

## Antarktyka– zanikające lodowe królestwo

**Patrycja Hałys**

*Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii  
e-mail: patrycja.99.halys@gmail.com*

**Tutor: dr hab. Anita Lewandowska, prof. UG**

*Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii,  
Instytut Oceanografii*

**Słowa kluczowe** – *Antarktyka, globalne ocieplenie klimatu, topnienie pokrywy lodowej*

Przez wiele lat uważano, że na globalne ocieplenie klimatu bardziej niż Antarktyka narażona jest Arktyka. Antarktyka jest w sposób naturalny bardziej izolowana niż Arktyka. Jest też znacznie mniej wystawiona na antropopresję w porównaniu z Arktyką, będącą pod wpływem państw wysoko uprzemysłowionych. Stąd nadmierna eksploatacja środowiska, zanieczyszczenie atmosfery i zmiany klimatu są mniej wyraźne w Antarktyce. Nie bez znaczenia są także panujące na obu półkulach inne warunki hydrologiczne i układy prądów morskich [1, 2].

Na świecie najważniejsze procesy odpowiedzialne za emisję gazów cieplarnianych do powietrza związane są ze spalaniem paliw kopalnych (węgla, ropy, gazu) na cele produkcji ciepła i energii elektrycznej oraz z transportem (lądowym i morskim) i szeroko pojętym przemysłem [3]. Istotną rolę odgrywa także rolnictwo oraz stosowane na dużą skalę wylesianie [3]. Każdego roku na świecie „znika” od 12 do 15 milionów hektarów lasów [4]. Wynika to z coraz większego zapotrzebowania na drewno. Skutkiem deforestacji jest przede wszystkim utrata różnorodności biologicznej, stanowiąca poważne zagrożenie dla prawidłowego funkcjonowania życia na Ziemi. Proces ten odpowiada także za 15-20% globalnej emisji gazów cieplarnianych do atmosfery [4, 5]. Jest to stosunkowo dużo, zważywszy że podobny udział przypada na całkowitą emisję tych gazów z produkcji rolnej [5].

W jaki sposób gazy cieplarniane prowadzą do zmian klimatu? Energia słoneczna dociera do Ziemi w postaci promieniowania krótkofalowego, które jest odbijane z powrotem w przestrzeń kosmiczną w postaci długofalowego promieniowania ciepłego (podczerwonego). Jeśli jednak w atmosferze gazy zaczynają pełnić rolę „szklanego klosza”, zatrzymując wypromieniowaną z Ziemi energię promieniowania długofalowego (IR), dochodzi do efektu cieplarnianego. Promieniowanie, które pozostaje w atmosferze

prowadzi do nagrzewania powierzchni Ziemi i bliskiej jej atmosfery [6, 7].

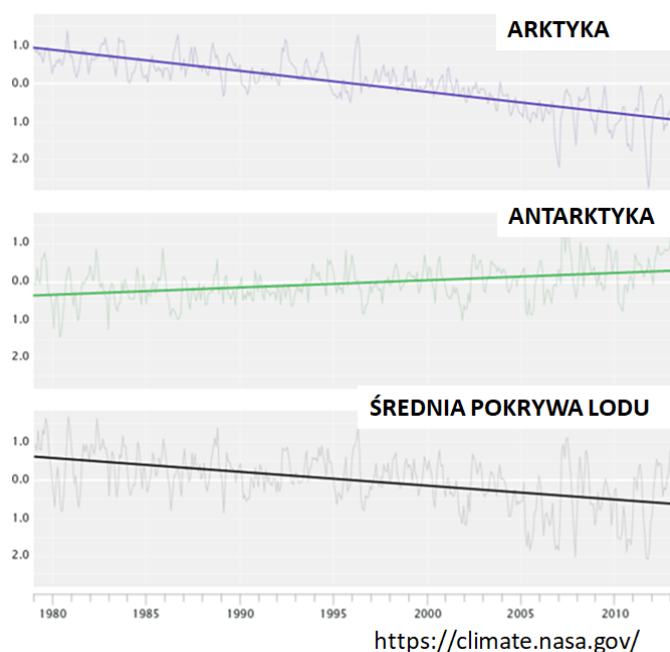
Pośród związków odpowiedzialnych za efekt cieplarniany najważniejsze są dwutlenek węgla ( $\text{CO}_2$ ) i metan ( $\text{CH}_4$ ), które w największym stopniu prowadzą do wzrostu średniej globalnej temperatury powietrza [6, 8]. Teoretycznie, silniejszy wpływ cieplarniany ma molekuła metanu ( $\text{CH}_4$ ) niż molekuła dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ), jednak to dwutlenek węgla w większym stopniu odpowiada za zachodzące zmiany klimatu. Wynika to z faktu, że jego masa w atmosferze jest około 1000 razy większa niż metanu. Antropogeniczna emisja  $\text{CO}_2$  ze spalania paliw kopalnych wynosi około 36 mld ton rocznie, podczas gdy emisja  $\text{CH}_4$  zaledwie 330 mln ton rocznie [8]. Ponadto czas przebywania dwutlenku węgla w atmosferze jest znacznie dłuższy niż metanu, który po upływie kilkunastu lat utlenia się do dwutlenku węgla. Skutkuje to dodatkowym wzrostem stężenia  $\text{CO}_2$  w atmosferze [8].

Stężenie dwutlenku węgla wzrasta intensywnie od drugiej połowy XVIII wieku, czyli od początku epoki industrialnej. Wówczas przyjmowało wartość 280 ppm. Według danych Światowej Organizacji Meteorologicznej [WMO] obecnie wynosi ono ponad 414 ppm. Można zatem zauważyć, że od 1750 roku stężenie tego gazu wzrosło w atmosferze o blisko 50% [9, 10]. Ponadto, wzrost stężenia dwutlenku węgla jest coraz gwałtowniejszy. Dla przykładu, w roku 2017 było ono jeszcze na poziomie około 405 ppm, co oznacza, że tylko w ciągu trzech lat stężenie  $\text{CO}_2$  zwiększyło się o blisko 10 ppm i wynosi obecnie 415 ppm. Jest to bardzo dużo, zważywszy że od początku XX w. łącznie nastąpił wzrost równy 100 ppm [10, 11, 12, 13].

Zanieczyszczenia emitowane do atmosfery mogą występować także w formie zawieszonych, jako tzw. aerozole. W ich składzie znaczną część stanowią związki węgla. Aerozole, zwłaszcza o małych rozmiarach, poniżej 2,5 mikro-

metra średnicy, podobnie jak gazy są przenoszone z masami powietrza na dalekie odległości od źródła ich emisji (Galbán-Malagón i in., 2013). Jeśli w ich składzie jest czarny węgiel (BC – ang. Black Carbon), po wypadnięciu z atmosfery na powierzchnię lodu czy śniegu, może on powodować ich topnienie. Dzieje się tak ze względu na zdolność BC do pochłaniania promieniowania słonecznego [14, 15, 16].

Opisany powyżej proces przenoszenia związków węgla z masami powietrza i ich negatywnego wpływu na topnienie pokrywy lodowej został dobrze rozpoznany naukowo dla rejonów Arktyki (Shen i in., 2017; Ding i in., 2018) [17, 18]. Doniesienia NASA (Narodowa Agencja Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej - ang. National Aeronautics and Space Administration) z 2015 roku wskazują, że lodu na tym obszarze ubywało stopniowo już od lat 80-tych XX wieku (Ryc. 1). Na przeciwstawnym krańcu świata, w Antarktyce, w tym samym czasie pokrywa lodowa wzrastała [13]. Mimo to, globalne pokrycie Ziemi lodem nieustannie się zmniejszało. Wynikało to z tego, że topnienie lodu morskiego w Arktyce znacznie przewyższało wzrost lodu w Antarktyce (Ryc. 1)



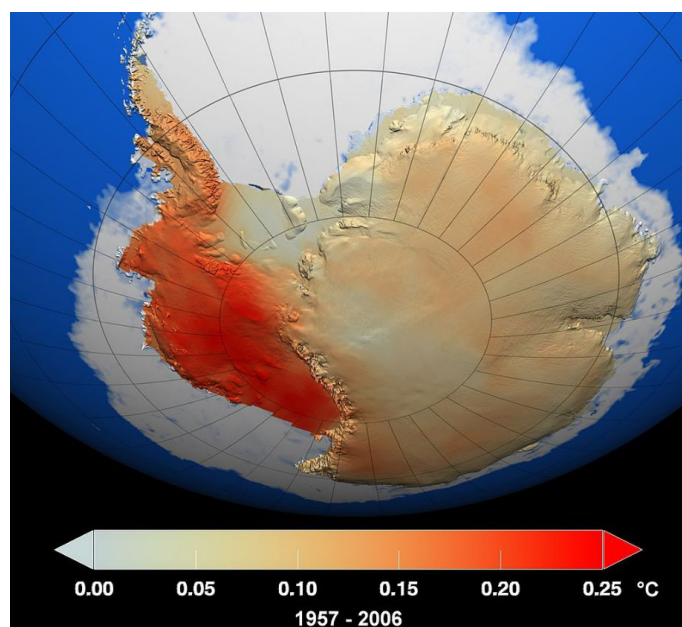
Ryc.1. Porównanie zasięgu lodu morskiego w Arktyce i w Antarktyce w latach 1979-2011 [ mln km<sup>2</sup> ] [13].

Wzrost pokrywy lodowej na półkuli południowej mógł „uśpić czujność” naukowców w aspekcie zachodzących zmian klimatu. Antarktydę postrzegano jako tajemniczą, odległą i wiecznie mroźną krainę, na której największym problemem był ubytek warstwy ozonowej. Jakkolwiek z najnowszych danych, opublikowanych w roku 2018 w Nature [19] wynika, że w latach 1992–2017 tempo utraty lodu w rejonie Półwyspu Antarktycznego wzrosło prawie pięciokrotnie, z 7 do 33 miliardów ton rocznie [19].

Zamiany klimatu w rejonie Antarktyki bada się od około dwóch dekad, jakkolwiek szczególne zainteresowanie tym tematem naukowcy wykazują w ostatnich kilku latach. Zauważono, że obszar ten jest również zagrożony, jeżeli chodzi o wzrost temperatury i zmniejszanie się grubości pokrywy lodowej. Stwierdzono między innymi, że od grudnia 2019 roku istotnie wzrosło tempo ocieplania się Półwyspu Antarktycznego, tj. najbardziej wysuniętej na północ czę-

ści kontynentu Antarktydy [20]. Moment krytyczny nastąpił jednak na początku roku 2020. Światowa Organizacja Meteorologiczna (WMO) ogłosiła wówczas, że 6 lutego na argentyńskiej stacji Esperanza (Wyspa Eagle, Półwysep Antarktyczny) zanotowano rekordową temperaturę równą 18,3°C [20]. Na kolejny epizod wysokiej temperatury nie trzeba było długo czekać. W dniu 9 lutego na Wyspie Seymour zanotowano temperaturę wynoszącą aż 20,8°C [21]. Wzbudziło to niepokój wśród wielu naukowców, gdyż rejon świata, który postrzegano jako odporny na skutki działalności człowieka zaczął się jej „poddawać”.

Zanotowane w ostatnim czasie bardzo wysokie temperatury powietrza w rejonie Antarktyki są unikatowe i mogą odegrać w przyszłości ogromną rolę w globalnym ociepleniu klimatu. Aby dobrze zrozumieć ich wagę należy przyjrzeć się zmianom zachodzącym na omawianym obszarze w nieco dłuższej perspektywie czasu. Do 2009 roku uważano, że problem ocieplania dotyczy tylko zachodniej części Antarktyki (Ryc. 2). Rok 2009 okazał się przełomowym dla stwierdzenia, że taka sama tendencja obserwowana jest również we wschodniej jej części [22].



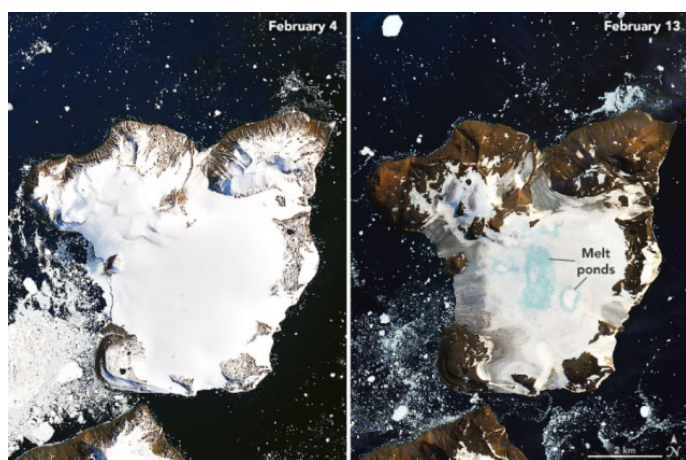
Ryc. 2. Wzrost temperatury na Antarktydzie w latach 1957-2006 [°C] [22]

Badania modelowe prowadzone w oparciu o wyniki obserwacji satelitarnych pozwoliły stworzyć ponad 50-letni zapis zmienności temperatury w tym rejonie świata. Ustalono, że w latach 1957-2006 temperatura w obrębie całego kontynentu Antarktydy średnio wzrosła o 0,12°C. W tym samym czasie w jego zachodniej części nastąpił wzrost sięgający 0,17°C [22]. Najbardziej niepokojący jest fakt, że zachodzące epizody ekstremalnie wysokich temperatur pojawiają się w rejonie Antarktyki coraz częściej, a ich skutki są coraz poważniejsze, zwłaszcza dla grubości pokrywy lodowej [20]. Na podstawie badań prowadzonych przez NASA i NOAA (ang. National Oceanic and Atmospheric Administration) ustalono, że w 2019 roku zasięg lodu morskiego wynosił w Antarktyce 10,7 mln km<sup>2</sup>. Tak mały zasięg był drugą co do wielkości najmniejszą uśrednioną wartością roczną. Rekordowo niski zasięg, wynoszący 10,6 mln km<sup>2</sup>, odnotowano w roku 2017. Jakkolwiek był on wówczas tylko nie-



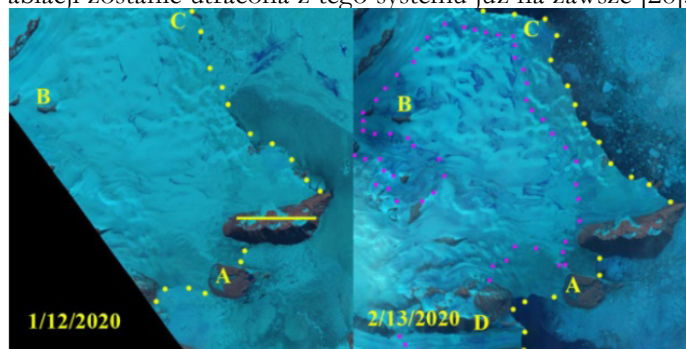
znacznie mniejszy od tego zaobserwowanego w roku 2019 [23, 24, 25]. Można zatem stwierdzić, że zjawisko zaczyna przybierać tendencję powtarzającą się.

Odnotowany w roku 2020 wzrost temperatury powietrza doprowadził do wzrostu tempa topnienia lodu i śniegu w Antarktyce (Foc. 3). Epizod rekordowej wartości temperatury w dniu 6.02.2020 roku skutkowało na Wyspie Eagle wyraźnym, sezonowym zanikiem pokrywy śnieżnej [20]. Podczas jej topnienia powstały wypełnione wodą zagłębienia, tzw. jeziora roztopowe [20]. Zapoczątkowało to mechanizm dodatniego sprzężenia zwrotnego, tzw. efekt domina. Woda ma bowiem większe albedo niż lód, pochłania więcej promieniowania słonecznego i intensywniej się nagrzewa. To z kolei prowadzi do postępującego topnienia lodu otaczającego jeziora roztopowe [26]. Zdaniem Mauri Pelto, glaciologa z Nichols College (USA) powierzchnia jezior na początku 2020 roku osiągnęła około 1,5 km<sup>2</sup>, co stanowi aż 20% powierzchni sezonowej pokrywy śnieżnej wyspy [20].



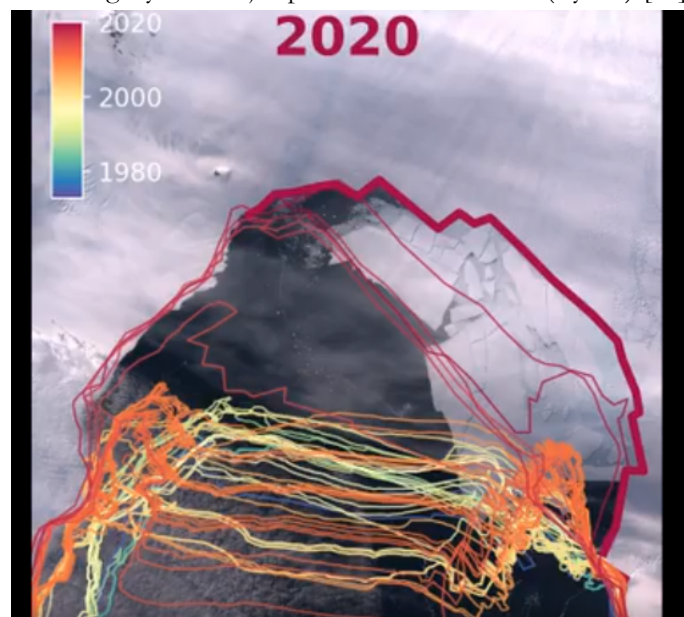
Ryc. 3 Zanik pokrywy śnieżnej na Wyspie Eagle w okresie od 3 do 13 lutego 2020 r. [20]

Na początku 2020 roku ciekawych i jednocześnie niepokojących dla badaczy Antarktyki zjawisk było więcej. Na przykład na skutek wzrostu temperatury do 18,3°C, jaki miał miejsce w dniu 6 lutego, w strefie ablacji (topnienia) Lodowca Boydell (Półwysp Antarktyczny), tylko w ciągu jednego dnia ilość stopionego lodu osiągnęła 30 mm [27] (Ryc. 4). Z kolei na akumulacyjnym płaskowyżu tego samego lodowca oraz w kilku innych miejscach strefy ablacji, gdzie jeszcze 12 stycznia 2020 roku dominowała pokrywa śnieżna, miesiąc później pojawiły się jeziora roztopowe. Zdaniem naukowców na płaskowyżu akumulacyjnym zamienia się one w firn, tzn. wczesną postać lodu, co umożliwi zachowanie wody w systemie. Niestety woda, która powstała w strefie ablacji zostanie utracona z tego systemu już na zawsze [28].



Ryc. 4 Pokrywa śnieżna w rejonie Lodowca Boydell w styczniu i w lutym 2020 roku [28]

Najbardziej spektakularne wydarzenie, jakie odnotowano w Antarktyce w 2020 roku miało miejsce 14 lutego. Wówczas wzdłuż linii pęknięcia tworzącego się od kilku dni na lodowcu zachodniej części Antarktydy B-49 Pine Island Europejska Agencja Kosmiczna (ESA) odnotowała powstanie góry lodowej o powierzchni 300 km<sup>2</sup> (Ryc. 5) [29].



Ryc. 5 Cielenie lodowca Pine Island w latach 1980-2020 [29]

Powstanie góry lodowej, czyli tzw. cielenie się lodowca to zjawisko naturalne, polegające na odlamywaniu się jego elementów [29]. Zdaniem naukowców niepokojące jest jednak tempo cielenia Pine Island, którego prędkość w ciągu ostatnich 25 lat wzrosła do ponad 10 metrów na dzień [29]. Sytuacja, jaka miała miejsce w rejonie omawianego lodowca na początku 2020 roku wskazuje, zdaniem Marka Drinkwatera z Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA), na dramatyczną jego „reakcję” związaną ze zmianami klimatu [30].

Badania prowadzone na początku 2020 roku w obszarze Lodowca Thwaites (Zachodnia Antarktyka) pozwoliły ustalić, że zastała pod nim woda jest dużo cieplejsza niż woda go otaczająca. Lodowiec Thwaites wraz z Pine Island działają jak swoistego zaporę dla znacznie większej pokrywy lodowej zachodniej części Antarktydy. Po jej stopieniu doszłoby do ponad metrowego wzrostu poziomu wody w oceanie światowym [28, 29, 31]. Niestety, takie zagrożenie jest coraz bardziej prawdopodobne.

W aspekcie przytoczonych powyżej przykładów zjawisk rejestrowanych w ostatnim czasie w rejonie Antarktyki nasuwa się pytanie, co spowodowało tak poważne zmiany klimatu w tym rejonie? Zwłaszcza, że mogą się one okazać dramatyczne w skutkach dla całego globu. Moim zdaniem wydarzenia w Antarktyce były spowodowane nałożeniem się wielu czynników. Jakkolwiek, największy wpływ miały prawdopodobnie panujące warunki meteorologiczne [20]. W rejonie przybrzeżnym Antarktyki bruzda niskiego ciśnienia powoduje specyficzną cyrkulację mas powietrza i wyjątkowo silne wiatry osiągające od 50 do 90 m/s (180–325 km/h). Okresowo pojawiają się również silne wiatry katabatyczne, tj. zstępujące ze zbocza góry, lub lodowca, skierowane silnie w dół [32, 33]. Zazwyczaj „chronią” one mroźny klimat omawianego obszaru przed ociepleniem się. Jednak

na początku lutego 2020 roku, ze względu na napływający nad Przylądek Horn grzbiet wysokiego ciśnienia i osłabienie prędkości wiatru, nad Półwysep Antarktyczny przedostały się z północy ciepłe masy powietrza. Spowodowało to prawdopodobnie, że woda powierzchniowa w rejonie półwyspu była cieplejsza średnio o 2-3°C, podmywała krańce lodowców i oddając swoje ciepło przyczyniła się do ich topnienia [20]. Kolejną przyczyną zaistniałej sytuacji na początku 2020 roku mogły być napływające nad półwysep wiatry Foehna [20]. Zazwyczaj prowadzą one do zmiany warunków klimatycznych z mokrych i zimnych po jednej stronie gór na cieplejsze i bardziej suche po ich drugiej stronie. Ciepło, które nanosiły wiatry Foehna mogło prowadzić do topnienia lodowców. W regionach polarnych w konsekwencji napływu wiatrów Foehna czasami dochodzi nawet do rozpadu szelfów lodowych [34, 35].

Poruszając problematykę destabilizacji pokrywy lodowej spowodowanej przyspieszającym ocieplaniem klimatu nie można pominąć faktu, że może to doprowadzić do zwiększonej aktywności wulkanicznej w rejonie Antarktydy. Na kontynencie tym, szczególnie w jego części południowo-zachodniej, znajduje się bowiem największe na świecie skupisko wulkanów. Według najnowszych szacunków jest ich ponad 140, z czego większość usytuowana jest pod lodem. Utrudnia to znacząco prowadzenie badań. Wiadomym jest jednak, że w wyniku destabilizacji lodu, zmniejsza się nacisk na płaszcz Ziemi i zwiększa uwalnianie ciepła z jej wnętrza [36]. Dodatkowo, ciepła magma wydobywająca się z wulkanów rozgrzewa lodowce, przyczynia się do degradacji ich struktury i przemieszczania, a w efekcie także do ich topnienia. W rejonie Antarktyki znajdują się również klasyczne stratowulkany. Największym z nich jest Góra Erebus na Wyspie Rossa. Jego ostatnia erupcja miała miejsce w roku 2014 [37]. Góra Erebus jest również czynna geotermalnie, a na jej zboczach odnotowuje się fumarole, tzn. gorące gazy, wydostające się ze szczelin i kraterów, których głównym składnikiem są para wodna, związki siarki, chloru i fluoru. W kontakcie z powietrzem zamarzają one tworząc wieże lodowe [38].

Opisane powyżej zjawiska świadczą o tym, że zmiany klimatu nie są już tylko problemem charakterystycznym dla Arktyki, bowiem ich skutki są równie wyraźnie widoczne także w rejonie Antarktyki. Musimy zdawać sobie sprawę z tego, że jeśli stopią się śniegi i lodowce na półkuli południowej, podniesie się poziom oceanu światowego. Według najnowszych danych już teraz poziom morza wzrasta o kilka mm na rok. W przyszłości dalszy wzrost poziomu oceanu światowego może okazać się katastrofalny w skutkach dla wielu wysp czy miejscowości nadmorskich. Ocenia się że w najtrudniejszej sytuacji znajdują się wyspy zlokalizowane w rejonie Indopacyfiku oraz miejscowości nadmorskie takich krajów, jak: Chiny, Bangladesz, Wietnam, Tajlandia, a nawet Holandia. Zmiany klimatu spowodują, że coraz częściej będziemy mieć także do czynienia z ekstremalnymi warunkami pogodowymi, takimi jak burze, huragany czy tsunami [39, 40, 41]. Poprzez utratę pokrywy lodowej, szelf, który jest obecnie pod powierzchnią Antarktyki może się podnieść, co jeszcze szybciej doprowadzi do zwiększenia

poziom wody w oceanie światowym. Jest to znacznie bardziej odległy w czasie scenariusz, jednak niezwykle prawdopodobny. Pomimo wielu istniejących na świecie restrykcji i podpisanych konwencji o zapobieganiu zanieczyszczeniu powietrza gazami cieplarnianymi nasza planeta dalej się ogrzewa. Jednak zjawiska zaistniałe na półkuli południowej na początku 2020 roku nie pozostały niezauważone. Te z nich, które mają charakter wielkoskalowy są już być może nieodwracalne, ale w dalszym ciągu możemy starać się je spowolnić. W ten sposób pomożemy naszej planecie przygotować się na nadchodzące nowe warunki klimatyczne. W tym aspekcie ważne jest prowadzenie dalszych badań nad zmianami klimatu, szczególnie w obszarze Antarktyki, który jak się okazuje jest bardziej „wrażliwy” niż wcześniej sądzono. Pełniejsza wiedza na ten temat pozwoli ludzkości na podjęcie odpowiednich kroków zaradczych.

## Literatura

- Ding, M., Tian, B., Zhang, T., Tang, J., Peng, H., Bian, L. and Sun, W. (2018). Obserwacje pokładowe atmosferycznego aerozolu z czarnego węgla od Szanghaju do Oceanu Arktycznego podczas 7. chińskiej ekspedycji badawczej „Arctic”. *Atmospheric Research*, 210, s. 34–40, DOI 10.1016/j.atmosres.2018/04/016
- Galbán-Malagón, C., Cabrerizo, A., Caballero, G. and Dachs, J. 2013. *Występowanie w atmosferze i osadzanie się heksachlorobenzenu i heksachlorocyklobeksanów w Oceanie Południowym i na Półwyspie Antarktycznym*. *Atmospheric Environment*, 80, str. 41–49, DOI 10/1016/j.atmosenv.2013.07.061
- Shen, Z., Ming, Y., Horowitz, LW, Ramaswamy, V. and Lin, M. 2017. *O sezonowości czarnego węgla arktycznego*. *Journal of Climate*, 30 (12), s. 4429–4441.

## Źródła internetowe

- [1] <https://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/arktyczne-wzmocnienie-13>
- [2] <https://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/kiedy-ostatnio-w-arktyce-bylo-tak-cieplo-jak-obecnie-20>
- [3] <https://www.eea.europa.eu/pl/sygna142y/sygnaly-2013/artykuly/zmiana-klimatu-a-powietrze>
- [4] <https://www.sos.wwf.pl/problemy?id=10>
- [5] <https://open.uj.edu.pl/mod/page/view.php?id=1090>
- [6] <https://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/efekt-cieplarniany-dla-sredniozaawansowanych-2-gazy-cieplarniane-i-ich-cechy-410>
- [7] <https://history.aip.org/history/climate/co2.htm>
- [8] <https://naukaoklimacie.pl/fakty-i-mity/mit-to-metane-st-glowna-przyczyna-ocieplenia-80>
- [9] [https://pl.wikipedia.org/wiki/Gaz\\_cieplarniany#Dwutlenek\\_w%C4%99gla\\_\(CO2\)](https://pl.wikipedia.org/wiki/Gaz_cieplarniany#Dwutlenek_w%C4%99gla_(CO2))
- [10] [https://pl.wikipedia.org/wiki/Dwutlenek\\_w%C4%99gla\\_w\\_atmosferze\\_Ziemi](https://pl.wikipedia.org/wiki/Dwutlenek_w%C4%99gla_w_atmosferze_Ziemi)
- [11] <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>
- [12] <https://ziemianarozdrozu.pl/artukul/4032/poziom-co-2-w-atmosferze-przekroczyl-415-ppm-po-raz-pierwszy-od-narozdzin-ludzkosci>
- [13] <https://www.nasa.gov/content/goddard/nasa-study-shows-global-sea-ice-diminishing-despite-antarctic-gains>
- [14] <https://www.ccacoalition.org/en/slcps/black-carbon>

- [15] <https://www.c2es.org/document/what-is-black-carbon/>
- [16] <https://climate.nasa.gov/news/215/just-5-questions-aerosols/>
- [17] <https://climate.nasa.gov/news/2437/scientists-scrutinize-arctic-gas-flaring-pollution/>
- [18] [https://climate.nasa.gov/resources/education/pbs\\_modules/lesson2Engage/](https://climate.nasa.gov/resources/education/pbs_modules/lesson2Engage/)
- [19] <https://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/najnowsze-dane-z-antarktydy-niepokoja-topnienie-znacznie-przyspieszylo-294>
- [20] <https://earthobservatory.nasa.gov/images/146322/antarctica-melts-under-its-hottest-days-on-record>
- [21] <https://www.bbc.com/news/world-51500692>
- [22] [https://www.nasa.gov/topics/earth/features/warming\\_antarctica.html](https://www.nasa.gov/topics/earth/features/warming_antarctica.html)
- [23] <https://www.ncei.noaa.gov/news/global-climate-201912>
- [24] [https://en.wikipedia.org/wiki/Melt\\_pond](https://en.wikipedia.org/wiki/Melt_pond)
- [25] <https://earth.gsfc.nasa.gov/cryo/data/current-state-sea-ice-cover>
- [26] <https://earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/sea-ice-antarctic>
- [27] [https://pl.wikipedia.org/wiki/Ablacja\\_lodowcowa](https://pl.wikipedia.org/wiki/Ablacja_lodowcowa)
- [28] <https://blogs.agu.org/fromglaciersperspective/2020/02/19/boydell-glacier-accumulation-zone-rapid-melt-feature-development-february-2020/>
- [29] <https://earthobservatory.nasa.gov/images/146289/pine-island-glaciers-newest-iceberg>
- [30] <http://arcticesea.blogspot.com/2020/02/goraco-na-antarktydzie-kolejna-wielka.html>
- [31] <https://earthobservatory.nasa.gov/images/146247/thwaites-glacier-transformed>
- [32] <https://discoveringantarctica.org.uk/oceans-atmosphere-landscape/atmosphere-weather-and-climate/key-factors-behind-antarcticas-climate/>
- [33] <https://pl.wikipedia.org/wiki/Antarktyda>
- [34] <https://www.weatheronline.co.uk/reports/wxfacts/The-Foehn-foehn-wind.htm>
- [35] <https://www.metoffice.gov.uk/weather/learn-about/weather/types-of-weather/wind/foehn-effect>
- [36] <https://www.independent.co.uk/environment/volcano-antarctic-ice-melting-pine-island-glacier-sea-level-climate-change-global-warming-a8423131.html>
- [37] <https://pl.wikipedia.org/wiki/Erebus>
- [38] <https://www.ekologia.pl/wiedza/slowniki/leksykon-ekologii-i-ochrony-srodowiska/fumarole>
- [39] [https://www.wwf.pl/srodowisko/klimat?gclid=Cj0KCQjw7v0BRDOARIsAGh37ioIvzA\\_uAqnnYKL8fY-8BMBIcBURFZnmBRrfdmDj-I-9Lr37JnjzsaAifBE-ALw\\_wcB](https://www.wwf.pl/srodowisko/klimat?gclid=Cj0KCQjw7v0BRDOARIsAGh37ioIvzA_uAqnnYKL8fY-8BMBIcBURFZnmBRrfdmDj-I-9Lr37JnjzsaAifBE-ALw_wcB)
- [40] <https://www.independent.co.uk/environment/antarctica-rising-sea-levels-climate-change-global-warming-melt-flooding-a8397406.html>
- [41] <http://naukawpolsce.pap.pl/aktualnosci/news%2C79239%2Cwzrost-poziomu-morz-interaktywna-mapa-pokazuje-ktore-rejony-moze-zalac-wod>

## Notka o Autorce

*Studentka oceanografii specjalizacji geologiczno-chemicznej, pasjonatka cukiernictwa. Marzy o podróżach do najpiękniejszych morskich zakątków świata. Wakacje oraz weekendowo pochłonięta gastronomia.*