

6 Ziemia: Co nam mówi nasza planeta

8 Świat: Dlaczego pogoda jest coraz bardziej kapryśna

16 Meteorologia: Jak człowiek uczył się przepowiadania pogody i czy mu się to udaje

26 Polska na mapie pogodowej: W jakiej strefie leży nasz kraj

To, co ulotne

34 Chmury: Wycieczka po piętrach obłoków

54 Niebo: Ile kolorów można wypatrzeć nad horyzontem

62 Miraże, fatamorgany, iluzje: Kiedy światło płata ludziom figle

68 Obłoki srebrzyste: Ile tajemnic kryją chmury z wysokości 80 km

72 Mgła, szron, szadź: Jaki jest przepis na znikanie świata



Autorem większości artykułów jest Andrzej Hołdys, geograf, dziennikarz, stały współpracownik działu Nauka i cywilizacja tygodnika POLITYKA.

To, co nas dotyka

78 Opady i powodzie: Kiedy deszcz jest mile widzianym, a kiedy niechcianym gościem

86 Zasiewanie chmur: Czy człowiek może wywołać deszcz

90 Pioruny: Dlaczego powstają i jak się ich ustrzec

100 Oblodzenia samolotów: Kiedy lód zagraża pilotom i ich pasażerom

103 Meteoropatia: Czy rzeczywiście wiele osób reaguje na zmianę pogody

110 Oczy: Jak chronić wzrok przed promieniami słońca

116 Rozmowa o pogodzie: Dlaczego najpopularniejszy small talk zaczął być źródłem stresu

To, co nam grozi

122 Cyklony, tornada, trąby powietrzne: Skąd ich niszczycielska siła

132 Susza: Jak długo Polacy będą się cieszyć wodą w kranach

142 Pożar i chmura burzowa: Co przynosi ich połączenie

146 Wzrost temperatur: Jaka przyszłość czeka Ziemię

puszku.pl

Create happiness

Różnorodność, design, jakość wykonania!

Wejdź do świata komfortowych, ręcznie szytych siedzisk i dobierz tkaninę oraz kolor idealne do Twoich potrzeb.

www.puszku.pl

Puśku puśku

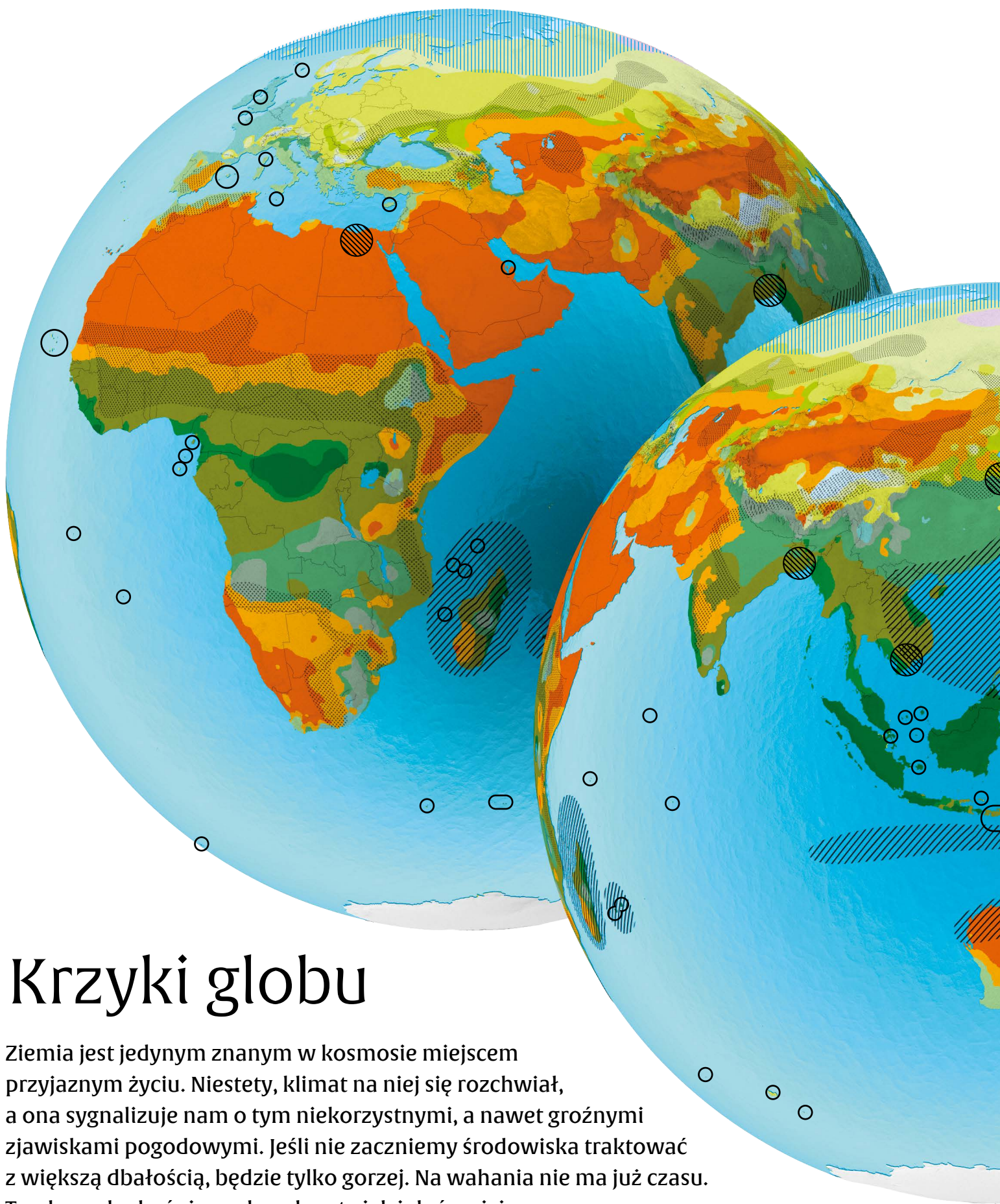


KOD rabatowy **-5%**

NIEZBEDNIK

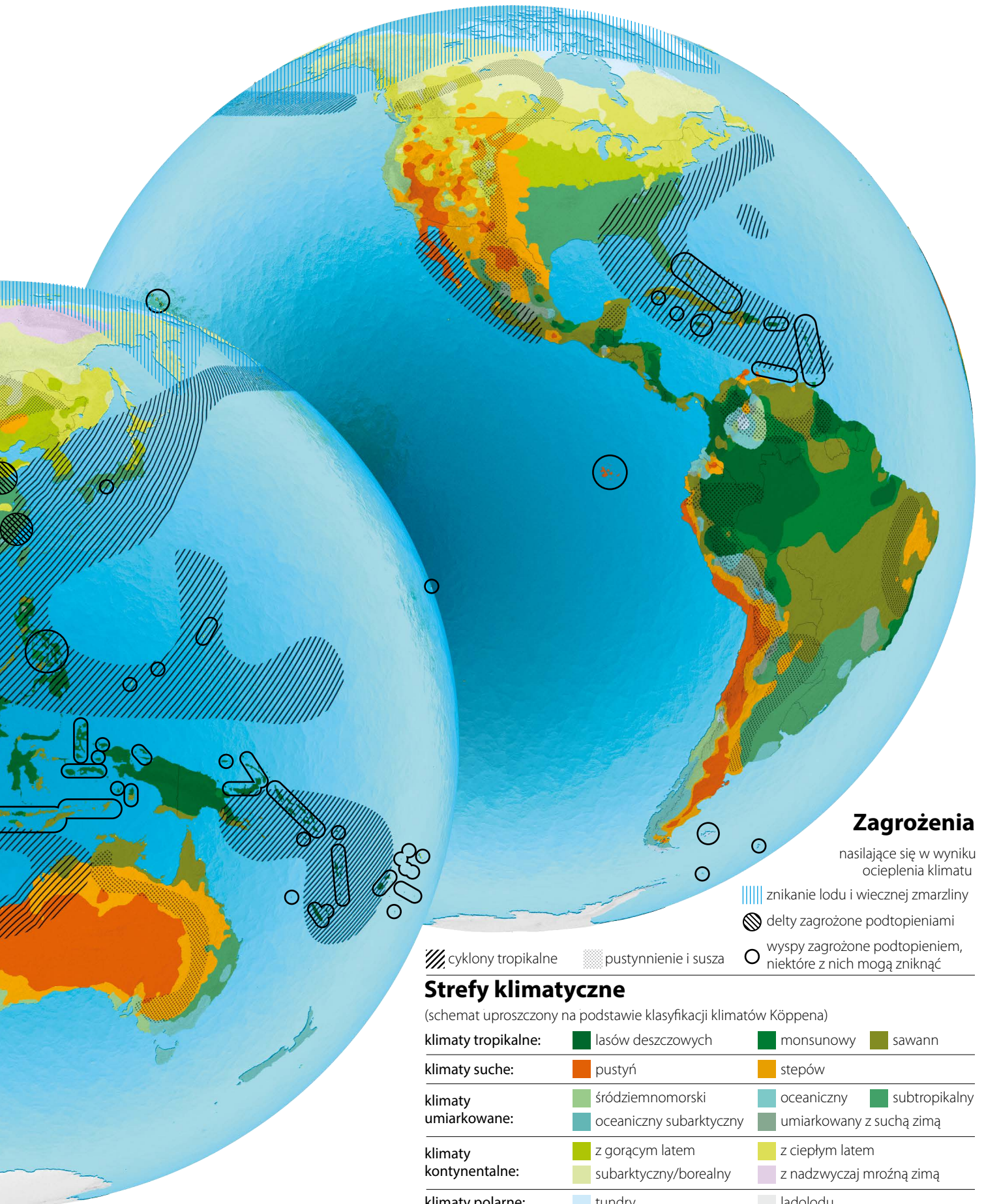
na wszystko

www.puszku.pl



Krzyki globu

Ziemia jest jedynym znanym w kosmosie miejscem przyjaznym życiu. Niestety, klimat na niej się rozchwiał, a ona sygnalizuje nam o tym niekorzystnymi, a nawet groźnymi zjawiskami pogodowymi. Jeśli nie zaczniemy środowiska traktować z większą dbałością, będzie tylko gorzej. Na wahania nie ma już czasu. Trzeba wstuchać się w głos planety i działać na jej rzecz.



Zagrożenia

nasilające się w wyniku ocieplenia klimatu

- znikanie lodu i wiecznej zmarzliny
- delty zagrożone podtopieniami
- wyspy zagrożone podtopieniem, niektóre z nich mogą zniknąć

- cyklony tropikalne
- pustynnienie i susza

Strefy klimatyczne

(schemat uproszczony na podstawie klasyfikacji klimatów Köppena)

klimaty tropikalne:	lasów deszczowych	monsunowy	sawann
klimaty suche:	pustyń	stepów	
klimaty umiarkowane:	śródziemnomorski	oceaniczny	subtropikalny
	oceaniczny subarktyczny	umiarkowany z suchą zimą	
klimaty kontynentalne:	z gorącym latem	z ciepłym latem	
	subarktyczny/borealny	z nadzwyczaj mroźną zimą	
klimaty polarne:	tundry	lądolodu	



Globalne pomieszanie

Słońce, atmosfera, temperatury oceanów, wiatry na lądach – wszystko to wpływa na pogodę na całym naszym globie. Jak działa ziemski system naczyń połączonych?

Ostatnia zima była rekordowo ciepła. Średnia temperatura z trzech miesięcy – grudnia 2019 r. oraz stycznia i lutego 2020 r. – wyniosła 3,1 st. C i była w Polsce najwyższa od początku prowadzenia pomiarów meteorologicznych, czyli mniej więcej od połowy XIX w. Główny powód to oczywiście globalne ocieplenie klimatu, które z każdą dekadą coraz energiczniej się rozkręca. Ale wielu badaczy zwraca uwagę na jeszcze jeden czynnik, który pojawił się w odpowiednim miejscu i czasie, by w walce temperatur szaleń zwycięstwa przechylić na rzecz ciepła. Czynnik, który namieszał w ziemskiej atmosferze, po czym rozplątał się w niej bez śladu. Pora go przedstawić: to Dipol Oceanu Indyjskiego.

Strefa streamu

Co ma do zimy w Polsce Ocean Indyjski? Nie od dziś wiadomo, że na Ziemi działa system naczyń połączonych. Zjawiska zachodzące na równiku mogą spowodować lawinę zmian pogodowych nawet pod biegunem. Pomiędzy wodą a powietrzem trwa przecież ciągła wymiana ciepła i energii. Atmosfera, ze swoimi wiatrami, deszczami, chmurami i dziesiątkami zjawisk meteorologicznych, wpływa na zachowanie oceanów, a te nie pozostają jej dłużne.

Przenieśmy się więc na chwilę w tropiki. Zwykle jest tak, że równikowe wody Oceanu Indyjskiego są na wschodzie, czyli w pobliżu Indonezji i Australii, cieplejsze niż na zachodzie.





© REUTERS/AKHTAR SOOMRO/FORUM, MATTHEW ABBOTT/PANOS PICTURES/FORUM, GETTY IMAGES, REUTERS/AKHTAR SOOMRO/FORUM, SVEN TORFINN/PANOS PICTURES/FORUM

W ubiegłym roku jednak akwen – w czym walny udział miała atmosfera – wykonał fikołka i cieplejsze wody powędrowały ku wschodniej Afryce. Ten fikołek to właśnie Dipol Oceanu Indyjskiego. W Afryce wywołał potężne ulewy, które z kolei przyczyniły się do inwazji szarańczy. Do Australii sprowadził upały i susze, a w konsekwencji „czarne lato”, czyli gigantyczne pożary buszu. Ale Ocean Indyjski nie działa w izolacji. Nadwyżki jego równikowego ciepła trafiały do atmosfery, a ta przekazywała je dalej – w kierunku umiarkowanych szerokości geograficznych półkuli północnej. Część więc trafiła do nas.

Ten obraz nie byłby jednak pełny, gdyby zapomnieć odwrócić wzrok od równika w stronę Arktyki. Zimne masy powie-

trza zostały zamknięte na cztery spusty w pobliżu bieguna północnego i zamiast przedostać się na południe, kręciły się w kółko, tworząc tam wielki niż atmosferyczny zwany stratosferycznym wirem polarnym. A ponieważ natura nie znośi próżni, w miejsce arktycznego napłynęło ciepłe powietrze z południa i zachodu. Nie tylko do nas. Cały pas umiarkowanych szerokości geograficznych półkuli północnej przejęły suche i łagodne wyże, ściągnające ku Europie powietrze niosące ciepło pochodzące nawet znad Oceanu Indyjskiego. Mroźne i śnieżne niżej od reszty świata odciął *jet stream* – potężny strumień powietrza okrążający Ziemię z zachodu na wschód na wysokości około 10 km.

Ten zwykle wędruje na wschód mniej więcej wzdłuż granicy USA i Kanady, a następnie ponad północnym Atlantykiem, północną Europą i Syberią. Ale ostatniej zimy uciekł daleko na północ, co zdarza się wtedy, gdy w Arktyce królują wielkie, uparte niż baryczne, z którymi od południa sąsiadują równie silne i nieruchawe wyży. Pomiędzy nimi pogłębia się różnica ciśnień atmosferycznych, a im jest większa – tym *jet stream* porusza się szybciej i jest mniej pofalowany. Meteorolodzy nazywają takie zjawisko pozytywną Oscylacją Arktyczną. Istnieje też negatywna OA, gdy wszystko jest na odwrót: Arktykę zajmują wyży, a na południe od nich gnieźdzą się niży. Wtedy *jet stream* też jest „negatywny” – słaby i pełen zakoli, z którymi mroźne arktyczne powietrze łatwo przenika na południe, sprowadzając do nas siarczyste mrozy.

Powtórzmy: zjawiska atmosferyczne przypominają domino, w którym upadek jednej kostki powoduje przewrócenie się kolejnych, aż do ostatniej z szeregu. Badacze ziemskiego systemu klimatycznego zidentyfikowali wiele takich szeregów. Zwiąż telekoneksjami. Za chwilę do nich wrócimy, ale najpierw cofnijmy się do pierwszej połowy XVIII w.

Passa pasatów

Ziemia, jak wiadomo, jest (prawie) okrągła i obiega Słońce. Poza tym wiruje wokół osi nachylonej pod kątem 66°33' do płaszczyzny orbity okołosłonecznej.

Te banalne fakty, z którymi zaznajamiamy się w czwartej klasie szkoły podstawowej, mają poważne konsekwencje dla ziemskiego klimatu i pogody. Słońce jest dla naszego globu głównym źródłem ciepła, ale energia słoneczna docierająca do Ziemi nie jest rozdzielana sprawiedliwie. Większość otrzymuje strefa tropikalna, znacznie

mniej strefa umiarkowanych szerokości geograficznych, a bardzo mało – obszary podbiegunowe. Na szczęście mamy jeszcze atmosferę – otoczkę gazową, za pośrednictwem której pewna część słonecznego ciepła jest transferowana od równika w stronę biegunów.

Jako pierwszy dostrzegł to Edmond Halley, sławny angielski astronom, który żył na przełomie XVII i XVIII w. Pamiętamy go głównie z analiz pojawiania się komet w latach 1456–1682, dzięki którym ponowny przelot jednej przewidział z dokładnością co do roku (1758). Choć nie dożył jej powrotu, miał rację – dziś nosi ona jego imię. Ale zaraz po studiach na Oxfordzie uczony popłynął na Wyspę Świętej Heleny na południowym Atlantyku, gdzie zainstalował teleskop do obserwacji gwiazd południowego nieba. Podczas podróży na wyspę zainteresował się bliżej pasatami – wiatrami wiejącymi ze wschodu na zachód w strefie międzyzwrotnikowej. W 1686 r. napisał artykuł naukowy, w którym słusznie dowodził, że pasaty są ubocznym efektem silnego nagrzewania się tropikalnego powietrza. Ono unosi się wysoko, a wtedy w jego miejsce napływa nowe powietrze, właśnie pod postacią pasatów.

Halley błędnie jednak tłumaczył, dlaczego pasaty wieją na zachód. Uważał, że po prostu podążają one za zachodzącym słoń-

cem. Właściwą odpowiedź podał pół wieku później inny Anglik, George Hadley, prawnik z wykształcenia, ale meteorolog z zamiłowania. Pasaty wieją na zachód za sprawą wirowania Ziemi – okazało się, że w 1736 r. Obrót planety sprawia, że każde ciało, które porusza się po jej powierzchni w stronę równika, odchyła się w kierunku zachodnim – tłumaczył. Widział to tak: ogrzane na równiku powietrze unosi się na wysokość wielu kilometrów, a następnie rozchodzi w stronę zwrotników, zmuszane do tego przez kolejne fale powietrza napływającego z dołu. Ponieważ na górze jest zimno, po dotarciu w okolice zwrotników powietrze staje się chłodne i ciężkie. Dlatego opada, a następnie jego część zawraca ku równikowi jako pasaty. Reszta szuka zaś szczęścia na zewnątrz strefy tropikalnej.

Dwa wieki później ten atmosferyczny taśmociąg do transportu ciepła słonecznego z okolic równika do stref podzwrotnikowych nazwano komórką Hadleya, uznając ją za koło zamachowe globalnej cyrkulacji atmosfery. W połowie XIX w. William Ferrel dołożył drugie, przedstawiając model wędrowni mas powietrza od zwrotników w kierunku obu kół podbiegunowych. W komórce Ferrela, odwrotnie niż w tej Hadleyowskiej, przeważają wiatry zachodnie. To także jest efekt wirowania Ziemi, tzw. efekt Coriolisa: wiatr wiejący od niższych ku wyższym szerokościom geograficznym odchyła się w prawo na półkuli północnej i w lewo na półkuli południowej. W obu przypadkach

skutek jest ten sam: skręt na wschód. Co się dzieje dalej z tymi zachodnimi masami powietrza przynoszącymi podzwrotnikowe ciepło daleko na północ? Stopniowo się unoszą, aż w końcu po dotarciu w okolice kół podbiegunowych zderzają się ze ścianą, czyli zimnym powietrzem polarnym. Wtedy przechodzą metamorfozę i zmieniają się we wspomniane już

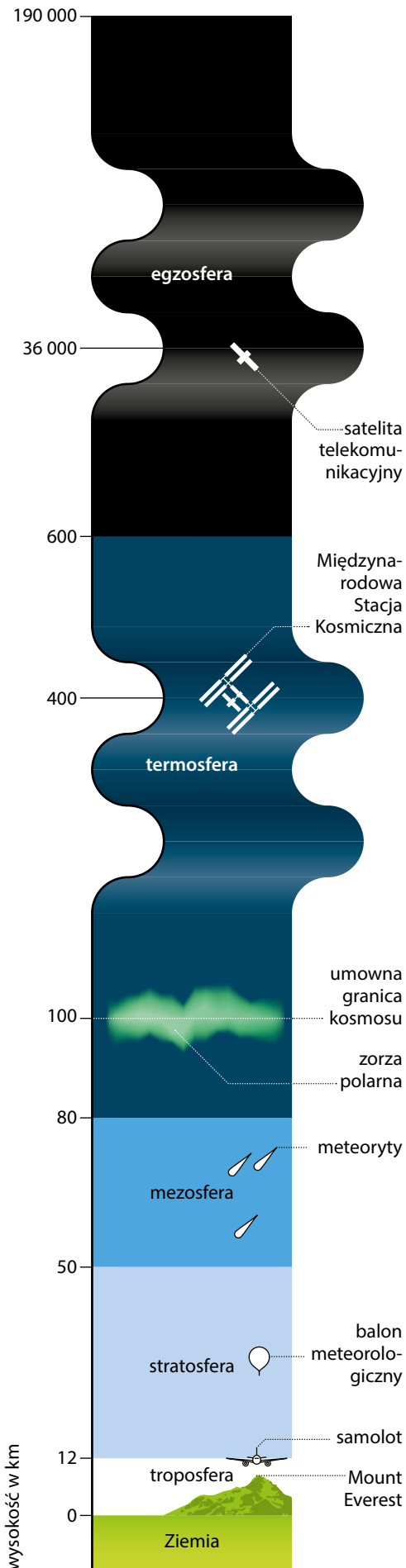
Atmosfera, ze swoimi wiatrami, deszczami, chmurami i dziesiątkami zjawisk meteorologicznych, wpływa na zachowanie oceanów, a te nie pozostają jej dłużne.

jet streamy – północny pędzi wokół Arktyki, południowy obiega Antarktydę. Tu kończy się komórka Ferrela, a zaczyna ostatni element globalnej cyrkulacji powietrza – komórka polarna, gdzie w teorii ponownie dominują wiatry wschodnie układające się w gigantyczny wir polarny ponad biegunami.

Jak każdy model i ten istnieje w stanie idealnym tylko na papierze. Rzeczywistość jest o wiele bardziej skomplikowana. I dlatego tak trudna do prognozowania. Wystarczy powiedzieć, że powierzchnia Ziemi składa się z lądów i oceanów. Te pierwsze nie są gładkie jak kula bilardowa – mają urozmaiconą rzeźbę terenu. Te drugie też nie są oazą spokoju. Przykładem potężny Prąd Zatokowy, który rządzi północną częścią Oceanu Atlantyckiego. On także niesie duże ilości ciepła podzwrotnikowego na północ. Z jednej strony nie byłoby go dzięki globalnej cyrkulacji atmosferycznej, z drugiej on sam wpływa silnie na pogodę choćby w Europie, którą ogrzewa od tysięcy lat, zapewniając jej wyjątkowo łagodny klimat.

Relacje pomiędzy dwoma wielkimi żywiołami – atmosferą i oceanami – są bardzo ściśle i tak pogmatwane, że z ich rozwikłaniem nie dają sobie rady największe komputery, karmione każdego dnia milionami nowych danych. Wystarczy jakieś

Warstwy atmosfery



niespodziewane wahnięcia ciśnienia lub ledwie zauważalna zmiana temperatury na powierzchni na przykład tropikalnego Pacyfiku, aby wszystkie obliczenia wzięły w łeb.

Zarazem taki prosty model ma swoją zaletę. Jeśli przyrzeć się Ziemi z pewnego dystansu, widać jak na dłoni, skąd biorą się te wszystkie olbrzymie zjawiska atmosferyczne i oceaniczne, a od których zależy pogoda w różnych zakątkach globu. Można śledzić, jak wzajemnie przekazują sobie energię, wibracje i rytmy. I to właśnie od ich zgrania lub dysonansu zależy pogoda w różnych zakątkach globu. Jest takich zjawisk sporo. Poza Oscylacją Arktyczną, Prądem Zatokowym, *jet streamem* i Dipolem Oceanu Indyjskiego warto przedstawić jeszcze dwa, których wpływ na Ziemię i jej mieszkańców jest szczególnie duży.

Żar chłopca i chłód dziewczynki

W normalnej sytuacji wiejące ponad Oceanem Spokojnym pasaty pchają rozgrzaną słońcem wodę w stronę Azji Południowo-Wschodniej. W efekcie temperatura wody we wschodniej i środkowej części oceanu jest wyraźnie niższa niż w zachodniej. W pobliżu Indonezji, gdzie gorąca woda paruje bardzo intensywnie, rozwijają się chmury burzowe, z których regularnie leje. Tymczasem u wybrzeży Ameryki Południowej jest bezchmurnie i wyżowo. Od czasu do czasu jednak, z bliżej nieznanym powodem, pasaty słabną, a wtedy sytuacja się odwraca. Rozgrzane tropikalne wody wracają na wschód, a wtedy w pobliżu Ameryki Południowej gromadzą się gigantyczne ilości ciepła.

To właśnie jest pierwszy nasz bohater: El Niño – wielka wana gorącej wody tworząca się po wschodniej stronie tropikalnego Pacyfiku, która odradza się średnio co 3–7 lat. Ogrzewa ona powietrze nad sobą, stając się silnikiem, który wprawia w ruch cały system układów barycznych i prądów atmosferycznych rozchodzących się po całym globie. Na początek zabiera ulewy Azji Południowo-Wschodniej, przenosząc je do Peru i Ekwadoru, co wiele razy kończyło się tam powodzią. A jeśli pacyficzna wana jest dostatecznie rozgrzana i utrzymuje się przez wiele miesięcy, może wpłynąć na pogodę na niemal całym globie.

El Niño trwa zwykle około roku: startuje wiosną, dojrzewa jesienią, maksimum osiąga pod koniec grudnia, a później przez kilka miesięcy gaśnie. Ostatni raz swoją moc pokazało w latach 2015–16. Bardzo liczyli na nie mieszkańcy Kalifornii. Mieli nadzieję, że przyniesie obfite opady deszczu, które złagodzą skutki pięcioletniej suszy. W przeszłości tak się zdarzało: niższe wyłaniające się z rozgrzanego Pacyfiku ruszały w asyście deszczowych frontów nie tylko na Peru i Ekwador, ale także na Meksyk i Kalifornię właśnie. W tym samym czasie Australię, Azję Południowo-Wschodnią, a nawet Indie ogarniały głębokie susze. Tak było podczas słynnych ekscesów El Niño w latach 1982–3 i 1997–8, kiedy to ulewy i susze doprowadziły do wielkich strat w całym pasie podzwrotnikowym – od Afryki przez Azję po Amerykę Środkową i Południową.

Kalifornijczycy cztery lata temu nie doczekali się jednak intensywnych deszczy. Zamiast do nich powędrowały one do stanów nad Zatoką Meksykańską. Natomiast samo zjawisko rozgrzało niemal cały świat, przy czym Australijczycy, Filipińczycy oraz mieszkańcy wielu wysp zachodniej Oceanii zma-

gali się z silną suszą, podczas gdy Afrykę Wschodnią – jak zwykle podczas silnego El Niño – zalały nadzwyczaj intensywne deszcze. Nawet meteorolodzy brytyjscy uznali, że nadzwyczaj ciepła i deszczowa ówczesna zima w Wielkiej Brytanii była pośrednią konsekwencją zdarzeń rozgrywających się gdzieś daleko na tropikalnym Pacyfiku. Z takimi konkluzjami lepiej jednak uważać. Europa znajduje się dość daleko od centrum potencjalnych szaleństw pogodowych wywoływanych przez El Niño i choć naukowcy doszukują się rozmaitych zależności, znalezione przez nich korelacje są statystycznie słabe.

Gorące El Niño, co znaczy po hiszpańsku chłopiec, ma swoją odpowiedniczkę, która nazywa się La Niña, czyli dziewczynka. Ostatnio melduje się ona rzadziej i jest dość delikatna, jednak i jej zdarzało się niezłe nabroić. Gdy przychodzi La Niña, wszystko jest na odwrót niż podczas El Niño: na pacyficznych wybrzeżach Ameryki Południowej jest jeszcze bardziej sucho niż zwykle, za to Azję Południowo-Wschodnią i Australię nawiedzają silniejsze niż zwykle nawałnice.

Tę oceaniczno-atmosferyczną huśtawkę na Pacyfiku określa się El Niño/Oscylacja Południowa, w skrócie ENSO (od ang. El Niño/Southern Oscillation). Do niedawna zajmowano się głównie El Niño. Jego siostrzyczką zaczęto się interesować dopiero, kiedy pojawiła się kilkukrotnie, osiągając maksimum w sezonie 2010–11. Wtedy lista przypisywanych jej występów była długa: gigantyczne powodzie w Pakistanie i wschodnich Chinach, susze w Chile, Argentynie i Urugwaju, ulewne deszcze w południowej Afryce, brak deszczu w Kenii, Somalii i Tanzanii, cyklony i ulewy w Australii, Melanezji, Indonezji i Maleszji.

Jaką przyszłość zgotują ludziom ENSO? Czy rosnące na globie temperatury zwiększą intensywność El Niño, czy też mocy nabierze raczej La Niña? A może stanie się jedno i drugie? Nietrudno sobie wyobrazić rozchwiany system miotający się od jednej skrajnej pozycji do drugiej. Tymczasem od tego, w którą stronę podąży tropikalna cyrkulacja, zależy los przynajmniej 3 mld mieszkańców Azji Południowej i Wschodniej, którym rytm życia wyznacza letni monsun – sezonowy wiatr przynoszący życiodajne deszcze. Na tę wodę czekają ludzie, rośliny i zwierzęta.

Niepewność monsunu

Kaprysy pogody nie są obce i Europejczykom. Przyzwyczajeni jesteśmy do wahań temperatury, nagłych fal chłodu, wiosennych przymrozków i jesiennych wichur. Pogoda potrafi nas nieprzyjemnie zaskoczyć, ale wciąż jeszcze traktujemy jej złośliwości pobłażliwie (to się może zmienić, gdy w cieplejszym klimacie nasilą się ekstrema). Tymczasem w tropikach pogoda decyduje o życiu i śmierci. Letnie monsuny bywają kapryśne, mogą w parę dni zatopić wielkie miasto lub sprowadzić tropikalne cyklony. A one są bezlitosne. Zdmuchują z powierzchni ziemi wszystko, co spotkają na swojej drodze.

Zabijają ludzi. Lecz od cyklonów gorsza jest susza. Absencja monsunu wiele razy była przyczyną straszliwych klęsk głodu, podczas których umierały miliony ludzi. Indie doświadczyły ich wiele, tak samo Chiny. Zdesperowani ludzie wznicali rewolty i powstania, w wyniku których rozpadały się państwa, a królowie tracili władzę, a zazwyczaj również życie.

Tymczasem przyszłość letniego monsunu w Azji nie jest pewna. Zależy ona między innymi od Pacyfiku. Silne El Niño zwykle porywało deszczowe niże z Azji do Ameryki Południowej, a wtedy monsun słabł. Z kolei intensywna La Niña potrafiła nadmiernie wzmocnić monsun, który zjawiał się z armiami cyklonów i nawałnic. Jedno i drugie może sprawić kłopoty, ale z dwojga złego gorsze jest to pierwsze, bo oznacza suszę. Problem w tym, że naukowcy nie wiedzą, co się zdarzy w najbliższych dekadach. Letni monsun azjatycki powstaje, ponieważ wiosną powietrze nad lądem szybko się ogrzewa i wędruje w górę. Wtedy w jego miejsce zaczyna napływać chłodniejsze powietrze znad oceanu.

Na łasce tej olbrzymiej morskiej bryzy znajdują się Chiny, Indie, Pakistan, Bangladesz, Półwysep Indochiński i część Archipelagu Malajskiego. Niepokojące jest to, że od paru dekad ona słabnie, choć w odległych czasach było zazwyczaj tak, że wzrost temperatury oceanu ją wzmacniał. Tymczasem teraz

monsun wyraźnie traci na sile, mimo że w ciągu ostatniego półwiecza tropikalne wody zachodniego Pacyfiku i wschodniej części Oceanu Indyjskiego ogrzały się o ponad 0,5 st. C. Kumulująca się tam energia powinna nakarmić wielkie niże, a te niczym gigantyczne odkurzacze powinny zassać wilgotne oceaniczne powietrze, a następnie przenieść

je w kierunku najbliższych lądów. Pojawił się jednak nowy czynnik, który zaburzył cyrkulację tropikalną.

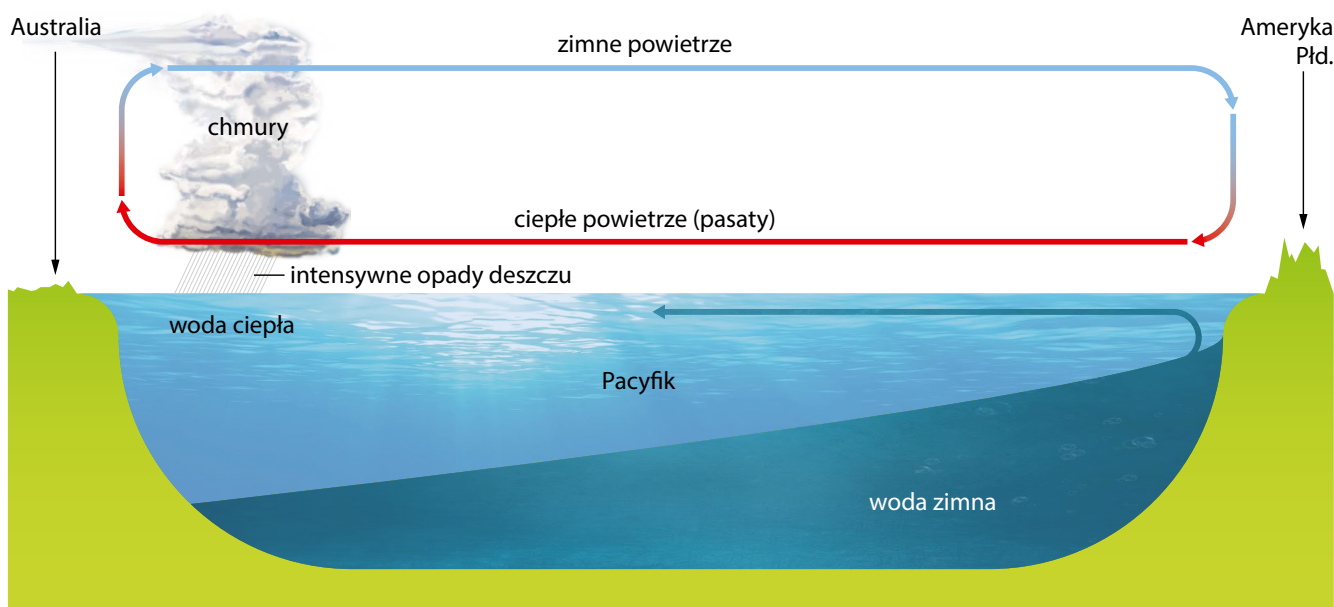
To człowiek, a dokładniej – aerozole siarkowe emitowane przez azjatyckie elektrownie węglowe. Tak wynika z wielu badań z ostatnich lat. Te obserwacje pokazują też, że letni monsun w Azji unosi część zanieczyszczeń, a one potem otaczają planetę. Tuman gazów i drobnych cząstek wędruje ponad Himalajami i Wyżyną Irańską, aż w końcu zostaje porwany do stratosfery i tam, na wysokości 15–18 km, prądy powietrzne roznoszą te brudy wokół całego globu. Tak to właśnie działa.

(Nie)wiadoma po polsku

Niestety, można się spodziewać, że wpływ ludzi na pogodę globalną będzie rósł w najbliższych dekadach. Widać to nie tylko w krajach monsunowych, lecz także znacznie bliżej Polski. Znów będzie o *jet streamie*. Jak pamiętamy, karmi się on różnicą temperatur pomiędzy cieplejszą strefą umiarkowaną a chłodniejszą Arktyką. Rzecz w tym, że ta druga nagrzewa się szybciej niż pierwsza, a różnica temperatur pomiędzy nimi się kurczy, co z kolei sprawia, że *jet stream* traci impet. Zamiast gnać wprost na wschód, coraz częściej zwalnia i wędruje potężnymi zakolami. W efekcie cała cyrkulacja w umiarko-

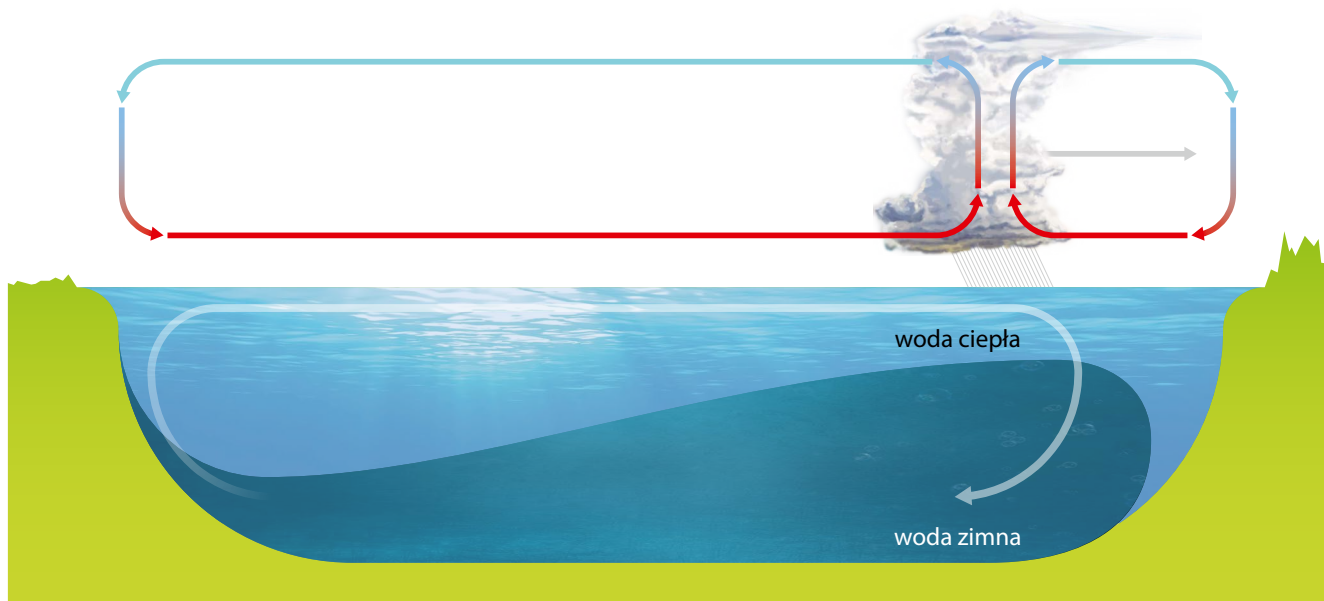
Coraz silniej rozgrzana Arktyka i stopniowo rozszerzająca się ku biegunom strefa tropikalna niosą do Polski gorący i suchy klimat oraz huragany. Pętla klimatyczna powoli się zaciska.

Na czym polega El Niño?



NORMA

Wijące od wschodu pasaty przemieszczają ciepłe wody powierzchniowe na zachód. Zasobne w składniki odżywcze, chłodne wody głębinowe wynoszone są na powierzchnię. Na zachodzie, gdzie parowanie jest wyższe, pada deszcz, na wschodzie panuje klimat suchy.



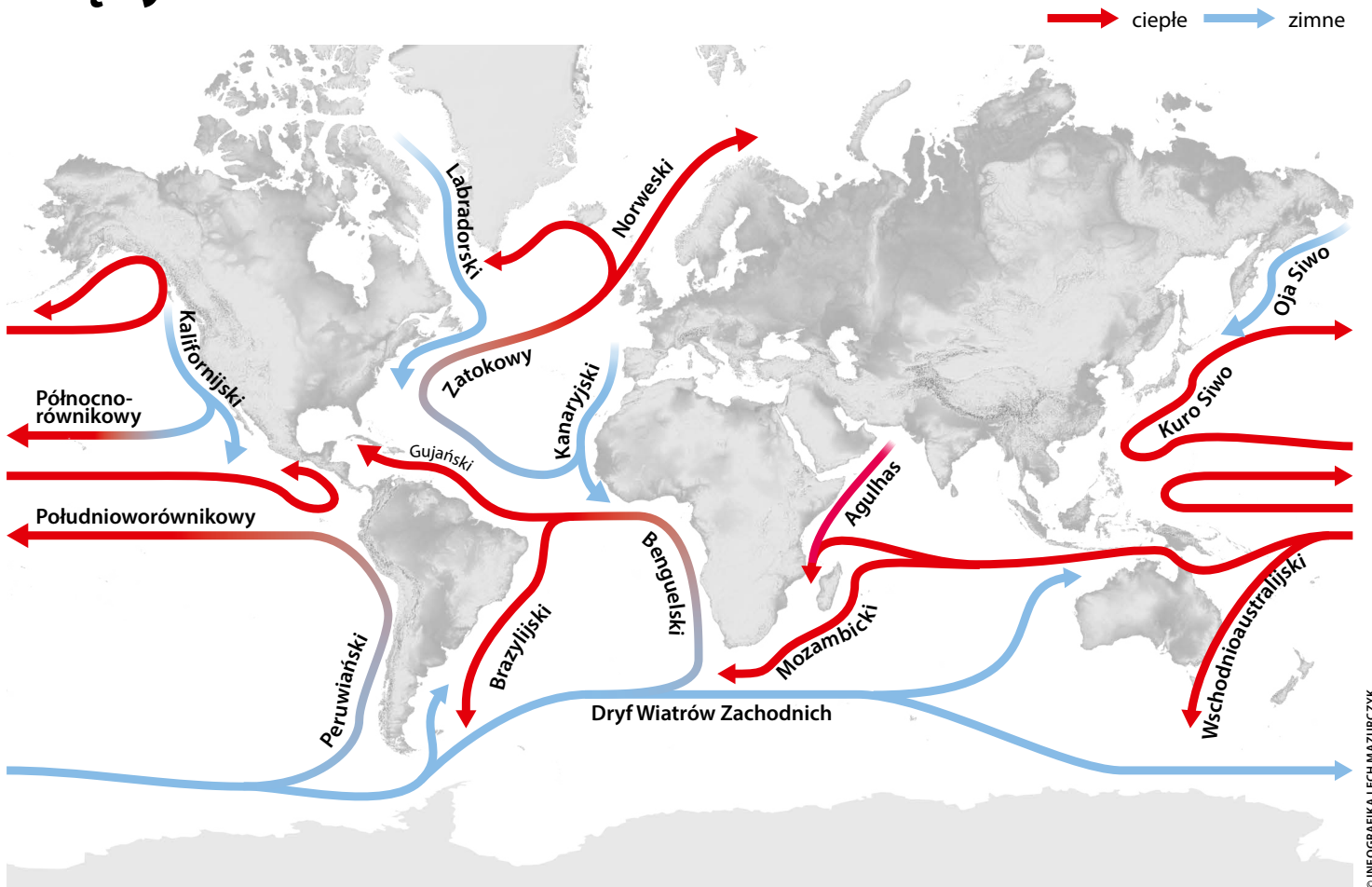
EL NIÑO

Gdy pasaty na wschodzie słabną, zimna woda z głębin nie wznosi się. Powierzchnia wody u wybrzeży Ameryki Płd. staje się coraz bardziej nagrzana. Zwiększa się więc parowanie, co powoduje katastrofalne deszcze. Natomiast brak parowania na zachodzie oznacza suszę.

wanych szerokościach geograficznych dostaje zadyszki. Fale upałów, susz, mrozów, śnieżyc czy też ulew zaklinowują się i mogą tygodniami tkwić nad jakimś rejonem. Typową cechą tego zjawiska są wyraźnie zarysowane granice obszarów objętych taką blokadą. Podczas gdy jeden rejon doświadcza na przykład długotrwałej suszy, w sąsiednim, oddalonym o naj-

wyżej kilkaset kilometrów, nie ma nawet śladu ekstremalnej pogody. Takie blokady zdarzają się zwykle latem i jesienią, kiedy granica pomiędzy komórką Farrela i komórką polarną najbardziej się rozmywa, ale mogą się pojawić i w innych porach roku. Może to być fala późnojesiennego ciepła czy też wiosennej suszy. Gdy już przychodzi, wydaje się nie mieć końca.

Prądy morskie



© INFOGRAFIKA LECH MAZURCZYK

Zmiana klimatu oznacza też zmiany w pogodzie. Modyfikować ją będą coraz cieplejsze oceany oraz coraz cieplejsza i bardziej wilgotna atmosfera. Nam z jednej strony zaczyna mieszać coraz silniej rozgrzana Arktyka, z drugiej – rozszerzająca się ku biegunom strefa tropikalna. Konsekwencją będzie zmiana klimatu na bardziej gorący i suchy w cieplejszych regionach strefy umiarkowanej oraz przesunięcie na północ tras wędrowek huraganów. Pętla klimatyczna powoli się zaciska.

Niewiadomą pozostaje przyszłe zachowanie Prądu Zatokowego. Wydaje się, że ten wielki prąd morski, który od tysięcy lat stabilizuje klimat Europy, zaczyna słabnąć, co może się przełożyć na zawirowania pogodowe po obu stronach północnego Atlantyku. Niektóre efekty uboczne naszych działań są trudne do uchwycenia, ale wśród naukowców panuje raczej zgoda, że to sprowokowana przez nas zmiana kli-

matu będzie nakręcała ekstrema pogodowe i wzmacniała ich konsekwencje.

Meteorolodzy nigdy nie mieli łatwego życia. Mimo wszystko nie złożyli broni. Od ponad stu lat uparcie próbują poznać tajemne formuły rządzące naturą, zrozumieć mechanizmy, od których zależy to, dokąd podąży pogoda w kilku następnych dniach, tygodniach, a nawet miesiącach. Problem w tym, że tych mechanizmów jest sporo i wszystkie one wchodzą ze sobą w liczne interakcje. Teraz jednak synoptikom będzie jeszcze trudniej, bo na to wszystko nakłada się globalna zmiana klimatu – joker mogący zmienić przebieg

zjawisk pogodowych w sposób trudny do przewidzenia.

Na szczęście ludzkość dysponuje komputerami, bazami danych, modelami, radarami, satelitami oraz gęstniejącą z roku na rok siecią stacji meteorologicznych obsługiwanych przez zaawansowane systemy telekomunikacyjne. ♦

Niestety, można się spodziewać, że wpływ ludzi na pogodę globalną będzie rósł w najbliższych dekadach. Widać to nie tylko w krajach monsunowych, lecz także znacznie bliżej Polski.

KATEGORIA
NAUKOWA A+

WSPÓŁPRACA
MIĘDZYNARODOWA

INSTYTUCJONALNA
OCENA
WYRÓŻNIAJĄCA
PKA

PONAD 1100
STUDENTÓW
W 2019 R.

**DLACZEGO
REALIZOWAĆ
STUDIA NA
WYDZIALE
FIZYKI UW?**

CO 35 LAUREAT
STYPENDIUM
MNISW UCZY
SIĘ U NAS

STUDIA
W POŁĄCZENIU
Z PRACĄ
BADAWCZĄ

OGÓLNODOSTĘPNA
PRACOWNIA
I SALE PRACY
WŁASNEJ

NASI BADACZE
REALIZUJĄ
GRANTY ERC

Pogoda na jutro

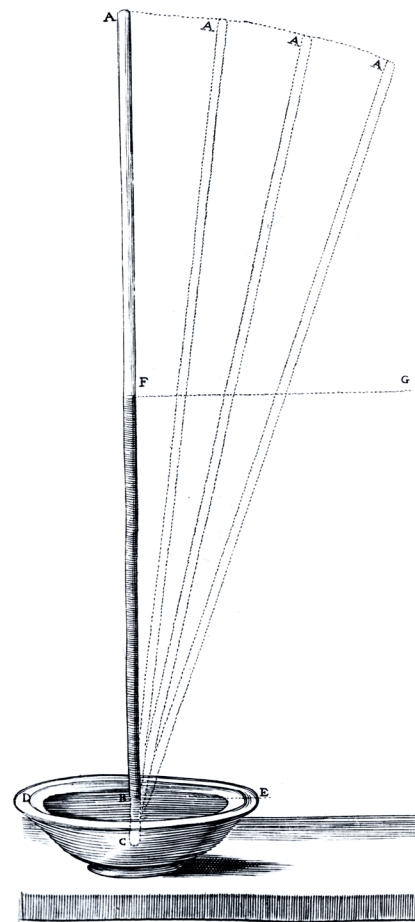
Naukowa definicja aury jest prosta: to stan atmosfery na konkretnym obszarze w danym momencie. Pada, więc jest deszczowa, słupek rtęci się wznosi lub opada, więc mamy upał lub mróz. Ale jeśli chce się poznać jej plany, sprawy zaczynają się komplikować.

To najwierniejsza towarzysząca ludzi. Bywa przyjazna albo naburmuszona, więc rządzi naszymi nastrojami i planami. Jednym podaruje wspaniały weekend, innym zamieni wakacyjny wyjazd w błotnisty koszmar. Potrafi nas zachwycić wspaniałymi zjawiskami optycznymi: tęczkami, mirażami, gloriami, aureolami i mnóstwem innych efektów powstających w wyniku odbicia, załamania czy ugięcia światła słonecznego. Znamy też jej tragiczne w skutkach kaprysy: szkwały i nawałnice, trąby powietrzne, niemiłosierne upały, złośliwe gołedzie i szadzie, podstępne poranne mgły... Nic dziwnego więc, że chcemy z wyprzedzeniem wiedzieć, co nam szykuje w najbliższych dniach, a najlepiej w całym sezonie.

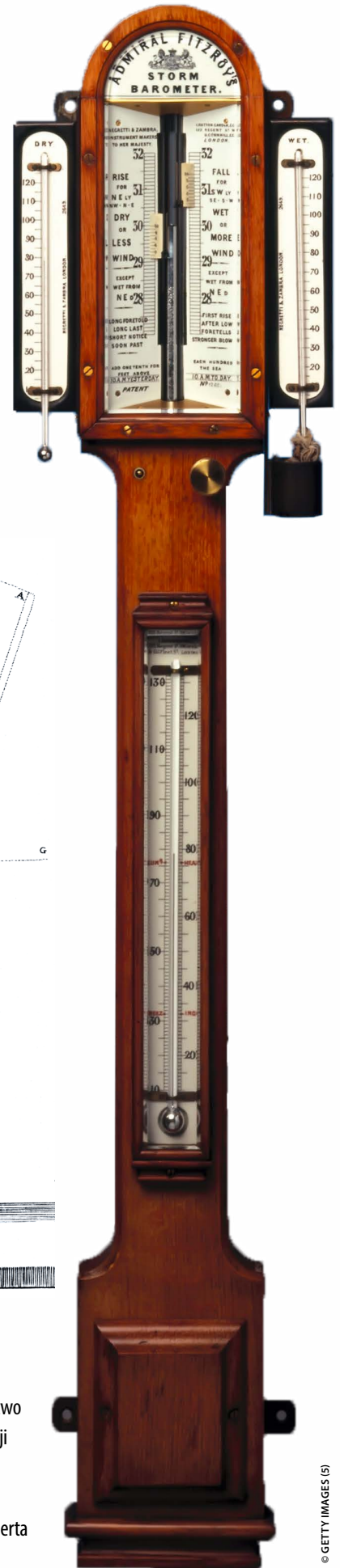
Urodzony w 1881 r. Lewis Fry Richardson był meteorologiem-wizjonerem, ale także matematykiem. Jak wszyscy zajmujący się jego dziedziną, marzył o wynalezieniu idealnej metody przewidywania pogody. Metody, dodajmy, naukowej. Należy – twierdził – wskazać wszystkie czynniki rządzące pogodą i ustalić relacje pomiędzy nimi, a wtedy poznamy przyszłość, na przykład, czy jutro będzie padał deszcz, czy też zaświeci słońce albo z której strony powieje wiatr i jak będzie czynny. Deterministyczne przekonania Richardsonska zakładające, że prawa natury są uniwersalne, a każdy skutek ma swoją przyczynę, którą wystarczy poznać, aby wykraść przyrodzie jej tajniki, doprowadziły go do śmiałej koncepcji „fabryki prognoz pogody”.

Na początku lat dwudziestych XX w. napisał książkę, w której zaproponował pokrycie globu siatką 2000 obserwatoriów meteorologicznych. Dane z nich trafiałyby błyskawicznie do jednej lub kilku wielkich hal, w których pracowałyby tysiące ludzi wykonujących obliczenia potrzebne do przygotowania prognozy, a raczej tysięcy prognoz, które byłyby wyświetlane na mapie świata zajmującej jedną ze ścian. Z kolei na środku hali wznosiłaby się wieża, w której siedziałby główny rachmistrz koordynujący pracę swoich podwładnych rozwiązujących skomplikowane równania opisujące stan atmosfery. Owych rachmistrzów określał zresztą „komputerami”.

Richardson nigdy nie zrealizował swojego marzenia o „numerycznej prognozie pogody”, za to został autorem tego używanego do dziś określenia. A jego fantazja doczekała się jednak realizacji, kiedy w 1946 r. na University of Pennsylvania zaczął pracować słynny ENIAC – pierwszy elektroniczny komputer cyfrowy.



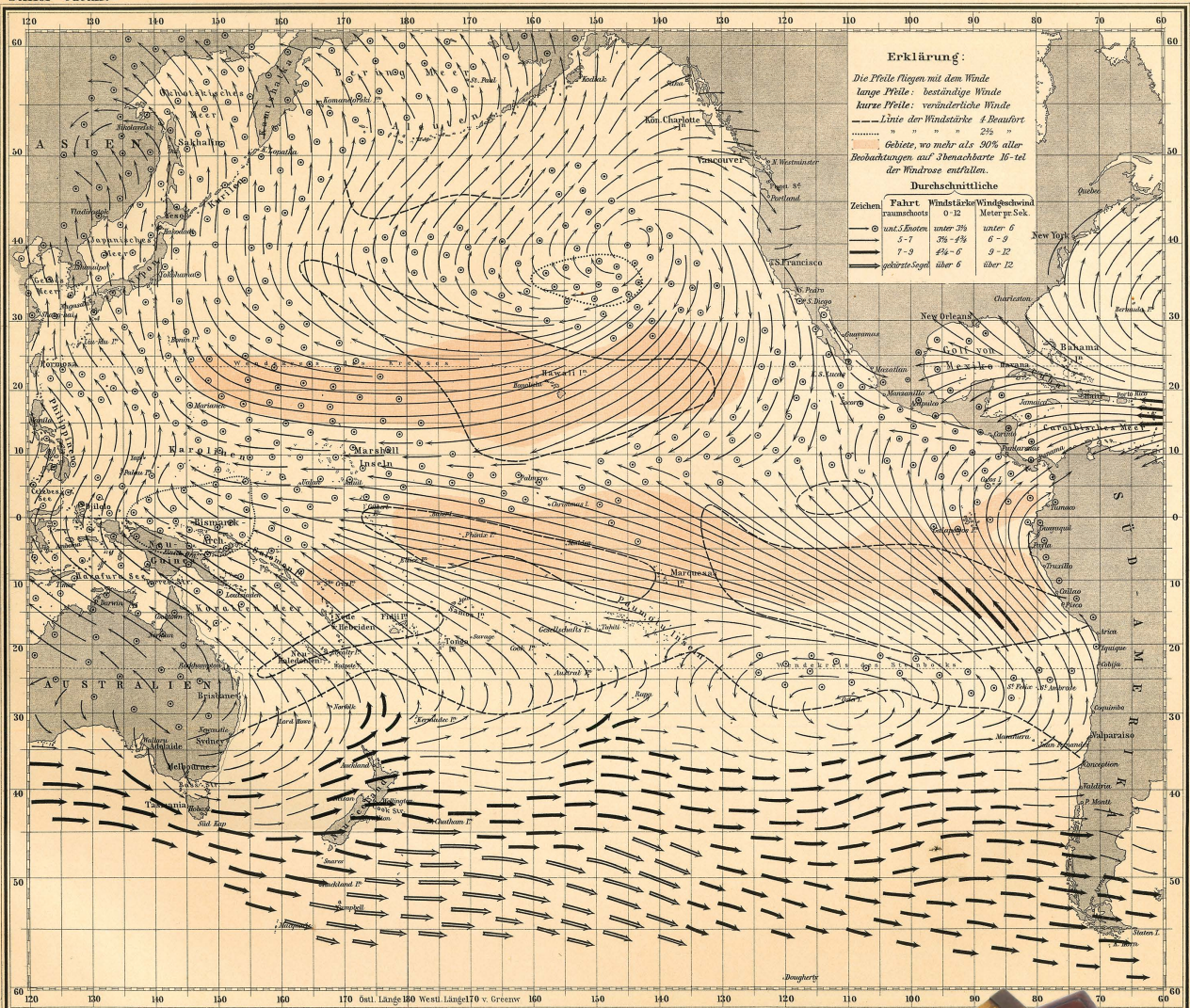
Barometry rtęciowe. Po lewej: używany przez Accademia del Cimento, towarzystwo naukowe założone w 1657 r. we Florencji przez uczniów Galileusza, Giovanniego Alfonso Borelliego i Vincenzo Vivianiego. Po prawej: stworzony przez admirała Roberta Fitzroya (1805–65).



Windverhältnisse
der Monate Juli und August.

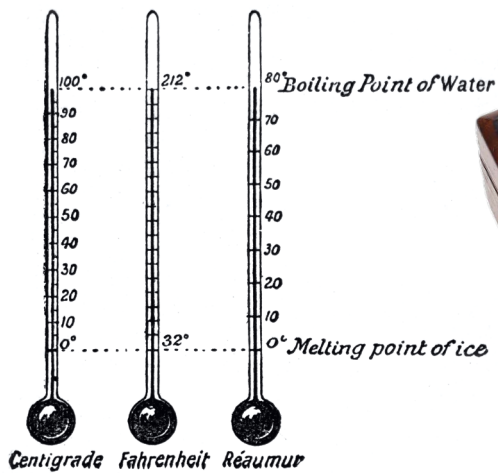
Stiller Ozean.

Taf. 19.



Verlag von I. Friederichsen & C^o, Hamburg.

J. & Debes, Leipzig.



U góry: niemiecka mapa wiatrów na Oceanie Spokojnym z 1896 r. Po lewej: XIX-wieczne porównanie trzech skal temperatury – Celsjusza, Fahrenheita i Réaumura. Po prawej: hydrometr, barometr i termometr z końca XIX w.