu se na různých místech na Zemi mění různě. Od roku 1992 se hladina oceánu zvyšuje nejrychleji v západním Pacifiku v oblasti Indonésie, Filipín a Mikronésie (až o 10 mm/rok), zatímco její pokles byl zaznamenán v východním Pacifiku, zejména v jeho tropických a vysokých zeměpisných šířkách (obr. 2)



Obr. 2: Mapa trendů změny hladiny oceánu v centimetrech od roku 1992 (odfiltrovány vertikální pohyby zemské kůry). Zdroj: NOAA 2014.

PLANETA VOLÁ SOS

Zdaleka nejvíce jsou rostoucí hladinou oceánu ohrožené státy rozkládající se výhradně na atolech, jako Kiribati, Marshallovy ostrovy a Tuvalu (obr. 3). Problémem je především jejich nízká nadmořská výška (většinou nepřesahuje v průměru 2 m n. m.), vysoká hustota zalidnění a vysoký poměr délky pobřeží k rozloze ostrovů. Většina sídel, zemědělské půdy a důležité infrastruktury (např. letiště, přístavy a silnice) se tak nacházejí v blízkosti pobřeží. Samotný růst mořské hladiny u pobřeží těchto států je poměrně pomalý (v dlouhodobém průměru asi 2 mm/rok; Church a kol. 2006) a atoly ohrožuje zejména v kombinaci s jinými projevy globální změny klimatu, např. se zvýšenou cyklonální aktivitou. Situaci do jisté míry zhoršují i sami ostrované, například odstraňováním pobřežní vegetace, těžbou písku (která způsobuje subsidenci), šířením zástavby do zranitelných oblastí a povolením těžby korálů na útesech, které fungují jako přírodní vlnolamy.

Mezi hlavní dopady rostoucí hladiny oceánu patří zvýšená eroze, zaplavení nízko položených oblastí a kontaminace zásob podzemní vody vodou mořskou. Eroze břehů je na korálových ostrovech běžným jevem. Erodovaný materiál je opět ukládán na jiných lokalitách, kde dochází k akreci, takže plocha jednotlivých ostrovů zůstává zhruba stejná (Webb a kol. 2010). Změny tvaru ostrovů však mohou být v obydlených oblastech nežádoucí a se zvýšením mořské hladiny, které umožní tvorbu vln s vyšší energií, může celý proces probíhat rychleji. Vlny zároveň ničí u pobřeží se nacházející zástavbu a infrastrukturu.

Očekávaná zvýšená cyklonální aktivita bude pravděpodobně způsobovat častější průnik mořské vody do vnitrozemí (Roy, Connell 1991). Vnitrozemí korálových ost-



Obr. 3: Atol Palmyra ležící severně od souostroví Kiribati je typickým příkladem ohrožené ostrovní oblasti. Maximální nadmořská výška ostrova je udávána 6 stop (asi 180 cm). Atol patří pod správu USA je trvale neobydlený a byl vyhlášen přírodní rezervací. Zdroj: Wikipedia

rovů bývá obvykle položené níže než břehy (často se nachází pod úrovní mořské hladiny při skočném přílivu), a je proto náchylné k zaplavení (Woodroffe 2008). Mořská voda potom ničí zástavbu a kontaminuje zásoby sladké podzemní vody, která je nezbytná pro pěstování zemědělských plodin, například palmy olejné, jejíž produkty patří ve výše zmíněných ostrovních státech mezi důležité vývozní artikly. Rostoucí mořská hladina tedy dále zhoršuje už tak špatnou ekonomickou situaci těchto států.

Závěr

Dopady růstu hladiny oceánu na pobřežní oblasti lze snížit pomocí stavby vlnolamů a hrází, opětovným vysázením pobřežní vegetace (která působí proti erozi a zne-

snadňuje průnik vln dále do vnitrozemí), posunutím zástavby na méně zranitelná místa a pěstováním plodin vyšlechtěných tak, aby byly více odolné vůči zasolení. Na atolech by se k těmto opatřením mohlo přidat efektivnější využití dešťové vody a odsolování podzemní vody (Woodroffe 2008). Tato opatření jsou však poměrně nákladná a řeší pouze následky růstu hladiny oceánu, nikoliv jeho příčinu. Dokud se bude oteplovat, bude hladina světového oceánu stoupat. Pokud se vyplní v médiích tolik probírané nejčernější scénáře a atoly se stanou neobyvatelnými, bude to poprvé, kdy se oběti globální změny klimatu stane celý stát.

Petra Sýkorová, PřF UK v Praze
petra.sykorova@natur.cuni.cz

Effects of Rising Sea Level on Coastal Areas. This article discusses rising sea level, its magnitude, causes and potential impacts on coastal areas. Mean global sea level rises 3.2 mm per annum; however, on a regional scale, sea level fluctuation is much more variable. Atoll states (such as Tuvalu, Kiribati and the Marshall Islands) are particularly vulnerable to rising sea level, as it causes shoreline erosion, the inundation of low-lying areas and saline intrusion into groundwater. If sea level continues to rise, these reef islands may become uninhabitable.

APLIKACE DO VÝUKY

1. Které části Evropy jsou podle vás v současné době nejvíce ohrožené růstem hladiny oceánu? Proč u pobřeží Skandinávského poloostrova mořská hladina klesá?
2. Zamyslete se nad budoucností pacifických ostrovních států. Je podle vás lepší investovat do adaptačních opatření, nebo do přesídlení ohroženého obyvatelstva?

LITERATURA A ZDROJE DAT:

- BOENING, C. a kol. (2012): The 2011 La Niña: So strong, the oceans fell. *Geophysical Research Letters*, 39, 19, 5 s.
- CHAO, B. F. a kol. (2008): Impact of artificial reservoir water impoundment on global sea level. *Science*, 320(5873), s. 212–214.
- CHURCH, J. A. a kol. (2006): Sea-level rise at tropical Pacific and Indian Ocean islands. *Global and Planetary Change*, 53(3), s. 155–168.
- CHURCH, J. A. a kol. (2013): *Sea Level Change*. In: IPCC (2013): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, s. 1137–1216.

- KOMINZ, M. A. (2001): Sea level variations over geologic time. *Encyclopedia of Ocean Sciences*, s. 2605–2613.
- ROY, P., CONNELL, J. (1991): Climatic change and the future of atoll states. *Journal of Coastal Research*, s. 1057–1075.
- VATRT, V. (2010): Využití družic při měření globálního růstu hladiny světového oceánu. *Geografické rozhledy* 19, č. 4, s. 5.
- WEBB, A. P., KENCH, P. S. (2010): The dynamic response of reef islands to sea-level rise: Evidence from multi-decadal analysis of island change in the Central Pacific. *Global and Planetary Change*, 72(3), s. 234–246.
- WOODROFFE, C. D. (2008): Reef-island topography and the vulnerability of atolls to sea-level rise. *Global and Planetary Change*, 62(1), s. 77–96.
- CU (2014): Colorado University Sea Level Research Group, <http://sea-level.colorado.edu> (31.5.2014)
- NASA (2014): NASA Finds 2013 Sustained Long-Term Climate Warming Trend, <http://www.nasa.gov> (20.7.2014)
- NOAA (2014): Laboratory for Sea Level Rise, <http://www.star.nesdis.noaa.gov> (31.5.2014)
- WIKIPEDIA (2014): Palmyra Atoll, <http://en.wikipedia.org>