

KRZYSZTOF BŁĄŻEJCZYK, ELWIRA ŻMUDZKA

*Uniwersytet Warszawski
Wydział Geografii i Studiów Regionalnych
Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa
E-mail: kblazejczyk@uw.edu.pl
elwiraz@uw.edu.pl*

GLOBALNE ZMIANY KLIMATU – SPOJRZENIE PO 25 LATACH PRAC IPCC

WPROWADZENIE

W 2013 r. będziemy obchodzić 25 rocznicę powstania Międzyrządowego Panelu do spraw Zmian Klimatu (IPCC). Inicjatywa utworzenia IPCC powstała w dwóch wyspecjalizowanych agendach Organizacji Narodów Zjednoczonych (ONZ): Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO) i Programie Środowiskowym Narodów Zjednoczonych

(UNEP). W zamierzeniu inicjatorów IPCC miało dostarczać rządów państw rzetelnego, naukowego spojrzenia na zmiany klimatu globalnego.

Celem opracowania jest dokonanie przeglądu najważniejszych osiągnięć i porażek w prawie 25-letniej pracy Panelu.

SUKCESY I PORĄŻKI IPCC

Podstawowe zadania IPCC zostały sformułowane 6 grudnia 1988 r. w Rezolucji nr 43/53 Zgromadzenia Ogólnego Organizacji Narodów Zjednoczonych. W Rezolucji stwierdzono, że IPCC ma za zadanie przygotować wszechstronny przegląd wiedzy naukowej na temat zmian klimatu oraz ich wpływu na stosunki społeczne i ekonomiczne, a także zaproponować możliwe strategie reagowania na zmiany klimatu. Treści naukowe zatwierdzonych sprawozdań IPCC, będących zarówno przeglądem, jak i, z założenia, obiektywną oraz pełną oceną aktualnego stanu wiedzy w zakresie zmian klimatu i ich potencjalnych skutków środowiskowych i społeczno-gospodarczych miały stanowić autorytatywne dokumenty, stanowiące podstawę podejmowanych decyzji.

Obecnie cele IPCC są rozumiane podobnie jak 25 lat temu, z tym, że główny nacisk jest kładziony na obiektywność i przejrzystość badań naukowych, zwłaszcza tych,

związanych z antropogenicznymi przyczynami stwierdzanych zmian klimatu.

W ramach IPCC działają 3 grupy robocze, w których prace są ukierunkowane na zagadnienia dotyczące podstaw fizycznych zmian klimatu (Grupa I), skutków zmian klimatu, adaptacji i podatności systemów społeczno-gospodarczych i naturalnych na zmiany klimatu (Grupa II) oraz na ocenę możliwości łagodzenia zmian klimatycznych poprzez ograniczenie lub zapobieganie emisji gazów cieplarnianych i opracowanie działań, które usuwają je z atmosfery (Grupa III). Analizowane są koszty i korzyści związane z różnymi podejściami do łagodzenia skutków zmian klimatu. Brane są również pod uwagę dostępne instrumenty i działania polityczne. W ramach IPCC działa także grupa zadaniowa ds. krajowych rejestrów gazów cieplarnianych, której głównym celem jest rozwój i doskonalenie metod obliczania i zgłaszania krajowych emisji gazów cieplarnianych i ich

pochłaniania. Ponadto, są dodatkowo powoływane grupy zadaniowe, których praca jest ukierunkowana na określone zagadnienia. Przykładem jest powołana w 1996 r. grupa zadaniowa TG CIA (ang. The Task Group on Scenarios for Climate and Impact Assessment), której głównym celem jest poprawa dystrybucji i stosowania danych związanych ze scenariuszami klimatu.

Niewątpliwym sukcesem IPCC jest zwrócenie uwagi na zagadnienie zmian klimatu i wskazanie zagrożeń z nimi związanych oraz upowszechnianie wiedzy na te tematy. Pojęcie globalne ocieplenie zostało prawdopodobnie po raz pierwszy użyte w połowie lat 70. XX w (BROECKER 1975) i od tamtej pory jest chyba jednym z najczęściej pojawiających się pojęć. Do ważnych osiągnięć IPCC należy gromadzenie informacji o zmianach klimatu, a także stymulacja rozwoju badań naukowych ukierunkowanych na same zmiany klimatu, ich oddziaływanie na ekosystemy i różne elementy życia i działalności człowieka oraz na opracowywanie modeli systemu klimatycznego i formułowanie scenariuszy zmian klimatu w przyszłości. Co kilka lat są przygotowywane i publikowane okresowe raporty dotyczące oceny stanu wiedzy w tym zakresie (IPCC 1990, 1995, 2001). Ostatni, czwarty już raport ukazał się w 2007 r. (IPCC 2007). Obecnie jest przygotowywany kolejny – piąty. Oprócz wydawanych regularnie kompleksowych sprawozdań z oceny stanu wiedzy są opracowywane m. in. sprawozdania specjalne, dotyczące wybranych zagadnień. Dwa ostatnie dotyczą odnawialnych źródeł energii (EDENHOFER i współaut. 2011) i łagodzenia zmian klimatu oraz zarządzania ryzykiem zdarzeń ekstremalnych i katastrof (FIELD i współaut. 2012).

O znaczeniu działań prowadzonych w ramach IPCC może świadczyć przyznanie Panelowi w 2007 r. Pokojowej Nagrody Nobla, którą wraz z Al Gore Jr. odebrał za „wysiłki na rzecz budowy i upowszechnienia wiedzy na temat zmian klimatu, wynikających z działań człowieka i za stworzenie podstaw dla środków, które są potrzebne, aby przeciwdziałać takim zmianom”. Upowszechnienie opinii, że klimat zmienia się pod wpływem emisji do atmosfery dwutlenku węgla, a zmiany te zachodzą szybko i mogą być niebezpieczne dla człowieka przyczyniło się do propagacji idei ochrony klimatu Ziemi. Antropogeniczne podłoże współczesnego globalnego ocieplenia legło u podstaw głoszonych

idei o konieczności „walki” ze zmianami klimatu oraz działalności różnych ruchów ekologicznych i niektórych kręgów politycznych.

Praca IPCC miała także prowadzić do powstania w nieodległej przyszłości międzynarodowej konwencji klimatycznej. Pierwszy Raport IPCC z 1990 r. (IPCC 1990) odegrał ważną rolę w działaniach prowadzących do powstania Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (ang. United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC lub FCCC), która została podpisana 5 maja 1992 r. podczas Konferencji Narodów Zjednoczonych na temat Środowiska i Rozwoju, zwanej Szczytem Ziemi w Rio de Janeiro (weszła w życie 21 marca 1994). Była to umowa określająca założenia międzynarodowej współpracy dotyczącej zmniejszenia globalnego ocieplenia i radzenia sobie ze skutkami zmian klimatu. Początkowo konwencja nie zawierała wiążących nakazów dotyczących ograniczenia emisji gazów cieplarnianych odpowiedzialnych za zjawisko globalnego ocieplenia. Taką rolę miały spełniać protokoły, z których najważniejszym jest protokół z Kyoto, wynegocjowany na konferencji COP 3 w 1997 r. (KYOTO PROTOCOL 1998). Stanowi on uzupełnienie Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu i jednocześnie międzynarodowe porozumienie dotyczące przeciwdziałaniu globalnemu ociepleniu. Traktat wszedł w życie 16 lutego 2005 r., trzy miesiące po ratyfikowaniu go przez Rosję. Głównym celem protokołu była stabilizacja koncentracji gazów cieplarnianych w atmosferze na poziomie, który zapobiega groźnej antropogenicznej ingerencji w system klimatyczny. Podstawę jego przygotowania stanowił drugi raport IPCC (IPCC 1995). Na mocy postanowień protokołu kraje, które go ratyfikowały, zobowiązały się do redukcji do 2012 r. emisji o wynegocjowane wartości, jednak co najmniej o 5% poziomu emisji z 1990 r. W przypadku niedoboru bądź nadwyżki emisji tych gazów, sygnatariusze umowy zobowiązali się do zaangażowania się w „wymianę handlową”, polegającą na odsprzedaży lub odkupieniu limitów od innych krajów.

Najwyższym organem konwencji, uprawnionym do dokonywania przeglądów realizacji postanowień UNFCCC i związanych z konwencją instrumentów prawnych jest Konferencja Stron (ang. Conferences of the Parties, COP), której sesje zwyczajne są zwo-

ływane co roku, w pierwszych dwóch tygodniach grudnia. Odkonferencja odbyła się już 18 takich spotkań. Na uwagę spośród Konferencji Stron, oprócz COP 3 w 1997 r., zasługują także konferencje:

- COP 11/MOP 1 z 2005 r. w Montrealu, będąca pierwszym spotkaniem stron Protokołu z Kioto (ang. Meeting of the Parties, MOP 1) od czasu jego przyjęcia;

- COP 13/MOP 3 z 2007 r. na Bali, podczas której postanowiono przygotować dokument, który miał zastąpić protokół z Kioto po roku 2012;

- COP 14/MOP 4 z 2008 r. w Poznaniu, na której przygotowano i negocjowano propozycje dokumentów, w których przedstawiono różne rozwiązania w zakresie adaptacji, zapobiegania, technologii i finansowania zmian klimatycznych. Miały one być podstawą kolejnego protokołu, którego podpisanie planowano podczas konferencji w Kopenhadze w 2009 r. Istotnym tematem spotkania było także określenie, w jaki sposób zobowiązać kraje do realizacji protokołu. Spotkanie odbywało się po opublikowaniu Czwartego Raportu IPCC w 2007 r., w którym zawarto naukowe wnioski dotyczące fizycznych przyczyn zmian klimatu;

- COP-15/MOP 5 z 2009 r. w Kopenhadze, która zakończyła się fiaskiem. Nie przyjęto żadnych prawnie wiążących zobowiązań do ograniczenia emisji dwutlenku węgla. Podpisano jedynie ugodę, którą powszechnie uznano za niepowodzenie zagrażające wypełnieniu zobowiązań z Kioto.

W dwudziestą rocznicę Szczytu Ziemi w Rio de Janeiro w czerwcu 2012 r. odbyła się w tym mieście Konferencja Narodów Zjednoczonych Rio+20 w sprawie Zrównoważonego Rozwoju, na której podjęto negocjacje koncentrujące się na dwóch zagadnieniach: budowie «zielonej gospodarki» oraz poprawie międzynarodowego systemu koordynacji w zakresie zrównoważonego rozwoju. Do negocjacji zostali zaproszeni przedstawiciele sektora prywatnego oraz organizacji pozarządowych. Podjęto decyzje o ustaleniu uniwersalnych celów zrównoważonego rozwoju (ang. Sustainable Development Goals, SDG), które będą stanowiły podstawę działania i integralną część programu rozwoju po roku 2015. Zwrócono uwagę na konieczność opracowania narzędzi umożliwiających sprawdzanie skuteczności tych działań. Podjęto ponad 700 zobowiązań, wśród których są zobowiązania dotyczące ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, większego wykorzystania udziału

źródeł odnawialnych w globalnej produkcji energii, wprowadzania energooszczędnych produktów i tzw. czystych technologii.

W 2013 r. jest planowana kolejna Konferencja Stron COP-19, która ma odbyć się w Warszawie. Będzie ona poświęcona głównie negocjowaniu nowego, globalnego porozumienia w sprawie redukcji emisji gazów cieplarnianych. Postanowienia tej umowy, w założeniu, mają być po raz pierwszy w historii respektowane przez wszystkie najważniejsze gospodarki świata, w tym kraje nieobjęte dotąd żadnymi obowiązkami, np. najwięksi obecnie emitenci m.in. USA, Chiny czy Brazylia. Umowa ma obowiązywać od 2020 r.

Konkludując można stwierdzić, że efekty działań IPCC w zakresie stworzenia systemu spójnej polityki międzynarodowej ukierunkowanej na poprawę warunków klimatycznych w wyniku ograniczenia antropogenicznej emisji gazów cieplarnianych w różnych horyzontach czasowych są niestety nieefektywne. W latach 1990–2006 emisja gazów cieplarnianych zmniejszyła się o 5%, głównie w wyniku recesji gospodarczej w krajach Europy Wschodniej w latach 90. Mimo to, od 2000 r. emisja gazów cieplarnianych w 41 najbardziej uprzemysłowionych krajach na świecie wzrosła o około 2,3%. Emisja w krajach, które ratyfikowały protokół z Kioto, wzrastała w tym okresie w podobnym tempie. Przyczyn takiego stanu rzeczy jest wiele. Wskazywane jest m. in. nienależyte uwzględnienie krajów będących największymi emitentami CO₂ (np. Chin), blokowanie niektórych inicjatyw przez niewielkie grupy państw, nieratyfikowanie traktatu z Kioto m.in. przez Stany Zjednoczone oraz wycofanie się z protokołu niektórych krajów (np. Kanady w 2011r.), kosztowność i negatywne skutki społeczno-gospodarcze procesu redukcji CO₂, koncentrowanie się na regulacji emisji CO₂ do atmosfery, a pomijanie innych zanieczyszczeń, których udział w antropogenicznym wymiarze efektu cieplarnianego jest znaczny, a których regulacja nie jest tak uciążliwa, nieskuteczność takich mechanizmów, jak np. handel emisjami. I tak, np. Unia Europejska ratyfikując protokół z Kioto zobowiązała się do 8% redukcji emisji gazów cieplarnianych. Jednak niektóre państwa członkowskie, np. Grecja, Hiszpania, Irlandia i Szwecja, nie podjęły żadnych zobowiązań w zakresie redukcji tych gazów, a Francja zobowiązała się jedynie do niepowiększania emisji. Brak poważniejszych sankcji ekonomicznych i organów, które mogłyby je skutecznie egzekwować,

stawia pod znakiem zapytania dostosowanie się niektórych krajów świata do postanowień protokołu. Z drugiej strony, wdrażanie pakietu energetyczno-klimatycznego i dalsze zaostrzanie polityki klimatycznej może stanowić poważne zagrożenie dla bezpieczeństwa energetycznego, wzrostu gospodarczego oraz poprawy jakości życia mieszkańców w niektórych krajach, szczególnie tych, których gospodarka jest oparta na węglu.

Protokół z Kyoto jest ważnym dokumentem, postrzeganym jako pierwszy krok międzynarodowej społeczności do sformalizowanego działania na rzecz ochrony klimatu. Mimo że wymaga jeszcze dopracowania i osiągnięcia światowego konsensusu, to z pewnością przyczynił się on do przełamania pewnych barier w kwestii ochrony środowiska, uświadomienia konieczności działania na skalę ogólnosiwiatową i podjęcia w przyszłości bardziej zdecydowanych działań. W praktyce skuteczność protokołu jest niewielka – ogółem emisja CO₂ od

roku bazowego wzrosła ok. 49% (http://pl.wikipedia.org/wiki/Protokół_z_Kyoto).

Nieskuteczność Konferencji Klimatycznych ONZ i protokołu z Kyoto oraz niewielkie szanse ustalenia wiążących postanowień w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych można uznać za jedną z istotnych porażek IPCC. Sukcesem IPCC jest natomiast inspirowanie do podejmowania badań dotyczących mechanizmów i skutków zmian klimatu oraz sposobów adaptacji społeczeństw do tych zmian. Przykładem tego są prowadzone obecnie w Polsce badania interdyscyplinarnego zespołu naukowców w ramach projektu KLIMADA, «Opracowanie i wdrożenie Strategicznego Planu Adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu». Projekt jest realizowany przez Instytut Ochrony Środowiska-Państwowy Instytut Badawczy na zamówienie Ministra Środowiska i finansowany przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

SPOJRZENIE NA BADANIE ZMIAN KLIMATU

W tle wypracowywania przez IPCC decyzji toczy się dyskusja naukowa. Współczesne ocieplenie, w świetle wyników badań naukowych, można uznać za fakt. Wiele wątpliwości budzi natomiast określenie przyczyn stwierdzonego ocieplenia i przebiegu zmian klimatu w przyszłości, a szczególnie nadmierna koncentracja na antropogenicznych przyczynach zmian klimatu. Wielu uczonych zajmujących się zagadnieniem zmian klimatu nie podziela poglądów zawartych w raportach IPCC, uznając antropogeniczne pochodzenie współczesnego wzrostu temperatury jedynie za prawdopodobną, a nie wyłączną i bezdyskusyjną jego przyczynę. Ta część badaczy tłumaczy współczesny wzrost temperatury powietrza przede wszystkim działaniem czynników naturalnych. W obrębie tej grupy poglądów funkcjonuje kilka hipotez dotyczących głównej przyczyny i mechanizmów prowadzących do współczesnego wzrostu temperatury.

Badanie uwarunkowań współczesnego ocieplenia jest zagadnieniem niezmiernie trudnym. Wynika to z wielości i złożoności mechanizmów utrzymujących system klimatyczny w równowadze, a także z naturalnej predyspozycji tego systemu do zmian. Poważnym utrudnieniem w wyjaśnieniu genezy współczesnego ocieplenia może być nieznajomość roli wszystkich mechanizmów oddziałujących na klimat.

Istotne znaczenie mają także rozbieżności, jakie pojawiają się już przy ocenie samej wielkości, a tym samym znaczenia współczesnego ocieplenia w ewolucji klimatu Ziemi. Nadal otwartym pytaniem jest określenie wielkości zmiany temperatury wykraczającej poza jej naturalną zmienność. Kluczową rolę w badaniach zmian klimatu ma kwestia jakości danych. Dlatego szczególnie wnikliwej analizie są poddawane rekonstrukcje zmian temperatury (dobór danych, ich parametryzacja oraz przyjęte metody obliczeniowe), na podstawie których są formułowane wnioski. Wskazuje się na istotne znaczenie współpracy klimatologów z przedstawicielami innych dyscyplin naukowych, które umożliwiają ocenę zmian klimatu na podstawie różnych danych pośrednich. Zastosowanie wielu komplementarnych metod badawczych pozwala weryfikować i uwiarygadniać przebiegi elementów klimatu w przeszłości.

Nadal są prowadzone badania mające na celu oszacowanie roli niektórych czynników, zarówno naturalnych, jak i antropogenicznych, w kształtowaniu klimatu Ziemi. Zaliczyć do nich można m. in. zmiany powierzchni czynnej (zmiany użytkowania powierzchni Ziemi) oraz zachmurzenie, aerozol, zakwity wód. Część badaczy uważa, że niepewność jest związana praktycznie z każdym ogniwem łańcucha przyczynowego

Tabela 1. Elementy uwzględniane w kolejnych generacjach modeli klimatycznych w ciągu ostatnich 40 lat.

Lata 70. XX w.	Lata 80. XX w.	Wczesne lata 90. XX w.	Późne lata 90. XX w.	Początek XXI w.
Atmosfera	Atmosfera	Atmosfera	Atmosfera	Atmosfera
	Pokrycie terenu	Pokrycie terenu	Pokrycie terenu	Pokrycie terenu
	Oceany i lód oceaniczny	Oceany i lód oceaniczny	Oceany i lód oceaniczny	Oceany i lód oceaniczny
		Aerozole siarczanowe	Aerozole siarczanowe	Aerozole siarczanowe
		Cykl węglowy (lądowy)	Aerozole niesiarczanowe	Aerozole niesiarczanowe
		Cykl węglowy (oceaniczny)	Cykl węglowy	Cykl węglowy
		Chemizm atmosfery	Chemizm atmosfery	Chemizm atmosfery
			Szata roślinna	Szata roślinna
				Pokrywa glebowa

Źródła: IPCC 2001, RANDALL i współaut. 2007

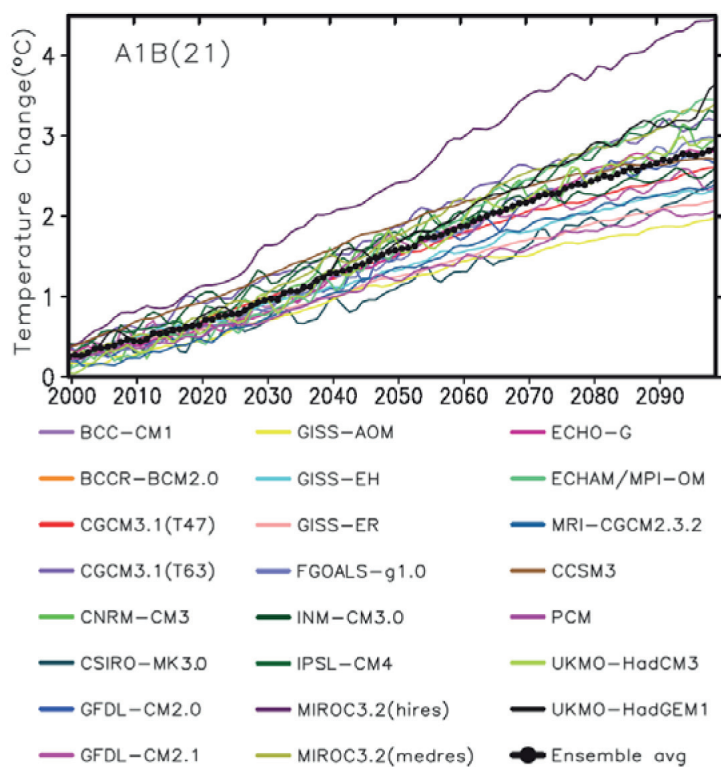
zmian klimatycznych. Oszacowanie udziału czynnika naturalnego i antropogenicznego w stwierdzonym współczesnym ociepleniu jest zatem zagadnieniem bardzo trudnym. Można nawet postawić pytanie, czy jest ono na obecnym etapie rozwoju badań możliwe. Dlatego też kwestionowane są cele i możliwości ochrony klimatu globalnego. Specyfika systemu klimatycznego sprawia, że wpływanie na klimat globalny poprzez redukcję emisji gazów cieplarnianych można rozpatrywać jedynie jako wątpliwą i trudną do weryfikacji hipotezę. Niepokój w wielu kręgach budzi fakt przyjęcia hipotezy za podstawę światowej polityki energetycznej. Tym bardziej, że działania te są niekiedy niezmiernie kosztowne. Kontrowersyjne wydaje się także wskazywanie jedynie skutków negatywnych ocieplenia klimatu. Bez względu na poglądy dotyczące szeroko pojętych zmian klimatu, ich przyczyn czy sposobów ograniczenia nie neguje się istotnej roli działań wpisujących się w istotę koncepcji zrównoważonego rozwoju. Wątpliwości jakie się pojawiają oraz aplikacyjne znaczenie zmian klimatu obligują środowisko naukowców do dalszych badań i wymiany myśli w tym zakresie.

W ciągu ostatnich 30 lat dynamicznie rozwijały się badania dostarczające informa-

cji na temat procesów kształtujących klimat. Pozwoliło to na opracowanie tzw. modeli klimatu. Są one próbą opisu zróżnicowanego przestrzennie, współczesnego klimatu, ale także pozwalają na rekonstruowanie jego zmian w przeszłości i przewidywanie klimatu przyszłego.

Pierwsze modele klimatu opracowane w latach 70. XX w. uwzględniały tylko fizyczne parametry atmosfery. Postęp wiedzy o procesach klimatycznych pozwolił w połowie lat 80. włączyć do modeli klimatu parametry związane z pokryciem terenu oraz wymianą energii pomiędzy atmosferą a powierzchnią oceanów oraz oceanicznych pokryw lodowych. W kolejnych latach modele zostały wzbogacone o analizy cyklu węglowego, aerozoli siarczanowych i niesiarczanowych, procesy chemiczne w atmosferze oraz oddziaływania szaty roślinnej. Na początku XXI niektóre modele zostały dodatkowo wzbogacone o oddziaływania pokrywy glebowej na procesy atmosferyczne (Tabela 1).

Modele są oparte na zasadach fizyki, w tym dynamiki płynów, termodynamiki i transferu promieniowania. Uwzględniane są własności składników atmosfery, promieniowanie słoneczne, przemiany chemiczne itp. Nie wszystkie jednak procesy są dostatecznie opisane. Modele zawierają moduły

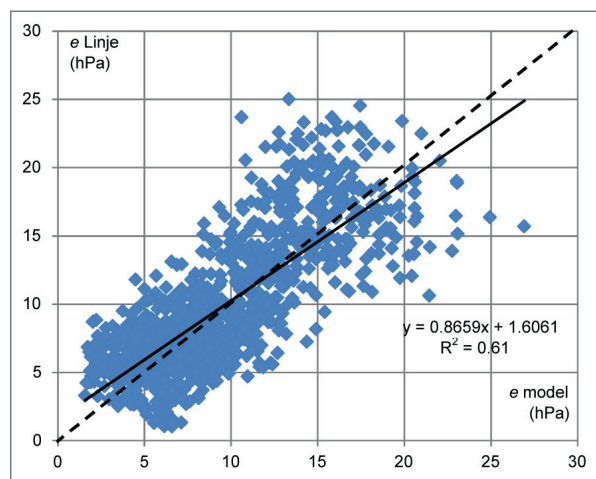
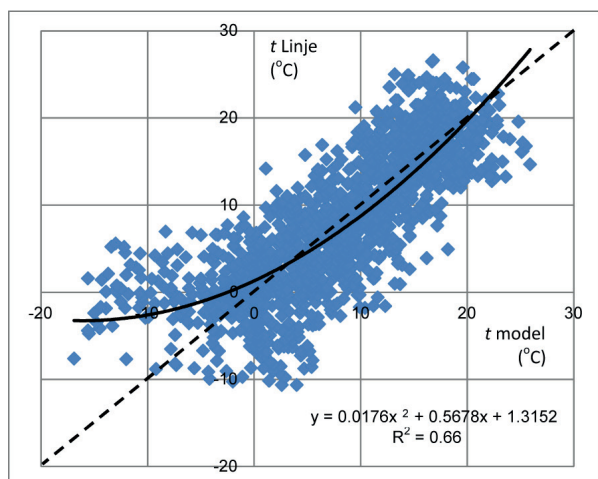


Ryc. 1. Symulacja średniej rocznej temperatury powietrza różnymi modelami przy scenariuszu emisji A1B.

Źródło: <http://www.windows.ucar.edu/earth/climate/imag>

opisujące przybliżenie niektórych procesów fizycznych, takich jak, np. konwekcja, procesy oddziaływania atmosfery z powierzchnią

ziemi czy fizyka chmur. Prawdopodobnie część sprzężeń zwrotnych zachodzących w układzie Słońce-Ziemia-atmosfera nie jest jeszcze dostatecznie poznana i udokumentowana. Uproszczenia rzeczywistego systemu klimatycznego są nieuniknione z powodu nie tylko niepełnej wiedzy o nim, ale także ograniczeń wynikających z dostępnej mocy obliczeniowej komputerów. Mimo dopracowywania modeli, coraz lepszej parametryzacji zjawisk fizycznych i chemicznych modele nie opisują w pełni funkcjonowania systemu klimatycznego i są wciąż niedoskonałym narzędziem badania zmian klimatu. Niedokładna znajomość układu fizycznego powoduje, że przewidywalność klimatu jest nadal ograniczona, czego dowodem może być, na przykład, znaczna rozbieżność symulacji klimatu różnymi modelami dla ustalonego scenariusza emisji (Ryc. 1). Jest to spowodowane różną wrażliwością modeli na koncentrację gazów cieplarnianych, stosowaniem różnych szacunków emisji antropogenicznych gazów cieplarnianych, czy chociażby nie uwzględnieniem dodatkowej emisji gazów uwalnianych z wiecznej zmarzliny i sprzężeń zwrotnych z nią związanych (MEEHL i STOC-



Ryc. 2. Związki między średnimi dobowymi wartościami temperatury powietrza (t) i ciśnienia pary wodnej (e) zmierzonymi na torfowisku w rezerwacie Linje koło Bydgoszczy oraz wartościami tych elementów wymodelowanymi w odniesieniu do pola o bokach 25×25 km; linia ciągła przedstawia linię regresji, a linia przerywana – linię tożsamości.

Źródło: opracowanie własne.

KER 2007, KARLI współaut. 2009, SCHAEFERI współaut. 2011). Dopasowanie wyników symulacji modelowych globalnej średniej rocznej temperatury powietrza w ostatnim stuleciu do danych obserwacyjnych jest dość dobre. Jednak zmiany innych elementów klimatu, na przykład opadów, towarzyszące globalnemu ociepleniu są rozbieżne z przewidywaniami modeli klimatycznych używanych przez IPCC (WENTZ i współaut. 2007, LIEPERT i PREVIDI 2009, TRENBERTH 2011).

Problemem nie do końca rozwiązanym jest wiarygodność coraz liczniej powstających modeli klimatu. Weryfikacji modeli dokonuje się poprzez wzajemne porównanie danych wyjściowych modeli oraz przez porównanie wartości modelowanych z danymi pomiarowymi. Ważna jest zwłaszcza druga z wymienionych procedur. Istnieją oczywiście różnice pomiędzy danymi modelowanymi i obserwacyjnymi. Wynikają one m. in. z faktu, że modele nie uwzględniają zdarzeń epizodycznych (np. wybuchów wulkanów) oraz specyficznych cech

środowiska w otoczeniu konkretnych stacji meteorologicznych. Tę drugą słabość modeli globalnych i regionalnych eliminuje się zazwyczaj poprzez dokonanie tzw. downscalingu, czyli zredukowania elementów klimatu modelowanych dla stosunkowo dużego obszaru do rzeczywistej lokalizacji terenowej. Przykład downscalingu ilustruje Ryc. 2. Przedstawia ona relacje między średnimi dobowymi wartościami temperatury powietrza i ciśnienia pary wodnej zmierzonymi na torfowisku w rezerwacie Linje koło Bydgoszczy oraz wartościami tych elementów wymodelowanymi w odniesieniu do pola o bokach 25×25 km, w obrębie którego leży badany rezerwat. Jak widać zgodność zmierzonych i wymodelowanych wartości t i e jest duża. Stwierdzone różnice, zwłaszcza w przypadku temperatury powietrza, są spowodowane specyficznym położeniem torfowiska w zagłębieniu terenowym, co skutkowało odmiennym, w stosunku do środowiska modelowego, reżimem termicznym.

PROGNOZY ZMIAN KLIMATU

Przedstawione wyżej modele klimatu pozwalają także na określenie zmian niektórych charakterystyk klimatu w najbliższej przyszłości. Horyzont czasowy, dla którego dokonuje się takich przewidywań sięga końca XXI w. Problemem kluczowym w opracowywaniu takich prognoz jest określenie czynników, które mogą wpływać na poszczególne ele-

menty klimatu. Drugim ważnym elementem prognoz jest przyjęcie założeń, w jakim kierunku i w jakim tempie będą się zmieniały czynniki klimatotwórcze. W latach 80. minionego wieku przyjęto dość bezkrytycznie, że zmiany klimatu będą się odbywały pod wpływem różnorodnych działań człowieka, a zwłaszcza emisji gazów cieplarnianych. Tym

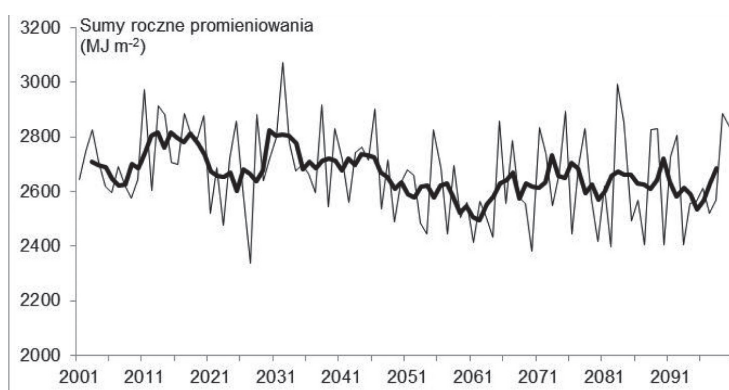
właśnie działaniom przypisywano jeśli nie całość, to większość stwierdzanych dotychczas zmian temperatury powietrza oraz tych elementów klimatu, które są od niej zależne.

Zakładając, że działania człowieka są przyczyną zmian klimatu IPCC przyjął następujące cechy rozwoju społecznego jako czynniki klimatotwórcze: zmiany populacyjne, wzrost ekonomiczny, troska o środowisko naturalne, zrównoważony rozwój, rozwój technolo-

Scenariusz	Populacja	Ekonomia	Środowisko	Równowaga	Technologia	Globalizacja	Poziom CO ₂ w 2100 r.	Wzrost temp. powietrza
A1F1							1550 ppm	4,0°C
A1B							850	2,8
A1T							700	2,4
B1							600	1,8
A2							1250	3,4
B2							800	2,4

Ryc. 3. Schematyczny obraz zmian poszczególnych czynników klimatotwórczych, poziom CO₂ w atmosferze oraz wzrost temperatury powietrza do roku 2100.

Źródła: IPCC 2001, RANDALL i współaut. 2007



Ryc. 4. Przewidywane zmiany sum rocznych promieniowania słonecznego w środkowej Polsce w XXI wieku. linia cienka – wartości roczne, linia pogrubiona – średnia ruchoma 5-letnia.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych ICM.

giczny, procesy globalizacyjne. Schematyczny obraz zmian poszczególnych czynników w XXI w. przedstawia Ryc. 3. Na podstawie różnych kombinacji powyższych czynników zostało opracowanych 6 różnych scenariuszy zmian klimatu w obecnym wieku. Scenariusze oznaczone literą A zakładają dominację czynników ekonomicznych nad środowiskowymi, natomiast scenariusze oznaczone literą B przyjmują względną równowagę obydwu czynników. Drugi poziom kategoryzacji scenariuszy opiera się na przyszłej wizji zróżnicowania świata. Scenariusze z symbolem numerycznym 1 zakładają świat homogeniczny, będący wynikiem silnych procesów globalizacyjnych. Symbol 2 oznacza scenariusze rozwoju ukierunkowanego regionalnie (świat heterogeniczny).

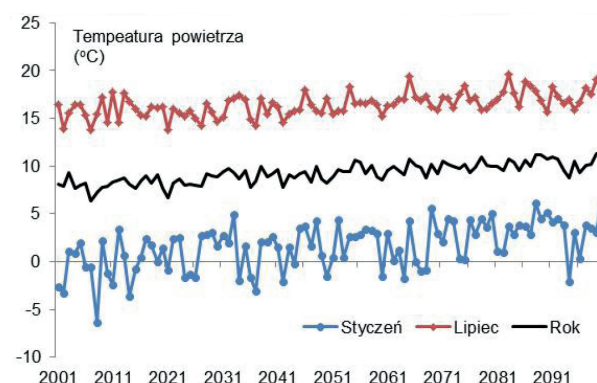
Przedstawione wyżej założenia scenariuszy zmian klimatu przyjmują jako główną (a w zasadzie jako jedyną) przyczynę tych zmian wzrost zawartości w powietrzu gazów cieplarnianych, przeliczonych na zawartość dwutlenku węgla. Nieuwzględnianie czynników naturalnych, jak wspomniano, od samego początku budziło wątpliwości. Należy jednak powiedzieć, że sceptycy poglądu o antropogenicznych przyczynach zmian klimatu nie wypracowali dotychczas spójnych założeń co do przyszłego obrazu klimatu Ziemi. Pamiętając o istniejących wątpliwościach co do słuszności przyjętych założeń można przyjąć, że na naturalnie występujące zmiany klimatu, występujące w ciągu całej historii naszej planety, w ostatnich 200 latach nałożyły się przyczyny związane z działalnością człowieka. Wydaje się, że za zmiany w ostat-

nich 50 latach w znacznej mierze są odpowiedzialne czynniki antropogeniczne. Nie można także przyjąć, że w nadchodzącym wieku przyczyny antropogeniczne znikną. Wręcz przeciwnie, będą się one nasilały.

Dlatego też na zakończenie przedstawiono symulację zmian promieniowania słonecznego i temperatury powietrza w XXI w. Symulacje zostały przygotowane w Międzywydziałowym Centrum Modelowania UW (ICM) przez zespół pod kierunkiem dr M. Liszewskiej w ramach projektu KLIMADA. Symulacje opierają się na regionalnym modelu klimatu MPI-M-REMO o rozdzielczości przestrzennej 25×25 km. Przy symulacji wykorzystano warunki

brzegowe przyjęte w modelu globalnym klimatu ECHAMP5 dla scenariusza zmian klimatu A1B. Poza temperaturą powietrza i promieniowaniem słonecznym symulacje dotyczą także wartości dobowych: wilgotności powietrza, prędkości wiatru, promieniowania zwrotnego atmosfery, opadów i pokrywy śnieżnej.

Analiza przewidywanych zmian promieniowania słonecznego wyraźnie wskazuje, że przy symulacjach tego elementu klimatu uwzględniono nie tylko czynniki antropogeniczne, ale także zmiany naturalne związane z aktywnością Słońca. W przebiegu sum rocznych promieniowania zaznacza się około 11-letni cykl zmian związanych z aktywno-



Ryc. 5. Przewidywane zmiany średniej miesięcznej i rocznej temperatury powietrza w środkowej Polsce w XXI w.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych ICM.

Tabela 2. Prognozowane zmiany (%) różnych klimatozależnych zdarzeń medycznych w poszczególnych okresach XXI wieku w stosunku do lat 2001–2010.

Okres	Zgony na choroby układu krążenia	Zatrucia pokarmowe salmonellą	Zachorowania na boreliozę	Częstość silnego stresu gorąca (UTCI>32 C)	Zgony na choroby układu oddechowego	Zgony z wychłodzenia
2021–2030	101,9	147,9	105,1	99,1	101,1	83,2
2051–2060	110,8	157,5	154,0	115,6	94,2	57,5
2071–2100	118,4	184,4	153,2	125,8	88,3	25,1

Źródło: Opracowanie własne.

ścią Słońca (Ryc. 4). Uwiarygodnia to symulacje wykonane w odniesieniu do temperatury powietrza i innych elementów klimatu.

Uwzględniające czynniki antropogeniczne i naturalne zmian klimatu symulacje temperatury powietrza wskazują, że do 2100 r. będzie ona stopniowo wzrastać. Największy wzrost temperatury wystąpi prawdopodobnie w miesiącach zimowych (do 5°C w ciągu 100 lat). Latem i w ciągu roku wzrost ten może wynosić 3,0–3,5°C (Ryc. 5).

Zmiany poszczególnych elementów klimatu w XXI w. będą oddziaływały na różne sfery życia człowieka oraz na funkcjonowanie ekosystemów. Przegląd niektórych z tych oddziaływań został omówiony w tomie 57, z. 3–4 KOSMOSU, jako głos w dyskusji naukowej, toczącej się przy okazji Konferencji COP 14 w Poznaniu, w grudniu 2008 r. (KUNDZEWICZ 2008, KUNDZEWICZ i TRYJANOWSKI 2008, PRZYBYŁAK 2008, ROTNICKI 2008, STARKEL 2008, TRYJANOWSKI i EKNER 2008, ZWOLIŃSKI i DOBIŃSKI 2008). W tomie tym znalazł się także tekst BŁĄŻEJCZYKA i KOZŁOWSKIEJ-SZCZĘSNEJ(2008) dotyczący oddziaływania klimatu na zdrowie człowieka.

Badania relacji klimat–zdrowie były kontynuowane przez BŁĄŻEJCZYKA(2009), a następnie włączone w ramy wspomnianego wyżej projektu KLIMADA. Projekt ten koncentruje się na obszarze Polski. W odniesieniu do niektórych klimatozależnych zdarzeń zdrowotnych uzyskano niepokojące prognozy zmian stanu zdrowia w Polsce w XXI w., w warunkach zmian klimatu (Tabela 2). W związku z wzrastającą częstością pogody cechującej się silnym stresem gorąca można się spodziewać wzrostu o około 18–20% liczby zgonów z powodu zaburzeń układu krążenia. Zaburzenia te wyraźnie nasilają się podczas silnego stresu gorąca, a takie sytuacje będą pod koniec wieku częstsze o około 25% w stosunku do lat 2001–2010. Wzrastająca temperatura będzie także sprzyjała wzrostowi zatruć pokarmowych bakterią salmonelli oraz wzrostowi zachorowań na boreliozę. Pozytywnymi skutkami ocieplania się klimatu będzie natomiast zmniejszenie zgonów na choroby układu oddechowego oraz zgonów z wychłodzenia organizmu.

PODSUMOWANIE

25 lat pracy Międzyrządowego Panelu do spraw Zmian Klimatu (IPCC) przyniosło znaczący wkład w rozwój badań dotyczących klimatu i jego zmian oraz tworzenia coraz doskonalszych modeli klimatu. Niewątpliwym sukcesem Panelu jest także wzrost świadomości społeczeństw na temat możliwych skutków działań człowieka dla klimatu globalnego, regionalnego i lokalnego.

Mimo tych niewątpliwych sukcesów główny cel, jaki przyświecał powstaniu i

pracy IPCC nie został osiągnięty. Nie udało się wypracować Konwencji Klimatycznej, a coroczne Konferencje Klimatyczne ONZ i protokołu z Kyoto okazały się nieskuteczne w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych. Co więcej, niewielkie są szanse ustalenia wiążących postanowień w odniesieniu do tego kluczowego problemu. Jeśli jednak nie uda się dojść do porozumienia w sprawie ochrony klimatu przed antropogenicznym ocieplaniem się musimy się liczyć z po-

ważnymi konsekwencjami dla ekosystemów i różnych dziedzin życia człowieka, w tym także dla naszego zdrowia.

PODZIĘKOWANIA

Symulacje zmian klimatu w XXI wieku zostały przygotowane w Międzywydziałowym Centrum Modelowania UW (ICM) w ramach

projektu KLIMADA „Opracowanie i wdrożenie Strategicznego Planu Adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu” realizowanego przez Instytut Ochrony Środowiska-Państwowy Instytut Badawczy na zamówienie Ministra Środowiska i finansowanego przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

GLOBALNE ZMIANY KLIMATU – SPOJRZENIE PO 25 LATACH PRAC IPCC

Streszczenie

W 2013 roku będziemy obchodzić 25 rocznicę powstania Międzyrządowego Panelu do spraw Zmian Klimatu IPCC. W artykule dokonano przeglądu najważniejszych osiągnięć i porażek tej międzynarodowej organizacji. Badania stymulowane przez IPCC wniosły istotny wkład do naszej wiedzy o klimacie globalnym. IPCC zainspirował liczne badania, w tym także mające na celu doskonalenie narzędzia jakim są modele klimatyczne. Dzięki publikowanym Raportom IPCC wzrosła świadomość możliwych skutków działalności człowieka w zakresie zmian klimatu w skali globalnej, regionalnej i lokalnej, a także problemów ekologicznych i społeczno-gospodarczych jakie

zmiany te mogą spowodować.

Jednak główne zadanie IPCC wciąż czeka na realizację. Ze względu na polityczną i ekonomiczną różnorodność opinii, a także toczącą się w tle szeroką i wciąż otwartą dyskusję naukową, dotyczącą przyczyn i uwarunkowań zmian klimatycznych, nowa konwencja w sprawie zmian klimatu nie została podpisana. W ramach corocznych Konferencji Stron ONZ nie znaleziono akceptowalnych rozwiązań i narzucił w celu ograniczenia emisji gazów cieplarnianych. Globalne społeczeństwo musi zintensyfikować wysiłki na rzecz wypracowania kompromisu w tym ważnym problemie dla współczesnego świata.

GLOBAL CLIMATE CHANGE – OVERVIEW AFTER 25 YEARS OF IPCC

Summary

In 2013 we will celebrate 25 anniversary of Intergovernmental Panel on Climate Change. The paper summarises successes and defeats of this international body. The research stimulated by IPCC have brought significant input to our knowledge of global climate. IPCC inspired also researchers to create more and more precise climate models. The IPCC reports increased also the conscience of possible consequences of human activity for climate change in global, regional and local scales.

However, the main task of IPCC still waits for realization. Because of diversity of political and economic opinions the new Convention on Climate Change is not signed. Annual United Nations Climate Summits can't find widely acceptable solutions and tools to reduce emission of greenhouse gases. The global society must intensify efforts to develop compromise in this crucial problem of contemporary world. Otherwise, we must face facts of serious ecological, social and economical problems caused by climate change.

LITERATURA

- BŁĄŻEJCZYK K., 2009. *The consequences of the changes in global climate for human health*. Papers Glob. Change 16, 87–110.
- BŁĄŻEJCZYK K., KOZŁOWSKA-SZCZĘSNA T., 2008. *Klimat a zdrowie*. Kosmos, 57, 269–279.
- BROECKER W. S., 1975. *Climatic change: are we on the brink of a pronounced global warming?* Science 189, 460–463.
- EDENHOFER O., PICHES-MADRUGA R., SOKONA Y., SEYBOTH K., MATSCHOS P., KADNER S., ZWICKEL T., EICKEMEIER P., HANSEN G., SCHLOEMER S., VON STECHOW CH. (red.), 2011. *Renewable energy sources and climate change mitigation*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- FIELD C. B., BARROS V., STOCKER T. F., QIN D., DOKKEN D. J., EBI K. L., MASTRANDREA M. D., MACH K. J., PLATTNER G.-K., ALLEN S. K., TIGNOR M., MIDGLEY P. M. (red.), 2012. *Special report managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation (SREX)*. Cambridge University Press, The Edinburgh Building.
- IPCC 1990. *First Assessment Report: Climate Change (FAR)*.
- IPCC, 1995. *Second Assessment Report: Climate Change (SAR)*.
- IPCC, 2001. *Third Assessment Report: Climate Change (TAR)*.
- IPCC, 2007. *Fourth Assessment Report: Climate Change (AR4)*.
- KARL T. R., MELILLO J. M., PETERSON T. C., HASSOL S. J. (red.), 2009. *Global climate change impacts in the United States*. New York, Cambridge University Press.
- KUNDZEWICZ Z. W., 2008. *Zmiany klimatu i zasoby wodne*. Kosmos, 57, 241–249.

- KUNDZEWICZ Z. W., TRYJANOWSKI P., 2008. *Ekstrema klimatyczne: długoterminowe zmiany i ich konsekwencje*. Kosmos, 57, 251–260.
- KYOTO PROTOCOL, 1998. *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. United Nations, http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php
- LIEPERT B. G., PREVIDI M., 2009. *Do models and observations disagree on the rainfall response to global warming?* J. Climate 22, 3156–3166.
- MEEHL G. A., STOCKER T. F., 2007. *Global climate projections*. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter10.pdf>.
- PRZYBYŁAK R., 2008. *Zmiany klimatu Polski i Europy w ostatnich stuleciach*. Kosmos, 57, 195–208.
- RANDALL D. A., WOOD R. A., BONY S., COLMAN R., FICHEFET T., FYFE J., KATTSOV V., PITMAN A., SHUKLA J., SRINIVASAN J., STOUFFER R. J., SUMIAND A., TAYLOR K. E., 2007. *Climate models and their evaluation*. [W:] *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. SOLOMON S., QIN D., MANNING M., CHEN Z., MARQUIS, M. AVERYT K. B., TIGNOR M. MILLER H. L. (red.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- ROTNICKI K., 2008. *Transgresja morska i jej skutki*. Kosmos, 57, 225–239.
- SCHAEFER K., ZHANG T., BRUHWILER L., BARRETT A. P., 2011. *Amount and timing of permafrost carbon release in response to climate warming*. Tellus B63, 165–180.
- STARKEL L., 2008. *Globalne ocieplenie i zmiany towarzyszące – analogi z przeszłości*. Kosmos, 57, 183–193.
- TRENBERTH K. E., 2011. *Changes in precipitation with climate change*. Clim. Res. 47, 123–138.
- TRYJANOWSKI P., EKNER A., 2008. *Zmiany klimatyczne: konsekwencje dla gatunków i ekosystemów*. Kosmos, 57, 261–268.
- WENTZ F. J., RICCIARDULLI L., HILBURN K., MEARS C., 2007. *How much more rain will global warming bring?* Science 317, 233–235.
- ZWOLIŃSKI Z., DOBIŃSKI W., 2008. *Recesja lądolodów oraz degradacja wieloletniej zmarzliny*. Kosmos 57, 209–224.