

Potíže s oceánským THC

Zkratka THC, v oceánografických kruzích stejně známá jako její ekvivalent mezi příznivci konopných rozkoší, označuje *termohalinní výměník* – klíčový zdroj cirkulace oceánických vod a s lehkým rozšířením i paradigmatický koncept klimatické homeostazy naší planety. V dnešní době, kdy rozličné tradiční výklady padají jako mouchy po dešti, panují i kolem konceptu THC pochyby a nejasnosti.

text **IVAN HORÁČEK**

KLIMATICKÝ REŽIM Země se bezpochyby odvíjí od atmosférických procesů asimilace a redistribuce solární energie, v nichž zásadní roli hrají koncentrace skleníkových plynů, odrazivost atmosféry a charakter atmosférického proudění. Připomeňme ovšem, že měrná tepelná kapacita suchého vzduchu ($1000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) a zejména a pak jeho hustota ($1,25 \text{ kg/m}^3$) jsou řádově nižší než analogické charakteristiky oceánských vod ($4000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, resp. 1000 kg/m^3), což mj. znamená, že úhrnný tepelný objem atmosférického sloupce nad 1 m^2 mořské hladiny lze uchovat ve 3 m^3 příhladinového vodního sloupce. Již toto srovnání naznačuje, že akumulace tepla oceánickými vodami a distribuce pohlceného tepla ve vodách oceánu je faktorem, který v klimatickém režimu naší planety, často vykládaném výlučně procesy atmosférické dynamiky, hraje úlohu, již nelze podceňovat. Vzhledem k termální stabilitě vody je třeba přinejmenším předpokládat, že teplo akumulované vodami oceánu ve větším či menším rozsahu vyrovnává krátkodobé výkyvy atmosférických procesů a zprostředkovává klimatickou stabilitu naší planety.

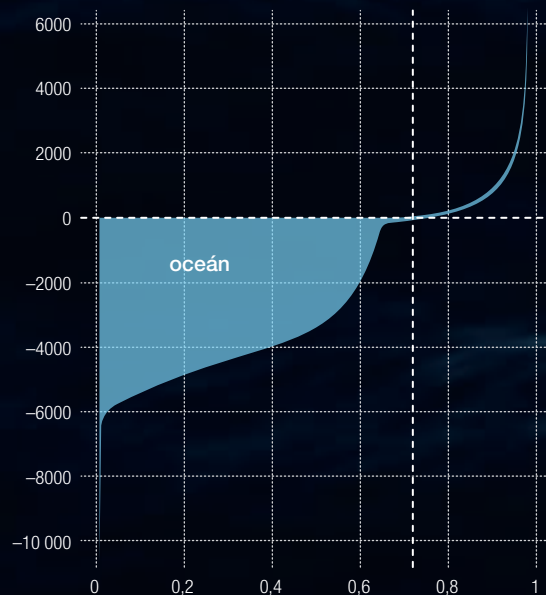
V jakém rozsahu a jakými způsoby probíhá tepelná dynamika oceánu a jaké vlastnosti oceánu mohou distribuci tepla (a ostatních komodit atmosférické a suchozemské proveniencí) ovlivnit?

Suchozemce oceán překvapuje nejen slaností vod, ale i tím, že jeho hladina je v nepřetržitém pohybu. Příčné a podélné vlnění nejrůznějších délek a amplitud tu interferuje nejrůznějšími myslitelnými způsoby, distribuuje silové podněty vzdálených zdrojů (tsunami ap.) a uchovává jako mechanická paměť veškeré vnější zásahy do svého dění. Třeba i trajektorie rozličných plavidel

zachovává zřejmě po řadu dní či týdnů, jak za právě vycházejícího slunce při pohledu z letadla výmluvně ukazuje spleť lineárních čar křížujících mořskou hladinu.

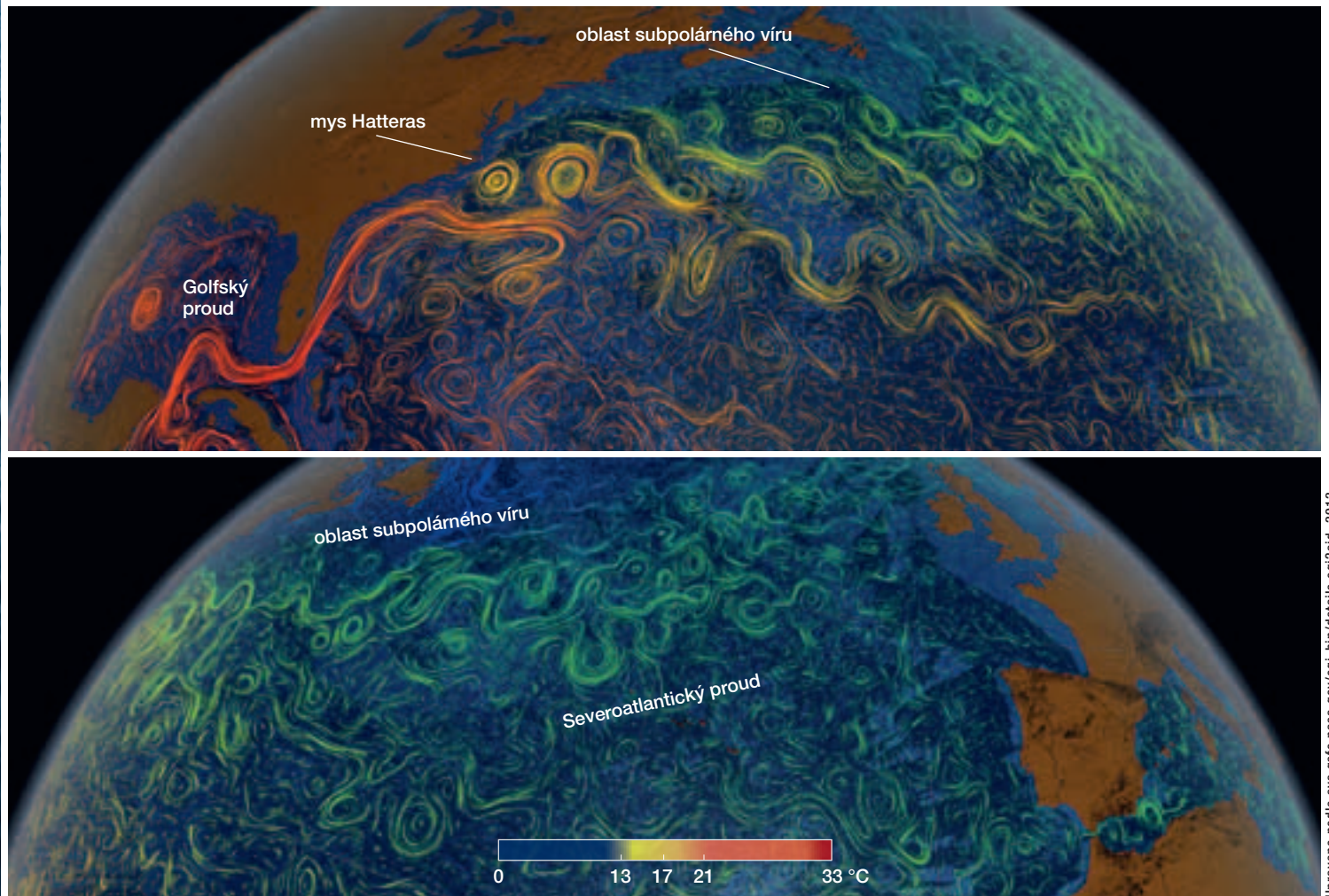
Neustálé vlnění oceánu poměrně rychle distribuuje teplo pohlcené příhladinovou vodou do hloubek kolem 100 m , v nichž je ještě patrný denní rytmus teplotních změn. Do hloubek kolem 200 m proniká sluneční záření. Svrchní úsek dysfotické zóny (do hloubek $1000\text{--}1500 \text{ m}$) charakterizuje pak (mimo polární oblasti) oceánická termoklina – rapidní pokles teploty o $10\text{--}15 \text{ }^\circ\text{C}$, plynulý v tropech, sezonně proměnlivý v mírném pásmu. Objev termální stratifikace oceánů patří spolu s objevem středoatlantického hřbetu k nejvýznamnějším výdobytkům výzkumné plavby lodi Challenger ($1872\text{--}1876$), počátečního bodu vědeckého výzkumu globálního oceánu.

1. ROZLOŽENÍ kapalné vody v kumulativním zobrazení oceánických hloubek a terestrických výšek. Základem života a mnohých dalších specifíků naší planety je voda. V živých organismech koluje ovšem necelých 0,000081 % planetární vody, 0,00083 % je přítomno v atmosféře, kde voda hraje úlohu nejdůležitějšího skleníkového plynu (> 60 % skleníkového efektu). Většina suchozemské vody (téměř 70 %) se nachází v pevném skupenství (led, sníh, permafrost), sladké vody souše tak reprezentují pouhých 0,7 %. V oceánech, pokrývajících 74 % povrchu Země, je tedy obsaženo 96,5 % vody.



Nepřehlédnutelnou vlastností oceánu jsou průběžné interakce mořské hladiny s atmosférickým prouděním – v lokálním, regionálním i globálním měřítku. Jejich elementárním projevem jsou hladinové víry – kvazicirkulární proudění, do něhož je větrem vyvolaný pohyb hladiny kanalizován homeostatickou rezistencí okolního vlnového systému. Setrvačnost, prostorový rozsah a kinetická energie daného víru jsou škálovány silou a pravidelností příslušného atmosférického dění a zpětnovazebným působením návazných změn vlnového systému. Víry regionálního a globálního rozsahu jsou dlouhodobými (plus minus setrvalými) invariantami oceánické dynamiky, víry globálního rozsahu ustávají pak hlavní proudy povrchové oceánické cirkulace.

Patrně prvním myslitelem uvažujícím o globální spojitosti oceánické cirkulace



2. GOLFSKÝ PROUD a jeho severoatlantické pokračování ve vizualizacích termálních dat satelitního snímkování (škála v $^\circ\text{C}$) ilustrují spletitou dynamiku jednoho z nejstabilnějších systémů povrchové cirkulace oceánických vod.

a souvisejících příčinných mechanismech byl Johannes Kepler. Jeho úvaha byla následující: oceánická voda, která není pevně vázána na hmotu Země, nesleduje v plném rozsahu aktuální rychlost zemské rotace. V rovníkovém pásmu, kde tato rychlost dosahuje nejvyšších hodnot (1674 km/h), má zpoždění pohybu povrchových vod podobu souvislého západního proudění, které pak východní pobřeží kontinentů odklání severním a jižním směrem. Jakkoliv se moderní interpretace oceánického proudění ubírají jiným směrem, přinejmenším

v dynamice atmosférického proudění platí keplerovská úvaha v plném rozsahu: příhladinové pasátové větry tlačící vzdušné masy severní a jižní polokoule do přírovníkové intertropické konvergence (kde vystupují do stratosférických výšek a ztrácejí svou vodu formou excesivních srážek vnitřních tropů) jsou skutečně klíčovou tlačnou invariantou atmosférické dynamiky Země. Vliv větru, zejména nepřetržitého působení pasátového proudění, pokládá moderní oceánografie rovněž za klíčový faktor oceánické cirkulace. Konceptuální rozvrh této interpretace předkládá v prvních letech 20. století jeden ze zakladatelů moderní oceánografie, švédský fyzik Vagn Walfrid Ekman ($1874\text{--}1954$). Empirický fakt, že reálný směr oceánického proudění se zpravidla o 20 až 40° liší od směru větrů, Ekman vysvětlil Coriolisovým efektem – působením Coriolisovy síly odchylovající hmotné body rotujícího tělesa od osy centrifugálního působení úměrně aktuální rychlosti rotačního pohybu. Interference s pasátovými větry směřuje tak proudění vody severozápadně na severní polokouli a jihozápadně na jižní polokouli. V důsledku Coriolisova efektu jsou vodní víry severní polokoule pravotočivé, na jižní polokouli

levotočivé. Směrem do hloubky energie a plocha vírů obecně klesá – výsledkem je hydrodynamický útvar nazývaný Ekmanova spirála, jehož efekty specificky ovlivňují pohyb vod v šelfových oblastech.

Ucelený model globální oceánické cirkulace, zohledňující faktory demonstrováné Ekmanovou analýzou, vytyčuje na příkladu Atlantického oceánu další z vizionářských zakladatelů moderní oceánografie Henry Melson Stommel ($1920\text{--}1992$). Dokládá, že v důsledku Ekmanova transportu se teplé hypersalinní povrchové vody v západních okrajích oceánu vzdalují od oblasti intertropické konvergence, v níž na povrch vystupují chladnější vody hlubšího pásma přispívající k zesílení intenzity severně se stáčejícího Golského proudu (podobně jako v případě analogického proudu Kuroshio v pacifické oblasti). Golský proud se v šířce kolem 100 km pohybuje rychlostí 2 až 4 m/s , v oblasti Floridského průlivu činí jeho úhrnný transport 30 Sv .¹ V oblasti mysu Hatteras (Severní Karolína) dosahuje již 50 až 80 Sv , složitým způsobem se větví, interferuje s množstvím semistabilních vírů (obr. 2) a s poněkud sníženou rychlostí

Prof. RNDr. IVAN HORÁČEK, CSc., (*1952) vystudoval Přírodovědeckou fakultu Univerzity Karlovy v Praze. Na katedře zoologie této fakulty vedl oddělení zoologie obratlovců. Zabývá se systematikou, evolucí a ekologií savců, zejména netopýrů, paleoekologií čtvrtohor a filozofickými přesahy přírodovědných témat.

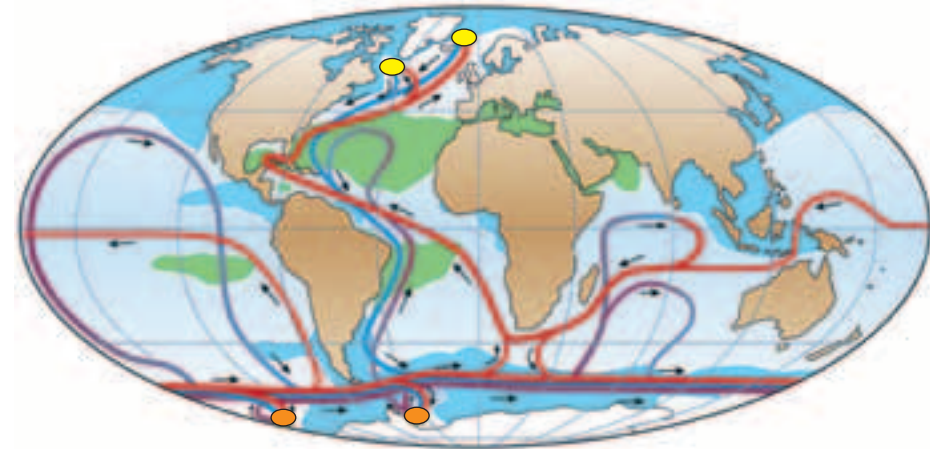
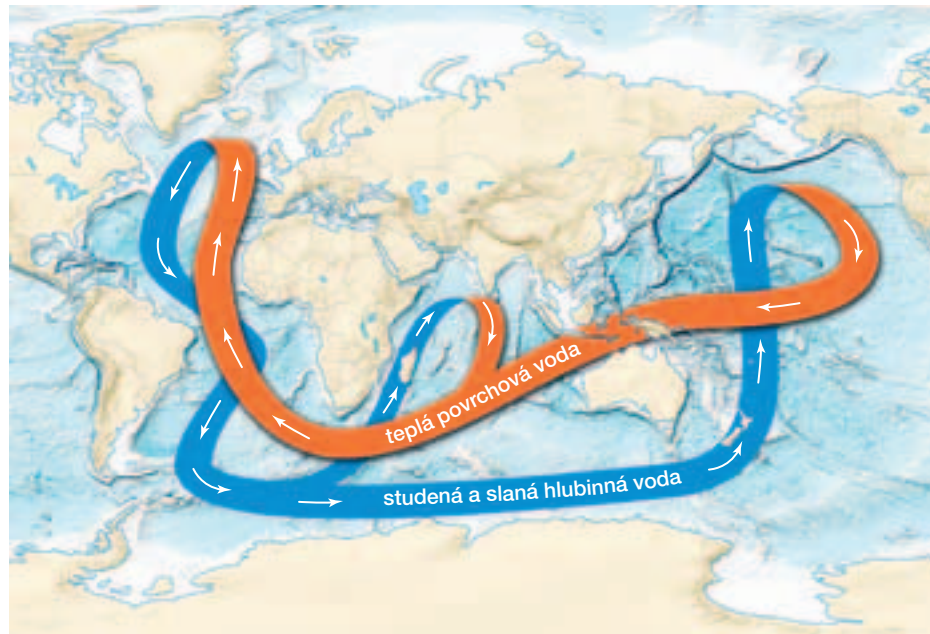
1) Sv – měrná jednotka oceánické dynamiky, pojmenovaná podle dalšího ze zakladatelů moderní oceánografie – Haraldia Ulrika Sverdrupa ($1888\text{--}1957$), má jednotkový rozměr 1 Sv (Sverdrup) = 1 milion m^3 oceánické vody/s.

postupuje východním směrem do centrálního Atlantiku jako Severoatlantický proud, přinášející teplé, soli nasycené vody k evropským břehům.

Dynamické proudění severního Atlantiku ovšem ostře kontrastuje s poměry arktického oceánu s nízkou salinitou (pod 34 ‰), bez termokliny, termální dynamiky a povrchových proudů. Henry Stommel formuloval v sérii konceptuálních analýz kolem roku 1960 vysvětlení, ozřejmující současně další zdroj oceánické dynamiky – nepříliš viditelný, presumpktivně však mimořádně významný – termohalinní výměník. Jeho principem je rozdíl v teplotě a salinitě vodních mas, které s naznačeným oceánickým prouděním přicházejí do kontaktu. Je-li dostatečně velký, nedochází k mísení vod, prudké ochlazení soli nasycených teplých vod skokově zvýší jejich hustotu a podél dotýčeného rozhraní klesají gravitačním působením ke dnu oceánu. V této souvislosti třeba připomenout, že mořská voda nemá hustotní anomálii stratifikující sladkovodní nádrže a umožňující přežívání jejich obyvatel pod ledovým krunýřem – hustota oceánických vod dysfotické zóny, indexovaná obsahem soli, směrem ke dnu plynule vzrůstá. Salinita vod teplých povrchových proudů, zahuštěných intenzivním odparem subtropické zóny (36–37 ‰), je vyšší než průměrná salinita hlubokomořského prostředí (35 ‰), vodní masy aktivizované termohalinní výměnou klesají tedy do nehlubších poloh oceánu a vytvářejí hlubokomořské dnové proudy. Hlubinné proudy poháněné termohalinní interakcí v severním Atlantiku postupují podél středoatlantického riftu k jihu průběžně celým Atlantikem. Stommel vypracoval sérii pravděpodobnostních funkcí vlivu jednotlivých faktorů na výkonnost termohalinní výměny a podíl mísení vod podél oceánické termokliny (pohybové energie, teplotní a salinitní gradienty, přínos sladkých vod atd.), a demonstroval, že jde o binstabilní proces, který se v jisté kombinaci zúčastněných faktorů může zastavit. Současně naznačil, že termohalinní výměna je zdrojovým faktorem hlubokomořské dynamiky světového oceánu. Přinejmenším tím, že procesem termohalinní výměny se teplo, atmosférické plyny a organická hmota, akumulované hladinovými proudy, dostávají do hlubokomořského prostředí. Následující analýzy rovněž poukázaly na klíčovou roli Antarktidy v tvorbě hlubokomořských vod a v akceleraci hlubokomořské cirkulace.

TERMOHALINNÍ VÝMĚNA A KLIMA

Průměrná hloubka oceánu je 3,8 km, celkový objem oceánických vod činí $1,37 \cdot 10^9 \text{ km}^3$. Vody eufotické zóny tvoří tu pouhých 2,6 %, naproti tomu 73,6 % tvoří moře hlubší než



3. BROECKEROVO SCHÉMA (1987) oceánického termohalinního výměníku (THC) a jeho aktualizovaná verze s vyznačením hlavních oblastí tvorby severoatlantických a jihoocéánských hlubinných vod (žluté kroužky). Červeně – povrchové teplé proudy, modře – hlubinné chladné proudy.

Upraveno podle M. S. Lozier: Science, 2010, DOI: 10.1126/science.1189250 a S. Rahmstorf: Nature, 2002, DOI: 10.1038/nature01090

1000 m, jehož dění je ovlivňováno interakcí s atmosférickými vlivy jen ve velmi omezeném rozsahu. S ohledem k tepelné setrvačnosti vody je tak teplo pohlcené hlubokomořským prostředím průběžnou zárukou dlouhodobé stability klimatu a potenciálním zdrojem postupného vyrovnávání krátkodobých teplotních výkyvů. Tvorbu hlubokomořských proudů mechanismem termohalinní výměny je pak třeba pokládat za určující faktor klimatického režimu Země. Touto úvahou se toto téma dostává do centra pozornosti nejvýznamnějšího pracoviště rozvíjejícího na tepu koperníkovského převratu geověd sedmdesátých až osmdesátých let minulého století multidisciplinární výzkum klimatické historie – Lamont Doherty Observatory na Columbiské univerzitě v New Yorku. Po varovných upozorněních Jiřího Kukly (1930–2014), že stabilní klima současné meziledové doby se může poměrně rychle změnit, přichází

v roce 1975 jiný pracovník této instituce, Wallace Broecker (1931–2019), s další analýzou, zohledňující podrobné poznatky o chladném výkyvu na konci posledního glaciálu (mladší dryas) podložené zevrubnou instrumentální analýzou paleoklimatického záznamu ledovcových vrstev a hlubokomořských sedimentů. Ukazuje, že rychlému ochlazení zde předchází masivní zvýšení teploty s oteplením a vysazením severovýchodních moří, v jejichž důsledku se výkonnost termohalinního výměníku výrazně snížila. Broecker jako první zavádí termín „globální oteplení“ a upozorňuje, že současná industriální produkce CO_2 k němu může významně přispět. Broecker, pokládaný

2) Ostatně Broecker sám byl exemplární ukázkou autorů produkujících podobné výpovědi – byl dyslektik, nikdy se nenačil pracovat s počítačem, všech svých 500 vlivných prací psal tužkou na papír.

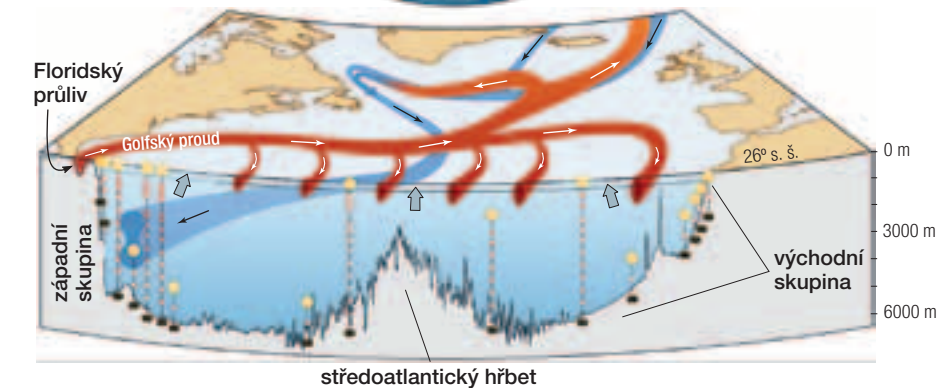
3) Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 – s veřejně přístupným rozhraním <https://esgf-node.llnl.gov/projects/cmip6> z roku 2016.

za „ikonoklastického guru klimatických debat“, rozšiřuje svou úvahu představou, že všechny velké změny klimatu, včetně nástupu ledových dob či mileniálních Dansgaardových-Oeschgerových cyklů v průběhu glaciálu, jsou zprostředkovány změnami výkonnosti termohalinního výměníku a návazného systému oceánické cirkulace, jejíž zastavení vede k drastickému ochlazení globálního klimatu. V polovině osmdesátých let Broecker formuluje koncepci globálního pásu termohalinní výměny (THC) jako mechanismu sjednocujícího v mileniálních měřítkách funkční integraci planetárního oceánu. Broeckerovo schéma aktuální globální oceánické cirkulace (obr. 3) se stalo ikonickým obrazem asociujícím představu termohalinního výměníku jako určujícího mechanismu klimatické homeostáze Země.

POTÍŽE S THC

Broeckerův model, završující v jistém smyslu koperníkovský obrat věd o Zemi (mimo jiné svými odkazy k historickým modifikacím oceánické dynamiky změnami reliéfu

mořského dna, tvorbou středoatlantického hřbetu, posuny kontinentů a konfigurací jejich šelfových okrajů), má pohříchu povahu historicko-narativní hypotézy. Patří do třídy velkých vyprávění, která se nejdnou jaksi vzpírají testování prostředky pragmatické vědy.² A mnohačetná zkoumání v závěru devadesátých let minulého století a prvního decenia tohoto století opravdu přinášela závěry, které pro realitu Broeckera schématu příliš nesvědčily. Trajektorie četných rádiových bójí v povrchových i hlubinných vodách jeví se spíše chaotickou dynamiku s dominantními efekty lokálních vírů různého rozsahu, severojižní pohyb hlubokomořských vod Atlantiku byl patrný pouze u 5 % sledovaných bójí atd. Rovněž výstupy satelitního sledování teplot mořské hladiny ukazovaly namísto ostrého rozhraní teplých vod Severoatlantického proudu a stabilních arktických vod průběžně silící průnik teplých vod do jižních oblastí Arktidy a chaotické mísení v oblastech předpokládané tvorby hlubinných vod severního Atlantiku. Koncem prvního



4. SEVEROATLANTICKÝ PROUD předává teplo do přihladinového atmosférického proudění (široké šipky), v předpolí Evropy se pak stáčí k severu a na kontaktu s chladnými subarktickými vodami s nízkou salinitou jeho vody klesají (v oblastech vyznačených žlutými hvězdičkami) na oceánské dno. Podél středoatlantického hřbetu postupují pak na jih jako hlubinný atlantický poledníkový zpětný proud. Jeho výkonnost sledoval v letech 2004–2021 na 26,5° s. š. výzkumný komplex RAPID (obrázek dole).

Upraveno podle M. A. Srokosz, H. L. Bryden: Science, 2015, DOI: 10.1126/science.1255575

decenia je tak Broeckerova koncepce stále radikálněji odkazována do sféry nepotvrzených spekulací.

Souběžně ovšem vystupuje do popředí i jiný problém – realistické interpretace obrovského množství velmi různorodých empirických dat v pojmosloví naskytajících se výkladových alternativ se ukazují úkolem mimořádně náročným. S rozvojem výpočetních možností přichází tak během devadesátých let plně ke slovu patrně jediná technika, která dokáže tento úkol formálně zvládnout a výpověď excesivního datového aparátu včlenit do kontextu vztahových systémů oceánické cirkulace a energetických výměn atmosférického a oceánického dění – formulace složitých mnohafaktorových matematických modelů a sledování jejich chování při změnách jednotlivých vstupních parametrů.

Děni oceánu a příslušné klimatické souvislosti stávají se tak výlučnou doménou simulačních modelů a matematického modelování. V daných souvislostech se postupně obecně uplatnilo asi dvacet různých modelových systémů, leckdy ovšem se vzájemně nepřilíhajícími výstupy a spornými výpověďmi. Nemluvíme tu o atmosférických modelech, oblíbených v mediálních explikacích díky svým katastrofickým prognózám, které mnohdy s vlivem oceánu vůbec nepočítají. Nicméně se zdá, že průběžné prohlubování komplexity modelových systémů řadu z těchto nedostatků úspěšně odstranilo. Patrně nekomplexnějším a v současnosti obecně využívaným modelovým nástrojem je systém CMIP6,³ který v modelování teplot mořské hladiny i dalších parametrů vykazuje velmi dobrou shodu s empirickými daty, a jeho predikční výstupy jsou pokládány za spolehlivé.

Centrálním objektem modelových analýz posledních desetiletí se přes dočasnou pochybnost o významu termohalinní výměny stává dění v severních oblastech Atlantiku, dynamika termohalinní tvorby severoatlantických hlubinných vod (NADW) a reálné vlastnosti atlantického poledníkového zpětného proudu (AMOC, tj. hlubinného dnového proudu Stommelovy hypotézy), včetně souvisejících klimatických efektů. Této problematice je tak (dle Google Scholar) věnováno přes 20 000 modelových studií, jen v posledních třech letech kolem 8000 prací, vesměs v nejlepších periodikách. Zdá se, že většinová výpověď interpretačních modelů posledních let o tomto předmětu se shoduje na tom, že termohalinní tvorba severoatlantických hlubinných vod je reálným jevem, včetně původních odhadů její intenzity (zhruba 20 Sv) a představ o klíčové úloze atlantického poledníkového zpětného proudu v ustavování klimatické rovnováhy Země. Rychlost proudění atlantického poledníkového zpětného proudu je ovšem ve srovnání

Epilog: Povaha oceánu, život moří a potíže dneška

MYSLÍM, že letmý výběr peripetií oceánického THC v předchozím textu naznačil s dostatečnou názorností přinejmenším dvě skutečnosti:

- Dění oceánu je velmi složité, interferují tu faktory působící na velice různých prostorových i časových škálách od Brownova pohybu a lokálních vírů po celoplanetární cirkulaci, od denních rytmů eufotické zóny přes sezonní a dekádové oscilace (El Niño, NOA ap.) či mileniální dynamiku výměníkové pásu až po věčnou škálující dění oceánu jako centrální arény historie Země a evoluce života.

- Věrohodné uchopení jeho vlastností aparátem současné vědy je tak nezbytně doménou složitých matematických modelů aproximujících dění oceánu nelineární dynamikou jednotlivých interakcí ve vztahových prostorech s velmi vysokou dimenzionalitou. Výpovědi modelů přijímáme bona fide jako výpovědi o povaze oceánu, ač dimenzionalita početných modelů se s faktickou dimenzionalitou modelovaného očividně míjí o desítky řádů.

V klimatických modelech, překračujících výměr čistě atmosférických relací, oceán vystupuje jako aktivní rozhraní ovlivňované aktuálním stavem příslušných fyzikálních či chemických proměnných. Ovšem na zkušenost, že oceán je svébytným světem vnitřně členitě fluidního prostředí, v němž se distinkce spojitosti a nespojitosti a jiné předpoklady relačních uzlů příslušných modelů jaksi vytrácejí, však ani zde povětšinou nedojde. Podobně jako na jinou neodmyslitelnou komponentu oceánického dění – jeho živou složku. V daných souvislostech nebudeme připomínat ani tak zde působící největší živočichy všech dob, rozmanitost plodů moře či

obskurní monstra oceánských hlubin, jako složku, která svou početností, diverzifikací a patrně i ekologickým významem představuje absolutní vrchol organické rozmanitosti – marinní mikrobiom. V povrchových vodách je koncentrace prokaryotních organismů (různých skupin bakterií a archeobakterií) v průměru kolem miliardy jedinců na litr, v hlubinných vodách jde již jen o desítky či stovky milionů. Tato společenstva doplňují nejen různé skupiny eukaryotních „protozoí“ (dírkovců ap.), ale v první řadě neobyčejně diverzifikovaná konsorcia marinních virů, jejichž početnost je v průměru asi 12krát, místy však až 100krát vyšší než početnost místního mikrobiomu. Dominantní složkou, doplňující virové genomy, jsou geny rozličných fermentačních a respiračních enzymů, jejichž přenos (transdukce) dokáže navodit rychlé a velmi efektivní adaptivní přestavby metabolického profilu místních prokaryot s ohledem na momentální dostupnost kyslíku a živin. Zcela specifickou skupinou jsou pak viry říše Nucleocytoviricota (NCLDV). Vedle organizační virové jednotky je tvoří velké fragmenty genomů všech možných organismů reprezentujících takřka všechny vyšší taxony všech organických říší, přičemž pro zhruba polovinu virů říše Nucleocytoviricota není ve stávajících genomových knihovnách ekvivalent. Možná jde o pozůstatky zástupců dávno vymřelých říší, jejichž genom zde, díky symbiogenezi s virovým organizátorem ve fyziologickém roztoku oceánické vody, jaksi dotváří reálnou komplexitu jsoucího.

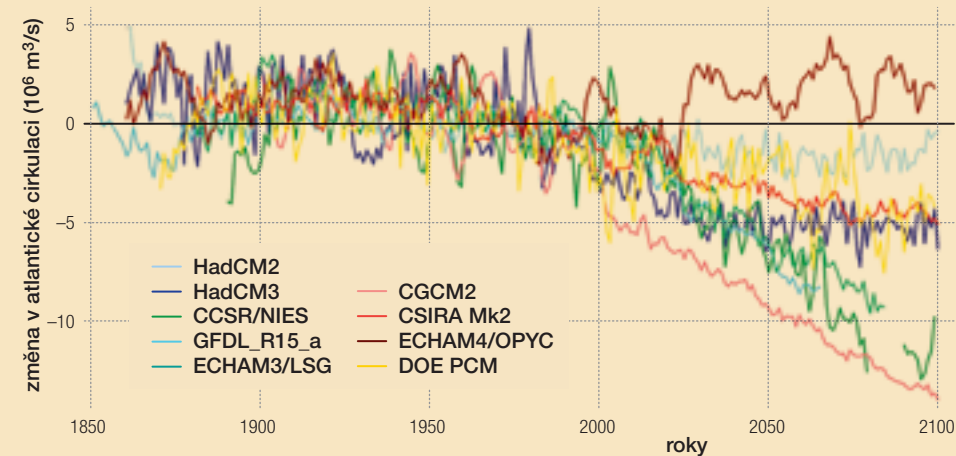
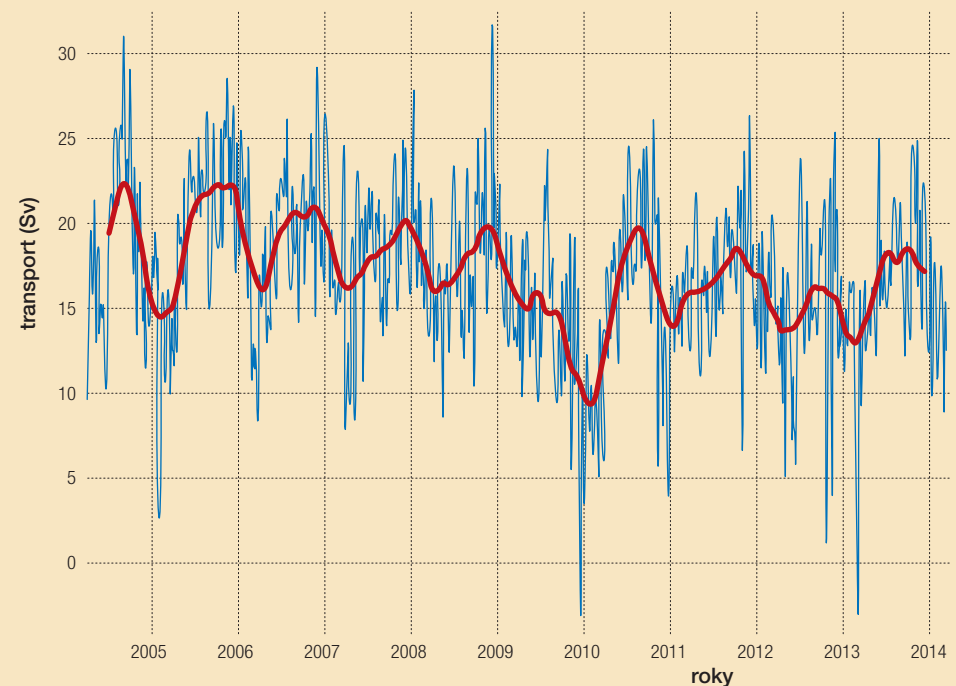
O tom, že všechna tato společenstva z něčeho žijí a jejich metabolismus cosí produkuje, může být sotva pochyb. Klíčovým substrátem tu je rozpuštěná organická hmota a modulujícími faktory pak

i podíl kyslíku a teplo vnášené do hlubokomořského prostředí proudy termohalinního výměníku. Odhadovaná úhrnná produkce metabolického CO₂ hlubokomořského mikrobiomu je 40–80 Gt C/rok, s připočtením povrchových vod se odhady přibližují hodnotám 300 Gt C/rok (tj. zhruba 50krát více, než činí antropogenní produkce). Stručně řečeno: uhlíkový dluh oceánického mikrobiomu je bezpochyby dosti velký; jak jej odčinit či jak se změní po omezení přínosu povrchových vod do oceánických hlubin, posuď každý sám.

Netřeba dovozovat, že objektivní kvantifikaci uvedených skutečností i hodnocení nečekaně velkých lokálních a regionálních rozdílů ve složení společenstev, genomické skladbě viromu ap. provázají nemalé metodické i konceptuální potíže. Bohužel to není jediný případ, kdy oceán vystupuje v roli setrvalého zdroje potíží surově narušujících jinak vcelku jasné, zřetelné a bezrozporné obrazy jsoucího.

Povaha oceánu je zkrátka nevyzpytatelná. Naznačuje to již zkušenost, že takřka všechny, mnohdy zcela protichůdné výpovědi o tomto předmětu jsou tu v posledku za jistých okolností plně relevantní. Všechny vlastnosti a příčinné souvislosti, jež alternativně oceánu připisujeme, jsou jaksi současně přítomné, složité interferují, nejednou s průběžnou dispozicí k enanciodromním alternacím. Jevy dokonale zpředmětňující nejrůznější geometrická pravidla zde záhy zanikají v chaotickém víření nejasného původu, potenciál k okamžitým změnám se zde snoubí s homeostatickými mechanismy zaručujícími stabilitu jsoucího na tisíce a miliony let. Oceán, dominantní živel planety, je zkrátka čímsi, co více než názorně překračuje měřítka našich výkladových rámců a praktických možností. Dění oceánu můžeme sice, máme-li tu potřebu, vtěsnat do našich trojčlenkových výkladů a alternativní výstupy modelových interpretací tu zdůraznit, tu odvrhnout, ale to je asi tak všechno, co se s tím dá dělat. Jak říká básník: plivni stokrát do moře, ono se nezpění.

Základní výměr oceánu zdůrazňují již nejstarší mořeplavci: je to nekonečná masa vody s nezměrnými hlubinami,



5. INSTRUMENTÁLNÍ ZÁZNAM výkonnosti atlantického poledníkového převráceného proudy výzkumným komplexem RAPID (viz obr. 4) v letech 2004 až 2014 dokládá přes nečekaně velké výkyvy plynulý pokles odpovídající predikcím různých simulačních modelů, viz rovněž text rámečku.

Meinecke et al.: Variability of the Thermohaline Circulation (THC), 2003, DOI: 10.1007/978-3-642-55862-7_4

v tomto směru vzácně jednotná a všude stejná, současně ovšem jaksi v každé své chvíli a na každém místě jedinečná a až příliš často nečekaně jiná. Každá plavba je tak dobrodružstvím – co vás na moři potká, nikdy nevíte. Což ostatně čtené praktické zkušenosti dokládají více než názorně (Titanic ap.).

V těchto ohledech je oceán dokonalým zpředmětňením povahy

reálného světa, v němž se náš život odehrává. Peripetie potíží s interpretací dění oceánu vypovídají tak možná leccos i o pozadí nejistot a potíží, s nimiž zápolí náš dnešek. I zde jsou grandiózní koncepce vizionářů dříve či později převrstvovány kritickými poukazy každodenních správností generujících nekonečné soubory partikulárních dat, s jejichž faktickým

významem si jaksi nevíme příliš rady. Potíže dneška pak z podstatné části pramení z konfliktů udánlivých jistot početných reprezentací jsoucího – obecných správností a modelových pravidel našeho obrazu světa – s výrony reálného dění. V nich se s neomalou názorností vynořují skutečnosti, s nimiž jsme jaksi nepočítali, dimenze jsoucího, které z takových či onakých důvodů náš výkladový aparát nezahrnuje. Mnohé z nich se derou do popředí jako protiváha opatření znásilňujících živlost světa, závazků a pravidel, jimiž jsme spoutali výměr našich životů, mnohé patří k vstupní výbavě každého z nás, pouze v kolotání společenských potřeb, ekonomické výkonnosti a organizovaných zábav pro ně v obrazu světa jaksi již nezbylo místa. Neméně závažnou komponentou potíží dneška je ovšem i nepřehledná mnohost jednotlivých obrazů světa a neméně rozmanité spektrum jejich ad hoc korektivů, vynořujících se v různých regionech, sociálních sférách či názorových skupinách, jež bona fide vnímáme jako objektivní výraz závažných rozporů a konfliktů, jejichž řešení nesnese odkladu.

Poučení stran povahy oceánu a jeho intelektuálních reprezentací, k nimž jsme se možná naším příspěvkem lehce přiblížili, vybízí v těchto souvislostech k jisté obezřetnosti stran jednoznačných soudů a k pokoře před skutečností světa, jež nás násobně přesahuje rozlehlostí i komplexitou. Setkání s povahou oceánu ostatně otevírá možnost změnit tísnivé poznání vlastní nepatrnosti oceánickým pocitem bytostné jednoty s hlubokým řádem jsoucího a důvěrného srozumění s výměrem slastí a strastí, jimiž se aktem našeho žití svět, jež sdílíme, fakticky dává. S touto výbavou se pak i bez čítankových instrukcí školy, kanceláře a domu dobrodružné plavby na vlnách života netřeba obávat. Inspirativní myšlenkový rámec k názavným krokům naznačuje koncept „Filosofia nautiké“, který v knize *Alternativní (dějiny) filosofie* předkládá Zdeněk Kratochvíl. Lze jen velmi doporučit.

s povrchovými proudy velmi nízká – pohybuje se kolem 1 cm/s, transport severoatlantických hlubinných vod k antarktické oblasti trvá tak zhruba 10 let.

Důležitým momentem nových výpovědí o tomto předmětu se stala možnost konfrontace modelových rekonstrukcí

s výsledky instrumentálního sledování různých hydrologických proměnných získávaných v letech 2004 až 2020 sofistikovaným výzkumným komplexem RAPID navázaným na podmořský kabel protínající na 26,5° severní šířky celý Atlantický oceán (obr. 4). Vedle obecné shody se shora

uvedenými modelovými výstupy ukázala měření systému RAPID

- nečekaně velkou proměnlivost proudění atlantického poledníkového zpětného proudy (obr. 5) s celkovým rozpětím hodnot transportní síly 3 až 32 Sv,
- velké množství krátkodobých výkyvů,

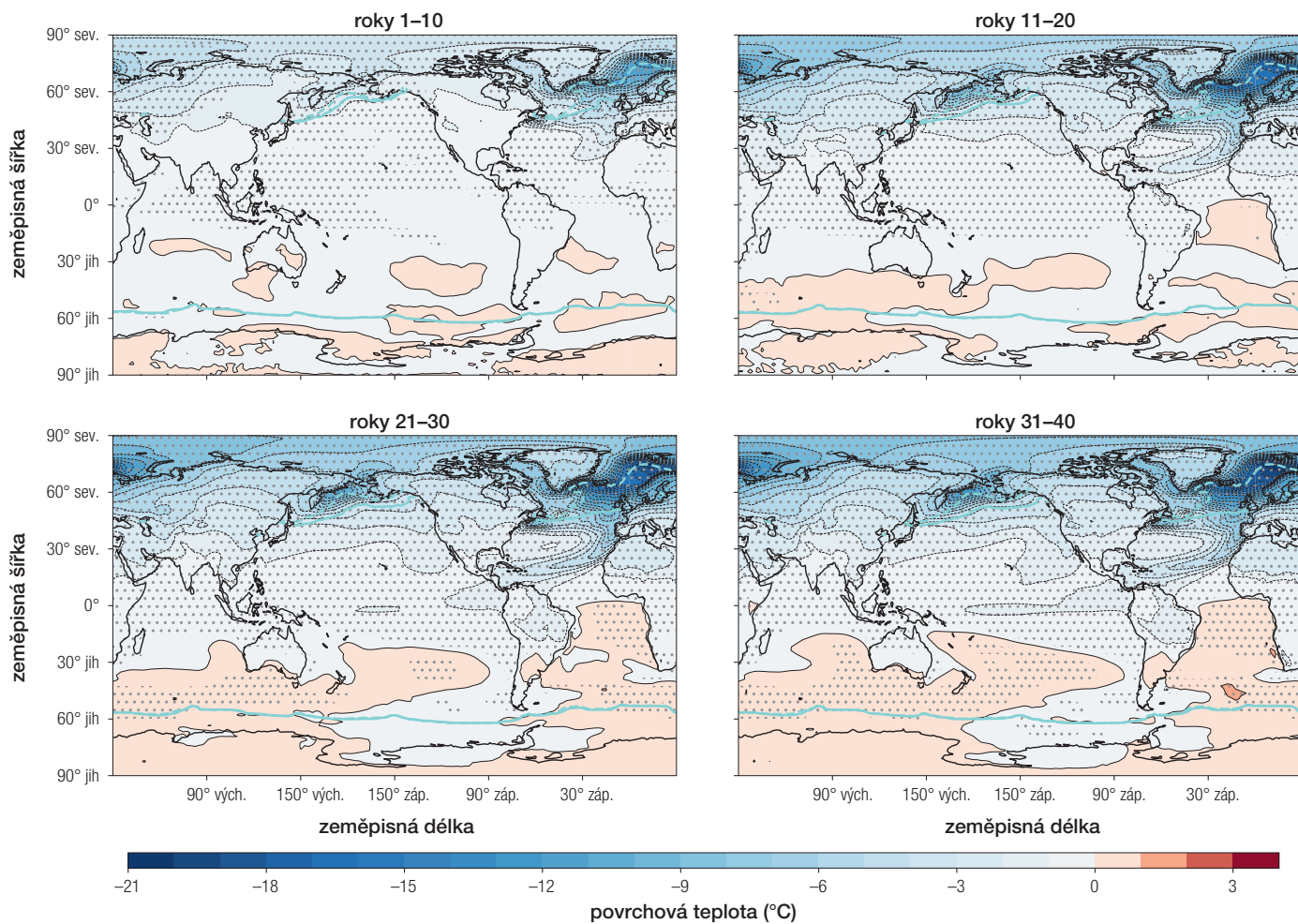
- pravidelnou sezonní dynamiku s maximem v zimním období,
- postupné snižování průměrné hodnoty – ve sledovaném desetiletí zhruba o 5 Sv.

Neméně významná empirická data přináší satelitní sledování teplot mořské hladiny, dokládající pro stávající desetiletí výrazné

termální anomálie povrchových vod: velmi silné oteplení v oblasti Norského proudy a jeho rozšiřování podél severozápadního šelfu Eurasie (přenos tepla do povrchových vod Arktidy) a ochlazování v oblasti subpolárního víru (oslabený přenos tepla v oblasti tvorby severoatlantických hlubinných vod.

Modelové analýzy navíc naznačují, že v průběhu posledních dekád provází tvorbu těchto hlubinných vod

- chaotická dynamika ovlivněná přílivem sladké vody grónských ledovců a nestabilním rozhraním subpolárního víru vymezujícího prostor tvorby těchto hlubinných



vod v oblasti Labradoru a v Irringerově moři nad hlubokomořským svahem svádějícím tyto vody ke dnu oceánu,

■ stále výrazněji se zde uplatňuje mísení vod, takže relativně teplejší směsná severoatlantická hlubinná voda neproniká do dnových hloubek,

■ pohyb atlantického poledníkového zpětného proudu se soustředí do vyšších poloh hlubokomořského prostředí a je zpomalován množstvím lokálních směsných vírů.

Ještě zřetelnější anomálie provází situaci v oblasti Antarktidy, s takřka kolmými svahy padajícími do 4km hloubky. Efekt hluboce podchlazené pevniny zde jednak na rozhraní s teplými vodami jihovýchodního Pacifiku generuje tvorbu hlubinných vod jižního oceánu (SODW) s celkovou odhadovanou výkonností 26 Sv, jednak spolu s jejich tlakem a přínosem vod atlantického poledníkového zpětného proudu akceleruje úpatní cirkumantarktický hlubinný proud unášející rychlostí 3-4 cm/s objemy odhadované na 134 Sv, distribuované postupně do hlubokomořské zóny Indického a Tichého oceánu. Anomálie posledních desetiletí ukazují ovšem

● masivní hromadění teplých povrchových vod Pacifiku v oblastech hlavní tvorby hlubinných vod jižního oceánu (Rossovo a Weddellovo moře), působící

● rozsáhlou erozi antarktických ledovců dotyčných oblastí s vysazením povrchových vod, a tedy ztrátou jejich dispozic k termohalinní tvorbě hlubinných vod jižního

6. MODELOVÉ SIMULACE změn povrchových teplot (tečky vyznačují body statisticky významných rozdílů) během prvních desetiletí po zastavení atlantického poledníkového zpětného proudu předpovídají prudké ochlazení severních oblastí a průběžné oteplení Antarktidy.

B. Orihuela-Pinto et al.: Nature Climate Change, 2022, DOI: 10.1038/s41558-022-01380-y

oceánu. Nejnovější studie doplňuje tato zjištění podrobnými doklady

● akumulace teplé vody ve středních polohách (1000-2000 m) přilehlých atlantických oblastí

● s výrazně zvýšeným stářím těchto vod, naznačujícím radikální snížení přínosu nově tvořených hlubinných vod. Výstupy korigovaných modelů CMIP6, s nimiž studie operuje, jednoznačně predikují pro nastávající čtvrtstoletí výrazné snížení výkonnosti atlantického poledníkového zpětného proudu (o 19 %), a zejména pak proudů cirkumantarktických hlubinných dnových vod (o 42 %) s dramatickým ochlazením severního Atlantiku a excesivním oteplením antarktické oblasti, přinášejícím drastické omezení hlubokomořské cirkulace Indického a Tichého oceánu.

Proto neudivuje, že do popředí pozornosti se v posledních letech dostávají analýzy modelující klimatický vývoj při zastavení atlantického poledníkového zpětného proudu (obr. 6). Jejich výstupy jsou obecně v souladu s Broeckerovou predikcí rychlého ochlazení severních oceánů s dočasným oteplením antarktické oblasti. Inspirativní

paralelu k těmto predikcím poskytují i modely simulující charakter klimatických změn při snížení objemu solární energie odpovídajícím konfiguraci astronomických (Milankovičových) parametrů na konci poslední meziledové doby.

Aktuální modely vesměs radikálně rozšiřují vstupní datový aparát i spektrum zahrnutých proměnných (sdílení atmosférických plynů, koloběh uhlíku ap.), nejnověji ke slovu přicházejí i predikáty shora připomenuté keplerovské úvahy. Přes jisté výhrady, připomínající nejasnosti stran faktických relací zahrnutých proměnných a konceptuálních rámců parametrizace modelů, lze pro školu, kancelář a dům jejich většinou výpověď shrnout do konstatování, že

■ systém termohalinního výměníku je přinejmenším v hrubých rysech skutečně reálnou invariantou oceánického dění,

■ jeho zeslabování je skutečností, s níž je třeba počítat, přičemž

■ nakolik přepokládané změny souvisejí s koncem současného interglaciálu a co vše tyto změny přinesou, se pro nejbližší desetiletí jaksi přesně neví. ●

↗ více k tématu na www.vesmir.cz