



**dr Aleksandra
Kardaś**

Jest fizyczką atmosfery,
popularyzatorką
nauki, autorką
popularnonaukowej
Książki o wodzie
oraz współautorką
podręcznika
Nauka o klimacie.
Współtworzy
stronę internetową
naukaoklimacie.pl
i za tę działalność
otrzymała tytuł
Popularyzatora
Nauki 2017
w kategorii zespół.
aleksandra.kardas@
naukaoklimacie.pl

OBIEG WODY

WORRADIREK/SHUTTERSTOCK.COM

dr Aleksandra Kardaś

Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

Woda to wyjątkowa substancja, bez której nasz świat wyglądałby zupełnie inaczej. Spośród innych związków chemicznych wyróżnia ją to, że w zakresie występujących na Ziemi temperatur może znajdować się w aż trzech stanach skupienia – gazowym, ciekłym i stałym. Para wodna obecna w atmosferze to główny gaz odpowiadający za naturalny efekt cieplarniany – zjawisko, któremu zawdzięczamy klimat sprzyjający rozwojowi i przetrwaniu życia na Ziemi. Gdyby nie ten efekt, nasza planeta widziana z kosmosu zamiast „błękitnej kulki”

przypominałaby kulę śniegową, bo średnia temperatura na jej powierzchni byłaby o ponad 30 st. C niższa. Tymczasem jednak woda w stanie ciekłym, ocean, pokrywa ponad 70 proc. globu, stanowiąc środowisko życia dla niezliczonych organizmów, a także wielki magazyn energii. Prądy oceaniczne rozpraszają tę energię po Ziemi, zmniejszając różnice temperatur między różnymi szerokościami geograficznymi. W lodzie zalegającym w pobliżu biegunów i wysoko w górach jest zmagazynowana większość wody słodkiej. Obecność wody w stanie stałym wpływa m.in. na ilość pochłaniania i odbijania promieniowania słonecznego od powierzchni planety.

To, jak woda krąży po świecie i przechodzi z jednego stanu skupienia na drugi, podlega obecnie poważnym zmianom zapoczątkowanym przez zjawisko globalnego ocieplenia. Emisje gazów cieplarnianych – przede wszystkim dwutlenku węgla – związane z rozwojem przemysłu czy rolnictwa doprowadziły

O tym, jak globalne krążenie wody i zmiany jej stanu skupienia wpływają na zjawiska klimatyczne.

do nasilania się efektu cieplarnianego i wzrostu średniej temperatury powierzchni planety.

Oceany

Ocean jest rezerwuarem, do którego trafia większość energii gromadzącej się na Ziemi w związku z ociepleniem. Wzrost jego temperatury oznacza wzmożone parowanie, co prowadzi do powstawania silniejszych cyklonów tropikalnych, a także głębszych niżów barycznych w szerokościach umiarkowanych – np. tych, które odpowiadają za przynoszenie powietrza znad Atlantyku do Polski. Prędkości wiatru i natężenie opadów związanych z tymi zjawiskami rosną, co przekłada się na zwiększone ryzyko wystąpienia tzw. powodzi błyskawicznych, wynikających z natychmiastowego wypełniania zagłębień terenowych deszczówką. Zdarzenia takie jak huragan Harvey (który w 2017 roku doprowadził do 1043,3 mm

opadu w Houston w ciągu trzech dni) stały się dzięki ociepleniu klimatu trzy razy bardziej prawdopodobne, a częstość występowania sztormów takich jak Desmond (który w 2015 roku spowodował rekordowo silne deszcze w Wielkiej Brytanii) wzrosła o 60 proc. Niezwykle ciekawie pisze na ten temat w swojej książce *Wściekła pogoda* dr Friederike Otto, członkini zespołu World Weather Attribution, zajmującego się analizowaniem związku zjawisk ekstremalnych ze zmianą klimatu.

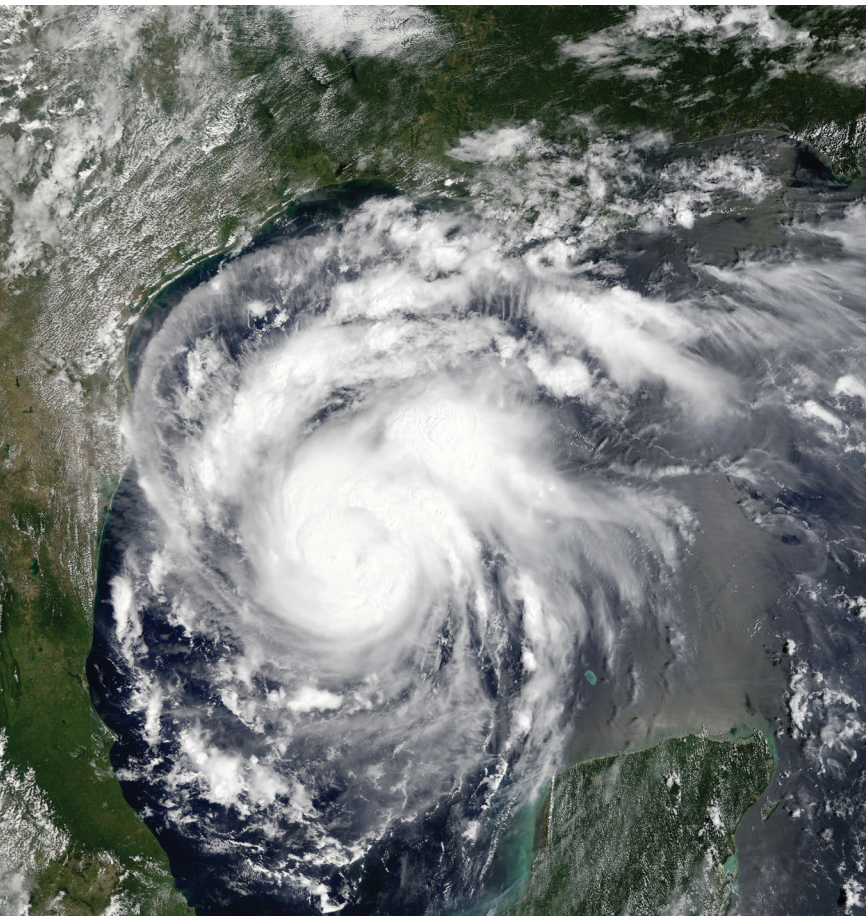
Ogrzewanie oceanu oznacza nie tylko silniejsze zjawiska burzowe, lecz także wzrost poziomu morza. Choć na co dzień łatwo o tym zapomnieć, rozszerzalność termiczna – zwiększanie objętości rozgrzewającej się wody – ma w tym zjawisku duży udział. Tymczasem w regionach położonych nisko nad poziomem morza mieszka dziś blisko 700 mln ludzi, a do połowy wieku liczba ta przekroczy prawdopodobnie miliard (informacje na ten temat można znaleźć w specjalnym

raporcie IPCC – The Intergovernmental Panel on Climate Change z 2019 roku). Również w Polsce podczas wozbrań sztormowych coraz więcej obszarów nadmorskich będzie narażonych na zalewanie przynajmniej raz w roku. Warto pamiętać, że teren nie musi znajdować się stale i całkowicie pod wodą, by przestał nadawać się do wykorzystania przez człowieka. Nawet zalania występujące rzadko powodują zniszczenia, zasolenie gleb czy zanieczyszczenie źródeł wody pitnej i zmuszają mieszkańców lub użytkowników do przeprowadzki.

Wiatry

Stały dostęp do wody jest warunkiem naszego przetrwania, gdyż bez niej nasze organizmy przestają funkcjonować, zatem woda nie może być oceniana jedynie jako „narzędzie zniszczenia”. Woda jest używana do nawadniania pól, na których uprawiamy żywność nas rośliny, do zachowania higieny i w licznych procesach przemysłowych, łącznie z produkcją niezbędnej dla współczesnej cywilizacji energii elektrycznej. Chociaż samej wody na planecie nie ubywa, czekają nas coraz większe problemy z zapewnieniem dostępu do zasobów dla nas najcenniejszych – czystej wody słodkiej.

Huragan Harvey
nad Zatoką Meksykańską



EARTH OBSERVATORY/MASA.GOV/IMAGES/90818/HURRICANE-HARVEY5TIRS-UP-THE-GULF-OF-MEXICO

Wydawałoby się, że wzmoczenie parowania wody z powierzchni Ziemi powinno sprzyjać także nasilonym opadom. Jednak to, gdzie i kiedy występują opady, zależy nie tylko od ilości pary wodnej znajdującej się w powietrzu, lecz także od ukształtowania terenu i dynamiki przepływów atmosferycznych, która zależy m.in. od zachowania prądów morskich. Przykładowo, pojawienie się dodatniej anomalii temperatury na powierzchni północnego Atlantyku przesunęło strefę opadów równikowych nieco na północ, a wystąpienie anomalii ujemnej – na południe (mowa oczywiście o wieloletnich średnich). Obserwujemy niestety, że zmiana klimatu sprzyja wysuszeniu się regionów, które już wcześniej cierpiały na deficyty opadów – np. okolic Morza Śródziemnego.

W Europie Środkowej niekorzystnej dla człowieka zmianie podlega przede wszystkim rytm występowania opadów. To efekt szybkiego (w porównaniu z resztą świata) wzrostu średniej temperatury w Arktyce, gdzie mamy do czynienia z silnym klimatycznym sprzężeniem zwrotnym. Ocieplenie klimatu powoduje spadek zasięgu unoszącego się na powierzchni oceanu lodu morskiego. To z kolei oznacza zastąpienie powierzchni efektywnie rozpraszającej promieniowanie słoneczne przez powierzchnię skutecznie je pochłaniającą, czyli ciemne lustro wody. Sprzyja to przyspieszonemu nagrzewaniu się oceanu w tym rejonie, a więc dalszemu spadkowi zasięgu lodu. W rezultacie okolice bieguna północnego to najszybciej rozgrzewająca się część świata.

Spadek różnicy temperatury między strefą podbiegunową i zwrotnikową prowadzi do hamowania prądu strumieniowego – wiatru o dużych prędkościach wiejącego na wysokości około 10 km i wprowadzającego nad Europę kolejne masy wilgotnego powietrza z Atlantyku. Spowolniony prąd strumieniowy meandruje, przez co nasz rejon zamiast napływów powietrza atlantyckiego coraz częściej doświadcza długotrwałego wpływu powietrza kontynentalnego oraz napływów mas powietrza z południa i północy. Dodatkowo typowe trasy niżów w szerokościach umiarkowanych przesuwają się na północ: systemy te coraz częściej zamiast przez Polskę wędrują przez Skandynawię. Wszystko to sprzyja występowaniu u nas przedłużonych, nawet do kilku tygodni, okresów bez opadów.

W rezultacie wyraźnie rośnie ryzyko występowania suszy rolniczej i niedoborów wody dla innych zastosowań. Gdy zamiast regularnych, umiarkowanych opadów występują dłuższe przerwy bez nich przeplatane silnymi ulewami, zasoby wodne są regularnie zużywane, a dodatkowo trudno je odnowić. W przypadku krótkotrwałych, intensywnych opadów (których prawdopodobieństwo wystąpienia, niestety, wzrosło) woda nie nadąża wsiąkać w glebę. Duża jej część spływa po powierzchni do strumieni lub kanalizacji, a dalej rzekami do morza, gdzie woda słodka



NASA/MARIA JOSÉ VÍÑAS, LICENCJA CC BY 2.0

Zatoka Lodowców
w Parku Narodowym
Wrangla-Świętego Eliasza,
sierpień 2018 rok.
Sto lat temu ten zbiornik
wody był pokryty lodem

miesza się ze słońcą i przestaje się nadawać do picia czy nawadniania.

Lodowce

Topnienie lodowców górskich także przyczynia się do problemów z zaopatrzeniem w wodę. Te lodowce olbrzymi co roku przybierają na masie zimą (gdy pada śnieg i woda zamarza) i tracą latem (gdy lód i śnieg topnieją). W miarę ocieplania się klimatu obserwujemy, że w większości przypadków zimowe opady przestają równoważyć letnie roztopy.

Póki lodowiec istnieje i intensywnie się topi, rosna przepływy w zasilanych przez niego rzekach oraz ryzyko powodzi. Ich przyczyny bywają różne. Nagromadzenie się dużej ilości wody w jeziorze u stóp lodowca może po prostu przerwać naturalną tamę uformowaną przez morenę. Inna możliwość to wypchnięcie wody z jeziora w wyniku upadku dużej lub kilku mniejszych brył lodu albo zejścia lawiny kamieni. Prawdopodobieństwo wystąpienia tych zjawisk rośnie wraz z postępującym topnieniem lodu i zmarzliny na zboczach odsłanianych przez lodowiec. W 2000 roku podobne zdarzenie związane z jeziorem Yigong w Tybecie spowodowało śmierć kilkudziesięciu osób oraz olbrzymie straty materialne w Chinach i Indiach.

Gdy jednak lodowiec ostatecznie zaniknie, poziom wody w wypływających z gór rzekach będzie zależeć już tylko od bieżących opadów. Gdy będą niskie, niedoboru nie uzupełni topnienie lodu i śniegu zmagazynowanego w ubiegłych latach w lodowcu. Jeśli emisje gazów cieplarnianych związane z działalnością człowieka nie zostaną zahamowane, do końca XXI wieku może się stopić nawet 80 proc. masy lodowców alpejskich.

Co prawda polskie rzeki nie mają swoich źródeł w lodowcach, jednak również u nas pod wpływem zmiany klimatu zmieniają się średnie przepływy w poszczególnych porach roku. Ze względu na wzrost

średnich temperatur zimą coraz więcej zimowych opadów przybiera formę deszczu, a nie – śniegu. W coraz mniejszym stopniu mamy do czynienia z magazynowaniem wody w postaci stałej i uwalnianiem jej na wiosnę, tak by mogła podtrzymywać przepływy w rzekach i wydajniej zwilżać glebę.

Topnienie lodowców, lądolodów i lodu morskiego przynosi nie tylko wspomniany już wzrost poziomu morza i zmianę w ilości promieniowania pochłanianego przez powierzchnię Ziemi. Zjawiska te powodują także zmiany w globalnej cyrkulacji wód oceanicznych. Napędzają ją m.in. różnice w zasoleniu wód, a topnienie lodu oznacza wprowadzanie do oceanu w konkretnych lokalizacjach dużych ilości wody słodkiej. Zmiany w występowaniu i układzie prądów morskich odbijają się na prawdopodobieństwie występowania opadów, susz czy gwałtownych zjawisk burzowych w poszczególnych regionach.

Przeprowadzane przy założeniu różnych scenariuszy numeryczne symulacje przyszłości klimatu wskazują, że nie będzie łatwo cofnąć zmian, które spowodowałyśmy w systemie klimatycznym, zwiększając koncentrację gazów cieplarnianych w atmosferze. Nie wystarczy samo zatrzymanie emisji dwutlenku węgla, metanu i tlenu azotu (I). Będzie to również wymagać dużo czasu (nawet tysiącleci) lub aktywnego usuwania dwutlenku węgla z atmosfery. A uda się tylko pod warunkiem, że w międzyczasie temperatura nie podniesie się na tyle, by uruchomić dodatnie sprzężenia zwrotne – naturalne zjawiska sprzyjające pogłębieniu się zapoczątkowanych przez człowieka zmian, uniemożliwiające ich cofnięcie. Oznacza to, że mimo iż ludzkość będzie się starać zatrzymać ocieplenie się klimatu na poziomie 1,5 lub 2 st. C względem epoki przedprzemysłowej (w myśl porozumienia paryskiego z 2015 roku), musimy zaakceptować i przystosować się do zmian, które już zaszły w obiegu wody w przyrodzie, i przygotować na zmiany, które mogą w nim jeszcze zajść w przyszłości.

Chcesz wiedzieć
więcej?

IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate 2019, red. H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer, www.ipcc.ch/srocc/

Otto F., *Wściekła pogoda. Jak mszczą się zmiany klimatu, kiedy są ignorowane*, Kraków 2019.

Reid H., Simms A., Johnson V., *Up in Smoke? Asia and the Pacific: The threat from climate change to human development and the environment*, London 2007.