

Nr indeksu 362808
PL ISSN 0023-4249



Polskie Towarzystwo Przyrodników
im. KOPERNIKA

KOSMOS

Materiały z Konferencji Naukowej
GLOBALNE ZMIANY ŚRODOWISKA PRZYRODNICZEGO
WYZWANIEM DLA LUDZKOŚCI



Tom 42

WARSZAWA 1993

Numer 1 (218)

K O S M O S

Rok założenia 1876

WARSZAWA 1993

MEDYCZNA AGENCJA WYDAWNICZO INFORMACYJNA

RADA REDAKCYJNA

LESZEK KUŹNICKI (wiceprzewodniczący), *WŁODZIMIERZ MICHAJŁOW*,
WŁODZIMIERZ OSTROWSKI, *HENRYK SZARSKI*, *PRZEMYSŁAW TROJAN*,
ADAM URBANEK (przewodniczący), *KAZIMIERZ ZIELIŃSKI*
JADWIGA KOBUSZEWSKA (sekretarz)

KOMITET REDAKCYJNY

BRONISŁAW CYMBOROWSKI, *WŁADYSŁAW GOLINOWSKI* (zastępca redaktora naczelnego), *LUCYNA GRĘBECKA*, *WŁODZIMIERZ MICHAJŁOW*,
KRZYSZTOF STAROŃ, *KAZIMIERZ L. WIERZCHOWSKI* (redaktor naczelny)
JADWIGA KOBUSZEWSKA (sekretarz)

REDAKTORZY ZESZYTU

LESZEK STARKEL, *BARBARA OBREBSKA-STARKEL*, *MAŁGORZATA GUTRY-KORYCKA*

ADRES REDAKCJI

Polskie Towarzystwo Przyrodników im. Kopernika
02-532 Warszawa, ul. Rakowiecka 36

Wydano z pomocą finansową Komitetu Badań Naukowych oraz
Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

MEDYCZNA AGENCJA WYDAWNICZO INFORMACYJNA

Warszawa, ul. Złota 60/28

Druk: GURT, Warszawa, ul. plutonu Torpedy 41

MATERIAŁY Z KONFERENCJI NAUKOWEJ
GLOBALNE ZMIANY ŚRODOWISKA PRZYRODNICZEGO
WYZWANIEM DLA LUDZKOŚCI

Kraków, 22–23 października 1992

GLOBAL
I G B P
CHANGE

ORGANIZATORZY:

Polska Akademia Umiejętności w Krakowie
Komitet Narodowego Programu IGBP—Global Change
Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów
Naturalnych i Leśnictwa
Komitet Naukowy Człowiek i Środowisko
przy Prezydium Polskiej Akademii Nauk

REDAKCJA NAUKOWA:

Leszek Starkel, Barbara Obrębska-Starkel,
Małgorzata Gutry-Korycka

OD REDAKCJI

Kosmos, podobnie jak i wiele innych czasopism naukowych i popularno-naukowych w Polsce, znalazł się obecnie w bardzo trudnej sytuacji materialnej.

Koszty wydawnicze wielokrotnie przewyższają zysk ze sprzedaży a dotacja otrzymywana z Komitetu Badań Naukowych przez Polskie Towarzystwo Przyrodników im. Kopernika jest niewystarczająca na ich pokrycie. Podejmujemy więc współpracę z nowym wydawcą — Medyczną Agencją Wydawniczo-Informacyjną, utworzoną w celu tańszego wydawania czasopism i książek naukowych. Wydawnictwo to przejmuje również stopniowo kolportaż pisma od dotychczasowych dystrybutorów. Pozwoli to nam na usprawnienie rozprowadzania pisma, lepsze poznanie stałych Czytelników *Kosmosu* i dotarcie do tych, którzy nie otrzymują go jeszcze systematycznie. Powinno to podnieść nakład pisma i tym samym obniżyć koszty jego wydawania. Ze względu na stale rosnące koszty usług poligraficznych zostaliśmy zmuszeni niestety do podniesienia ceny 1 zeszytu, rozważamy także możliwość dalszego jej podniesienia za egzemplarze w prenumeracie bibliotecznej. Mamy nadzieję, że spotka się to z pełnym zrozumieniem Czytelników.

Utrzymując dotychczasowy charakter *Kosmosu*, jako pisma informującego o najnowszych osiągnięciach nauk biologicznych i ich pogranicza z innymi dziedzinami nauki, chcemy bardziej konsekwentnie niż dotychczas adresować zamieszczane w nim artykuły do niespecjalistów: pracowników naukowych, nauczycieli i studentów. Powinni znaleźć w nim interesujące dla siebie teksty także wszyscy inni Czytelnicy z wyższym wykształceniem, zainteresowani problemami biologii. Poza artykułami informacyjnymi będziemy nadal zamieszczać teksty dyskusyjne, informacje o działalności placówek naukowych, o zjazdach i konferencjach naukowych oraz recenzje książek i podręczników. W ostatnich latach podejmowaliśmy wysiłki w celu uatrakcyjnienia treści *Kosmosu* wydając w każdym roku zeszyty tematyczne, poświęcone różnym aktualnym zagadnieniom biologii; były to między innymi zeszyty pt.: *Wybrane zagadnienia współczesnej biotechnologii* (1989), *Człowiek—Przeszłość, teraźniejszość, przyszłość* (1990), *Rytmy biologiczne* (1991), *Funkcje ruchowe komórek i Zagadnienia immunologii* (1992). Kontynuując tę tradycję w bieżącym roku zamierzamy oddać do rąk Czytelników trzy takie zeszyty. Poza obecnym, poświęconym problematyce globalnych zmian środowiska przyrodniczego, będą to zeszyty prezentujące proble-

matykę zrównoważonego ekologicznie rozwoju gospodarczego świata („Szczyt Ziemi” konferencja ONZ w Rio de Janeiro w 1992 r.) i Polski oraz ostatnie osiągnięcia badań nad mózgiem. Mamy nadzieję, że wzbudzą one szerokie zainteresowanie i przyczynią się do wzrostu liczby Czytelników. W przyszłym roku zamierzamy zmienić na większy obecny format *Kosmosu* i jego szatę graficzną, aby sprostać współczesnym tendencjom wydawniczym.

Zwracamy się do wszystkich naszych Czytelników z gorącym apelem o przyjęcie z pomocą pismu poprzez dalszą jego prenumeratę i zachęcanie do prenumeraty zarówno indywidualnych odbiorców, jak i przyrodnicze oraz szkolne biblioteki, w których nie ma jeszcze *Kosmosu*. Zapraszamy również do dalszego udziału w jego wydawaniu przez nadsyłanie artykułów, recenzji i innych tekstów do publikacji, a także krytycznych uwag i dezyderatów dotyczących treści, poziomu i formy pisma.

Niech naszym wspólnym celem będzie upowszechnianie w kraju osiągnięć nauki i podnoszenie poziomu edukacji przyrodniczej społeczeństwa poprzez kontynuowanie edycji *Kosmosu*, pisma o tak dużych zasługach i niemal studwudziesięcioletniej (bo od 1876 roku) tradycji.

Dziękujemy Wydawnictwu Naukowemu PWN za wieloletnią, życzliwą i dobrze układającą się współpracę. Mamy nadzieję, że nasza współpraca z Medyczną Agencją Wydawniczo-Informacyjną ułoży się jeszcze lepiej.

REDAKTOR NACZELNY

<p>Pokwitowanie dla wpłacającego</p> <p>Zł..... słownie..... wpłacający.....</p> <p>.....</p> <p>imię, nazwisko, adres wraz z kodem pocztowym na r-k</p>	<p>Odcinek dla posiadacza rachunku</p> <p>Zł..... słownie..... wpłacający.....</p> <p>.....</p> <p>imię, nazwisko, adres wraz z kodem pocztowym na r-k</p>	<p>Odcinek dla poczty lub banku</p> <p>Zł..... słownie..... wpłacający.....</p> <p>.....</p> <p>imię, nazwisko, adres wraz z kodem pocztowym na r-k</p>
<p>MAWI ul. Złota 60/28, 00-821 Warszawa PKO BP IX O/Warszawa Nr 1599-321004-136 pren. KOSMOS</p> <p>.....</p> <p>stempel</p> <p>Opłata zł.....</p> <p>podpis przyjmującego</p> <p>PRENUMERATA PRASY</p>	<p>MAWI ul. Złota 60/28, 00-821 Warszawa PKO BP IX O/Warszawa Nr 1599-321004-136 pren. KOSMOS</p> <p>.....</p> <p>stempel</p> <p>Opłata zł.....</p> <p>podpis przyjmującego</p> <p>PRENUMERATA PRASY</p>	<p>MAWI ul. Złota 60/28, 00-821 Warszawa PKO BP IX O/Warszawa Nr: 1599-321004-136 pren. KOSMOS</p> <p>.....</p> <p>stempel</p> <p>Opłata zł.....</p> <p>podpis przyjmującego</p> <p>PRENUMERATA PRASY</p>

Tych spośród Państwa, którzy nie zaprenumerowali **KOSMOSU** na rok 1993, uprzejmie informujemy, iż prenumeratę można wpłacić w każdym urzędzie pocztowym. Opłatę 160 000 zł (cena 1 egz. 40 000 zł) prosimy przekazać na konto wydawcy: Medyczna Agencja Wydawniczo Informacyjna; ul. Złota 60/28, 00-821 Warszawa, PKO BP IX O/Warszawa, Nr 1599-321004-136

KOSMOS

KONTYNUACJA PRENUMERATY:

TAK

NIE

ROCZNA

PÓLROCZNA

LICZBA EGZ. 1 2 3 4

WARTOŚĆ.....zł

Zakreśl właściwie!

KOSMOS

KONTYNUACJA PRENUMERATY:

TAK

NIE

ROCZNA

PÓLROCZNA

LICZBA EGZ. 1 2 3 4

WARTOŚĆ.....zł

Zakreśl właściwie!

KOSMOS

KONTYNUACJA PRENUMERATY:

TAK

NIE

ROCZNA

PÓLROCZNA

LICZBA EGZ. 1 2 3 4

WARTOŚĆ.....zł

Zakreśl właściwie!

CZASOPISMO NASZE JEST DOSTĘPNE GŁÓWNIEM W PRENUMERACIE

PRZEDMOWA

Przedstawiony w niniejszym tomie *Kosmosu* zestaw artykułów jest pokłosiem Konferencji Naukowej „Globalne zmiany środowiska przyrodniczego wyzwaniem dla ludzkości”, która odbyła się w Krakowie w dniach 22 i 23 października 1992 r. z inspiracji Komitetu Narodowego Programu IGBP — Global Change (Międzynarodowy Program Badań Zmian Globalnych Geosfery-Biosfery). Organizatorami Konferencji były: Polska Akademia Umiejętności w Krakowie, Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, Komitet Naukowy Człowiek i Środowisko przy Prezydium Polskiej Akademii Nauk i Komitet Narodowy Programu IGBP przy Prezydium PAN.

Kurczenie się zasobów przyrody (wody, biomasy, gleby, surowców mineralnych), zanieczyszczenie środowiska i zauważalne zmiany klimatu w wyniku efektu cieplarnianego stały się od 20–30 lat przedmiotem zorganizowanych akcji i programów badawczych mających na celu zarówno poznanie mechanizmów zmian, jak też prognozowanie skutków przemian dla środowiska i gospodarki. Jednymi z pierwszych organizacji, które podjęły te prace były: UNEP — Program Środowiskowy Narodów Zjednoczonych, FAO — Organizacja do Spraw Wyżywienia i Rolnictwa Narodów Zjednoczonych i IUCN — Międzynarodowa Unia Ochrony Przyrody i Zasobów Naturalnych. W ramach UNESCO powstały programy: MaB — Człowiek i Biosfera, IHP — Międzynarodowy Program Hydrologiczny i inne. Z inspiracji WMO — Światowej Organizacji Meteorologicznej powstał Światowy Program Klimatyczny (WCRP), a następnie IPCC — Międzypaństwowy Panel Zmian Klimatu.

Równolegle uczeni skupieni w ICSU — Międzynarodowym Komitecie Unii Naukowych powołali SCOPE — Komitet Naukowy Problemów Środowiska, a na przełomie lat 1985–1986 utworzono Komitet ds. Międzynarodowego Programu Badań Globalnych Zmian Geosfery i Biosfery (IGBP — Global Change). Program ten realizowany jest w dekadzie 1991–2000 w problemach węzłowych i programach towarzyszących, w których zaangażowane są tysiące uczonych na całym świecie. Celem programu jest „opisanie i zrozumienie interakcji procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych regulujących cały system ziemski, jedyne środowisko życia, zmiany zachodzące w tym systemie i sposób w jaki zależą one

od działalności człowieka". W ostatnich latach ISSC — Międzynarodowa Rada Nauk Społecznych przystąpiła do tworzenia równoległego programu badawczego — Human Dimensions Programme, którego celem jest badanie reakcji społeczeństw na zmiany przyrodnicze i opracowanie scenariuszy przeciwdziałania niekorzystnym zmianom. Wyrazem zaangażowania społeczeństw świata był „Szczyt Ziemi”, konferencja ONZ w Brazylii na temat „Środowisko a rozwój” (Rio de Janeiro, 3–14 czerwca 1992 r.) oraz podpisanie pierwszych międzynarodowych konwencji na temat klimatu, dziury ozonowej i ochrony różnorodności biologicznej i ekosystemów leśnych.

Konferencja październikowa w Krakowie miała na celu zaznajomienie polskich kręgów naukowych z kierunkami badań międzynarodowych nad globalnymi zmianami środowiska przyrodniczego i ich implikacjami dla ludzkości a równocześnie rozpatrzenie wniosków w kontekście stanu zasobów naturalnych i zmian społeczno-ekonomicznych Polski. Dlatego program konferencji objął szeroką skalę zagadnień w perspektywie globalnej. Niestety, nie wszystkie referaty, których streszczenia zostały zamieszczone w programie konferencji, były wygłoszone, co utrudniło dyskusję nad niektórymi istotnymi zagadnieniami. Także nie wszystkie zostały złożone w terminie, umożliwiającym publikację w niniejszym tomie.

Po przemówieniach oficjalnych Wiceprezesa PAU — A. Bielańskiego i Wiceprezesa i Sekretarza Naukowego PAN — L. Kuźnickiego, referat na temat wyników Konferencji „Szczyt Ziemi” w Brazylii wygłosił S. Kozłowski. Zmiany środowiska w przeszłości przedstawił L. Starkel, a historię społeczeństw J. Topolski. Grupa referatów dotyczyła zmian w atmosferze. T. Florkowski przedstawił scenariusze produkcji energii na tle struktury gazowej atmosfery, B. Obrębska-Starkel — mechanizm i skutki wzmożonego efektu cieplarnianego, A. Dziewulska-Łosiowa — zmiany ozonu w atmosferze i troposferze.

Następna grupa referatów (zamieszczonych w programie konferencji) dotyczyła zmian przyrodniczych będących przedmiotem badań w ramach poszczególnych międzynarodowych programów węzłowych. Z. Kaczmarek przedstawił zmiany zasobów wodnych świata, A. Hillbricht-Ilkowska — zmiany ekosystemów jeziornych, L. Ryszkowski i A. Kędziora — scenariusze zmian w gospodarce rolnej, a A. Breymeyer — problemy przetrwania ekosystemów i gatunków. Skutki wzrostu poziomu morza zostały przedstawione w wystąpieniu K. Rotnickiego. M. Sadowski omówił geopolityczne aspekty zmian klimatu. Nauki społeczne reprezentowali R. Domański, którego praca omawia społeczne wymiary wyczerpywania zasobów i degradacji środowiska, i A. Biela, który mówił o reakcjach psychicznych w sytuacji globalnych zmian środowiska. Po referatach wywiązała się interesująca dyskusja, skupiona z jednej strony na wyjaśnieniu mechanizmów globalnych zmian klimatu, a z drugiej na oczekiwanych (czy przewidywanych w różnych scenariuszach) skutkach zmian dla rozwoju gospodarczego i społecznego kraju.

Istotną część konferencji stanowiła wystawa posterowa, prezentująca niektóre osiągnięcia badawcze związane z programem Global Change, realizowane prze-ważnie w ośrodku krakowskim. Zespół w składzie: T. Niedźwiędz (IMGW), Z. Bednarz (AR w Krakowie), B. Obrębska-Starkel, J. Trepieńska i Z. Olecki (Zakład Klimatologii UJ) omówił długookresowe tendencje zmian klimatu w południowej Polsce, T. Florkowski, J. Grabczak, T. Kuc i K. Różański (Instytut Techniki Jądrowej AGH) przedstawili pomiary promieniotwórczości atmosfery Krakowa, a T. Kuc i M. Zimoch (Instytut Techniki Jądrowej AGH) — skład izotopowy oraz koncentrację atmosferycznego CO w Krakowie. M. Gutry-Korycka, P. Werner i B. Jakubiak (Zakład Hydrologii UW i IMGW) ocenili wpływ zmian elementów klimatu na obieg wody w zlewni. A. Kotarba i in. (Instytut Geografii i PZ PAN) — pokazali zmienność katastrofalnych procesów rzeźbotwórczych w Tatrach na tle długofalowych zmian klimatu. Wpływ zmian zawartości ozonu na lasy został przedstawiony przez A. Bytnerowicz, K. Grodzińską i in. (Instytut Botaniki PAN). Obiegu metali ciężkich dotyczyły 2 postery: K. Grodzińskiej i G. Szarek (Instytut Botaniki PAN) — o roli roślinności w transmisji metali ciężkich oraz E. Helios-Rybickiej (Instytut Geologii Podstawowej AGH) — o depozycji metali w osadach dennych rzek Polski. M. Ralska-Jasiewiczowa (Instytut Botaniki PAN) wraz z interdyscyplinarnym zespołem zaprezentowali wyniki rekonstrukcji zmian klimatu i degradacji środowiska przez człowieka w ostatnich 12000 lat na podstawie laminowanych osadów jeziora Gościąż.

Całość materiałów prezentowana na posterach zostanie opublikowana w odrębnym zeszycie wydawnictwa seryjnego „Environment of Poland and Global Change” — omawiającym wkład polskiej nauki do problematyki IGBP.

Jest moim miłym obowiązkiem podziękować serdecznie wszystkim autorom, referentom i autorom posterów, a także tym wszystkim, którzy pomagając w organizacji Konferencji przyczynili się do rozpropagowania problematyki globalnych zmian środowiska przyrodniczego. Osobno pragnę podziękować Redakcji *Kosmosu* za udostępnienie łam czasopisma na druk pokłosa konferencji.

LESZEK STARKEL

FOREWORD

This issue of *Kosmos* — presents the proceedings of the “Conference on Global Environmental Changes — a Challenge for Humanity” held in Cracow, 22–23 October 1992. The inspiration was given by the Polish National Committee for IGCP — Global Change. The Conference was prepared in cooperation with the Polish Academy of Sciences and Letters in Cracow, the Ministry of Environmental Protection, Natural Resources and Forests, and with the Man and Environment Committee of the Polish Academy of Sciences.

The shrinking of the natural resources, such as water, soil, biomass or mineral resources, the environmental pollution, and finally the distinct climatic change due to the greenhouse effect all of which during the last 30–20 years caused organized actions and development of research projects to recognize the causes of these changes, as well as to forecast their results for the environment and economy. Among the first who undertook those themes were the UNEP (United Nation Environmental Programme), FAO and IUCN (International Union for the Conservation of Nature).

In the structure of UNESCO there were founded special programs such as MaB — Man and Biosphere, IHP — International Hydrological Programme, and others. The World Meteorological Organization founded the World Climate Programme (WCRP) and later on IPCC — Intergovernmental Panel of Climatic Changes.

In the ICSU (International Council of Scientific Unions) there were organized: SCOPE (Scientific Committee on Problems of the Environment) and in 1986 the Committee for the International Geosphere-Biosphere Programme — Global Change. This IGBP programme is put into practice in the decade 1991–2000 by means of several core projects and satellite projects, in which thousands of scientists are engaged. The objective of the IGBP is “to describe and understand the interactive physical, chemical, and biological processes that regulate the total Earth system, the unique environment that it provides for life, the changes that are occurring in this system, and the manner in which they are influenced by human activities”.

In the last two years the International Council of Social Sciences started to create the parallel programme on Human Dimensions (HDP), to learn the reaction

of the society to environmental changes, and to the scenarios how to counteract unprofitable changes. The engagement of nations was realized by organizing the United Nations Conference on Environment and Development and signing the first international convention on the climate, the ozone hole, the protection of biodiversity, and the agreement on the forest ecosystems.

The Conference in Cracow had as its aim to inform the wide circles of Polish scientist about the main directions of international research on the global environmental changes and their implications for the humanity, as well as the discussion on the main conclusions in the context of the degradation of natural resources and socio-economic changes in Poland. Therefore the program of that meeting covered a wide scope of multiscale problems in relation to the global perspective. Unfortunately, not all the papers distributed among the participants were orally presented, and this eliminated some important questions from the discussion; moreover some were not delivered in time to be included in this issue.

After the opening speeches made by Vicepresident of the Academy of Sciences and Letters in Cracow A. Bielański, the host of the Conference, and by Vicepresident and General Secretary of the Polish Academy of Sciences L. Kuźnicki, S. Kozłowski presented the results of the United Nations Conference on Environment and Development held in Rio de Janeiro in June 1992. Next L. Starkel characterized the global environmental changes in the geological past; he emphasized the problem of unrenovable resources. J. Topolski spoke on evolution of the social and economic structures in relation to the natural resources. T. Florkowski presented the different scenarios of the production and consumption of energy on the background of the gaseous composition of the atmosphere. The mechanism of the greenhouse effect and its acceleration connected with the increase of CO₂ were described by B. Obrębska-Starkel, and the changes of the content of ozone in the stratosphere and troposphere by A. Dziewulska-Łosiowa.

The next group of the papers distributed during the Conference was related to the environmental changes studied by several international core projects of the IGBP and other programs. Z. Kaczmarek characterized the changes of the global water resources, A. Hillbricht-Ilkowska the changes of the lacustrine ecosystems, and L. Ryszkowski and A. Kędziora the transformation of agriculture due to the changes in the global climate. The consequences of the rising of the sea level were elucidated by K. Rotnicki. M. Sadowski discussed some geopolitical aspects of the global warming. The human response problems were presented by R. Domański (social dimensions of the degradation of natural resources) and by A. Biela (psychological reaction under the conditions of the global climatic change). The presentations were followed by a very vivid discussion concentrated on the explanation of the mechanism of the global climatic change, as well as on the expected by various scenarios effects of changes for the economic and social development of our country.

Another substantial part of the Conference was formed by the poster session, presenting the new results of the research carried out mainly in the Cracow center and related, directly or indirectly, with the Global Change Program.

The team of climatologists: B. Obrebska-Starkel, J. Trepńska, Z. Olecki (Jagiellonian University), T. Niedźwiedz (Institute of Meteorology and Water Management) and Z. Bednarz (Agricultural Academy) presented the studies on the long term trends in the climate changes in Southern Poland. The impact of the climatic changing parameters on the water circulation in the river catchments was illustrated by M. Gutry-Korycka, J. Jaworski and B. Jakubiak (Warsaw University and Institute of Meteorology and Water Management). A. Kotarba (Institute of Geography, Polish Academy of Sciences) indicated to the role of the catastrophic events in the Tatra Mts. on the background of climatic fluctuations. A. Bytnerowicz, K. Grodzińska and others (Institute of Botany, Polish Academy of Sciences) studied the impact of the change in the content of ozone on forest communities. K. Grodzińska and G. Szarek presented the measurements of the role of vegetation in the transmission of heavy metals. E. Helios-Rybicka (Geological Faculty of the Academy of Mining and Metallurgy) showed the deposition of heavy metals in the bottom sediments of Polish rivers. M. Ralska-Jasiewiczowa (Institute of Botany, Polish Academy of Sciences) together with the interdisciplinary team, presented the results of studies on the reconstruction of climatic changes and human impact based on the laminated sediments of the Gościąg Lake, covering the last 12000 years.

All the materials presented during the poster session will be published in the first issue of the new series "Environment of Poland and Global Change" — showing the Polish research related to the IGBP.

It is my privilege and pleasure to express cordial thanks to all authors, who presented the papers and posters as well as to all those, who helped in the preparation of this Conference and thus in the propagation of the problems of the global environmental changes. I also appreciate the invitation the of Editorial Board of *Kosmos* to publish the proceedings of our Conference.

LESZEK STARKEL

STEFAN KOZŁOWSKIInstytut Geologiczny
Warszawa

KONFERENCJA „ŚRODOWISKO I ROZWÓJ” W BRAZYLII W ROKU 1992

W dniach 3–14 czerwca 1992 r. odbyła się w Brazylii (Rio de Janeiro) II Konferencja ONZ pt. „Środowisko i rozwój” (UNCED — United Nations Conference on Environment and Development). Pierwsza konferencja na temat środowiska miała miejsce w Sztokholmie w dniach 5–14 czerwca 1972 r. Następny „Szczyt Ziemi” po konferencji w Brazylii odbędzie się za 20 lat, to jest w 2012 r.

Konferencje tego typu poświęcane są problemom ochrony środowiska w skali globalnej. O ich randze formalnej i merytorycznej świadczy, że delegacjom poszczególnych krajów na UNCED przewodniczą głowy państw i szefowie rządów.

PRZYGOTOWANIA DO KONFERENCJI

W roku 1989 Zgromadzenie Ogólne Narodów Zjednoczonych podjęło decyzję o zwołaniu konferencji. Powołany został Komitet Przygotowawczy Konferencji (PrepCom). Prace przygotowawcze do UNCED prowadzone były już od marca 1990 r. Miejscem pierwszej takiej konferencji było Nairobi — w sierpniu 1990 r., drugim Genewa w marcu i kwietniu 1991 r. Trzecia sesja PrepCom odbyła się w sierpniu i wrześniu 1991 r. w Genewie, czwarta w marcu 1992 r. w Nowym Jorku. W trakcie długich — miesięcznych sesji przygotowywano główne dokumenty na konferencję. Wobec trudności w uzgodnieniu stanowisk prace negocjacyjne prowadzone były do ostatniej chwili — jeszcze w Rio de Janeiro, przed ostatecznym podpisaniem dokumentów.

Równocześnie w wielu krajach świata organizowane były w latach 1990–1992 liczne konferencje naukowo-specjalistyczne związane głównie z problematyką zmian globalnych w środowisku przyrodniczym.

Jednocześnie trwały liczne spotkania grup i organizacji społecznych, zwłaszcza ekologicznych NGO (Non-Governmental Organization). Każda z takich konferencji zmierzała do przygotowania raportów, stanowisk i postulatów. Wymienić tu można spotkania młodzieży, kobiet, związków zawodowych, wspólnot religijnych, rolników, obrońców praw człowieka. Z ważniejszych to: spotkania Międzynarodowego Komitetu Sterującego NGO z ELCI (Environment Lason Centre International), Kongijskiego Komitetu Planowania, Porozumienia Mieszkańców Krajów Północy (Alliance of Northern People for Environment and Development),

Międzynarodowego Komitetu Ułatwiającego (International Facilitating Committee) i innych sektorowych lub geograficznych sieci NGO, obejmujących także organizacje ludności tubylczej.

Dla przykładu omówione zostaną dwie tego typu konferencje według opracowania Polskiego Klubu Ekologicznego (nr 1(7), 1992).

„ZDROWA PLANETA” ŚWIATOWY KONGRES KOBIEC
8–19.11.1991, Miami, Floryda, USA

W kongresie uczestniczyło 1550 kobiet z całego świata. Celem kongresu było zebranie głosów kobiet, które — jako matki broniące życia swych dzieci — wiedzą najlepiej jak bronić Matki Ziemi. Głosy te, inspirując uczucia solidarności, powinny przekonać, że właśnie kobiety będą decydować o sukcesie UNCED i przez to powinny szerzej występować na arenie międzynarodowej. Kobiety myśląc globalnie, podjęły działania lokalne w swych bardzo zróżnicowanych społecznościach. Wszystkie uczestniczki Kongresu zdecydowały, że najważniejsze jest zdrowie człowieka. Jest to punkt wyjścia dla uświadomienia sobie zagrożeń ze strony współczesnego świata, ze strony zanieczyszczeń środowiska, transportu i innych.

Kongres przyjął projekt „Karty Zdrowia”, podkreślający rolę kobiet w monitoringu i ochronie zdrowia zarówno w środowisku naturalnym, jak i stworzonym przez człowieka oraz ukazujący model zdrowych społeczności.

Kobiety Francji protestowały przeciwko energetyce jądrowej, niosącej zagrożenia dla przyszłych pokoleń.

Kobiety z Holandii i Austrii zwróciły uwagę na sytuację zdrowotną kobiet w Polsce, zwłaszcza na zmiany degeneracyjne w łożyskach kobiet ciężarnych w Czarnym Trójkącie.

Kobiety z Niemiec zaplanowały demonstracje przed Ambasadą USA przeciwko poziomowi amerykańskich emisji dwutlenku węgla.

Kobiety Brazylii zaprosiły przyszłych delegatów do Rio na uroczystości otwarcia „Szczytu Ziemskiego”, połączone z prezentacją tradycyjnych pieśni i tańców.

Uczestniczki Kongresu płakały, gdy Magda Renner, działaczka z Brazylii, mówiła o 300 bezdomnych dzieciach zastrzelonych w 1991 r. na ulicach Rio de Janeiro. Zgodzono się, że cywilizacja ludzka osiągnęła punkt, z którego nie ma odwrotu i wskazano na korzenie zła tej cywilizacji. Kobiety wierzą, że mogą uzdrowić naszą planetę, ale walka o czyste środowisko jest ściśle związana z walką o nowy porządek ekonomiczno-społeczny. Jest to także walka z zadłużeniem, z neokolonializmem, z wolnym rynkiem, z polityką GATT (Global Agreement on Trade and Tariffs), walką o zachowanie własnej kultury i tradycji, które też są elementem środowiskowej różnorodności. Całą winę za obecny stan przypisuje się krajom Północy. Kongres przyjął program „Akcji Kobiet — Agendę 21” (Women’s Action Agenda 21).

Najważniejsze tytuły rozdziałów Akcji 21:

— prawo do demokracji, różnorodności i solidarności,

- kodeks etyki środowiskowej i odpowiedzialności,
- sprawy militarizmu i środowiska, zagranicznych długów i handlu (nędry, praw kraju, bezpiecznej żywności i kredytów),
- prawa kobiet w zakresie polityki populacyjnej i zdrowia,
- zagadnienia różnorodności biologicznej i biotechnologii,
- energetyki jądrowej i alternatywnych energii,
- nauki i przepływu technologii,
- siły kobiet, jako konsumentów,
- rozwój informacji i edukacji.

Opracowano również raporty i agendy regionalne kobiet Afryki, Europy, Ameryki Łacińskiej, środkowego Wschodu, regionu Pacyfiku, Południa i kolorowych kobiet Ameryki Północnej.

Światowy Kongres Kobiet był wielkim osiągnięciem, ukazał korzenie kryzysu współczesnego świata i wytyczył nowe kierunki działań na początek XXI wieku.

„KORZENIE PRZYSZŁOŚCI” ŚWIATOWA KONFERENCJA NGO

Paryż, 17–20. 12. 1991.

Konferencja skupiła ludzi z całego świata: ponad 1000 osób, delegatów z Północy i Południa, ze Wschodu i Zachodu, obserwatorów, oficjalnych przedstawicieli, dziennikarzy. Jak na ironię sprawy środowiska i rozwoju były dyskutowane w budynku będącym swego rodzaju pomnikiem technologii XX wieku — La Vilette — Muzeum Techniki i Przemysłu.

Agenda jest wezwaniem skierowanym zarówno do obywateli, jak i do rządów. Jej główną myślą przewodnią jest budowanie nowego świata, świata zdrowszego społecznie i ekologicznie niż ten, w którym obecnie żyjemy. Mniej było w niej problemów biologicznych, więcej zaś humanistycznych.

Agenda Ya Wananchi

W obszernym wstępie opisano obecny porządek świata — sytuację zadłużenia wielu krajów, drenażu ekonomicznego Południa przez Północ, hegemonii systemów militarnych, zagrożeń dla różnorodności kultur, tradycji, historii zdominowanych przez gospodarcze i technologiczne procesy. Ukazano zagrożenia dla ludzkich siedzib, problemy związane z urbanizacją, z ludźmi bezdomnymi lub pozbawionymi swych ojczystych krajów. Ukazano długofalowe skutki zdrowotne różnych chemicznych zanieczyszczeń i groźbę coraz częstszych katastrof ekologicznych. Wskazano, jak małe znaczenie dla rozwiązania problemów globalnych niesie ze sobą idea zrównoważonego rozwoju. Zgodzono się, że podany na wstępie podział świata na bogatą Północ i głodujące Południe nie jest właściwy. Wskazano na konieczność uznania ubogich krajów postkomunistycznych środkowej i wschodniej Europy jako odrębnej jedności. Zwrócono uwagę na korzenie kryzysu współczesnego świata, wskazano na potrzebę obrony nie tylko różnorodności biologicznej, ale także różnorodności etnicznej i kulturowej. Pokazano udział polityki banków w tworze-

niu systemu neokolonialnego, który wciąż stoi na przeszkodzie w utworzeniu „jednego świata” i „jednej wspólnej rodziny ludzkiej”.

Jako podstawową zasadę przyjęto, że nie chodzi o ochronę środowiska samego dla siebie, ale o ochronę środowiska dla życia ludzi i ich zrównoważonego ekonomicznego oraz fizycznego rozwoju. Zgodzono się, że wszystkie procesy muszą być ujmowane holistycznie i we wzajemnym powiązaniu między sobą, co wymaga:

- utrzymania ekologicznej integralności oraz zmniejszenia okaleczeń społecznych i kulturowych,
- zapewnienia możliwości zaspokajania podstawowych potrzeb ludzi,
- zaspokajania wszystkich materialnych i niematerialnych potrzeb oraz praw do pokoju, bezpieczeństwa, poszanowania godności, obecnych i przyszłych pokoleń,
- stworzenia warunków pozwalających na określenie swej tożsamości, autonomii i kulturowej przynależności,
- zapewnienia międzynarodowej równości w zaspokajaniu potrzeb materialnych i duchowych, niezależnie od przynależności rodzinnej, religii czy rasy,
- w edukacji dzieci — uczenia:
 - integralności stworzenia,
 - wspólnotowości i różnorodności życia,
 - partnerstwa i odpowiedzialności,
 - zrównoważenia rozwoju,
 - nowego myślenia.

Szczegółowe zobowiązania adresowane są do społeczeństw (13 punktów), do rządów (21 punktów) i do sektora prywatnego.

PRZEBIEG KONFERENCJI

Na Konferencję przybyły 183 delegacje rządowe (około 30000 uczestników). Była to więc największa konferencja w dziejach ludzkości. Sama Konferencja podzielona była na dwa etapy:

I etap negocjacyjny (3–12 czerwca). Obrady dotyczyły głównie sformułowań Deklaracji z Rio, która zastąpiła projektowaną wcześniej Kartę Ziemi oraz Agendę 21, czyli program dalszych działań.

II etap „Szczytu Ziemi” z udziałem głów państw, szefów rządów i przywódców delegacji dla przyjęcia głównych dokumentów i podpisania dwu konwencji: klimatycznej i biologicznej różnorodności.

Konferencja odbywała się w Riocentro oddalonym o 30 km od centrum Rio de Janeiro. W samym Rio de Janeiro w parku Flamengo równocześnie odbywało się Global Forum grupujące niezależne ruchy i organizacje społeczne. Część uczestników przybyła drogą morską na pokładzie historycznych i współczesnych statków.

W tym samym czasie na zaproszenie Parlamentu Brazylii odbyło się spotkanie dyskusyjne przywódców duchowych świata z udziałem Dalej Lamy.

Na Konferencji w Rio de Janeiro przyjęto następujące dokumenty:

- Deklarację z Rio,
- Zasady o lasach,
- Agendę 21,

oraz podpisano konwencje:

- o różnorodności biologicznej,
- w sprawie zmian klimatu.

KONWENCJA O RÓŻNORODNOŚCI BIOLOGICZNEJ

Konwencję podpisało ponad 100 państw, w tym Polska, nie podpisały jej Stany Zjednoczone.

Definicja różnorodności biologicznej brzmi: zróżnicowanie wszystkich możliwych żywych organizmów, z uwzględnieniem, między innymi: lądowych, morskich oraz innych wodnych ekosystemów i zespołów ekologicznych, których są częścią; dotyczy to różnorodności w obrębie gatunku, pomiędzy gatunkami oraz różnorodności ekosystemów.

Różnorodność biologiczna ma podstawowe znaczenie dla ewolucji oraz dla utrzymania systemów podtrzymujących życie w biosferze. Jest to więc o fundamentalnym znaczeniu wspólna sprawa dla całej ludzkości. Tymczasem działania ludzkie w znaczny (i coraz to szybszy) sposób zmniejszają różnorodność biologiczną.

Konieczne staje się: przewidywanie, zapobieganie oraz zwalczanie przyczyn zmniejszania się lub zanikania bioróżnorodności. Ubożenie różnorodności biologicznej wyraża się poprzez straty w siedlisku i w wymieraniu gatunków.

Podstawowym wymogiem ochrony różnorodności biologicznej jest ochrona ekosystemów i naturalnych siedlisk *in situ* oraz utrzymanie i odzyskanie zdolnych do życia gatunków w ich naturalnym otoczeniu.

Zgodnie z omawianą konwencją — Państwa mają suwerenne prawa do swoich własnych zasobów biologicznych. Państwa są również odpowiedzialne za ochronę swojej bioróżnorodności oraz za zrównoważone wykorzystanie swoich zasobów biologicznych.

Zrównoważone wykorzystanie — oznacza wykorzystanie elementów różnorodności biologicznej w sposób i w tempie nie prowadzącym do załamania różnorodności biologicznej, utrzymując jej zdolność do zaspokojenia potrzeb i pragnień obecnych i przyszłych pokoleń.

Konwencja przewiduje, że każda ze stron będzie — opracowywała narodowe strategie, plany lub programy dotyczące ochrony i zrównoważonego wykorzystania bioróżnorodności.

Konwencja przewiduje podejmowanie następujących działań dla ochrony *in situ*:

- monitoring destrukcyjnych procesów,
- tworzenie systemów obszarów objętych ochroną,
- zarządzanie zasobami biologicznymi,
- ochrona przed obcymi gatunkami zagrażającymi ekosystemom,
- kontrola nad uwolnieniem żywych organizmów zmodyfikowanych w procesach biotechnologicznych,
- tworzenie przepisów o ochronie zagrożonych gatunków i populacji.

Konwencja reguluje też ochroną *ex situ*. Na kraje wysoko uprzemysłowione nakłada się obowiązek partycypowania w ochronie przyrody krajów Południa, odznaczającej się wybitną bioróżnorodnością i stąd pobierany jest materiał genetyczny do procesów biotechnologicznych.

Ustala się również zasadę, że będzie sprawiedliwy i równy podział wyników badań i rozwoju oraz korzyści wynikających z komercyjnego oraz innego wykorzystania zasobów genetycznych.

Strony — państwa rozwinięte zapewnią nowe dodatkowe środki finansowe w celu ułatwienia państwom rozwijającym się całkowite pokrycie wzrastających kosztów stosowania niniejszej konwencji.

Sposób przekazywania środków finansowych poszczególnym państwom ma być oparty na zasadzie dotacji lub koncesji. Kontrolę nad tym mechanizmem sprawować będzie Konferencja Stron. Konferencja Stron na swoim pierwszym spotkaniu określi linię postępowania, strategię oraz priorytety programowe, jak również szczegółowe kryteria i wskazówki dotyczące klasyfikacji do dostępu i wykorzystywania środków finansowych łącznie z regularnym monitoringiem. Pierwsze spotkanie Konferencji zostanie zwołane przez Dyrektora Wykonawczego Programu Ekologicznego ONZ do spraw środowiska nie później niż rok od momentu wejścia w życie niniejszej konwencji. Kontrola skuteczności tego mechanizmu przeprowadzona zostanie po dwóch latach od momentu wejścia w życie tej konwencji.

Zostanie powołany sekretariat dla obsługi spotkań Konferencji Stron oraz organ pomocniczy do spraw doradztwa naukowego, technicznego i technologicznego.

Omawiana konwencja tworzy więc nową strukturę organizacyjną w ramach ONZ. Można się spodziewać, że w miarę upływu czasu będzie rosła rola i znaczenie Konwencji o różnorodności biologicznej. Niniejsza konwencja oraz wszystkie protokoły podlegają ratyfikacji, przyjęciu i zatwierdzeniu przez państwa—strony, które podpisały Konwencję.

Niniejsza Konwencja wejdzie w życie dziewięćdziesiątego dnia od daty złożenia trzydziestego dokumentu o ratyfikacji, zatwierdzeniu, przyjęciu i przystąpieniu.

ZASADY GLOBALNEGO KONSENSUSU W SPRAWIE ZARZĄDZANIA LASAMI,
ICH OCHRONY I PRAWIDŁOWEGO ROZWOJU

Przyjęte po raz pierwszy zasady dla lasów precyzują ogólne wytyczne nie mające jednak charakteru prawnych zobowiązań.

Głównym celem tych zasad jest wspomaganie zarządzania lasami, ich ochrony i prawidłowego rozwoju. Dotyczy to wszystkich rodzajów lasów naturalnych, jak i sadzonych, położonych we wszystkich regionach geograficznych i strefach klimatycznych.

Zasoby i obszary leśne powinny być zarządzane w sposób zapewniający ich zachowanie dla spełnienia potrzeb społecznych, ekonomicznych, ekologicznych, kulturowych i duchowych ludzi obecnej i przyszłych generacji. Zasoby leśne pokrywają potrzeby ludzkie oraz odgrywają doniosłą rolę w utrzymaniu równowagi ekologicznej całego środowiska przyrodniczego Ziemi.

Lasy mają zasadnicze znaczenie dla rozwoju ekonomicznego oraz podtrzymania wszystkich form życia.

Odpowiedzialność za zarządzanie lasami, ich ochronę i prawidłowy rozwój spoczywa na państwach na poziomie krajowym, regionalnym lub lokalnym. Państwa mają suwerenne prawo do eksploatacji swych zasobów stosownie do swej polityki środowiskowej.

Z tych też względów uznaje się za wiodącą:

— rolę wszystkich rodzajów lasów dla podtrzymania procesów ekologicznych i równowagi środowiskowej na poziomie globalnym, krajowym i regionalnym. Dotyczy to szczególnie ochrony delikatnych ekosystemów, zbiorników wodnych i zasobów słodkiej wody,

— rolę lasów jako bogatego magazynu bioróżnorodności i zasobów biologicznych,

— źródło materiału genetycznego dla produktów biotechnologii i fotosyntezy,

— pokrywania potrzeb energetycznych stanowiących źródło energii biologicznej. Pozyskanie jej winno następować przez zwiększanie powierzchni leśnej oraz zakładanie plantacji gatunków miejscowych, jak i zamiejscowych.

Polityka leśna powinna być szczególnie nastawiona na ochronę lasów unikalnych lub ważnych z punktu widzenia ekologii. Dotyczy to szczególnie lasów pierwotnych i lasów starych oraz lasów o krajowym znaczeniu kulturalnym, duchowym, historycznym lub religijnym.

Dla kształtowania polityki leśnej niezbędna jest pewna, dokładna i w odpowiednim czasie uzyskiwana informacja o lasach i ekosystemach leśnych. Konieczna jest zatem międzynarodowa kooperacja w zakresie lasów. Dotyczy to zawierania umów międzynarodowych i rozwoju odpowiednich organizacji i mechanizmów współpracy.

Konieczne jest, aby handel produktami leśnymi odbywał się zgodnie z niedyskryminacyjnymi wielostronnie uzgodnionymi regułami i procedurami międzynarodowymi.

Spółeczność międzynarodowa winna przeciwstawiać się naciskom prowadzącym do niszczenia ważnych ekosystemów i zasobów leśnych. Dotyczy to szczególnie lasów tropikalnych.

Dlatego też konieczne jest stworzenie międzynarodowego klimatu ekonomicznego dla realizacji krajowych polityk leśnych. Krajom rozwijającym się należy zapewnić nowe i dodatkowe źródła finansowe, które przeznaczone byłyby głównie na odtworzenie lasu i zalesianie. Środki finansowe powinny być kierowane szczególnie do tych krajów, których gospodarka dzisiejsza wymaga uszczuplania zasobów leśnych. Pomoc finansowa ma być kierowana również do tych krajów, których gospodarka znajduje się w stanie przejściowym (dotyczy to np. państw Europy środkowowschodniej, a zatem i Polski).

KONWENCJA W SPRAWIE ZMIAN KLIMATU

Konwencję podpisało 153 państwa, w tym Polska.

„Strony chronią system klimatyczny dla dobra obecnych i przyszłych pokoleń, w oparciu o zasady sprawiedliwości i zgodnie z własnymi, wspólnymi choć zróżnicowanymi zasadami odpowiedzialności i indywidualnych możliwości”.

Utworzenie konwencji było niezbędne, gdyż:

„Negatywne skutki zmian klimatu oznaczają zmiany w fizycznym środowisku lub we florze i faunie, mające poważny, szkodliwy wpływ na skład, elastyczność lub płodność naturalnych i kulturowych ekosystemów socjo-ekonomicznych, albo na zdrowie i dobrobyt człowieka”.

Z tych też względów uznano za konieczne:

„Ustabilizowanie ilości gazów wywołujących efekt cieplarniany w atmosferze na poziomie, który zapobiegałby niebezpiecznemu wpływowi na system klimatyczny. Uniknięcie zagrożenia produkcji żywności i dla umożliwienia nieprzerwanego rozwoju ekonomicznego. Poziom emisji gazów winien być osiągnięty w okresie wystarczającym dla naturalnej adaptacji ekosystemów do zmian klimatu”.

Stabilizacja emisji dwutlenku węgla i innych gazów wywołujących efekt cieplarniany, nie objętych kontrolą przez Protokół Montrealski, ma odnosić się do poziomu z roku 1990. Oznacza to ograniczenie emisji: dwutlenku węgla, metanu i podtlenku azotu. Zaliczone również do gazów szklarniowych chlorofluorowęglowce objęte są już ustaleniami Protokołu Montrealskiego. Problem gazów szklarniowych jest bardzo istotny dla Polski, gdyż stanowi poważne źródło emisji. W emisji dwutlenku węgla (384 mln ton w roku 1990) zajmujemy 10–12 miejsce w świecie, a w emisji metanu uwalnianego przy wydobywaniu węgla miejsce czwarte.

Realizowana obecnie polityka ekologiczna Polski umożliwi przyjęcie zobowiązania do ustabilizowania emisji dwutlenku węgla i metanu do roku 2000 na poziomie roku 1988, traktowanego jako okresu bazowego.

Przyjęcie przedstawionych ograniczeń wymaga:

„promowania wspierającego i otwartego międzynarodowego systemu ekonomicznego zapewniającego rozwój wszystkich państw i umożliwienia im lepszego zajmowania się zmianami klimatu”.

Ten nowy ład ekonomiczny ma uwzględniać potrzeby słabszych gospodarczo krajów rozwijających się.

Aby zapobiec lub zminimalizować negatywne konsekwencje zmian klimatu, przyjęta konwencja przewiduje: „zapewnienie nowych i dodatkowych źródeł finansowania dla pełnego pokrycia uzgodnionych kosztów poniesionych przez strony—państwa rozwijające się w ramach wypełnienia uzgodnionych zobowiązań”.

Jednym z takich działań jest zwiększanie lesistości poprzez ochronę zasobów leśnych i zalesianie obszarów zdegradowanych. Konwencja zobowiązuje państwa — strony do opracowywania narodowych strategii działania zmierzających do ograniczenia emisji gazów szklarniowych do atmosfery oraz zwiększania ich pochłaniania przez biosferę.

Konwencja przewiduje, że: „każda ze stron w ciągu sześciu miesięcy od wejścia w życie niniejszej konwencji dostarczy szczegółowych informacji na temat swoich narodowych strategii i podejmowanych działań”. W pierwszym rzędzie dotyczyć to będzie inwentaryzacji źródeł emisji i publikowania narodowych i regionalnych programów, obejmujących środki łagodzenia zmian klimatu. Zintegrowane programy zarządzania mają w pierwszym rzędzie dotyczyć: stref nadmorskich, źródeł wody, obszarów rolniczych i leśnych oraz rehabilitacji obszarów dotkniętych suszą bądź pustynnieniem (np. w Afryce). Szczególne preferencje przewidziane są dla państw: „których gospodarka jest w znacznym stopniu uzależniona od dochodów z produkcji i przetwórstwa, eksportu, zużycia paliw stałych, a których zastąpienie rozwiązaniami alternatywnymi byłoby dla danego państwa trudne”.

Sytuacja ta odnosi się szczególnie do Polski, jako kraju o wyjątkowej dominacji węgla kamiennego w strukturze nośników energii.

Konwencja przewiduje ułatwienia w przekazywaniu wzajemnym technologii i doświadczeń w stymulowaniu procesów pozwalających na kontrolę, redukcję lub zapobieganie emisji gazów. Odnosi się to do takich dziedzin gospodarki jak: rolnictwo, leśnictwo, energetyka, transport i wykorzystywanie odpadów.

Przewiduje się rozwój edukacji, szkolenie i rozbudzenie powszechnej świadomości. Konwencja przewiduje następujące kierunki działania:

I) rozwój i wdrażanie programów edukacyjnej i społecznej świadomości zmian klimatu i ich skutków,

II) powszechny dostęp do informacji na temat zmian klimatu i ich skutków,

III) powszechny udział w zajmowaniu się zmianami klimatu i ich skutków oraz rozwijanie odpowiednich reakcji, jak również

IV) szkolenie personelu naukowego, technicznego i zarządzającego.

Dla realizacji postanowień konwencji ustanawia się:

1. Konferencję Stron, która:

- przyjmuje i ocenia okresowe raporty i zapewnia ich publikację,
- formułuje zalecenia,
- stara się zapewnić źródła finansowania,
- ustala zasady finansowania przyjętych programów,
- ustanawia niezbędne komórki pomocnicze.

Pierwsza sesja Konferencji Stron odbędzie się nie później niż w ciągu roku od daty wejścia konwencji w życie.

2. Sekretariat, który będzie:

- organizować Konferencję Stron,
- gromadzić raporty,
- organizować współpracę.

Podpisanie przez Polskę Konwencji Zmian Klimatu nakłada na nasz kraj obowiązek:

uruchomienia monitoringu gazów szklarniowych (CO₂, CH₄, N₂O, CFC's), dotyczy to inwentaryzacji emisji i pochłaniania gazów z rozbiem na rodzaje i dla sektorów gospodarki, w roku bazowym (1988), opracowanej zgodnie z metodologią przyjętą przez Konferencję Stron,

uruchomienia badań nad możliwościami zwiększenia absorpcji i retencji gazów szklarniowych przez lasy, glebę i użytki zielone, oznacza to konieczność utworzenia programu poprawy stanu zdrowotnego lasów i zwiększenie lesistości kraju do 30% do roku 2000 oraz programu wiązania CO₂ przez gleby w Polsce,

opracowania programów adaptacji gospodarki do zmienionych warunków klimatycznych i środowiska.

Zgodnie z propozycją przedstawianą przez prof. Macieja Sadowskiego przewiduje się podjęcie badań zmierzających do: „Opracowania polskiej strategii redukcji koncentracji gazów cieplarnianych w atmosferze”. Aby móc opracować tego typu strategię, za niezbędne uważa się przygotowanie ekspertyzy, na którą składałoby się 46 zadań badawczych. Prace te winny być wykonywane w cyklu dwuletnim, a koszt ich został oszacowany wstępnie na 10 mld zł.

DEKLARACJA Z RIO W SPRAWIE ŚRODOWISKA I ROZWOJU POCZĄTKIEM ERY EKOLOGICZNEJ (POPRZEMYSŁOWEJ)

Deklaracja z Rio formułuje 27 zasad przyszłych praw i obowiązków, jakie mają doprowadzić do nowego ładu na Ziemi.

Głównym celem nowego ładu jest osiągnięcie zrównoważonego rozwoju i wyższej jakości życia. Podstawowa zasada głosi, że istoty ludzkie mają prawo

do zdrowego i twórczego życia w harmonii z przyrodą. Ziemię mamy traktować jako istotę zapewniającą nam dom dla naszego bytowania. Planeta Ziemia musi być traktowana niepodzielnie. Uznaje się współzależności łączące nasze życie z rytmem planet zgodnym z prawami funkcjonowania wszechświata.

Dla osiągnięcia wymienionych celów jest konieczne ustanowienie nowego i sprawiedliwego światowego partnerstwa przez stworzenie nowych form współpracy między państwami, podstawowymi grupami społecznymi i narodami.

Partnerstwo to ma doprowadzić do zachowania, ochrony i przywracania zdrowia i integralności ekosystemu Ziemi.

Na plan pierwszy wysuwają się dwa zagadnienia: zdrowie człowieka i ekosystem Ziemi.

Deklaracja wprowadza pojęcie zrównoważonego rozwoju (sustainable development). Zrównoważony rozwój za swój główny cel wskazuje — jakość życia. Dotyczy to zarówno wymiaru psychicznego, jak i materialnego. Jakość życia staje się głównym celem.

Ma to być okres światowego partnerstwa nastawionego na zrównoważony rozwój wszystkich państw. Rozwój państw ma być ukierunkowany na osiągnięcie wyższej jakości życia.

Dla osiągnięcia wyższej jakości życia jest konieczne:

- ustanowienie prawa środowiskowego,
- utworzenie wspierającego i otwartego międzynarodowego systemu ekonomicznego,
- promowanie odpowiedzialnej polityki demograficznej,
- eliminowanie działań wojennych,
- wykorzenienie ubóstwa.

Omawiana deklaracja wskazuje również konkretne rozwiązania, jakie winny cechować erę przemysłową, czyli czas środowiska i rozwoju:

- Każde państwo ma suwerenne prawo do korzystania ze swoich zasobów naturalnych stosownie do własnej polityki środowiska i rozwoju.
- Państwa są odpowiedzialne za spowodowanie zniszczeń środowiska naturalnego innych krajów.
- Należy dążyć do eliminacji niezrównoważonych systemów produkcji.
- Jest konieczne rozwijanie wymiany naukowej i technologicznej wiedzy oraz transferu nowych technologii i innowacji.
- Każda jednostka winna mieć zapewniony dostęp do informacji dotyczącej środowiska, w której posiadaniu jest władza publiczna.
- Zagwarantowanie udziału obywateli w procesie podejmowania decyzji.
- Zapewnienie zasady odszkodowań dla ofiar zanieczyszczeń.
- Promowanie wewnątrzpaństwowych systemów ekonomicznych dla pokrywania kosztów naprawy środowiska.

— Utworzenie systemu ostrzegawczego i informującego o katastrofach ekologicznych lub potencjalnych zagrożeniach.

Przedstawione powyżej założenia ery przemysłowej wskazują na to, że — państwa ponoszą wspólną, lecz zróżnicowaną odpowiedzialność. Oznacza to większą odpowiedzialność dla krajów wysoko rozwiniętych. Natomiast kraje rozwijające się powinny otrzymać specjalne przywileje.

Wobec dużych trudności w ustalaniu globalnej polityki środowiskowej deklaracja z Rio zwraca się ze specjalnym apelem do kobiet i młodzieży.

Deklaracja z Rio upomina się też o ludność tubylczą i ich wspólnoty, które odgrywają znaczącą rolę w zarządzaniu środowiskiem ze względu na ich wiedzę i tradycję.

Deklaracja z Rio zakwestionowała szereg paradogmatów, jakie legły u podstaw myślenia naukowo-technicznego i rozwoju ery przemysłowej. Zakwestionowane zostały następujące założenia:

Pewność naukowa — nie może być jedynym kryterium działania, wobec dużych trudności w uzyskiwaniu całkowitej pewności naukowej — należy podejmować działania zapobiegawcze. Odnosi się to szczególnie do ochrony środowiska i życia człowieka.

Kryteria ekonomiczne — okazało się, że mogą funkcjonować niewłaściwe systemy ekonomiczne prowadzące do niesprawiedliwych ekonomicznie i społecznie kosztów w innych krajach.

W trakcie konferencji w Rio ruchy ekologiczne przedstawiały rachunki wskazujące na to, że z wielu krajów biednego Południa odplywa ciągle więcej środków finansowych niż do nich wraca, mimo licznych funduszy pomocniczych. Z tego też względu kraje te domagały się rocznej dotacji w wysokości 125 mld dolarów rocznie od bogatych krajów Północy. Był to podstawowy punkt sporny w Rio, który nie został rozwiązany. Nie przedstawiono też nowego podejścia do obowiązującej filozofii wolnego przepływu kapitału, towarów i ludzi. Tymczasem dotychczasowy system bankowości, kredytów, pożyczek czy fundacji nie jest w stanie rozwiązywać omawianych problemów.

Zasada wolnego handlu — dotychczasowe założenia handlowe prowadzą niekiedy do samowolnej i bezprawnej dyskryminacji słabszych partnerów. Dotyczy to szczególnie krajów rozwijających się. Dla obrony interesów tych krajów muszą być przyjęte nowe założenia międzynarodowego systemu ekonomicznego.

Trzeba więc stwierdzić, że deklaracja z Rio podważa główne założenia dotychczasowej gospodarki światowej i wiarę w nieomylność kartezyjańskiego podejścia naukowo-technicznego.

Podważone zostały więc założenia, które doprowadziły do ery przemysłowej.

Deklaracja z Rio ogłasza początek ery — ekologicznej. Ma to być okres światowego partnerstwa ukierunkowanego na zrównoważony rozwój wszystkich państw. Rozwój państw ma być ukierunkowany na osiągnięcie wyższej jakości życia.

Dla osiągnięcia wyższej jakości życia konieczne jest:

*Ustanowienie prawa środowiskowego — punktem wyjścia mają być cele środowiskowe, jako decydujące o zdrowiu człowieka. Prawo środowiskowe ma doprowadzić do powstania państwowych standardów środowiskowych.

*Utworzenie wspierającego i otwartego międzynarodowego systemu ekonomicznego — ukierunkowanego na kryteria zrównoważonego rozwoju.

*Promowanie odpowiedzialnej polityki demograficznej — obecny gwałtowny wzrost demograficzny nie jest zrównoważony rozwojem psychicznym i materialnym ludzkości. Narasta konflikt liczby ludzi ze środowiskiem przyrodniczym planety.

*Eliminowanie działań wojennych — jako czynnika niszczącego założenia zrównoważonego rozwoju i degradującego środowisko przyrodnicze. Ostatnia wojna w Zatoce Perskiej wskazuje dobitnie na konsekwencje środowiskowe.

*Wykorzenienie ubóstwa — likwidacja ubóstwa jest konieczną dla zapewnienia zrównoważonego rozwoju. Ubóstwo jest czynnikiem sprzyjającym dalszemu degradowaniu środowiska, co szczególnie ma miejsce w Afryce Środkowej.

AGENDA 21 — GLOBALNY PROGRAM DZIAŁAŃ (ACTION PROGRAMME — AGENDA 21)

Agenda 21 jest to bardzo obszerny dokument, liczący około 700 stron. Ujęty jest on w 40 rozdziałów precyzujących zarys programu dalszych działań:

1. Wstęp

Część I. Wymiar społeczny i ekonomiczny

2. Międzynarodowa współpraca mająca na celu przyspieszenie zrównoważonego rozwoju i odpowiedniej polityki wewnętrznej w krajach rozwijających się.
3. Walka z ubóstwem.
4. Zmiana modelu konsumpcji.
5. Dynamika demograficzna i proces zrównoważonego rozwoju.
6. Ochrona i wspomaganie zdrowia ludzi.
7. Propagowanie trwałego rozwoju osiedli ludzkich.
8. Integracja zagadnień środowiska i rozwoju w procesie podejmowania decyzji.

Część II. Ochrona i zarządzanie zasobami rozwoju

9. Ochrona atmosfery.
10. Zintegrowane podejście do planowania i zarządzania zasobami gruntów.
11. Walka z niszczeniem lasów.
12. Zarządzanie wrażliwymi ekosystemami: Walka z pustynnieniem i suszą.
13. Zarządzanie wrażliwymi ekosystemami: Zrównoważony rozwój obszarów górskich.
14. Propagowanie zrównoważonego rolnictwa i rozwoju wsi.

15. Ochrona różnorodności biologicznej.
16. Bezpieczny dla środowiska system zarządzania badaniami naukowymi w zakresie biotechnologii.
17. Ochrona oceanów, wszystkich rodzajów mórz, włączając morza zamknięte i półzamknięte oraz tereny nadbrzeżne, ochrona, racjonalne wykorzystanie i rozwój ich żywych zasobów.
18. Ochrona jakości i podaży zasobów słodkowodnych: Zastosowanie zintegrowanego podejścia do problemu rozwoju, zarządzania i eksploatacji zasobów słodkowodnych.
19. Niezszkodliwe dla środowiska zarządzanie toksycznymi substancjami chemicznymi (włączając zwalczanie międzynarodowego nielegalnego obrotu substancjami chemicznymi i niebezpiecznymi).
20. Niezszkodliwe dla środowiska zarządzanie odpadami niebezpiecznymi (włączając zwalczanie nielegalnego międzynarodowego obrotu odpadami niebezpiecznymi).
21. Niezszkodliwe dla środowiska zarządzanie odpadami stałymi, ściekami i ich pochodnymi.
22. Niezszkodliwe i bezpieczne dla środowiska zarządzanie odpadami radioaktywnymi.

Część III. Umacnianie roli różnych grup społecznych

23. Wstęp do części III.
24. Światowa akcja na rzecz kobiet w trwałym i zrównoważonym rozwoju.
25. Dzieci i młodzież w zrównoważonym rozwoju.
26. Uznanie i umacnianie roli społeczności lokalnych i ich wspólnot.
27. Umocnienie roli pozarządowych organizacji: partnerów na rzecz zrównoważonego rozwoju.
28. Inicjatywy władz lokalnych we wspieraniu realizacji postanowień Agendy 21.
29. Umocnienie roli robotników i ich związków zawodowych.
30. Umocnienie roli biznesu i przemysłu.
31. Wspólnota naukowa i naukowo-techniczna.
32. Umacnianie roli rolników.

Część IV. Środki realizacji

33. Środki i mechanizmy finansowe.
34. Transfer technologii nieszkodliwej dla środowiska. Współpraca i tworzenie możliwości realizacyjnych.
35. Nauka dla zrównoważonego rozwoju.
36. Edukacja, szkolenie i świadomość społeczna.
37. Mechanizmy krajowe i współpraca międzynarodowa w procesie tworzenia możliwości realizacyjnych.
38. Międzynarodowe ustalenia instytucjonalne.
39. Międzynarodowe mechanizmy i instrumenty prawne.

40. Informacja w procesie podejmowania decyzji.

W pierwszym rozdziale Agendy 21 czytamy:

„Ludzkość znajduje się w krytycznym momencie swoich dziejów. Jesteśmy świadkami utrwalania się dysproporcji między oraz wewnątrz narodów, pogłębiającej się biedy, głodu, złej opieki zdrowotnej i analfabetyzmu oraz stale pogarszających się ekosystemów, od których zależy nasz byt”.

W celu sprostania wyzwaniom ochrony środowiska i rozwoju, państwa podjęły decyzję o przystąpieniu do nowej globalnej współpracy. Współpraca ta zobowiązuje wszystkie państwa do zaangażowania w nieprzerwany i konstruktywny dialog w celu doprowadzenia do bardziej efektywnej i sprawiedliwej gospodarki światowej, mając na uwadze rosnącą współzależność społeczeństw narodowych oraz fakt, że trwały rozwój powinien być sprawą priorytetową dla społeczności międzynarodowej. Przyznano, że powodzenie tej nowej współpracy jest istotne w celu uniknięcia konfrontacji i stworzenia klimatu autentycznej współpracy i solidarności.

Światowa gospodarka powinna wytworzyć sprzyjający klimat międzynarodowy dla osiągnięcia celów ochrony środowiska i rozwoju przez:

- a) promocję trwałego rozwoju przez liberalizację handlu,
- b) wzajemne uwarunkowanie handlu i ochrony środowiska,
- c) zabezpieczenie odpowiednich środków finansowych dla krajów rozwijających się i zajęcie się sprawą międzynarodowych długów,
- d) poparcie makroekonomicznych działań sprzyjających ochronie środowiska i rozwojowi.

Agenda przypisuje wielkie znaczenie zasadom handlu.

Otwarty, sprawiedliwy, bezpieczny, niedyskryminacyjny i perspektywiczny system handlowy, zgodny z celami trwałego rozwoju i prowadzący do optymalnej dystrybucji światowej produkcji i porównywalnych zysków jest w interesie wszystkich uczestniczących w nim partnerów.

Sekretariat Konferencji określi średnie roczne całkowite koszty (1993–2000) prowadzenia działalności w tym zakresie programu na około 8,8 miliarda USD na zasadzie subwencji lub koncesji od społeczności międzynarodowej.

Inwestowanie jest w krajach rozwijających się podstawowym czynnikiem osiągnięcia gospodarczego wzrostu, poprawy poziomu życia społeczeństwa oraz zaspokojenia w trwałej formie jego podstawowych potrzeb bez naruszania bądź uszczuplania bazy surowcowej, która wspiera rozwój. Trwały rozwój wymaga rosnącego inwestowania.

Dla wielu krajów rozwijających się reaktywacja rozwoju nie jest możliwa bez szybkiego i trwałego rozwiązania problemu ich zadłużenia zagranicznego.

Za cel główny przyjmuje się potrzebę integracji ochrony środowiska na świecie z przyspieszonym procesem rozwoju.

Wzrost gospodarczy, postęp społeczny i zlikwidowanie biedy są najważniejszymi i najpilniejszymi zadaniami krajów rozwijających się. Kraje rozwinięte

potwierdzają swoje zobowiązania wpłacenia zaakceptowanej przez ONZ sumy 0,7% dochodu narodowego brutto na rzecz ODA. Niektóre kraje zgadzają się, lub zgodziły się wcześniej osiągnąć docelową sumę do roku 2000. Zdecydowano, że Komisja do Spraw Trwałego Rozwoju będzie regularnie badała postęp w kierunku sumy docelowej.

Sekretariat Konferencji ocenił średni roczny koszt (1993–2000) realizacji Agendy 21 w krajach rozwijających się na 600 miliardów dolarów, w tym około 125 miliardów dotacji lub darowizn od społeczności międzynarodowej. Są to oceny jedynie szacunkowe, nie konsultowane jeszcze z rządami państw. Rzeczywiste koszty zależą będą między innymi od strategii i programów opracowanych do realizacji przez poszczególne rządy.

Finansowanie Programu 21 i innych postanowień Konferencji powinno odbywać się z maksymalnym wykorzystaniem nowych i dodatkowych źródeł i mechanizmów finansowania, na zasadach dotacji lub darowizn, zwłaszcza dla krajów rozwijających się. Ważną rolę winno odegrać umorzenie długów oraz finansowanie prywatne (pozarządowe). Z tych też względów należy opracować nowe sposoby wynajdywania państwowych i prywatnych źródeł finansowania, a zwłaszcza:

- a) różne formy umarzania długów innych niż zadłużenie w Klubie Paryskim, łącznie z większym wykorzystaniem zamiany długów;
- b) wykorzystanie zachęt i mechanizmów ekonomicznych i podatkowych;
- c) ułatwienie zdobywania zezwoleń handlowych;
- d) nowe programy zdobywania funduszy i dobrowolne datki drogą prywatną, z wykorzystaniem organizacji pozarządowych;
- e) transfer środków przeznaczonych w chwili obecnej na cele zbrojeniowe.

Agenda 21 wielką rolę przywiązuje do konieczności zmiany modelu konsumpcji. Zaproponowane zostały dwa programy:

- a) zrównoważenie modeli produkcji i konsumpcji;
- b) rozwój polityki i strategii narodowej w celu przyspieszenia zmian niewłaściwych modeli konsumpcji.

Należy zwrócić szczególną uwagę na szkody w bogactwach naturalnych powodowane przez niezrównoważoną konsumpcję i odpowiednie wykorzystanie tych bogactw w celu minimalizacji uszczuplenia zasobów i zmniejszenia zanieczyszczeń. Mimo że konsumpcja w niektórych częściach świata jest bardzo wysoka, to istnieją duże grupy ludności, których podstawowe potrzeby konsumpcyjne nie są zaspokojone. Wynika to z nadmiernego popytu i niezrównoważonego stylu życia w bogatszych regionach, co powoduje ogromne szkody ekologiczne. Jednocześnie biedniejsze warstwy społeczne nie są w stanie zaspokoić swoich podstawowych potrzeb w dziedzinie żywienia, opieki zdrowotnej, schronienia i oświaty. Zmiana modeli konsumpcji wymagać będzie wielokierunkowej strategii obejmującej popyt, zaspokojenie podstawowych potrzeb ludzi ubogich, zmniejszenie strat materiałowych i redukcję wykorzystania będących na wyczerpaniu zasobów w procesie produkcyjnym.

Należy podjąć działania dla realizacji następujących szerokich celów:

- a) promocji modeli konsumpcji i produkcji, które zredukują szkody ekologiczne i zaspokoją podstawowe potrzeby ludzkości;
- b) rozwinięcia lepszego zrozumienia znaczenia konsumpcji i sposobów wprowadzenia bardziej zrównoważonych modeli konsumpcyjnych.

W wielu przypadkach będzie to wymagało reorientacji w istniejących modelach produkcji i konsumpcji, które rozwinęły się w społeczeństwach zindustrializowanych i które powielane są przez inne kraje.

W nadchodzących latach rządy, przy współpracy odpowiednich organizacji, powinny dążyć do osiągnięcia następujących szerokich celów:

- a) promocji skuteczności procesów produkcyjnych i redukcji rozrzutnej konsumpcji w procesie wzrostu gospodarczego, z uwzględnieniem potrzeb rozwojowych krajów rozwijających się;
- b) rozwinąć strukturę działań wewnętrznych, które pozwolą na dokonania zmian na rzecz zrównoważonych modeli produkcji i konsumpcji;
- c) wzmocnić zarówno czynniki wspierające zrównoważone modele produkcji i konsumpcji, jak i działania na rzecz transferu sprzyjającej środowisku technologii do krajów rozwijających się.

Przedstawiony został też program minimalizowania nagromadzenia odpadów.

W tym samym czasie społeczeństwo powinno rozwinąć efektywne metody rozwiązywania problemów rosnącego nagromadzenia odpadów produkcyjnych

i materiałowych. Rządy wraz z przemysłem, gospodarstwami domowymi i jednostkami, powinny koncentrować wysiłki w celu redukcji nagromadzenia odpadów i odpadów produkcyjnych przez:

- a) wsparcie recyklingu w procesie produkcji i na poziomie konsumpcji;
- b) redukcję sposobów pakowania produktów, które powodują zanieczyszczenia;
- c) wsparcie promocji przyjaznych środowisku produktów;
- d) pomoc jednostkom i gospodarstwom domowym w nabywaniu towarów w zgodzie z potrzebami środowiska.

Istotne zmiany modeli produkcyjnych i konsumpcyjnych nie nastąpią w bliskiej przyszłości, jeżeli nie zostaną wprowadzone stymulujące ceny i sygnały rynkowe, uświadamiające producentom i konsumentom ekologiczne koszty wykorzystania energii, materiałów i zasobów naturalnych oraz powstawania odpadów.

Zachodzi pewien postęp w dziedzinie wykorzystania odpowiednich instrumentów ekonomicznych w celu wpływu na nawyki konsumpcyjne. Dotyczy to między innymi podatków i obciążeń na rzecz środowiska, systemu refundacji zwrotu opakowań itp. Te zjawiska powinny zostać pogłębione w świetle specyficznych warunków w poszczególnych krajach.

ZAKOŃCZENIE

Na sesji zamykającej Konferencję w dniu 13 czerwca mówiło się o duchu Rio, jaki owaładnął uczestników tego niezwyklego spotkania zwanego „Szczytem Ziemi”. Duch Rio to nowa świadomość, nowy kurs, jaki został wytyczony na przełom XX i XXI wieku. Prezydent Brazylii, Fernando Collor de Mello, w swym końcowym przemówieniu wyraził pogląd, że świat po 14 czerwca 1992 będzie już inny. Nowa etyka solidarności międzynarodowej ma doprowadzić do realizacji zrównoważonego rozwoju świata.

Dla realizacji tych zamierzeń ma nastąpić rekonstrukcja Organizacji Narodów Zjednoczonych, przewiduje się powołanie nowych struktur dla spraw środowiskowych. Na początku ma być powołana komisja ekorozwoju wysokiego szczebla. Wobec stopniowego wygaszania konfrontacji zbrojnej Zachodu i Wschodu sprawy środowiskowe mogą się niedługo stać dominujące w problematyce ONZ. Tak zapewne będzie w trakcie trzeciej konferencji środowiskowej, jaka powinna się odbyć za kolejne 20 lat, czyli w roku 2012. Wtedy też zapewne data 14 czerwca 1992 r. uznana zostanie za początek nowej ery ekologicznej.

THE CONFERENCE ON "ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT" IN BRAZIL, 1992

Summary

On 3–14 June, 1992, the 2nd Conference on "Environment and Development" was held in Rio de Janeiro, Brazil (UNCED — United Nations Conference on Environment and Development). After three years of intensive preparations, five documents were adopted in Rio de Janeiro:

1. The Rio declaration on environment and development. It comprises 27 principles of rights and obligations which will be binding at the beginning of the 21st century.

2. Global programme of action — Agenda 21. The programme includes 40 main objectives to be enforced in the years 1993–2000. A detailed plan of procedure was adopted and the indispensable financial means for the accomplishment of the programme were determined (600 billion dollars yearly).

3. Convention on biological diversity — states the principles of protection of differentiation of the natural environment of the world. The Convention is of particular importance for the protection of tropical forests.

4. Convention on changes of climate. It formulates the principles of limitation of the emission of greenhouse gases causing the warming of the atmosphere. The principles of national strategies aimed at limitation on disadvantageous climatic changes were determined.

5. The principles of forest management. Forests play the major part in the maintaining of balance between the particular ecosystems. That is why the protection of forests and their proper development are so important for the future of the world. The principle of protection of the old and protective forests was adopted. Forests should be protected all over the world in all climatic zones.

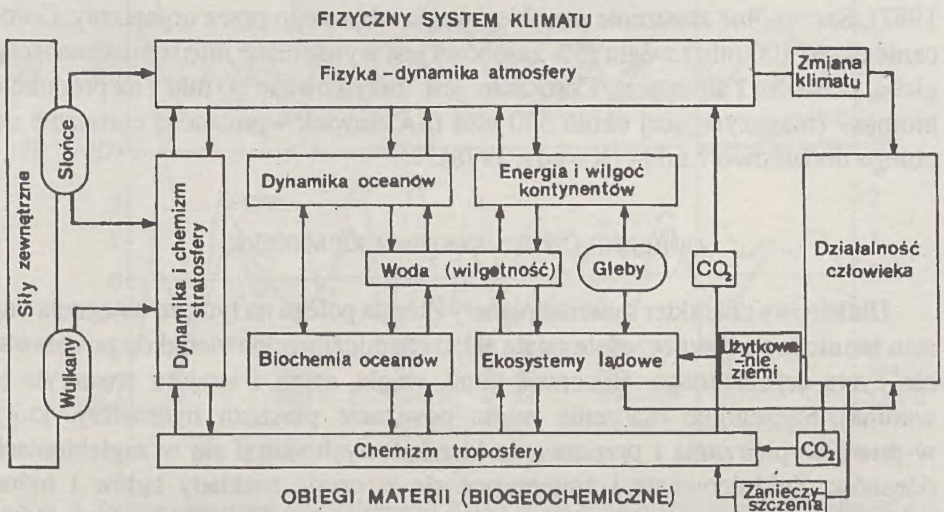
In 1993 the main documents of the Rio de Janeiro Conference will be published in Polish.

LESZEK STARKELInstytut Geografii i Przestrzennego
Zagospodarowania PAN,
Kraków

GLOBALNE ZMIANY ŚRODOWISKA W PRZESZŁOŚCI

WYMIANA ENERGII I OBIEG MATERII

System ziemski można traktować zarówno jako układ otwarty, zależny od energii słonecznej dostarczanej z przestrzeni pozaziemskej, jak i układ zamknięty, w którym jak w potężnym laboratorium wszystkie jego składowe oddziałują na siebie nawzajem. W jego obrębie można wydzielić fizyczny system klimatyczny, polegający na przekazywaniu energii między składnikami środowiska: litosferą, hydrosferą, kriosferą, atmosferą i biosferą oraz system obiegu biogeochemicznego pierwiastków i związków nieorganicznych i organicznych (rys. 1). Obydwa „podsystemy” oddziałują na siebie i regulują się wzajemnie, a równocześnie podlegają ustawicznym wpływom wahań, tak w dostawie energii słonecznej, jak i narastającej ingerencji człowieka, który początkowo jedynie przyspieszył obieg materii i wymianę energii, a potem wprowadził nowe energie i substancje (Obrębska-Starkel, Starkel 1991).



Rys. 1. Model globalnego systemu obiegu energii i materii (Raport IGBP-12, 1990)

Krótkofalowe promieniowanie słoneczne, sięgające rocznie 173000 TW ($TW = 10^{12}W$), transformowane jest w atmosferze i na powierzchni ziemi; między innymi w procesie parowania wykorzystywane jest 40000 TW, w procesie fotosyntezy 100 TW, a przez gospodarkę 12 TW. Inne źródła energii są znacznie skromniejsze: erupcje wulkaniczne dostarczają 160 TW, ciepło geotermiczne 32 TW, a energia wytwarzana w różny sposób przez człowieka sięga 170 TW (Budyko 1980).

Rozkład promieniowania i ciepła na kuli ziemskiej jest nierównomierny, zależy od ruchu wirowego i obrotowego Ziemi, zmienia się, gdy posuwamy się od równika ku biegunom. W systemie klimatycznym dochodzi do powstawania, a potem wyrównywania nadwyżek i niedoborów ciepła przez cyrkulację atmosferyczną mas powietrza i cyrkulację oceaniczną wody. Ich redystrybucja zależy od rozkładu lądów i oceanów, przebiegu pasm górskich—stad pozornie prosty system stref klimatycznych bywa wielce skomplikowany, szczególnie w zakresie zróżnicowania nadwyżek i deficytów wodnych, produkcji biomasy, ewolucji gleb i rzeźby.

Wymiana energii i obieg substancji mineralnych realizowane są przez obieg wody, z której 97% zmagazynowane jest w oceanach, 2% w lodowcach, a w corocznym obiegu bierze udział jedynie 0,047% (Lwowitch 1974). Wskaźnik suchości, zależny od wysokości opadów i temperatur, decyduje ostatecznie o wykształceniu stref klimatyczno-roślinnych, o występowaniu 2 pasów o wysokiej produkcji biomasy (wilgotne tropiki i strefa umiarkowana). Obiegowi wody towarzyszy obieg substancji mineralnych, który ukierunkowany jest z wyniesionych lądów do mórz. Rocznie odprowadzane jest rzekami 225×10^8 t zawiesiny, a z innymi źródłami dostaw łącznie w morzach magazynowane jest około 270×10^8 t, z których około 8% powraca w postaci aerozoli z oceanów na lądy (Walling 1987). Szczególne znaczenie ma obieg węgla wiązane przez organizmy. Corocznie około 100 mld t węgla (5% zasobów) jest wymieniane między roślinnością, glebą, oceanem i atmosferą. Corocznie jest zużytkowane 60 mld t na produkcję biomasy (magazynującej około 550 mld t). Człowiek wprowadza corocznie do obiegu dodatkowo 7 mld t (Kovda 1978).

ODRĘBNE CECHY SYSTEMU ZIEMSKIEGO

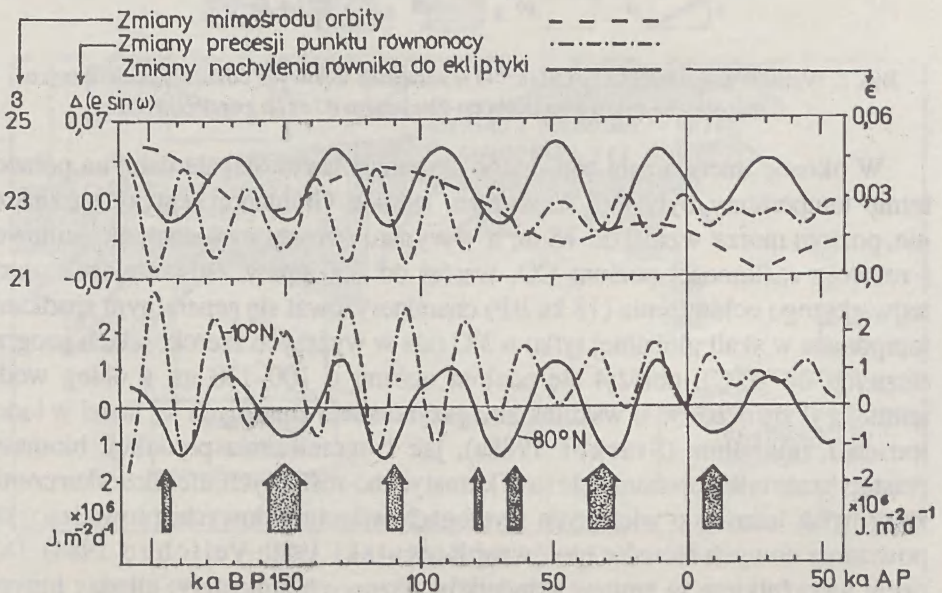
Unikatowy charakter systemu planety Ziemia polega na tym, że osiągnęła ona stan termiczny a równocześnie miała skład chemiczny odpowiedni do powstawania życia organicznego. Obecność tlenu, węgla, azotu i wodoru stworzyła te warunki. Szczególne znaczenie miało powstanie płaszczka hydrosfery, który w miarę wypiętrzania i przesuwania kier lądowych skupił się w zagłębieniach oceanów. Zróżnicowanie i zmieniające się w czasie rozkłady lądów i mórz, nakładające się na strefy klimatyczne uwarunkowane rozkładem promieniowania słonecznego, doprowadziły do powstania mozaikowych układów przestrzennych

geosystemów, które ulegały nieustannej transformacji w ciągu zarówno setek i dziesiątek milionów lat, jak i znacznie krótszych rytmicznych wahań klimatycznych.

Dobrymi przykładami wpływu zmian rozkładu lądów i ruchów górotwórczych na klimat mogą na przykład być trzeciorzędowe rozwieranie się systemu rowów północnego Atlantyku, obniżające temperaturę lądów, lub też wydźwiganie bloku Tybetu od początku czwartorzędu o rząd wielkości 2–3 km, zaburzające cyrkulację atmosferyczną (Kutzbach 1992).

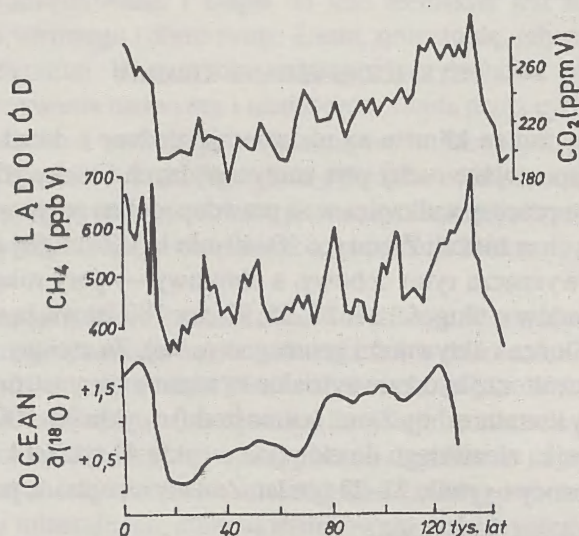
CYKLIČNE ZMIANY KLIMATU

Mechanizmy zmian klimatu są niezmiernie złożone i dotąd nie są w pełni rozpoznane. Wspomniane ruchy płyt kontynentalnych i ruchy górotwórcze oraz towarzyszące im procesy wulkaniczne są prawdopodobną przyczyną powtarzania się epok lodowych w historii Ziemi (co 30–40 mln lat). Z drugiej strony sam ruch wirowy Ziemi wyznacza rytm dobowy, a obrotowy — pory roku. Cykle wahań temperatur i opadów o długości 11, 22, 35, 90 czy 180 lat wiążą się ze zmianami w aktywności Słońca i aktywności geomagnetycznej. Za zmiany klimatu w skali geologicznej czwartorzędu odpowiedzialne są zmiany parametrów w obiegu Ziemi. Są to zmiany kształtu orbity Ziemi (mimośrodu) o cyklu 90–100 tys. lat, zmiany nachylenia równika ziemskiego do ekliptyki o cyklu 41 tys. lat i zmiany precesji punktów równonocy o rytmie 21–23 tys. lat. Zmiany te, opisane przez Milankow-



Rys. 2. Zmiany elementów orbity ziemskiej 200 ka BP do 50 ka AP (część górna) i wahań promieniowania słonecznego w różnych szerokościach półkuli północnej (Berger 1978, nieco uproszczone)

vitcha(1920), znalazły dziś pełne potwierdzenie w zmianach klimatycznych w ciągu czwartorzędu, zarejestrowanych w sekwencji zlodowaceń, osadów morskich, jeziornych, zmianach roślinności i innych. Szczególnie dobrze został rozpoznany okres ostatniego cyklu interglacjalno-glacialnego od 125 ka BP. Uderzająca jest zbieżność krzywych zmian zawartości CO_2 i CH_4 w pęcherzykach powietrza w lodzie, zmian ^{18}O w lodzie, osadach morskich i jeziornych, zmian parametrów magnetycznych, szaty roślinnej itd. (rys. 3).



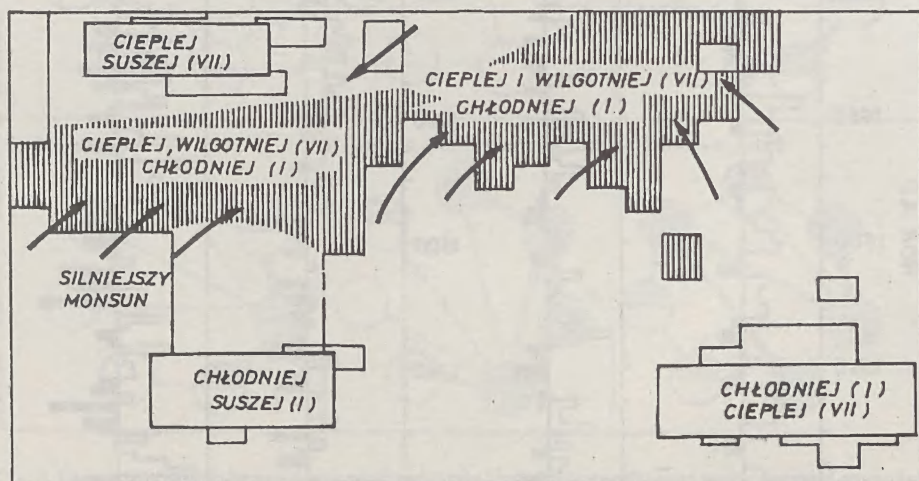
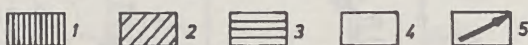
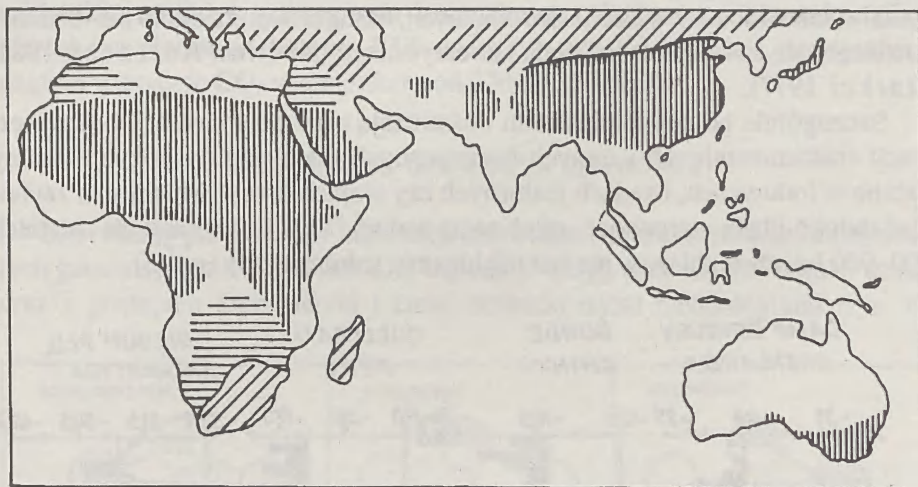
Rys. 3. Wahania zawartości CO_2 , CH_4 i ^{18}O w rdzeniach lodowych i osadach oceanicznych w ostatnim cyklu interglacjalno-glacialnym (Oeschger 1991)

W okresie interglacjalu eemskiego ekspansja lasów sięgała dalej na północ, letnie temperatury były 4° – 6°C wyższe, lądolód Grenlandii skurczył się znacznie, poziom morza wzrósł do $+5\text{ m}$, a w wyniku wzrostu cyrkulacji monsunowej i rozwoju roślinności poziom CO_2 wzrósł do 300 ppmv . Odwrotnie — okres największego ochłodzenia (18 ka BP) charakteryzował się generalnym spadkiem temperatur w skali globalnej tylko o 3°C (ale w wyższych szerokościach geograficznych do 10°C), obniżył się poziom oceanu o 100 – 130 m , a obieg wody zmniejszył się o 20 – 30% wskutek zmagazynowania znacznych jej ilości w lądolodach i zmarlinie (Starkel 1988a), jak i ograniczenia produkcji biomasy. Nastąpiło nie tylko przesunięcie stref klimatyczno-roślinnych, ale także skurczenie zbiorowisk leśnych o większych wymogach wilgotnościowych, prowadzące do powstania nowych biomów (porównaj Kowalski 1980; Velichko 1984). Dobrym wskaźnikiem są zmiany składników gazowych atmosfery; między innymi zawartość CO_2 spadła do 180 – 200 ppmv . Szczególnie istotne dla budowania modeli zmian klimatu jest rozpoznanie mechanizmów i tempa zmian. Na przykład u progu holocenu ocieplenie następowało gwałtownie, istotną rolę odgrywały

sprężenia zwrotne, na przykład zmiany albedo w wyniku rozprzestrzeniania się lub zaniku pokrywy śnieżnej (Kutzbach 1981).

Mechanizmy zmian klimatu w przeszłości możemy rekonstruować porównując ze sobą wyniki badań geologicznych i paleoekologicznych oraz modele cyrkulacji atmosferycznej (rys. 4). Metodę tę zastosowano z powodzeniem w progra-

DANE GEOLOGICZNE I PALEOEKOLOGICZNE

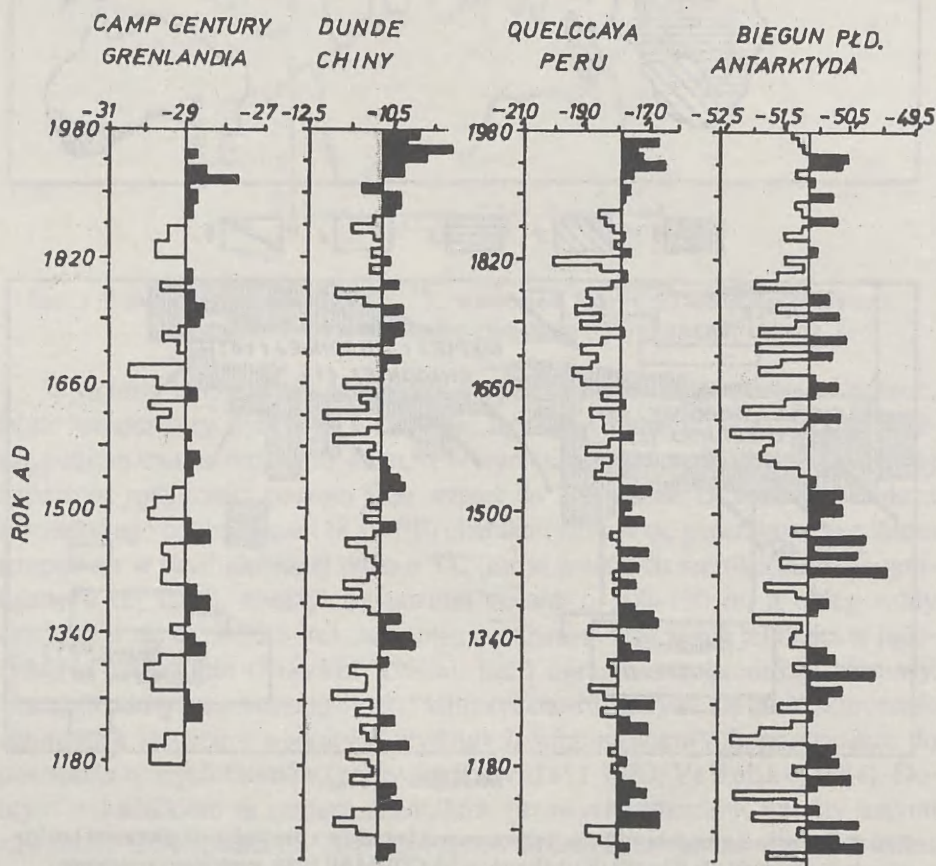


MODEL

Rys. 4. Porównanie modelu cyrkulacji monsunowej i opadów z danymi geologicznymi i paleoekologicznymi dla 9 ka BP (Kutzbach — za COHMAP 1988, częściowo zmienione)
 1–4 wilgotność efektywna (1 — wyższa niż obecnie, 2 — niższa niż obecnie, 3 — podobna jak obecnie, 4 — nieokreślona, 5 — silna cyrkulacja monsunowa.

mach rekonstrukcji zmian klimatu w czasie maksimum zlodowacenia (CLIMAP 1976), jak i w ciągu ostatnich 18 000 lat w przekrojach co 3000 lat (COHMAP 1988). Okazuje się, że ocieplenie w niektórych okresach, przykładowo u progu holocenu (10–9 ka BP), postępowało gwałtownie, ale nierównomiernie. W umiarkowanych i wyższych szerokościach geograficznych półkuli północnej wzrost promieniowania słonecznego latem, a spadek zimą spowodował wędrówkę drzew na północy Syberii przy równoczesnym trwaniu klimatu kontynentalnego, a wzrost opadów, tak widoczny w strefie zwrotnikowej, nastąpił dopiero około 8,5–8 ka BP, co zbiegło się z rozpadem lądolodu laurentyjskiego (porównaj Kutzbach 1981; Starkel 1977).

Szczególnie bogatego materiału dostarczają ostatnie stulecia. Obok obserwacji instrumentalnych i danych historycznych mamy do dyspozycji laminy roczne w lodowcach, osadach jeziornych czy słojach drzew. Musimy tu zachować daleko idącą ostrożność, gdyż zapis wahań ^{18}O w lodowcach dla ostatnich 700–900 lat, choć zbieżny, nie jest tak idealnie jednoznaczny (rys. 5).

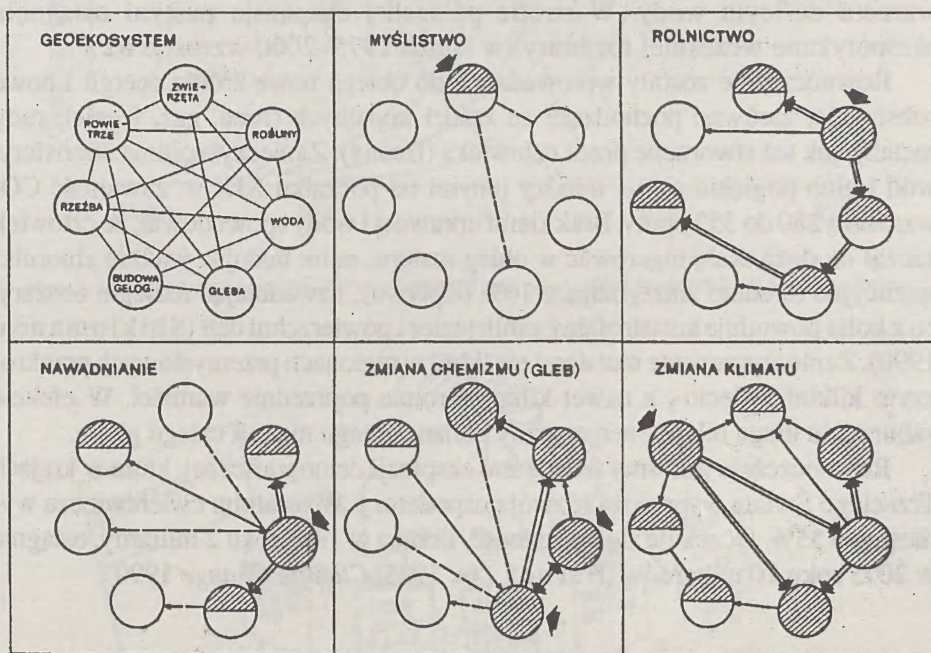


Rys. 5. Średnie dekadowe $\Delta^{18}\text{O}$ w ostatnim tysiącleciu w przekroju od Grenlandii po Antarktydę. Ciemno zaznaczone pola reprezentują okresy cieplejsze od dzisiejszego (Thompson 1991)

Mała Epoka Lodowa (1550–1850 AD) była na ogół w swych średnich temperaturach o $0,4^{\circ}$ – $0,5^{\circ}\text{C}$ chłodniejsza niż obecnie, co można wiązać zarówno ze spadkiem promieniowania słonecznego (kilka takich faz o spadku ^{14}C i ^{10}Be zarejestrowano na długości całego holocenu), jak i częściowo ze wzrostem częstotliwości erupcji klimatycznych (Kutzbach 1992). W tym ostatnim przypadku wymagałoby to jednak olbrzymich erupcji, na przykład rzędu wybuchu Krakatau co 5 lat (Wigley 1991). Każdy z tych zewnętrznych czynników uruchamia mechanizm zmian w połączonym systemie: atmosfera — ocean — kriosfera. Wzrost ocieplania od połowy XIX wieku wydaje się wyraźnie powiązany z ciągłym wzrostem CO_2 w atmosferze od 270 do 350 ppmv.

NARASTAJĄCA INGERENCJA CZŁOWIEKA

Typ i zasięg przestrzenny ingerencji człowieka, a także stopień zmian naturalnych geosystemów w wyniku tej ingerencji uległy przekształceniom w czasie wraz z postępowaniem kulturowym i coraz doskonalszymi technologiami (rys. 6).



Rys. 6. Fazy i typy oddziaływania człowieka na funkcjonowanie geosystemów. Strzałki oznaczają kierunki oddziaływań i zmian. Zaszraflowanie całkowite lub do połowy oznacza stopień transformacji lub degradacji.

Paleolityczny myśliwy obniżał populację niektórych gatunków zwierząt. Neolityczny rolnik i hodowca już od 10–9 tysięcy lat temu na Bliskim Wschodzie, a od

7–6 tysięcy lat w Europie Środkowej, niszczył naturalne zbiorowiska, uprawiał pola, przyspieszając przez to spływ wody, obieg biomasy, erozję wodną i wietrzną, zwiększając albedo odsłoniętych powierzchni (Starkel 1988b). Fale osadnictwa i wylesień były przegradzane okresami nawrotu roślinności naturalnej. W obszarach pól suchych, wraz ze wzrostem populacji ludzi i zwierząt, następowało przesuwanie granic pustyń, a w przypadku nawodnień — występowanie z czasem procesu zasalania gleb. W strefie umiarkowanej (leśnej) nadwyżki wody i zmyte gleby z obszarów górskich i wyżynnych odprowadzane były na niziny, gdzie zaburzenie bilansu prowadziło do podnoszenia się poziomu wód gruntowych. W warunkach granicznych — nadmiernie wilgotnych wyżyn Wysp Brytyjskich — wylesione stoki zostały okryte płaszczem torfowisk (Roberts 1989).

Revolucja przemysłowa i towarzyszący jej rozwój aglomeracji miejskich spowodowały wzrost zapotrzebowania na energię, surowce mineralne, wodę i żywność. Powszechny głód ziemi w przeludnionych obszarach rolniczych, nie nadążających w rozwoju za obszarami przemysłowymi, wywołał trzębież lasów (między innymi w strefie równikowej) i odwadnianie gruntów ornych i łąk, które w krótkim czasie doprowadziło również w Polsce do gwałtownego wzrostu deficytu wody. W strefie półsuchej ekspansja pustyni osiągnęła niespotykane wcześniej rozmiary (w latach 1975–2000 wzrost o 62%).

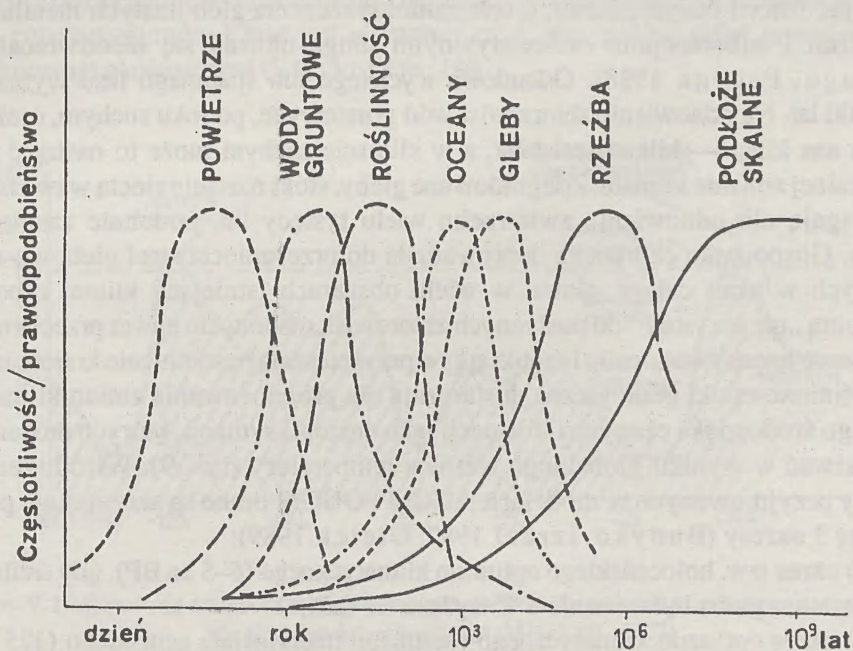
Równocześnie zostały wprowadzone do obiegu nowe źródła energii i nowe substancje, zarówno pochodzące ze źródeł kopalnych (ropa, gaz, węgiel, rudy metali), jak też stworzone przez człowieka (freony). Zanieczyszczenie atmosfery, wód i gleb pogłębia się — między innymi od początku XIX w. zawartość CO₂ wzrosła z 280 do 353 ppmv. Brak ziemi uprawnej i wody spowodował, że człowiek zaczął na dużą skalę ingerować w obieg materii, m.in. budując wielkie zbiorniki retencyjne (średnio zatrzymujące 10% odpływu), nawadniając rozległe obszary, co z kolei powoduje katastrofalny zanik jezior i powierzchni delt (Shiklomanov 1990). Zanieczyszczenie metalami ciężkimi w regionach przemysłowych przekroczyło kilkudziesięcio-, a nawet kilkusetkrotnie poprzednie wartości. W efekcie zaburzeniu ulega bilans energetyczny i bilans obiegu materii całego globu.

Równocześnie jesteśmy świadkami eksplozji demograficznej, która w krajach Trzeciego Świata wyprzedza rozwój gospodarczy. W ostatnim ćwierćwieczu wyniesie on 55%. Oczekuje się, że ludność, licząca w 1925 roku 2 miliardy, osiągnie w 2075 roku 10 miliardów (Barney i in. 1985, *Climate Change* 1990).

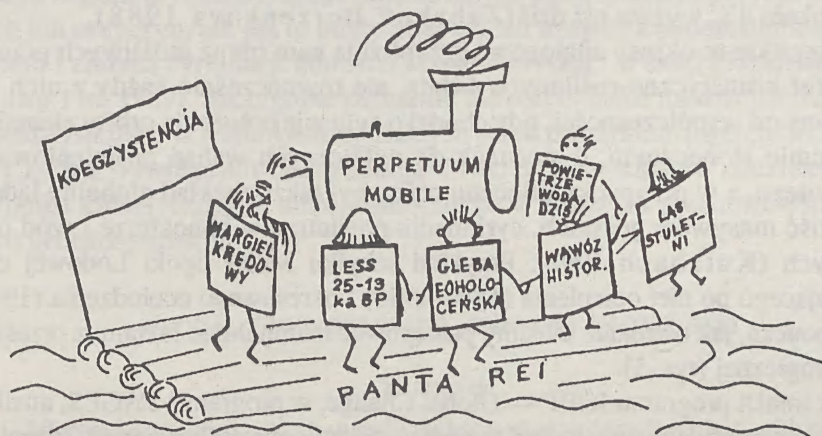
NAUKI PŁYNĄCE Z PRZESZŁOŚCI

Szczegółowa analiza zasobów środowiska przyrodniczego wskazuje, że uważane dotąd za odnawialne niemal corocznie (po zimie, po porze deszczowej) — biosfera, hydrosfera, pedosfera — ulegają gwałtownej degradacji, że zasoby lasów, wód, gleb wyczerpały się, że nie są one odnawialne, albo też czas ich odnawiania jest tak długi, iż przekracza skalę planowania gospodarczego państw. Okazuje się,

że korzenie teraźniejszych „bogatych” geosystemów tkwią w odległej przeszłości (rys. 7). Dzisiejsze geosystemy składają się z elementów różnego wieku, odziedziczonych z różnych epok, które ze sobą współdziałają wraz z przemieszczanymi dziś „świeżymi” masami powietrza i wodą opadową, wprowadzaną do systemu i uruchamiającą obieg materii (rys. 8). Równocześnie często



Rys. 7. Czas powstawania i możliwości odnawiania elementów środowiska (i jego zasobów)



Rys. 8. Koegzystencja różnowiekowych elementów we współczesnych geosystemach

już w minionych stuleciach, a nawet tysiącletniach, naturalne ekosystemy zostały kompletnie zdegradowane (region śródziemnomorski). Nasze agrocenozy, będące w pozoranej „równowadze”, w latach susz lub nadwyżek wilgoci skazane są na utratę plonów. Odbudowa zdegradowanego środowiska nie jest łatwa (rys. 7). O ile zanieczyszczenia gazowe atmosfery i wody można zlikwidować budując filtry i oczyszczalnie, o tyle zanieczyszczenia gleb ilastych metalami ciężkimi i substancjami radioaktywnymi mogą okazać się nieodwracalne (Nriagu, Pacyna 1988). Odbudowa wyciętego lub spalonego lasu wymaga 50–100 lat. Na odnowienie zbiorników wód gruntowych, po roku suchym, czekamy u nas kilka — kilkadziesiąt lat, a w klimacie suchym może to nastąpić po generalnej zmianie klimatu. Zdegradowane gleby, stoki rozcięte siecią wawozów wymagają dla odnowienia zwietrzelin wielu tysięcy lat, podobnie zasolone gleby. Gospodarka człowieka doprowadziła do przesunięcia stref glebowo-roślinnych w skali całego globu, w wielu obszarach istniejący klimat z porą wilgotną „nie przystaje” do pustynnych zbiorowisk roślinnych, nawet przeciwnie, okresowe intensywne opady i szybki spływ przyspieszają pustynnienie krajobrazu.

Minione epoki geologiczne dostarczają dla prognozowania zmian klimatu i całego środowiska cennych informacji jako analogii sytuacji, których możemy oczekiwać w wyniku globalnego wzrostu temperatury (rys. 9). Wśród scenariuszy przyjmowanych w modelach AGCM i OGCM brane są szczególnie pod uwagę 3 okresy (Budyko, Izrael 1987; Gleick 1989):

a) okres tzw. holocenijskiego optimum klimatycznego (6–5 ka BP), gdy średnia temperatura globu była o około 1°C wyższa niż dziś;

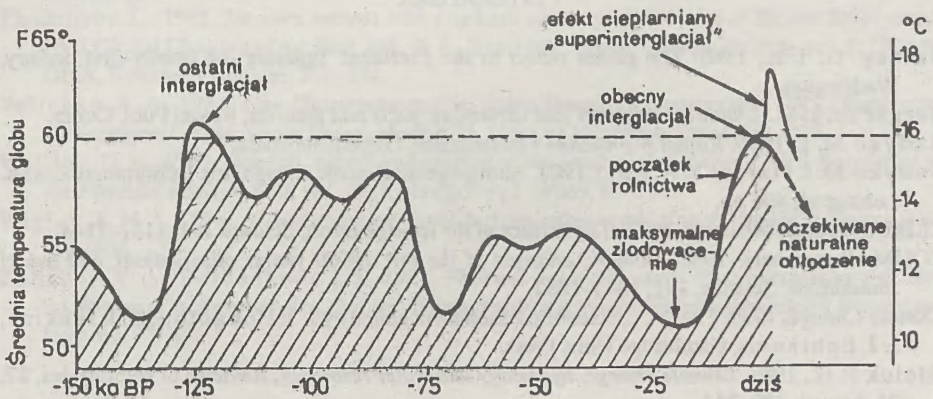
b) okres optimum klimatycznego ostatniego interglacjału eemskiego (125 ka BP), gdy średnia temperatura umiarkowanych szerokości geograficznych była o około 2°C wyższa niż dziś (Frenzel, Velichko 1992);

c) okres górnego pliocenu (3–2 mln lat BP), gdy średnia temperatura globu była o około 4°C wyższa niż dziś (Zubakov, Borzenkova 1988).

Wszystkie te okresy analogowe przybliżają nam obraz możliwych przesunięć stref klimatyczno-roślinnych świata, ale równocześnie każdy z nich był odmienny od współczesności, gdy chodzi o sytuację położenia orbity ziemskiej w systemie słonecznym, o stosunek do cyklicznych wahań promieniowania słonecznego, a w przypadku pliocenu różny był także rozkład globalny lądów, wysokość masywów górskich, cyrkulacja powietrza w atmosferze i wód oceanicznych (Kutzbach 1992). Przykład schyłku Małej Epoki Lodowej oraz następującego po niej ocieplenia (1840–1940) i okresowego ochłodzenia (1940–1980) pouczają, jak ostrożnie musimy postępować manipulując faktami z przeszłości geologicznej (rys. 5).

W ramach programu IGBP — Global Change, w programie PAGES, analizowane są nieprzerwane serie wahań temperatury i wilgotności zapisane w rdzeniach lodowych, laminowanych osadach jezior i mórz i słojach drzew (Global Change vol. 19). Między innymi dane z jeziora Gościąg na Pojezierzu Gostynińskim

pozwalają poznać istotne dla prognozowania tempo zmian klimatu i ekosystemów. Okazuje się, że w ciągu dziesięcioleci może nastąpić wzrost średniej temperatury w granicach 1°C, czy zmiana zbiorowisk roślinnych, porównywalne do zmian, jakich obecnie oczekujemy w wyniku efektu cieplarnianego (Różański in. 1993). Z kolei badania paleopowodzi i wszelkich zjawisk ekstremalnych w przeszłości (szczególnie w strefie suchej) ukazują, jakie są wartości progowe stabilności geosystemów i jaki jest potrzebny czas, aby system mógł powrócić do równowagi ekologicznej (Starkel i in. 1991).



Rys. 9. Nałożenie się działalności człowieka na długookresowe wahania klimatyczne w skali cyklu glacialno-interglacialnego (Mitchell 1977)

Badania przeszłości pozwalają nam rozpoznać w formie nieskażonej rolę różnych czynników w kształtowaniu systemu klimatycznego Ziemi i całego obiegu materii przez możliwość objęcia całych cykli zmian i odkrycia pierwotnych ich przyczyn, tak jak to miało na przykład miejsce z podniesieniem bloku Tybetu i zmianą cyrkulacji atmosferycznej nad Azją i w skali globalnej (Ruddiman i in. 1989). Szczególne znaczenie ma rozpoznanie mechanizmów zmian geosystemów w warunkach naturalnych przed początkiem ingerencji człowieka i zmian wywołanych tą ingerencją. Stwarza to możliwość oddzielenia roli czynnika klimatycznego i antropogenicznego w śledzeniu przemian współczesnych geosystemów.

GLOBAL ENVIRONMENTAL CHANGES IN THE PAST

Summary

Different factors of climatic changes in the geological past are described, with particular emphasis on the Quaternary cycles of climate changes and resulting therefrom changes in biosphere, hydrosphere and criosphere. Usefulness of geological and paleogeological data in reconstructing of climate in the past is pointed out and appropriate models of air

circulation developed. Special attention is paid to the meaning of proxy data: dendrological, lacustrine and concerning glacier development, as the source of information about climate. Results of human interference in the transformation of natural geoecosystems in different stages of the Man's activity are presented. It is shown that climatic and environmental changes under global warming conditions can be forecasted by modelling of the following analog periods: the Holocene climatic optimum, the Eemian interglacial and the Upper Pliocene. They allow to determine approximately the position of climatic-vegetational zones and facilitate recognition of mechanisms affecting natural geoecosystems and the degree of human interference in their functioning.

LITERATURA

- Barney G. i in., 1985. *The global report to the President. Entering the twenty-first century*, Washington.
- Berger A., 1981. *Climatic variations and variability: facts and theories*, Reidel Publ. Comp.
- Budyko M. I., 1980. *Klimat w przeszłości i budzącym*, Gidrometeoizdat
- Budyko M. I. i Izrael Y. A. (red.), 1987. *Antropogenic climatic change (ros.)*, Gidrometeoizdat, Leningrad, 406 pp.
- CLIMAP Project Members, 1976. *The surface of the ice-age Earth*, Science 191, 1131–1144.
- COHMAP members, 1988. *Climatic changes of the last 18000 years: observations and model simulations*, Science, 241, 1043–1052.
- Climate Change*, 1990. The IPCC Scientific Assessment edited by J. T. Houghton, G. J. Jenkins, J. J. Ephraums, Cambridge Univ. Press.
- Gleick P. H., 1989. *Climate change, hydrology and water resources*, Reviews of Geophysics, 27, 31 August; 329–344.
- Frenzel B., Velichko A. A., 1992. *Atlas of paleoclimates and paleoenvironments of the Northern Hemisphere, Late Pleistocene-Holocene*, Hungarian Acad. Sc., G. Fischer Verlag, Budapest-Stuttgart
- IGBP-Global Change, 1990. *The Initial Core Projects*, Report No.12.
- Kovda V. A., 1978. *Zemnyje resursy mira, ich ispolzovanija i ochrana*, Izdat. Nauka, Moskva
- Kowalski K., 1980. *Origin of mammals of the Arctic tundra*, Folia Quaternaria 51, Kraków, 3–16.
- Kutzbach J. E., 1981. *Monsoon climate of the early Holocene: climatic experiment using the Earth's orbital parameters for 9000 years ago*, Science, 214, 59–61.
- Kutzbach J. E., 1992. *Modeling earth system changes of the past*, [W:] *Modeling the Earth System*, red., D. Ojima, UCAR, OIES Boulder, Colorado, 376–404.
- Lvovitch M. I., 1974. *Wodnyje resursy mira i ich buduscije*, Mysl, Moskva.
- Milankovitch M., 1920. *Theorie mathematique des phenomenes thermiques produits par la radiation solaire*, Gauthier-Villars, Paris 338 pp.
- Nriagu J. O., Paćyna J. M., 1988. *Quantitative assessment of world-wide contamination of air, water and soils with trace metals*, Nature, 333, 134–139.
- Obrębska-Starkel B., Starkel L., 1991. *Efekt cieplarniany a globalne zmiany środowiska przyrodniczego*, Zeszyty Inst. Geogr. i PZ PAN, 4, 1–71.
- Oeschger H., 1991. *Paleodata, paleoclimates and the greenhouse effect*, [W:] *Climate Change: science, impacts and policy*, red., J. Jäger and H. L. Ferguson, WMO, 211–224.
- PAGES, 1992. *Past Global Changes Project: proposed implementation plans for research activities*, IGBP Report No. 19, Stockholm, 1–105.
- Roberts N., 1989. *The Holocene, an environmental history*, Basil Blackwell, Oxford 227 pp.
- Różański K., Goslar T., Duliński M., Kuc T., Pazdur M. F., Walanus A., 1993. *The Late Glacial-Holocene transition in Central Europe derived from isotope studies of laminated sediments from Lake Gościąg (Poland)*, in print.

- Ruddiman W. F., Prell W. L., Raymo M. E., 1989. *Late Cenozoic uplift in Southern Asia and the America West: Rationale for general circulation modeling experiments*, Journal of Geophysical Research, 94, D15, 18379–18391.
- Shiklomanov I. A., 1990. *Global water resources*, Nature and Resources 26, 3, 34–43.
- Starkel L., 1977. *Paleogeografia holocenu (the paleogeography of the Holocene, pol.)*, PWN, Warszawa.
- Starkel L., 1988a. *Global paleohydrology*, Bull. Pol. Ac.: Earth Sci., 36,1, 71–89.
- Starkel L., 1988c. *Działalność człowieka jako przyczyna zmian procesów denudacji i sedymentacji w holocenie*, Prz. Geogr. 60, 3, 251–265.
- Starkel L., Gregory K. J., Thornes J. B. (red.), 1991. *Temperate Palaeohydrology*, J. Wiley, Chichester.
- Thompson L., 1991. *Ice-core records with emphasis on the global record of the last 2000 years*, [W:] *Global Changes of the Past*, red., R. S. Bradley, Global Change Institute vol. 2, UCAR, OIES, Boulder, Colorado, 201–224.
- Velichko A. A., 1984. *Late Pleistocene spacial paleoclimatic reconstructions*. [W:] *Quaternary Environments of the Soviet Union*, chapter 25, Univ. of Minnesota Press, 261–285.
- Walling D. E., 1987. *Rainfall, runoff and erosion of the land: a global view*, [W:] *Energetics of the Physical Environment*, red., K. J. Gregory; J. Wiley, 89–117.
- Wigley T. M. L., 1991. *Could reducing fossil fuel emission cause global warming?* Nature 349, 503–506.
- Zubakov V. A., Borzenkova I. I., 1988. *Pliocene palaeoclimates: Past climates as possible analogues of mid-twenty-first century climate*, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 65, 35–49.

JERZY TOPOLSKI

Instytut Historii UAM
Poznań

ZASOBY PRZYRODY A HISTORIA SPOŁECZEŃSTW

Rozpocznę rozważania refleksją natury historiozoficznej. Oto historię społeczeństw, czyli historię w ścisłym tego słowa znaczeniu, a więc obejmującą dzieje ludzi w ich przyrodniczym otoczeniu a nie tylko dzieje przyrody, należy rozumieć jako swego rodzaju dalszy ciąg ewolucji człowieka. Oznacza to, iż po długiej ewolucji biologicznej pojawił się człowiek wyposażony w rozwinięty już dostatecznie mózg i odtąd zaczęła się nieprzerwanie trwająca ewolucja kulturowa człowieka a zarazem ludzkiego społeczeństwa. Jej sensem jest wykorzystywanie swoich możliwości intelektualnych, które zapewniła mu w punkcie startu do ewolucji kulturowej ewolucja biologiczna — znalezienie sobie miejsca w świecie przyrody, zapewnienie sobie bytu, trwania i rozwijania się bez tych możliwości, w które był wyposażony świat zwierzęcy. Bez przekształcenia się ewolucji biologicznej w ewolucję kulturową człowiek pozostawiony wobec sił przyrody a nie mający naturalnych zabezpieczeń (na przykład przed zimą) nie mógłby przetrwać.

Można przyjąć, że owo dalsze, po zakończeniu w zasadzie ewolucji biologicznej, trwanie człowieka zostało jakoś — czy jest jakoś — w taki czy inny sposób zaprogramowane i że nie ma co się obawiać o losy ludzkości; tego rodzaju providencjalna koncepcja przypominałaby dawno przebrzmiałe idee o stałym, niezależnym od działań ludzkich, niejako automatycznie dokonującym się postępie.

Bardziej odpowiedzialne — i mające poparcie w studium dziejów społeczeństw ludzkich — jest stanowisko odmienne, mianowicie takie w świetle którego we wspomnianą ewolucję kulturową nie jest wbudowany żaden mechanizm automatycznie gwarantujący trwanie ludzkości i broniący przed możliwym samozniszczeniem. Historia pokazuje wyraźnie, że takiego mechanizmu nie ma i przekonuje o tym, że każdorazowo warunki bytowania ludzi zależały od aktywnej postawy człowieka, czyli od zrozumienia przez niego natury tych warunków.

Ewolucja kulturowa tym różni się od biologicznej, że jest procesem, w którym „działa” ludzka świadomość. Zabezpieczeniem przed negatywnymi zmianami, które w toku ludzkiej działalności mogą zachodzić, jest jedynie zdawanie sobie przez człowieka sprawy ze skutków swych działań, w szczególności ze skutków bardziej długofalowych i bardziej globalnych. Od stopnia przewidywania tych długofalowych i globalnych skutków nawet najbardziej racjonalnych działań zależały w toku całej historii i stale zależą sukcesy ewolucji kulturowej człowieka. Jeśli chodzi o relację człowiek — zasoby przyrody, owo przewidywanie oparte na dotychczasowej i właściwie interpretowanej wiedzy (stale przy tym rozszerzanej i pogłębianej) stało się żywotnym warunkiem ewolucji kulturowej (czyli po prostu ludzkiego bytu) z chwilą, gdy z jednej strony rozwój demograficzny człowieka wyrwał się z ram modelu maltuzjańskiego (liczba ludności była automatycznie w tym modelu regulowana ilością dostępnych środków, przede wszystkim żywności) poprzez rozwój ochrony zdrowia (higiena, szczepienia itd.) oraz gdy świat wszedł w stadium rewolucji przemysłowej, która, niemożliwa bez rozwoju nauki, była na pewnym etapie rozwoju koniecznością ewolucji kulturowej.

Proces ten został zapoczątkowany w Anglii w ostatniej ćwierci XVIII wieku. Odtąd dynamika rozwoju ludności zaczęła gwałtownie wyprzedzać stan zasobów żywności i innych środków do życia, co stawało się bodźcem do poszukiwań zwiększania tych zasobów. Rozwój techniki rolniczej w XIX wieku był wywołany przede wszystkim tym czynnikiem. Odtąd następowało ustalanie się stanów równowagi między liczbą ludności a ilością środków do życia na coraz wyższym poziomie, z coraz większą dynamiką. Niemożliwe byłoby to bez rozwoju przemysłu, który poza tym zaspokajał różne inne, coraz bardziej rosnące potrzeby. Oznaczało to zarówno od strony rolnictwa, jak i przemysłu coraz bardziej intensywne wykorzystywanie zasobów przyrody i zarazem zmiany naturalnego środowiska przyrodniczego. Podobnie jak potrzeby ludzkie mogą rosnać bez praktycznie możliwych do ustalenia granic, również produkcja nastawiana na ich zaspokajanie ma tendencję kłócenia tą samą drogą, dodatkowo wzmocnioną nieograniczonymi możliwościami wchłaniania otrzymanywanych zysków.

W tej sytuacji powstała konieczność refleksji człowieka nad procesem zmieniającym i niszczącym środowisko naturalne oraz konieczne działania pojmowane jako warunek przetrwania ludzkości, czyli nie przerywania ewolucji kulturowej człowieka.

Przejdę obecnie do niektórych bardziej konkretnych rozważań historycznych. Otóż, jeśli chodzi o relację zasoby przyrody — społeczeństwo, to z punktu widzenia historycznego można wyróżnić 3 okresy:

1) okres do początków rewolucji przemysłowej (to jest do około końca XVIII wieku),

2) okres rewolucji przemysłowej sięgający znacznie w głąb XX wieku, w zależności od terytorium,

3) podokres, nazywany postindustrialnym, będący w rzeczywistości okresem kontynuacji rewolucji przemysłowej w warunkach rozbudowy nowego rodzaju produkcji, wykorzystywania informatyki itd.

W dalszym ciągu zajmę się przede wszystkim pierwszym z tych okresów, bowiem w dyskusjach nad stanem środowiska naturalnego jest on najmniej znany. Postaram się dać także pewną charakterystykę okresu drugiego, natomiast okres trzeci jest już przedmiotem bezpośredniej obserwacji wszystkich zajmujących się ochroną środowiska i jego monitorowaniem.

Wszystkie te okresy charakteryzują się narastającym wpływem człowieka na środowisko naturalne, jego zmienianiem i degradacją przy stale zmniejszającej się zdolności tego środowiska do samoregeneracji. W okresie trzecim skutki industrializacji oraz unowocześniania rolnictwa zaczęły zagrażać bytowi człowieka, korzystającego w rosnącym stopniu z tego co mu się oferuje, zarysowując możliwość globalnej katastrofy.

Zanim przejdę do charakterystyki przede wszystkim dwu pierwszych z wymienionych trzech okresów chciałbym zwrócić uwagę, że taką możliwość globalnej katastrofy może nie ludzkość, lecz Europa przeżywała już w XIV wieku, za czasów gdy w Polsce panował Kazimierz Wielki. Na szczęście nie objęła ona Polski.

Mam na myśli nie tyle w tym przypadku zniszczenie środowiska, ile jego destabilizację przez to, co historycy nazwali zanieczyszczeniem bakteryjnym (polution microbienne w terminologii francuskiej). Epidemie w owych czasach były na porządku dziennym, nie chodzi mi więc o to, aby sztucznie je włączać do tematu. Problem interesuje mnie tu w kontekście tego, jaki był mechanizm rozprzestrzenienia się owej XIV-wiecznej „czarnej śmierci”. Otóż rozpoczęła się ona od wrzucania do morza przez Tatarów, oblegających genueńską kolonię Kafię nad Morzem Czarnym, trupów zmarłych na dżumę, która na tamtych terenach stale występowała, jakkolwiek nie przeradzała się w epidemie. Potem drogą morską zaraza została zawleczona do miast włoskich. Szybko opanowała prawie całą zachodnią Europę powodując śmierć około 40%, a przynajmniej 1/3 jej ludności. Tyle trzeba było ofiar, by po nawrotach zaraza wreszcie wygasła. Choć nie wiadomo wówczas co powoduje dżumę, to jednak dużą rolę w zmniejszeniu skutków inwazji jej mikrobów odegrały przedsięwzięte środki, nieraz bardzo drastyczne (łącznie z zamurowywaniem ludzi w domach objętych zarazą); zdano sobie sprawę, że ważne jest unikanie kontaktów z zarażonymi, higiena, przestrzeganie przepisów. Uniwersytet Praski opracował specjalne zalecenia, jak również opublikowano wówczas na temat zarazy ponad 100 traktatów medycznych i innych. To dla uprzytomnienia sobie, że i wiele wieków przed nami stawały przed ludzkością globalne problemy związane ze środowiskiem naturalnym.

Ogólnie rzecz ujmując, głównym problemem dla zapewnienia ludzkiej egzystencji jest uzyskanie niezbędnej ilości energii. Tę energię można uzyskać jedynie z otoczenia przyrodniczego, to jest z mniej czy bardziej ograniczonych, mniej czy

bardziej odnawiających się zasobów przyrody. W okresie gdy podstawą ludzkiej egzystencji było zbieractwo, człowiek uzyskiwał energię za pośrednictwem roślin i dzikich zwierząt, nadających się do jedzenia, co w znacznym stopniu zostało ułatwione przez odkrycie ognia. Stało się to jeszcze w epoce paleolitu. Także czynnikiem ułatwiającym dostęp do tego „dzikiego” źródła energii było udoskonalenie się techniki polowania i rybołówstwa. W systemie zbieractwa i łowiectwa potrzebne były człowiekowi wielkie przestrzenie: na 1 km² w warunkach europejskich nie mogła wyżywić się średnio więcej aniżeli 1 osoba. Wraz z postępem techniki łowieckiej i zbierackiej (m.in. pojawienie się bardziej udoskonalonych narzędzi kamiennych, także z kości czy ości ryb itd.) coraz trudniej było się wyżywić, bowiem wyniszczeniu ulegały zbierane rośliny czy zabijane zwierzęta.

Pojawiającą się barierę, wywołaną także pewnym wzrostem ludności, zlikwidowała trwająca parę tysięcy lat tak zwana rewolucja rolnicza (zwana także neolityczną). W jej rezultacie rozwinęło się rolnictwo i chów zwierząt, a to oznaczało wzrost ilości energii uzyskiwanej z roślin i zwierząt. Mogła wzrastać liczba ludności, choć kolejne stadia tego wzrostu uzależnione były od postępu w technice rolniczej, a także w chowie zwierząt. Chodzi o przechodzenie od uprawy tak zwanej kopieniackiej (za pomocą motyk) do posługiwania się radłem i pługiem ciągnionym przez zwierzęta, a równocześnie od wypaleniskowego, czy podobnie ekstensywnego systemu rolniczego, do dwupółowki i trójpółowki. Jedy- nym źródłem energii w okresie trwania rewolucji rolniczej były nadal rośliny, zwierzęta i, mając te źródła do dyspozycji, sami ludzie. Były to źródła bardzo nieefektywne. Na przykład zwierzęta dostarczają do 50% ilości energii, którą pobierają wraz z pożywieniem, człowiek zaś jedynie około 10%. W sumie jednak w rezultacie rewolucji rolniczej nie tylko wzrosła możliwość bytu dla większej liczby ludności, lecz pojawiła się możliwość rozwoju życia społecznego i politycznego. Wzrost ludności był 4–5-krotny (na przykład w Polsce około roku 1000 gęstość zaludnienia na 1 km² wynosiła około 4–5 osób).

Człowiek, mając do dyspozycji siłę pociągową zwierząt, kilkakrotnie bardziej wydajną aniżeli siła ludzka, dojście do czego było oczywiście procesem długim i skomplikowanym, został zwolniony od nieprzerwanego zajmowania się uzyskiwaniem „dzikich” środków żywności.

W odniesieniu do środowiska naturalnego trwający kilka tysięcy lat okres rewolucji rolniczej wprowadził do niego nowy element, a mianowicie pole uprawne obsiane już nie dzikimi roślinami oraz stałe siedziby ludzkie. Były to osady rolników, przybierające nieraz formę prymitywnych miast (jak na przykład Jerycho w dolinie Morza Martwego sprzed około 9 tys. lat p.n.e., trwające od tego czasu nieprzerwanie). Rewolucja rolnicza przez tysiące lat przesuwiała się od Bliskiego Wschodu przez Bałkany na północ Europy. Do Polski dotarła około 4 tysiące lat temu.

Następny, trwający około 4 tysięcy lat okres społeczeństwa agrarnego, a zarazem przedindustrialnego, charakteryzował się z jednej strony sposobem

życia związanym z rolnictwem, a z drugiej pojawieniem się miast jako ośrodków skupiających w coraz mniejszym stopniu rolników, a w coraz większym rzemieślników, kupców i ludzi związanych z funkcjami administracyjnymi i politycznymi. Nieraz mówi się w związku z tym o rewolucji miejskiej. W Europie miała ona jakby dwie, nie łączące się chronologicznie fazy: starożytną (miasta greckie i rzymskie) oraz średniowieczną, na niektórych terenach mogącą nawiązywać do pozostałości miast rzymskich. W Polsce ta druga faza, choć w mniej intensywnym stopniu, była już mniej więcej równoległa do zachodnioeuropejskiej i obejmowała okres od X do XIV w.

W sumie jednak w Europie aż do rewolucji przemysłowej ludność wiejska obejmowała ponad 85% ogółu ludności, oczywiście przy istnieniu silnego zróżnicowania regionalnego. Wzrosła też liczba ludności, bowiem przejście do trójpolówki zwiększało ilość środków do życia. Równocześnie jednak jej stałe stosowanie przy niedostatecznej ilości nawozu niszczyło strukturę gleby i nie pozwalało po pewnym czasie na dalsze zwiększanie zbiorów. Często zbiory z biegiem czasu malały. Ludność co prawda wzrosła znów parokrotnie, lecz było to możliwe w większym stopniu dzięki uprawie coraz to nowych gruntów (co intensywnie zmieniało krajobraz naturalny). Podam, że w samej tylko Wielkopolsce w okresie od XVI do XVIII wieku powstało około 800 nowych wsi, zwiększając zarazem powierzchnię uprawną o około 20%. Zmniejszyło to powierzchnię gruntów mokrych zapoczątkowując proces, który uwidocznił się w XX wieku, nazwany stepowaniem.

Ogólnie rzecz biorąc, podstawowy dla okresu trójpolówki proces wzrastania powierzchni uprawnej, niezbędnej dla wyżywienia ludności, dokonywał się głównie kosztem lasów. Zapoczątkowało to długotrwały proces wylesiania, zachodzący w różnych okresach i na różnych terenach (także przed pojawieniem się trójpolówki). W Europie jego główne nasilenie przypada na koniec wieków średnich i czasy nowożytne (XVI–XVIII wiek), co było, rzecz jasna, kontynuowane w XX wieku, wszakże także już pod wpływem zapotrzebowania ze strony przemysłu. Poprzeźdnie odbiorcą drewna był głównie przemysł okrętowy (sprzedaż tego drewna doprowadziła w Wielkopolsce do niemal kompletnego zaniku lasów dębowych). Niezależnie od potrzeb wsi i przemysłu okrętowego (ewentualnie innego), głównym czynnikiem niszczenia i zanikania lasów były miasta. Obliczono, że każdy mieszkaniec miasta europejskiego w czasach przed rewolucją przemysłową potrzebował rocznie od 1 do 1,6 tony drewna opałowego (także dla rzemiosła), co oczywiście było także silnie zróżnicowane w zależności od warunków klimatycznych. Oznaczało to, że miasto 10-tysięczne potrzebowało rocznie około 10–16 tysięcy wozów drewna. Jeżeli chodzi o potrzebne zboże, to średnia wynosiła około 10 wozów dziennie (około 1/5 do 1/3 tej ilości co drewna). Zapotrzebowanie na drewno równało się potrzebie dysponowania przez 10-tysięczne miasto rezerwą od 50 do 80 km² lasu. Zapotrzebowanie to było zwiększone przez budownictwo drewniane dominujące w wielu częściach Europy. W ten sposób powstawała

z jednej strony bariera dla rozwoju miast, a z drugiej konflikt między zapotrzebowaniem na ziemię orną i pastwiska a zapotrzebowaniem na powierzchnię zalesioną. Bariere ilości tej powierzchni dla rozwoju miast można było przekroczyć znajdując nowe źródła energii. We Flandrii i Brabancji na przykład gdzie do XVI wieku w związku z zaopatrzeniem miast w drewno zniknęły lasy. Czynnikiem przyspieszającym to wyniszczenie był tam dogodny transport drewna drogami wodnymi. Po zniszczeniu lasów drewno zostało zastąpione torfem. Podobnie było w Holandii (zresztą sama nazwa tego kraju pochodzi od Holt-land czyli kraj lasów). Oblicza się, że eksploatacja torfu do końca XVIII wieku obejmowała około 700 ha rocznie, czyli około 15,5 miliona m³ tego nowego wówczas źródła energii. W Anglii już w XVIII wieku rozpoczęto wykorzystywać węgiel kamienny. To umożliwiło rozwój Londynu, który stał się wówczas największym miastem Europy. Badania historyczne nad tymi sprawami są dopiero rozpoczęte i wiele spraw jest niewyjaśnionych.

W okresie dominacji społeczeństwa agrarnego nie było znacznieszego postępu w zakresie źródeł pozyskiwania energii. Podstawowym osiągnięciem było, jak wspominałem, zwiększenie wydajności źródeł roślinnych i zwierzęcych. Jednakże odnotować trzeba początek wykorzystywania siły wody i wiatru. Mam tu na myśli wynalezienie młynów (nie tylko używanych do mielenia ziarna). Były to młyny wodne i wiatraki. Młyny wodne, można stwierdzić, były swego rodzaju prehistorią rewolucji przemysłowej, bowiem umożliwiały ogromny rozwój włókiennictwa (najpierw w Anglii). Tkaniny były pierwszym produktem przemysłowym zaspokajającym masowe potrzeby, a tym samym zwalniającym rolników od ich wytwarzania we własnym zakresie. To z kolei stwarzało dodatkowe możliwości dla intensywniejszego zajęcia się rolnictwem, czyli przełamywaniem jego wielowiekowej rutyny, najpierw przez różne drobne ulepszenia. Na tym polegała tak zwana rewolucja rolnicza w Anglii w XVII wieku, która stworzyła warunki dla późniejszej, najwcześniejszej na świecie, rewolucji przemysłowej. Objęła ona produkcję tekstylną.

Gdy mowa o tych przedindustrialnych jeszcze czasach, które miały także swoje problemy dotyczące wykorzystywania zasobów przyrody, warto jeszcze wspomnieć o drugim obok młynów i wiatraków wynalazku wykorzystującym nie roślinne i zwierzęce konwertory energii, a mianowicie o łodzi żaglowej, która wszakże do końca średniowiecza miała tylko znaczenie pomocnicze, podstawowa nadal w żegludze była siła ludzka. Nie zajmuję się tu zjawiskami wyjątkowymi, jak wykorzystywaniem żagla w starożytności, czy lokalnym sięganiem już bardzo dawno po ropę naftową czy węgiel do ogrzewania i oświetlania.

Dopiero rewolucja przemysłowa przyniosła zasadnicze zmiany, w czym podstawową rolę odegrało odwołanie się do nauki. Nie mam oczywiście możliwości omówienia tu mechanizmów ogarniającej świat industrializacji. Zwrócę jedynie uwagę na to, że produkcja fabryczna, do której przejście było istotą tego procesu, nie mogła już zadowolić się dotychczasowymi źródłami energii oraz w sposób

dotąd niespotykany sięgnęła do zasobów przyrody. Były to w dalszym ciągu lasy, następnie zaś węgiel kamienny oraz energia wodna i energia wiatru. Były one siłą napędową pierwszych maszyn parowych.

Nad wszystkim zaś dominował coraz bardziej dynamiczny wzrost ludności. Między połową XIX a połową XX wieku ludność świata podwoiła się, a potem tempo stało się jeszcze szybsze, podczas gdy między połową XVIII a połową XIX wieku wzrost nie był większy niż około 30%. W czasach wcześniejszych tempo wzrostu było, po ustabilizowaniu się społeczeństw rolniczych, jeszcze niższe. Liczba ludności utrzymywała się prawie na tym samym poziomie.

Produkcja fabryczna, a więc masowa, obejmowała coraz większą liczbę produktów, urządzeń, maszyn itd. Powstawały nowe potrzeby. Środowisko naturalne zmieniało się szybko i równie szybko wzrastała eksploatacja zasobów przyrody. Industrializująca się Europa i Ameryka Północna zaczęły eksploatować inne kontynenty, przyczyniając się do niszczenia tam środowiska (na przykład lasów afrykańskich). Wszystko to było ułatwione panującą powszechnie w ekonomii politycznej koncepcją o zasobach przyrody jako dobrach „wolnych”, pozostawionych jakoby człowiekowi do dowolnego wykorzystywania. Szczególnie odnosiło się to do takich elementów produkcji jak woda i przestrzeń geograficzna. Rozbudowując miasta nie zastanawiano się nad wpływem tego na zmiany w powierzchni zdatnej do uprawy i innego wykorzystywania. Przez cały XIX i znaczną część XX wieku dominowała mentalność nastawiona na eksploatację, a nie na zachowanie i alternatywne kalkulowanie oparte na myśleniu globalnym.

Nie to jednak okazało się najbardziej niebezpieczne z punktu widzenia globalnego i długofalowego. Człowiek był przekonany, że istnieją możliwości przechodzenia od jednych do drugich źródeł energii, od mniej do bardziej wydajnych systemów rolniczych, a miał do tego prawo na podstawie doświadczenia historycznego. Czego jednak przez cały długi czas industrializacji nie brał w ogóle pod uwagę, to wpływu własnych działań i zachowań na środowisko naturalne, a w konsekwencji na zasoby przyrody niezbędne do rozwoju produkcji. Pod tym względem człowiek przez długi czas był zupełnie beztroski, przy czym dotyczyło to nie tylko samej industrializacji, niezależnie od tego, że stawała się ona coraz bardziej nowoczesna i „czysta”, lecz również postępującej urbanizacji i związanego z nią stylu życia. Była to taka sama beztroska jak działanie Tatarów, którzy chcąc zdobyć miasto powodowali ogromne bakteryjne zanieczyszczenie środowiska.

Powstał zatem, w miarę rozwoju gospodarczego, problem nie tylko wykorzystywania zasobów przyrody (minerałów, wody, lasów itd.), lecz niszczenia ich przez wtórne oddziaływanie na środowisko naturalne. W ten sposób człowiek w swej ewolucji kulturowej stanął wobec ogromnego zadania — ochrony środowiska naturalnego i racjonalnego korzystania z jego zasobów, które musi dla własnego przetrwania rozwiązać.

NATURAL RESOURCES AND THE HISTORY OF HUMAN BEING

Summary

The utilization of natural resources is a normal component of the cultural evolution which had succeeded the biological evolution. Nevertheless no natural guarantees are built in that evolution preventing its end and self-destruction. In the pre-industrial times there were first of all forest reserves which dwindled (the need for agricultural land and for firewood). A town of 10000 inhabitants needed more than 50 km² of forest. The industrial revolution connected with the demographic growth brought in the relation Men-Nature a dramatic change provoked by the growing needs for energy. Economic theory of natural resources as mainly "free" goods backed the exploitation of natural resources and developed a mentality of utilization and not preservation. This process began to be more and more connected with the pollution of the environment.

TADEUSZ FLORKOWSKIAkademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Wydział Fizyki i Techniki Jądrowej**STRUKTURA GAZOWA ATMOSFERY A PRODUKCJA ENERGII****PRODUKCJA ENERGII**

Produkcja energii jest miarą wzrostu cywilizacji, a od kosztu produkcji energii zależy wprowadzanie nowych technologii wytwarzania różnych produktów. Produkcja energii w skali światowej rośnie wykładniczo od kilku gigadzuli na głowę na rok dla człowieka prymitywnego do około 350 gigadzuli na głowę na rok dla człowieka współczesnego. Przy gwałtownym wzroście populacji daje to ogromny przyrost produkcji i zużycia energii, szczególnie w okresie ery przemysłowej, to jest w ciągu ostatnich 150 lat. Energia elektryczna jest obecnie najkorzystniejszą formą energii, najłatwiejszą do transportu i przetwarzania. Zużycie jej na głowę ludności jest ważnym parametrem stopnia rozwoju i wynosi obecnie od kilkuset kWh w Afryce do 15000 kWh w Kanadzie i USA.

Produkcja energii odbywa się obecnie głównie przez spalanie paliw kopalnych (tab. 1).

Tabela 1

Procentowy udział poszczególnych źródeł w globalnej produkcji energii
w roku 1987

Rodzaj źródła	Udział %
Olej	37,6
Węgiel	30,5
Gaz	19,9
Woda	6,7
Reakcja jądrowa	5,2

SKŁAD ATMOSFERY I GAZY ŚLADOWE

Azot i tlen stanowią około 99,97% składu atmosfery, gdy dodamy argon (stężenie około 1%) i CO₂ (stężenie około 300 ppm) otrzymamy 99,997% całej

atmosfery. Reszta to gazy śladowe, z których niektóre stanowią wraz z CO₂ gazy cieplarniane.

Z wydobywaniem i spalaniem paliw kopalnych związane są degradacja środowiska i produkcja odpadów. W skali globalnej spalanie paliw kopalnych ma największy wpływ na atmosferę; gazy powstałe przy spalaniu zwiększają swoje stężenie w atmosferze i powodują przez efekt cieplarniany wzrost średniej globalnej temperatury. Mają one także dalekosiężne konsekwencje dla równowagi ekosystemów w skali globalnej.

Tabela 2 ilustruje wzrost stężenia gazów „cieplarnianych” w atmosferze.

Tabela 2

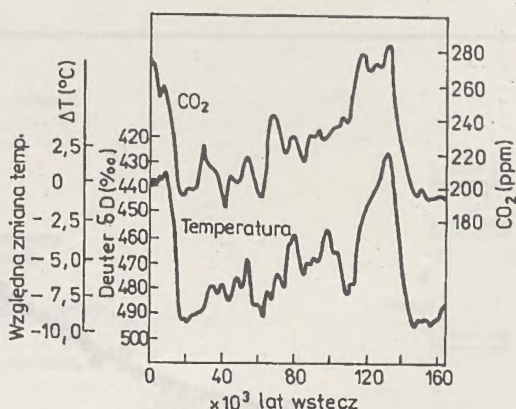
Gazy cieplarniane w atmosferze

Gaz	CO ₂	CH ₄	CFC-11	CFC-12	N ₂ O
	ppmv	ppmv	pptv	pptv	ppbv
Era przedprzemysłowa	280	0,8	0	0	288
Obecnie (1990)	353	1,72	280	484	310
Roczny przyrost %	1,8	0,015	9,5	17	0,8
Średni czas życia w atmosferze (lat)	50-200	10	65	130	150
Udział w efekcie cieplarnianym %	50	20	5	10	4

Istnieje doskonała korelacja pomiędzy stężeniem dwutlenku węgla w powietrzu i średnią temperaturą powietrza. W przeszłości wyższa temperatura powodowała wzrost biomasy i tym samym wzrost stężenia dwutlenku węgla. Obecnie wzrost temperatury jest wywołany wzrostem stężenia dwutlenku węgla (i innych gazów) w atmosferze, aczkolwiek nie wszyscy badacze podzielają ten pogląd.

Na rysunku 1 pokazano korelację pomiędzy średnią temperaturą powietrza i stężeniem dwutlenku węgla w okresie ostatnich 160 tys. lat. Stężenie dwutlenku węgla w powietrzu oraz temperaturę w przeszłości uzyskano analizując banieczki powietrza zawarte w lodowcach. Temperaturę odzwierciedla stosunek izotopowy D/H lub 18O/16O w danej warstwie lodu. Wykorzystuje się fakt, że skład izotopowy tlenu i wodoru w opadach atmosferycznych jest zależny od temperatury powietrza. Na rysunku 2 pokazano też wzrost stężenia dwutlenku węgla w powietrzu w ostatnim dwustuleciu.

Określanie ilościowe możliwych efektów emisji antropogenicznej wymaga dobrego zrozumienia głównych procesów kontrolujących skład atmosfery i mechanizmów sprzężeń zwrotnych, które mają wpływ na zachowanie się systemu (biosfera, hydrosfera, litosfera). Źródła i straty gazów śladowych, jak też ich oddziaływanie z ekosystemem muszą być zidentyfikowane i określone ilościowo. Badanie stężeń oraz przestrzennych i czasowych zmian składu izotopowego gazów śladowych dostarcza informacji dotyczących genezy tych gazów, ich cykli obiegu w systemie oraz procesów transportu i mieszania się atmosfery w skali lokalnej,



Rys. 1. Korelacja pomiędzy średnią temperaturą powietrza i stężeniem dwutlenku węgla w okresie ostatnich 160 tys. lat (Chappellaz i in. 1990).

regionalnej i globalnej. W istniejących międzynarodowych programach naukowych bada się poszczególne składniki atmosfery: dwutlenek węgla, metan, tlenek węgla, tlenki azotu, siarki, freony, ozon i inne. Pozwala to na konstruowanie modeli oraz prognozowanie wzrostu temperatury, zmian klimatycznych i inne wnioski.

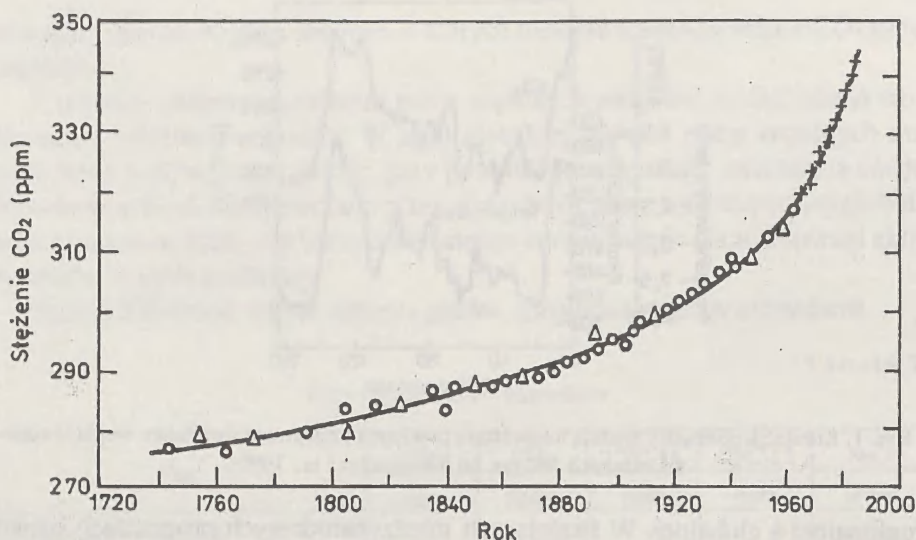
BADANIA SKŁADU IZOTOPOWEGO GAZÓW ŚLADOWYCH

Fracjonowanie izotopowe takich pierwiastków, jak tlen, wodór, węgiel, siarka, azot w czasie przemian fizykochemicznych lub biochemicznych jest funkcją temperatury, co pozwala przez pomiar składu izotopowego tych pierwiastków określić ich pochodzenie oraz temperaturę, jaka była w czasie tworzenia się odpowiednich związków chemicznych. Mierzony skład izotopowy podaje się jako względną różnicę mierzonej próbki i odpowiedniego międzynarodowego standardu (wartość delta w promilach). Na rysunku 3 pokazano dla przykładu korelację pomiędzy czasowym przebiegiem zmian składu izotopowego opadów i odchyleniami od średniej temperatury powietrza.

Pomiar zawartości radiowęglu w związkach zawierających węgiel pozwala ponadto określać tak zwany wiek radiowęglowy od „współczesnego” do około 50 tys. lat. Rysunek 4 pokazuje dla przykładu skład izotopowy węgla w różnych zbiornikach węgla.

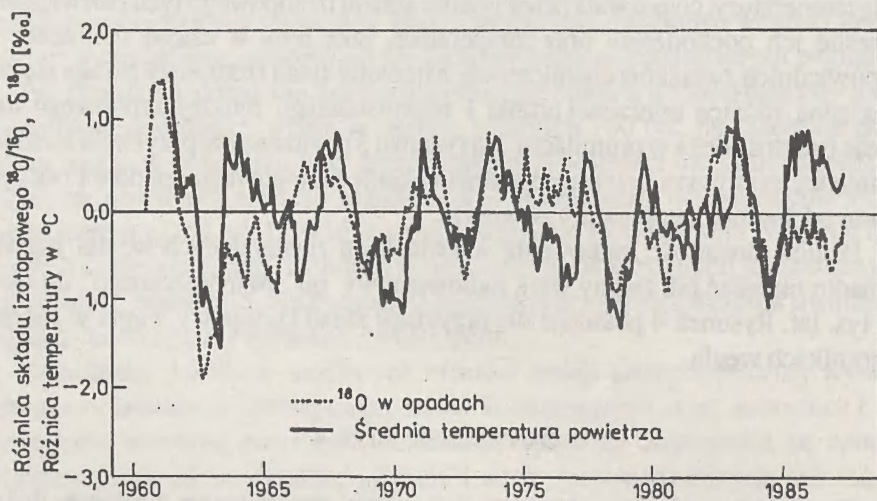
DWUTLENEK WĘGLA

Dwutlenek węgla jest najważniejszym gazem cieplarnianym z powodu dużego stężenia w atmosferze i stałego wzrostu. Najdłuższy zapis stężenia atmosferycznego dwutlenku węgla w obserwatorium Mauna Loa (Hawaje) pokazuje rysunek 5. Wzrost (1,5 ppm rocznie) jest związany nie tylko ze spalaniem paliw kopalnych, ale także

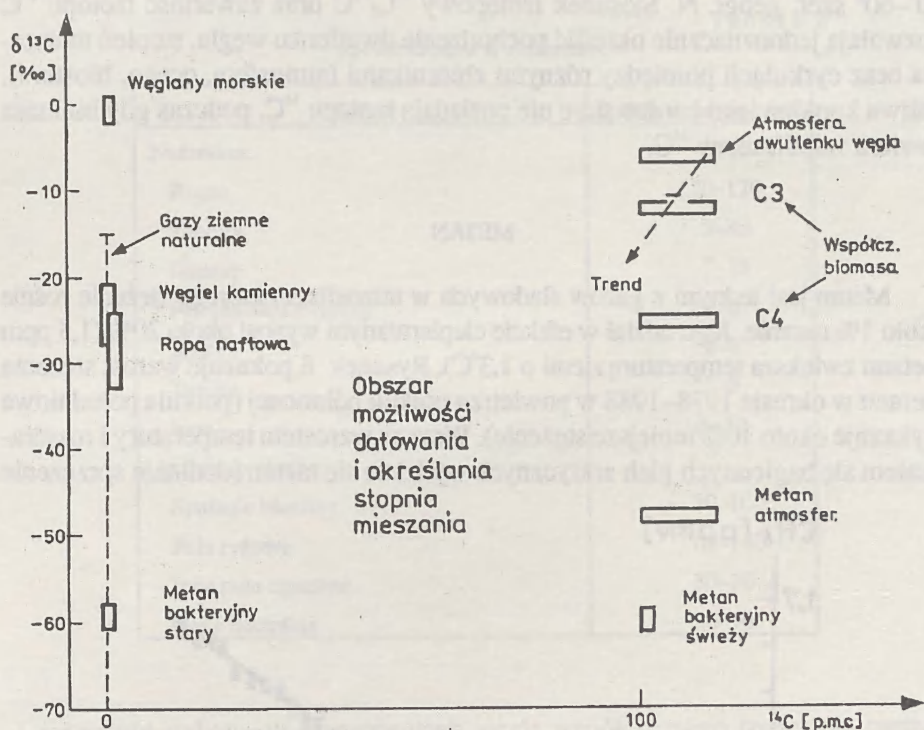


Rys. 2. Wzrost stężenia dwutlenku węgla w powietrzu w ostatnim dwustuleciu (Friedli i in. 1986). Δ — rdzenie lodowe (spektroskopia laserowa), \circ — rdzenie lodowe (chromatografia gazowa), + — dane po roku 1985 z Mauna Loa na Hawajach.

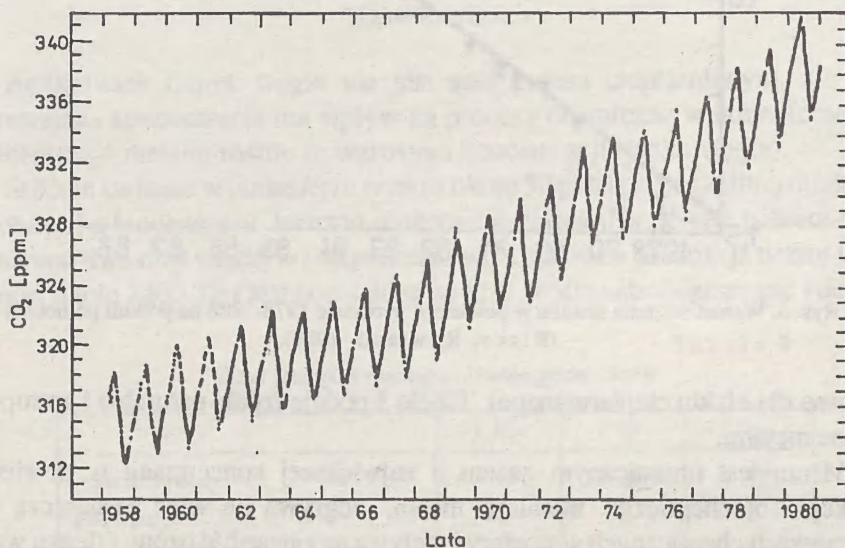
z wycinaniem dżungli tropikalnych, co uwalnia duże ilości dwutlenku węgla z gleby. Oceny udziału tego dwutlenku węgla do dwutlenku węgla ze spalania paliw wahają się od kilku do 25%. Za około 2% wzrost stężenia odpowiedzialna jest produkcja cementu. Około 91% dwutlenku węgla jest produkowane w obszarze



Rys. 3. Korelacja pomiędzy czasowym przebiegiem zmian składu izotopowego opadów atmosferycznych i odchyleniami od średniej temperatury powietrza (Różański i in. 1990).



Rys. 4. Skład izotopowy węgla w różnych zbiornikach węgla.

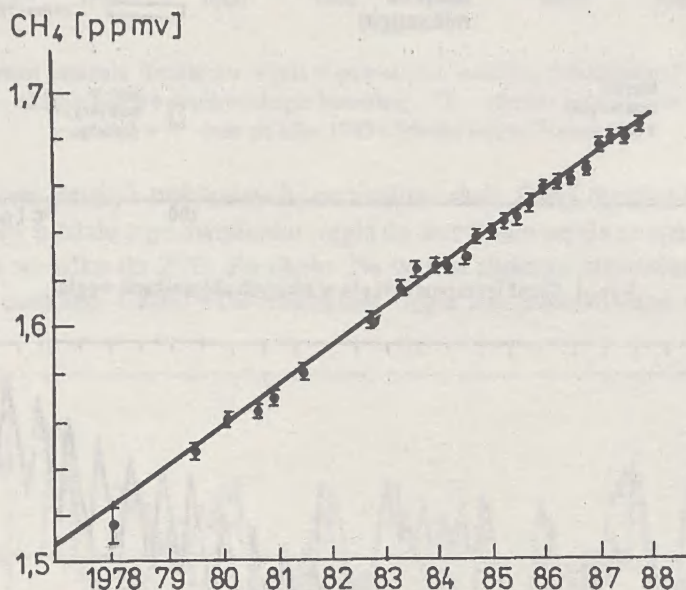


Rys. 5. Stężenie dwutlenku węgla w powietrzu (Obserwatorium w Mauna Loa, Hawaje) (Keeling 1986).

30°–60° szer. geogr. N. Stosunek izotopowy $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ oraz zawartość izotopu ^{14}C pozwalają jednoznacznie określić pochodzenie dwutlenku węgla, stopień mieszania oraz cyrkulacji pomiędzy różnymi zbiornikami (atmosfera, ocean, biosfera). Paliwa kopalne jako bardzo stare nie posiadają izotopu ^{14}C , podczas gdy biomasa zawiera współczesny ^{14}C .

METAN

Metan jest jednym z gazów śladowych w atmosferze, którego stężenie rośnie około 1% rocznie. Jego udział w efekcie cieplarnianym wynosi około 20% (1,5 ppm metanu zwiększa temperaturę ziemi o 1,3°C). Rysunek 6 pokazuje wzrost stężenia metanu w okresie 1978–1988 w powietrzu półkuli północnej (półkula południowa wykazuje około 10% mniejsze stężenie). Wraz ze wzrostem temperatury i rozmrażaniem się bagiennych gleb arktycznych wydziela się metan (dodatknie sprężenie



Rys. 6. Wzrost stężenia metanu w powietrzu w okresie 1978–1988 na półkuli północnej (Blake, Rowland 1988).

zwrotne dla efektu cieplarnianego). Tabela 3 podaje źródła naturalne i antropogeniczne metanu.

Metan jest organicznym gazem o największej koncentracji w powietrzu. Reakcje fotochemiczne utleniają metan, odgrywa on więc zasadniczą rolę w procesach chemicznych atmosfery i wpływa na zawartość ozonu i tlenku węgla. Pomiary składu izotopowego węgla i wodoru w metanie pozwalają na określenie pochodzenia metanu. Tabela 4 pokazuje przykładowo wartości $\Delta^{13}\text{C}$, Δ deuteru

Tabela 3

Źródła metanu w atmosferze

Rodzaj	Emisja w mln ton/rok
Naturalne:	
Bagna	20-170
Termity	5-30
Oceany	7-13
Fermentacja zwierząt	2-6
Jeziora	2-6
Tundra	1-5
Inne	do 80
Antropogeniczne:	
Spalanie biosfery	30-100
Pola ryżowe	60-140
Inne pola uprawne	30-70
Gazy naturalne	30-70

i zawartość radiowęglu w procentach węgla współczesnego (pmc) dla metanu różnego pochodzenia.

TLENEK WĘGLA

Aczkolwiek tlenek węgla nie jest sam gazem cieplarnianym, ale jego wzrastająca koncentracja ma wpływ na procesy chemiczne w atmosferze (np. koncentracja metanu rośnie ze wzrostem koncentracji tlenu węgla).

Średnie stężenie w atmosferze wynosi około 50 ppb i podlega silnej modulacji sezonowej z tendencją do wzrostu o około 1% na rok. Na półkuli północnej jest go niemal dwa razy więcej niż na południowej. Całkowita produkcja tlenu węgla wynosi około 2400 Tg i jest podzielona między źródła antropogeniczne i dekom-

Tabela 4

Skład izotopowy metanu różnego pochodzenia

	$\Delta^{13}\text{C}$	^{14}C	ΔD
Atmosferyczny	-47	100 pmc	-80
Pierwotny	?	0	?
Termogeniczny	-50	0	-280
Bakteryjny – stary	-60	0	-150
świeży	-60	100 pmc	-150

pozycję węglowodorów. Wpływ produkcji energii występuje w dwóch postaciach: bezpośrednia emisja i emisja metanu.

Głównymi źródłami tlenu węgla są:

- spalanie biomasy,
- utlenianie węglowodorów,
- silniki spalinowe, transport,
- emisja z oceanu,
- produkcja energii,

zaś głównymi studniami:

- utlenianie OH,
- pochłanianie przez glebę,
- ucieczka do stratosfery.

W badaniach procesów powstawania i reakcji tlenu węgla odgrywa rolę pomiar stosunków izotopowych węgla i tlenu, jak też pomiar zawartości promieniotwórczego izotopu ^{14}C .

DWUTLENEK SIARKI

Antropogeniczna produkcja dwutlenku siarki wzrosła od około 3 Tg/rok w roku 1860, przez 40 Tg/rok w 1940 r. do 80 Tg/rok w 1980 r. Dla porównania wulkany produkują około 10 Tg/rok, a spalanie biomasy około 7 Tg/rok.

Tak więc głównym źródłem dwutlenku siarki jest spalanie paliw kopalnych w procesie produkcji energii. Efektem są szkody w środowisku, spowodowane przez tak zwane kwaśne deszcze zwiększające erozję czy eutrofizację jezior.

TLENKI AZOTU

Tlenki azotu (NO , N_2O , NO_2) pełnią istotną rolę w chemizmie troposfery. Produkcja energii dostarcza około 6,5 Tg nadtlenu azotu rocznie, co powoduje wzrost koncentracji ozonu w troposferze.

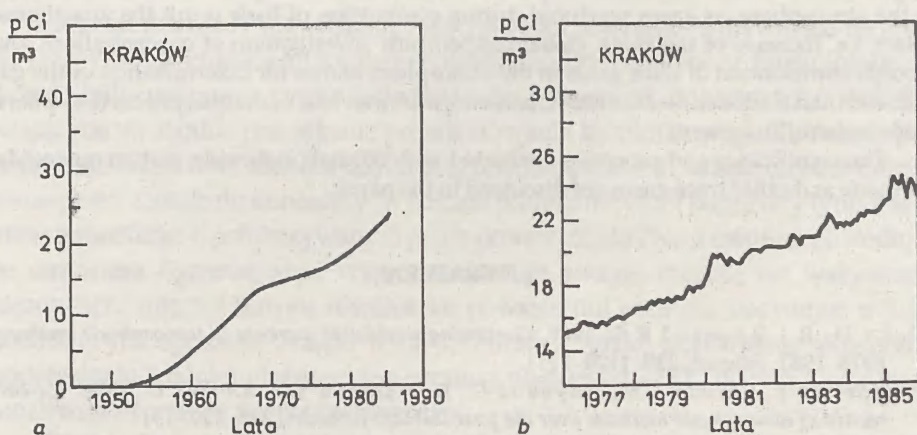
Stężenie N_2O w erze przedprzemysłowej było w pobliżu 285 ppbv, jak wykazują pomiary w rdzeniach lodowych. Obecnie jego średnia koncentracja w powietrzu wynosi około 310 ppbv i wzrasta ok. 0,3% na rok.

PRODUKCJA ENERGII W PRZYSZŁOŚCI I JEJ WPŁYW NA SKŁAD ATMOSFERY

Powolne wyczerpywanie się paliw kopalnych i postęp technologiczny warunkują przyszłe technologie wytwarzania energii. Tak zwane alternatywne sposoby produkcji energii (energia słoneczna, wiatrowa, przyptywy morza itp.) nie mogą zapewnić odpowiednio wysokiej produkcji. Udział „przyjaznej” dla środowiska energii z hydroelektrowni lub energii geotermicznej może zapewnić tylko mały ułamek zapotrzebowania. Wzrost produkcji energii w reaktorach jądrowych, a w

przyszłości reaktorach termojądrowych, stwarza nowe aspekty problemu oddziaływania na środowisko. Jądrowe metody wytwarzania energii nie powodują wzrostu stężenia gazów cieplarnianych i pyłów. Jednakże nieuchronny wzrost stężenia gazów promieniotwórczych w atmosferze (^{85}Kr , ^3H), wzrost stężenia trytu w wodach powierzchniowych oraz problem odpadów promieniotwórczych stanowią wyzwanie dla nowych technologii produkcji energii oraz dla zapobiegania skutkom radiologicznym dla ludności i promieniotwórczej kontaminacji środowiska.

Wpływ przemysłu jądrowego na atmosferę w skali globalnej uzewnętrznia się obecnie wzrostem koncentracji promieniotwórczego Kryptonu-85. Rysunek 7 pokazuje przykładowo przebieg wzrostu koncentracji ^{85}Kr w Krakowie.



Rys. 7. Wzrost koncentracji ^{85}Kr w atmosferze Krakowa (Weiss i in. 1986). a — model, b — pomiary

W najbliższej przyszłości zmniejszenie emisji CO_2 może nastąpić przez zastąpienie spalania węgla kamiennych i brunatnych spalaniem gazu ziemnego. Tabela 5 pokazuje jednostkową emisję CO_2 przy spalaniu w elektrowni różnych rodzajów paliw kopalnych.

Tabela 5
Jednostkowa emisja CO_2

Paliwo	kg CO_2 na kWh energii elektrycznej
Węgiel brunatny	1,18
Węgiel kamienny	0,97
Ropa naftowa	0,85
Gaz ziemny	0,53

TRACE GASES IN THE ATMOSPHERE AND THE PRODUCTION OF ENERGY

Summary

Production of energy is an indicator of the rate of developing civilization. Introduction of new technologies in manufacturing of various products depends on the cost of energy production. Energy production in global scale increases exponentially from several joules per head and per year for primitive man to about 350 gigajoules per head and year for modern man. Together with the dramatic population increase it results in great energy production and use, mainly in the industrial era, i.e. during the last 150 years. Production of energy is, at present, by 88 % connected with burning fossil fuels, which leads to the degradation of the environment and production of waste. In the global scale most sensitive is the atmosphere, as gases produced during combustion of fuels result the greenhouse effect, i.e. increase of the mean global temperature. Investigation of concentrations and isotope composition of trace gases in the atmosphere allows for determination of the gas emission and feedback mechanism influencing the behaviour of the ecosystems (biosphere, hydrosphere, lithosphere).

The significance and processes connected with the carbon dioxide, carbon monoxide, methane and other trace gases are discussed in the paper.

LITERATURA

- Blake D. R., Rowland F. S., 1988. *Continuing worldwide increase in tropospheric methane*. 1978–1987, *Science*, 239, 1129–1131.
- Chappellaz J., Baruda J. M., Raynaud D., Kortkevich Y. S., Lorius C., 1990. *Ice-core record of atmospheric methane over the past 160 000 y*. *Nature*, 345, 127–131.
- Friedli H., Löttscher H., Öschger H., Siegenthaler U., Stauffer B., 1986. *Ice core record of $^{13}C/^{12}C$ ratio of atmospheric CO_2 in the past two centuries*. *Nature*, 324, 237–238.
- Keeling C. D., 1986. *Atmospheric CO_2 concentrations — Mauna Loa Observatory, Hawaii, 1958–1986*, NDP-001/R1, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn., USA.
- Rózański K., Gonfiantini, R., 1990. *Isotopes in climatological studies*. IAEA Bull., No. 4, 9–15.
- Weiss W., Stockburger H., Sartorius H., Rózański K., Heras C., Oestlund H.G., 1986. *Mesoscale transport of ^{85}Kr originating from European sources*. *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res.*, B17, 571–574.

BARBARA OBREŃSKA-STARKŁOWA

Zakład Klimatologii UJ
Kraków

EFEKT CIEPLARNIANY A ZMIANY KLIMATU

ISTOTA ZJAWISKA

Efekt cieplarniany rozwinął się jako zjawisko naturalne, wpływające na temperaturę powierzchni Ziemi z chwilą pojawienia się jej atmosfery. Funkcjonuje on dzięki nielicznej grupie gazów (zaledwie kilka procent składu atmosfery), umożliwiających swobodne przenikanie promieniowania krótkofalowego Słońca do powierzchni Ziemi oraz absorbujących długofalowe promieniowanie ciepłe emitowane przez Ziemię do atmosfery. Wymiana promieniowania pomiędzy tymi gazami w atmosferze a przekazywanym przez powierzchnię Ziemi ciepłem powoduje, że atmosfera ogrzewa się i wypromieniowuje energię ciepłą we wszystkich kierunkach, między innymi również ku powierzchni podłoża, decydując o jego dodatkowym ogrzaniu. Dzięki temu „naturalny” efekt cieplarniany powoduje podniesienie średniej globalnej temperatury planety od -18°C do $+15^{\circ}\text{C}$, tworząc możliwości rozwoju życia organicznego.

Według Jonesa i Henderson-Sellersa (1990) już w 1827 r. Fourier wyjaśnił rolę efektu szklarniowego w ogrzewaniu atmosfery. Czynił on dwutlenek węgla odpowiedzialnym za efekt cieplarniany i sugerował, że ludzkość może wpływać na klimat poprzez zmiany składu chemicznego atmosfery. Zagadnienia te pogłębione zostały na przełomie XIX i XX wieku, gdy T. C. Chamberlain w 1899 r. wystąpił z koncepcją cykliczności epok glacialnych po okresach tworzenia się pokładów skał wapiennych, zaś Arrhenius w 1896 obliczył zmiany temperatury Ziemi dla 5 różnych scenariuszy koncentracji dwutlenku węgla. Przy podwojonym stężeniu CO_2 ocenił on wzrost średniej globalnej temperatury o 6°C i zarazem przewidywał zróżnicowanie jej zmian w skali regionalnej między 60°S a 70°N . Pojawianie się okresów zlodowaceń Arrhenius przypisywał redukcji zawartości CO_2 w powietrzu. Sugerował także, by nadmiar zawartości CO_2 w atmosferze, wynikający z procesów spalania paliw kopalnych, przekazywać do oceanu.

Widzimy zatem, że podstawowe kwestie dotyczące mechanizmu ogrzewania systemu Ziemia — atmosfera dzięki obecności gazów szklarniowych oraz roli gospodarczej działalności człowieka w zmianach natężenia efektu cieplarnianego zostały sformułowane ponad półtora wieku temu i są aktualne do dzisiaj.

GAZY SZKLARNIOWE

Najwcześniejsze rozeznanie skutków efektu cieplarnianego polegało na stwierdzeniu związków pomiędzy zmianami klimatycznymi a globalnym obiegiem węgla. W miarę postępu badań okazało się, że zmieniający się szybko skład chemiczny atmosfery w dużym stopniu wpływa na uwalnianie bądź pobieranie różnych gazów śladowych przez biosferę. Poza dwutlenkiem węgla w kształtowaniu efektu cieplarnianego odgrywają rolę: metan CH_4 , podtlenek azotu N_2O , ozon O_3 i freony CFCs. Dwutlenek węgla jest emitowany głównie przy spalaniu paliw kopalnych i w 10–30 % przy wylesianiu i zmianie użytkowania ziemi. W pewnym niewielkim procencie za jego emisję odpowiada przemysł cementowy. Wzrost stężenia metanu jest związany z uprawą ryżu, hodowlą bydła, spalaniem biomasy, wydobywaniem węgla i naturalnym ulatnianiem się tego gazu z bagien. Przyrost N_2O o 8% począwszy od rewolucji przemysłowej spowodowany jest wprowadzaniem nawozów azotowych do praktyki rolniczej, rozszerzaniem areału pól uprawnych kosztem wylesiania i spalaniem biomasy (Houghton 1991). W latach sześćdziesiątych do gazów szklarniowych dołączyły się freony — substancje powstałe w wyniku syntezy chemicznej, używane jako środki rozpylające, chłodzące i rozpuszczające. Liczbowa ocenę przyrostu gazów szklarniowych w ciągu około 200 lat zawiera tabela 1.

Tabela 1

Charakterystyka podstawowych gazów szklarniowych uwalnianych do atmosfery wskutek działalności człowieka (Houghton 1991)

Charakterystyka	CO_2	CH_4	CFC-11	CFC-12	N_2O
Koncentracja w atmosferze	ppm	ppm	ppt	ppt	ppb
Okres przed rewolucją przemysłową (1750–1800)	280	0,8	0	0	280
Współczesna (1990)	353	1,72	280	484	310
Współczesne tempo zmian na rok	(0,5%)	(0,9%)	(4%)	(4%)	(0,25%)
Czas życia w atmosferze (w latach)	50–200	10	65	130	150

ppm - części na milion; ppb - części na miliard; ppt - części na trylion

W czasie analizy powyższych danych mogą pojawić się wątpliwości dlaczego w zestawieniu nie uwzględniono dwóch ważnych gazów szklarniowych: pary wodnej i ozonu. Para wodna w największym stopniu kształtuje efekt cieplarniany, ale jej koncentracja w troposferze zależy przede wszystkim od procesów zachodzących w obrębie systemu klimatycznego, nie podlega zaś wpływowi człowieka. Natomiast koncentracja ozonu w miarę działalności gospodarczej zmienia się zarówno w troposferze, jak i stratosferze, i wywołuje przekształcenia w składzie

spektralnym promieniowania słonecznego i w bilansie radiacyjnym, lecz skutki ich trudno przedstawić w formie ilościowej.

Okres utrzymywania się i aktywności gazów szklarniowych w atmosferze zależy od funkcjonowania źródeł ich emisji i środowisk sprzyjających ich pochłanianiu. Dwutlenek węgla, podtlenek azotu i freony usuwane są powoli z atmosfery i trzeba wielu dziesiątków, a nawet setek lat, aby przywrócić atmosferze stan równowagi chemicznej. Houghton (1991) podaje, że gdyby powstrzymać całkowicie w roku 1990 emisję CO₂, to i tak w roku 2100 utrzymywałaby się jego koncentracja zwiększona o około 50%. Zatem współczesna emisja będzie warunkować długość okresu redukcji zanieczyszczeń w atmosferze i osiąganie tak zwanej stabilizacji atmosferycznej, rozumianej jako graniczna wartość natężenia gazów szklarniowych. Aby zatem osiągnąć stabilizację koncentracji zanieczyszczeń atmosferycznych na obecnym poziomie, należy jak najszybciej zredukować emisję gazów o kilkadziesiąt procent (tab. 2).

Tabela 2

Stabilizacja na współczesnym poziomie stężeń substancji chemicznych w atmosferze (Houghton 1991)

Gaz szklarniowy	Wymagana redukcja emisji
CO ₂	60%
CH ₄	15–20%
N ₂ O	70–80%
CFC-11	70–75%
CFC-12	75–85%
HCFC-22	40–50%

Rola poszczególnych gazów szklarniowych w kształtowaniu efektu cieplarnianego zależy więc od czasu ich życia. Najpełniejszą charakterystykę zmian klimatycznych zapewnia tak zwany potencjał efektu cieplarnianego, który jest mierzony w odniesieniu do 1 molekuly CO₂. Jedna molekula metanu równoważy działanie 32 molekul dwutlenku, a CFC-12 aż 17000 molekul CO₂ (Parlow 1991/1992). W tym świetle rodzi się pytanie, jaka jest wielkość osiągniętego już globalnego ocieplenia i jakie są i będą jego skutki dla środowiska (Mannion 1991). W raportach IPCC z lat 1990 i 1992 podaje się obliczenia Globalnego Potencjału Ocieplenia (Global Warming Potential) oraz Globalnego Potencjału Sprawczego (Global Forcing Potential). Pierwszy wskaźnik jest adresowany przede wszystkim do decydentów oraz polityków jako miara przeciętnego możliwego efektu ogrzania w troposferze wynikającego z emisji gazów szklarniowych (Isaksen i in. 1991). Odnosi się on do współczesnej atmosfery i nie przewiduje zmian jej składu chemicznego. W stosunku do 1765 r. w procesie globalnego ocieplenia w 61% bierze udział CO₂, w 12% — freony, w 23% — metan i w 4% — podtlenek azotu (Siegenthaler, Sanhueza 1991).

SYSTEM KLIMATYCZNY

Dotychczas działalność człowieka zmieniła skład atmosfery globalnej o mniej niż 0,01%, lecz nawet małe zmiany w tym względzie mogą być szeroko odczuwane. Na szczeblu lokalnym konsekwencje związane z zanieczyszczeniem atmosferycznym przejawiają się na przykład w skutkach spowodowanych przez kwaśne deszcze. W skali globalnej powstają natomiast interakcje między atmosferą, w której przebiega szereg reakcji chemicznych, a naturalnymi cyklami biogeochemicznymi, co prowadzi między innymi do zmiany natężenia czynników radiacyjnych, kształtujących równowagę systemu klimatycznego. Wyjaśnianie zmian klimatycznych wiąże się z koniecznością traktowania klimatu jako produktu wielorakich oddziaływań między atmosferą, hydrosferą, kriosferą, litosferą i biosferą (Schönwiese, Diekmann 1990). Według Flohna (1973) system klimatyczny jest dynamicznym układem strukturalnym, pozostającym w równowadze, odnoszącym się do długiego czasu, w którym wspomniane sfery powłoki krajobrazowej pełnią rolę komponentów. Pomiedzy tymi komponentami odbywa się wymiana energii i krążenie materii z różną intensywnością i w różnym tempie, zależnie od ich masy, powierzchni i ogólnej pojemności cieplnej. Ostatecznym skutkiem procesów energetycznych i krążenia materii jest strefowość bilansu cieplnego i cyrkulacji atmosferycznej.

System klimatyczny reaguje dość wolno na zmiany bilansu promieniowania spowodowane przez wzrost koncentracji gazów szklarniowych (Bolin 1991), a zmiany są często zatarte przez wpływy innych czynników. Ocenę wielkości zmian klimatycznych przeprowadzamy w stosunku do stanu równowagi klimatu, który jest wynikiem oddziaływania wielu czynników, jak energia słoneczna, warunki atmosferyczne, rzeźba. Jeśli pojawiają się zmiany w działaniu tych czynników, to system klimatyczny będzie powoli dostosowywał się do nich, zmierzając ku nowemu stanowi równowagi.

PRZEWIDYWANIE KLIMATU W PRZYSZŁOŚCI

Od lat pięćdziesiątych bieżącego stulecia rozwój koncepcji globalnego ocieplenia osiągnął nowy wymiar. Badania efektu cieplarnianego ukierunkowano na obliczanie wzrostu temperatury przy podwojonym stężeniu dwutlenku węgla w atmosferze. W związku z tym rozwinięto modelowanie klimatyczne o różnym stopniu komplikacji, oparte na symulacji procesów ogólnej cyrkulacji atmosfery. Modele te opisują w sposób uproszczony za pomocą równań przebieg procesów fizycznych, a w tym przede wszystkim wymianę energii w systemie klimatycznym, głównie w relacji do długoterminowo reagujących składników systemu.

Do modeli o największym stopniu komplikacji należą trójwymiarowe modele ogólnej cyrkulacji (GCM). Zasady ich konstruowania polegają na wprowadzeniu sieci czasowo-przestrzennej dla globu ziemskiego i na rozwiązywaniu równań ruchu, przekazywania energii cieplnej i transportu pary wodnej. Modele muszą

mieć wyznaczone ściśle warunki brzegowe, na przykład: temperaturę powierzchni oceanu, poziom koncentracji dwutlenku węgla w atmosferze. Powinny też uwzględniać reakcję systemu klimatycznego na zmiany temperatury, wilgotności, chmur i opadów. Jednakże współczesne wyniki symulacji są nieprecyzyjne, ponieważ modelowanie obarczone jest różnymi błędami. Mianowicie, modele ogólnej cyrkulacji niedokładnie odwzorowują warunki cyklu hydrologicznego, gdyż uwzględniają jedynie oddziaływanie chmur konwekcyjnych na procesy energetyczne w systemie klimatycznym. Ponadto ujmują one nieprecyzyjnie cechy zróżnicowania powierzchni kontynentów, co ma szczególne znaczenie dla odtwarzania wpływu masywów górskich na wymianę energii i masy. Operują zbyt uproszczonym modelem oceanu, w którym pomijają efekty wymiany pionowej wód i prądy oceaniczne. Uwzględniają także kriosferę o uproszczonych warunkach fizycznych, bez względu na różnice sezonowe związane z topnieniem lodów i zamarzaniem wody. Jak z tego wynika, niedostatki modeli GCM wynikają ze słabości parametryzacji (tj. ilości uwzględnianych parametrów wymiany energii i masy) warstwy granicznej atmosfery do wysokości 1,5–2 km nad powierzchnią Ziemi i dlatego trudno na ich podstawie przejść chociażby od skali globalnej zjawisk do skali regionalnej.

Aby zmniejszyć zakres wątpliwości w każdej z omówionych wyżej kwestii, należy podjąć i rozszerzyć koordynowane w skali międzynarodowej badania obejmujące: systematyczne długoterminowe obserwacje, pozwalające poznać naturalną zmienność systemu klimatycznego Ziemi, wykrywające skutki działalności człowieka w procesie zmian klimatu, oraz udoskonalić metody symulacji i parametryzację podstawowych procesów uwzględnianych w modelowaniu.

WERYFIKACJA MODELI. ANALOGI KLIMATYCZNE

Rozwijając modelowanie systemu klimatycznego musimy oceniać jego dokładność. Schneider (1990) formułując zastrzeżenia dotyczące wiarygodności prognozy klimatu uważa, że udoskonalanie modeli ogólnej cyrkulacji atmosfery winno prowadzić przez:

- 1) wykorzystanie bardziej skomplikowanych i wrażliwszych modeli poszczególnych komponentów systemu klimatycznego, z którymi współdziała atmosfera,
- 2) zastosowanie szybszej techniki obliczeniowej dzięki superkomputerom o znacznie pojemniejszej pamięci od obecnie używanej.

O przyszłości tych modeli zadecyduje jakość i skuteczność prognoz klimatycznych, których weryfikację przeprowadza się następująco:

- przez kontrolowanie danych o krótkoterminowych zjawiskach natury fizycznej, uzyskanych z modelu na podstawie zmienności sezonowej, obserwowanej we współczesnym klimacie;
- przez testowanie reakcji indywidualnych komponentów systemu klimatycznego (oceanów, łądów itp.) na dopływ promieniowania i porównywanie tych wyników z danymi z obserwacji satelitarnych;

— przez porównywanie codziennych wyników prognozy numerycznej dla punktów sieci modelu z danymi z obserwacji naziemnych, aby ustalić wiarygodność modeli w stosunku do dobowej zmienności elementów pogody;

— przez sprawdzanie zdolności modelu do symulacji warunków klimatu przeszłego (COHMAP 1988).

Według Schneidera (1990) symulacja współczesnych warunków klimatycznych dla sezonów oraz warunków paleoklimatycznych w ciągu ostatnich 18000 lat potwierdziła znaczenie modeli matematycznych jako narzędzia badawczego. I choć do wyników tej symulacji można mieć różne zastrzeżenia, to zasługą tych prac jest zwrócenie uwagi społeczeństwu na możliwość pojawienia się zmian w funkcjonowaniu systemu klimatycznego, co — z kolei — rodzi problemy natury społeczno-technicznej.

Jedną z akceptowanych metod jest badanie zmienności klimatu z roku na rok, w przebiegu wiekowym i w geologicznej skali czasowej na podstawie ciągów danych instrumentalnych, różnorodnych historycznych danych pośrednich (dendroklimatycznych, archeologicznych, geomorfologicznych itp.) i danych paleoklimatycznych (Ojima 1992). Stosuje się wówczas metodę analogów klimatycznych, czyli poszukuje się w przeszłości okresów o podobnej średniej temperaturze globalnej do prognozowanej w przypadku podwojenia koncentracji dwutlenku węgla. Stosując zasadę aktualizmu przyjmuje się, że rozkład przestrzenny elementów klimatu w przyszłości winien być podobny do rozkładu w tym rozpatrywanym (analogowym) okresie w przeszłości. Wobec powyższego w wytypowanych okresach przeszłych winny działać podobne zespoły czynników klimatycznych, jak na przykład: zmiany parametrów orbity Ziemi, wybuchy wulkaniczne, gazy szklarniowe, konfiguracja lądów i mórz i inne, aby można było zakładać, że analog prognozowanego stanu systemu klimatycznego będzie ich wystarczająco wiarygodnym powtórzeniem.

Dla wpływu wzmoczonego efektu szklarniowego, odnoszącego się do stężenia dwutlenku węgla rzędu 600 ppm, przyjmuje się jako analogi: interglacjał eemski (125000 lat BP), holocenijskie optimum klimatyczne (9000–6000 lat BP) i okres ocieplenia w średniowieczu (800–1200 lat). Żaden z tych analogów jednak nie spełnia przewidywanego w przyszłości poziomu koncentracji CO₂ względem średniej globalnej temperatury. Niemniej — jak podkreśla Houghton (1991) dane paleoklimatyczne z tych okresów dają nam orientację co do przebiegu procesów fizycznych w systemie klimatycznym i kierunku przekształceń środowiska.

REZULTATY MODELOWANIA KLIMATU

Opisując funkcjonowanie modeli klimatycznych Houghton (1991) podkreśla, że wywodzą się one z modeli prognozy pogody, to znaczy określają najpierw stan atmosfery w momencie wyjściowym przy uwzględnieniu rozmieszczenia, ruchu i rozwoju głównych systemów barycznych wpływających na pogodę. Pro-

gnoza ta zawsze opiera się na procesach wielkoskalowych. Przewidywanie przyszłego klimatu rozpoczyna się od oceny zróżnicowania klimatu na podstawie danych z kilkudziesięciu lat i zweryfikowania jej prawdziwości, po czym do modelu wprowadza się dane o wzroście stężenia gazów szklarniowych, aby scharakteryzować, na przykład zachowanie się rzeczywistej atmosfery i oceanu. Różnica wyników uzyskanych na podstawie tych dwóch etapów modelowania jest miarą zmian klimatu. Charakteryzuje się ją za pomocą temperatury powietrza przy powierzchni Ziemi i uważa się ją za miarę wrażliwości klimatu. Wrażliwość klimatu ocenia się najczęściej dla warunków prognozowanych przy podwojeniu koncentracji dwutlenku węgla. Większość symulacji wykonana w latach osiemdziesiątych bieżącego stulecia określała tę zmianę temperatury globalnej w granicach od 1,9° do 5,2°C (IPCC 1992), zaś uściślenie w ostatnim czasie opisu zachmurzenia w modelu skłania do przyjęcia jej wartości na poziomie 1,7°–1,9°C w roku 2030 względem okresu sprzed rewolucji przemysłowej. Ogólnie wzrost temperatury będzie większy nad lądem niż nad oceanem. Regionalne zmiany temperatury będą wyższe w szerokościach wysokich na półkuli północnej w zimie i najmniejsze na półkuli południowej nad oceanem w ciągu całego roku (Mitchell, Zeng Qingcun 1991). Prawdopodobnie opady wzrosną w strefie monsunowej, zaś w szerokościach umiarkowanych i wysokich tylko w zimie. Mimo to zapas wilgoci na półkuli północnej w szerokościach umiarkowanych obniży się. Zakres zmian rocznych sum opadów może dochodzić do 15%.

Dane symulacji oparte są na scenariuszach emisji gazów szklarniowych, rozwoju ekonomicznego i przyrostu ludności w nadchodzącym stuleciu (Siegenthaler, Sanhueza 1991; rys. 1). Przyjęto, że w drugiej połowie XXI w. Ziemię będzie zamieszkiwało 10,5 mld ludności, rozwój ekonomiczny będzie się odbywał w tempie 2–3% na 10 lat w USA, Kanadzie i Europie Zachodniej i 3–5% w Europie Środkowej i Wschodniej oraz w krajach rozwijających się (Annex 1991).

Scenariusz A (zwany „Business-as-usual”) przewiduje utrzymanie dotychczasowej tendencji wykorzystania paliw kopalnych, postępujące wylesianie lasów tropikalnych aż do całkowitego ich wyniszczenia i nie kontrolowaną emisję metanu i podtlenku azotu. Pewne ograniczenia wystąpią tylko w odniesieniu do freonów w związku z realizacją postanowień Protokołu Montrealskiego.

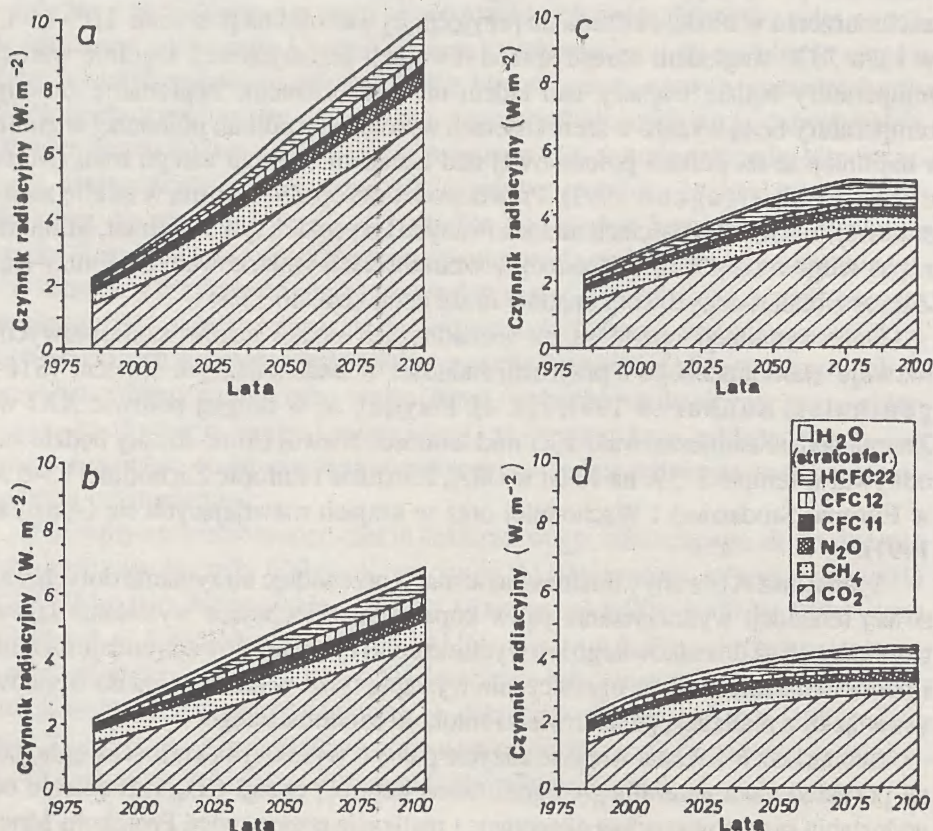
Scenariusz B zakłada większe zużycie paliw o wysokiej zawartości węgla, jak na przykład gazu naturalnego, ograniczoną kontrolę emisji CO₂, odstąpienie od wylesiania oraz powszechną akceptację i realizację postanowień Protokołu Montrealskiego.

Scenariusz C wiąże się z wyłącznym wykorzystaniem w drugiej połowie XXI w. energii ze źródeł odnawialnych. Ograniczona będzie również emisja gazów związana z produkcją rolniczą.

Scenariusz D przewiduje powyższe działania już w pierwszej połowie XXI w. dzięki ścisłej kontroli w krajach uprzemysłowionych i umiarkowanemu wzrostowi

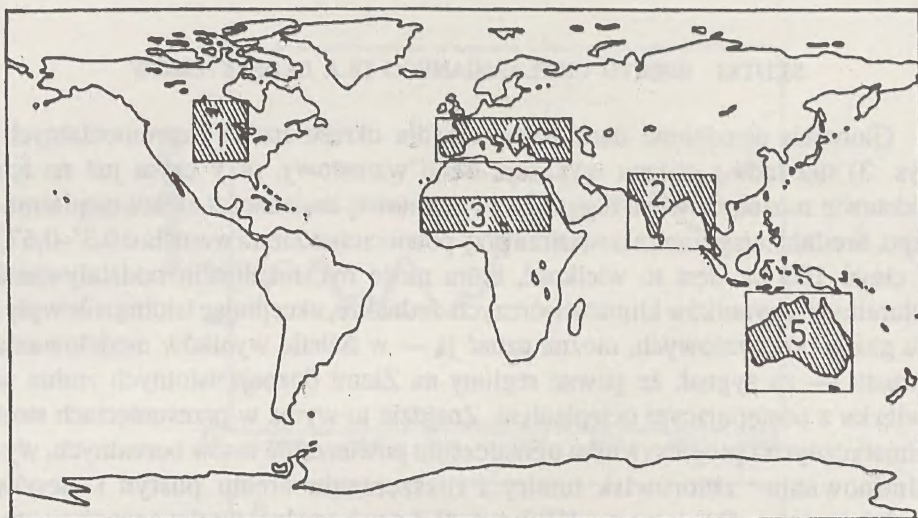
emisji w krajach rozwijających się. W połowie XXI w. emisja dwutlenku węgla będzie zredukowana do połowy względem poziomu emisji z roku 1985.

Ze względu na największe prawdopodobieństwo realizacji scenariusza A została przygotowana wstępna informacja o regionalnym zróżnicowaniu warunków termicznych i opadowych dla pięciu wybranych makroregionów na świecie (Houghton 1991; rys. 2, tab. 3). Ma ona znaczenie dla planowania strategii działań w rolnictwie, jakkolwiek autorzy ostrzegają przed niskim poziomem jej wiarygodności, szczególnie w odniesieniu do przewidywania opadów i zasobów wilgoci w glebie. W dodatku dla rolnictwa rozstrzygające znaczenie może mieć częstość pojawiania się dni o skrajnych warunkach pogodowych, nie zaś średnia sezonowa temperatura powietrza.



Rys. 1. Zmiany w oddziaływaniu czynników radiacyjnych w związku ze wzrostem koncentracji gazów szklarniowych w świetle czterech scenariuszy opracowanych przez I Grupę Roboczą IPCC. Uwzględniono udział procentowy poszczególnych gazów w kształtowaniu Siły Sprawczej Efektu Ciepłarnianego (Siegenthaler i Sanhuez 1991).

W scenariuszu emisji A tempo zmian temperatury będzie przekraczało tempo odpowiednich zmian, jakie zachodziły na Ziemi w okresie holocenu, zaś związany



Rys. 2. Obszary wybrane dla IPCC do określenia cech regionalnych zmian klimatu względem okresu sprzed rewolucji przemysłowej (Houghton 1991).

z tym wzrost poziomu mórz będzie o 3–6 razy szybszy aniżeli znany z ostatnich 100 lat.

Tabela 3

Przewidywane zmiany stosunków termicznych i opadowych względem okresu sprzed rewolucji przemysłowej w wybranych obszarach kuli ziemskiej (Houghton 1991)

Obszar	Temperatura	Opady	Zasoby wilgoci glebowej
Centralna Ameryka Północna 35–50°N, 85–105°E	Ocieplenie zimą o 2–4°C Ocieplenie latem o 2–3°C	Wzrost zimą do 15% Spadek latem o 5–10%	Spadek w lecie o 15–20%
Azja Południowa 5–10°N, 70–105°E	Ocieplenie o 1–2°C w ciągu roku	Opady zimą niemal bez zmian, w lecie wzrost o 5–15%	Wzrost w lecie o 5–10%
Sahel 10–20°N, 20°W–40°E	Ocieplenie o 1–3°C	Bardzo zróżnicowane w skali regionu	Bardzo zróżnicowane w skali regionu
Południowa Europa 35–50°N, 10°W–45°E	Ocieplenie o 2°C zimą, 2–3°C w lecie	Prawdopodobny wzrost opadów w zimie, spadek opadów w lecie o 5–15%	Spadek w lecie o 15–25%
Australia 12–45°S, 110–115°E	Ocieplenie o 1–2°C w lecie i o około 2°C w zimie	Wzrost opadów w lecie o około 10%	Duże wahania w skali regionu

SKUTKI EFEKTU CIEPLARNIANEGO DLA EKOSYSTEMÓW

Globalnie uśrednione dane termiczne dla okresu badań instrumentalnych (rys. 3) dla łądu i oceanu wykazują trend wzrostowy, przy czym już na ich podstawie można mówić o regionalnej i sezonowej zmienności efektu cieplarnianego. Średnio temperatura powietrza przy powierzchni Ziemi wzrosła o $0,3^{\circ}$ – $0,6^{\circ}$ C w ciągu 100 lat. Jest to wielkość, która może być rezultatem oddziaływania naturalnych czynników klimatotwórczych. Jednakże, akceptując istotną rolę wpływu gazów szklarniowych, można uznać ją — w świetle wyników modelowania klimatu — za sygnał, że pewne regiony na Ziemi doznają istotnych zmian w związku z postępującym ociepleniem. Znajdzie to wyraz w przesunięciach stref klimatycznych i progresywnym ograniczeniu powierzchni lasów borealnych, wyeliminowaniu zbiorowisk tundry i rozszerzeniu areалу pustyń i stepów (Schönwiese, Diekmann 1990; rys. 4). Lasy borealne, tundra oraz ekosystemy strefy suchej i półsuchej są szczególnie wrażliwe na zmiany klimatu. Przy ociepleniu można się spodziewać przesunięcia granic odpowiednich stref klimatyczno-roślinnych o kilkaset kilometrów na północ (Izrael 1991). Zastanawiające jest, czy wszystkie gatunki przewodnie dla ekosystemów będą mogły nadażyć z adaptacją do nowego układu czynników siedliskowych. Być może, że niektóre z nich, szczególnie w wyższych szerokościach, będą podlegać eliminacji i wobec tego nastąpi ogólne zubożenie flory planety. Największych zmian (do 20% składu) w tym względzie należy spodziewać się w ekosystemach pustyń, tundry i lasów borealnych. Zmiany naturalnych ekosystemów będą miały reperkusje dla kształtowania warunków społeczno-ekonomicznych w różnych strefach klimatycznych na Ziemi.

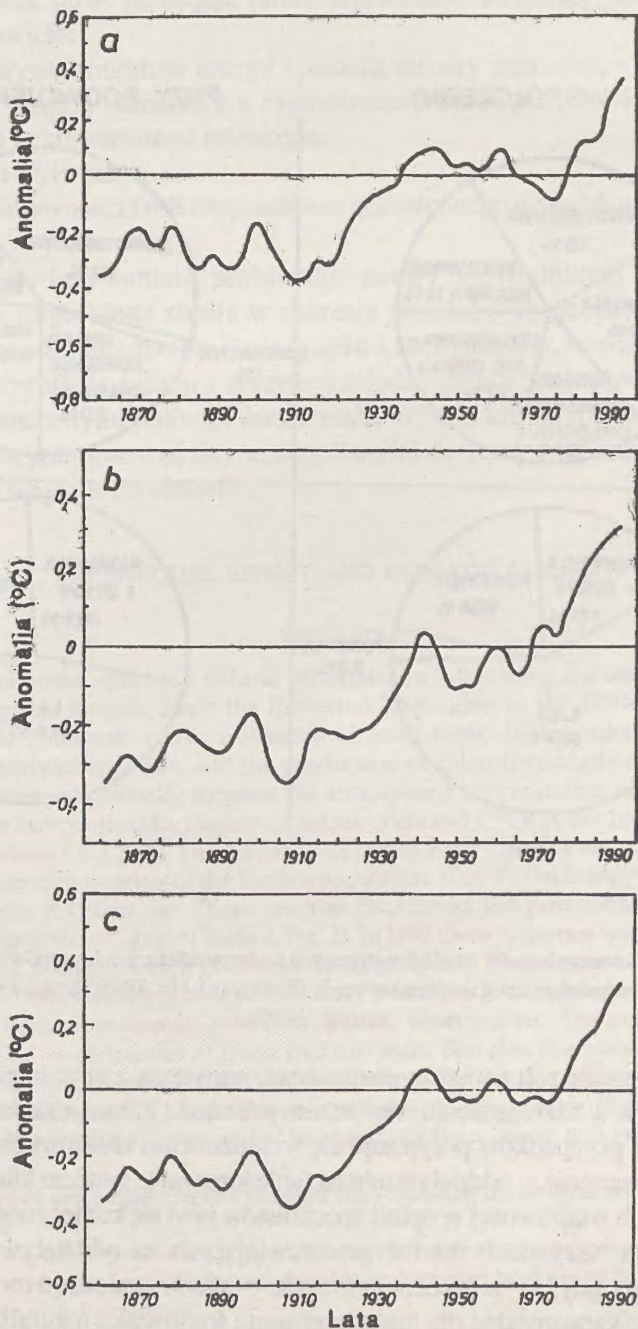
UWAGI KOŃCOWE

Raport IPCC z 1992 roku zawiera szereg refleksji i wątpliwości dotyczących wyników prac związanych z oddziaływaniem efektu cieplarnianego i jego skutków dla środowiska i dla społeczno-ekonomicznej sfery życia mieszkańców Ziemi.

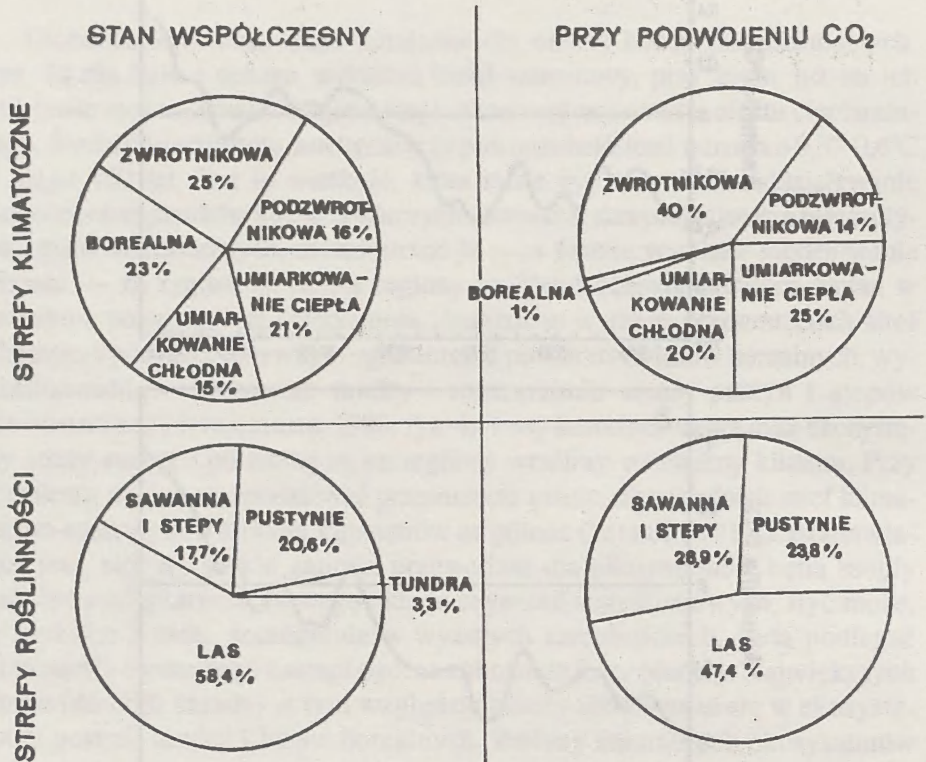
Jako niezaprzeczalne fakty autorzy raportu przyjmują funkcjonowanie efektu cieplarnianego i możliwość ingerencji człowieka w skład chemiczny atmosfery przez zmianę zawartości gazów szklarniowych ze wszystkimi możliwymi tego konsekwencjami. Jako dyskusyjne traktują natomiast następujące zagadnienia:

— możliwość przewidywania tempa, rozmiarów i natężenia zmian regionalnych klimatu,

— odróżnienie (przy obecnym zasobie materiałów źródłowych na temat klimatu) skutków naturalnej zmienności klimatu i tzw. „szumu informacyjnego” od rzeczywistych tendencji w przebiegu temperatury i innych elementów klimatu,



Rys. 3. Łączne zmiany temperatury lądu, powietrza i powierzchni oceanu w okresie 1861–1991, przedstawione jako odchylenia względem średniej z okresu 1951–1980. Oznaczenia: a–półkula północna, b–półkula południowa, c–glob ziemski (Folland i in. 1992).



Rys. 4. Udział powierzchniowy stref klimatycznych i odpowiadających im typów roślinności obecnie i po podwojeniu stężenia dwutlenku węgla (Emanuel i in. 1985; Schönwies i Diekmann 1990).

— wyjaśnienie roli aerozolu siarczanego, zapylenia związanego z działalnością wulkanów w kształtowaniu współczesnych zmian klimatycznych, jakkolwiek w większości przypadków przypisuje się wzmożonemu efektowi cieplarnianemu dominujące znaczenie w oddziaływaniu na funkcjonowanie systemu klimatycznego.

Mimo tych wątpliwości w opinii specjalistów jawi się konieczność poważnego potraktowania wszystkich faktów przemawiających za oddziaływaniem efektu cieplarnianego, gdyż — w przeciwnym razie — skutki zaniedbań mogą w krótkim czasie stać się katastrofalne dla funkcjonowania środowiska naturalnego i ekorozwoju.

W celu rozstrzygnięcia tych dylematów należy podjąć prace badawcze i zastosować do nich najnowsze techniki obserwacyjne i numeryczne, co w efekcie

powinno wnieść nowe pełniejsze informacje do modeli ogólnej cyrkulacji. Dotyczy to mianowicie:

— przepływu strumieni energii i materii między atmosferą a powierzchnią oceanu oraz między atmosferą a ekosystemami lądowymi, szczególnie lasami tropikalnymi i ekosystemami rolniczymi,

— tempa wylesiania,

— produktywności i roli fitoplanktonu oceanicznego w pochłanianiu dwutlenku węgla.

Poza rozwiązywaniem problemów natury przyrodniczej konieczne są jednoczesne pogłębione studia w zakresie procesów społecznych, technologicznych i ekonomicznych w skali krajów i kontynentów, bowiem jak najpełniejsza interpretacja relacji i sprzężeń między klimatem a procesami społeczno-ekonomicznymi pozwoli udoskonalić wyniki klimatycznych badań modelowych i wyeliminować liczne wątpliwości dotyczące informacji wprowadzanych na wejściu do modeli.

GREENHOUSE EFFECT AND CLIMATIC CHANGES

Summary

The greenhouse effect is a natural phenomenon influencing the temperature of the Earth-Atmosphere system. Since the Industrial Revolution in the 1850s it undergoes a change (Table 1), because of the utilisation of fossil fuels, deforestation of the tropical rainforests, cultivation of rice, and the production of chlorofluorocarbons (CFCs). These human activities substantially increase the atmospheric concentration of the greenhouse gases, such as carbon dioxide, methane, nitrous oxide and CFCs. A doubled concentration of CO₂ is predicted for 2030. The scenarios of the climatic changes are elaborated on the basis of the foreseen number of the Earth's population (Fig. 1), the energy use, and the life standard in the XXI century. There are also considered the possibilities to reduce the emission of greenhouse gases (Table 2, Fig. 2). In 1992 these scenarios were verified by the IPCC Working Group I which produced update Reports. The impact of the greenhouse effect for the climatic changes may be estimated by the models of global circulation and on the basis of indirect meteorological instrumental observations. The author proved the advantages and uncertainties of these two methods. She also discusses the domains of investigations which should be developed to improve the results obtained by models. She presented the hitherto established effects of the global changes of the surface air temperature (Fig. 3) and the predicted changes in the pattern of the climatic and vegetational zones (Table 3, Fig. 4).

To improve the modelling she thought the following investigations as indispensable to determine:

- the flow of energy and exchange of matter between the atmosphere and the surface of the ocean, as well as between the atmosphere and land ecosystems,
- the rate of deforestation,
- the productivity and role of phytoplankton on the oceans in absorbing carbon dioxide.

LITERATURA

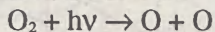
- Annex, 1991. *Emissions scenarios from Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Proceedings of the Second World Climate Conference, Cambridge Univ. Press; 45.
- Bolin B., 1991. *The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, Proceedings of the Second World Climate Conference, Cambridge Univ. Press; 19–22.
- COHMAP members, 1988. *Climatic changes of the last 18000 years: observations and model simulations*. Science, 241, 1043–1052.
- Flohn H., 1973. *Globale Energiebilanz und Klimaschwankungen*. Bonn, Meteorol. Abhandl. (Sonderheft).
- Folland C. K., Karl T. R., Nicholls N., Nyenzi B. S., Parker D. E., Vinnikov K. Ya, 1992. *Observed climate variability and change*, Proceedings of the Second World Climate Conference, Cambridge Univ. Press; 135–170.
- Houghton J. T., 1991. *Scientific Assessment of Climate Change, Summary of the IPCC Working Group I Report*, Proceedings of the Second World Climate Conference, Cambridge Univ. Press; 23–46
- IPCC Scientific Assessment, 1992. Cambridge Univ. Press.
- 1992 IPCC Supplement. *Scientific Assessment of Climate Change*. WMO, UNEP; 24 pp.
- Isaksen I. S. A., Ramaswamy V., Rodhe H., Wigley T. M. L., 1991. *Radiative forcing of climate*, Proceedings of the Second World Climate Conference, Cambridge Univ. Press; 47–68.
- Izrael Yu, 1991. *Climate change impact studies: IPCC Working Group II Report*, Proceedings of the Second World Climate Conference, Cambridge Univ. Press; 83–86.
- Jones M. D. H., Henderson-Sellers A., 1990. *History of the greenhouse effect*. Progress in Physical Geography, 14, 1, 1–18.
- Mannion A. M., 1991. *Global environmental change*. Longman Scientific & Technical, Hong Kong; 404 pp.
- Mitchell J. F. B., Zeng Qingcun, 1991. *Climate change prediction*, Proceedings of the Second World Climate Conference, Cambridge Univ. Press; 59–70.
- Ojima D. (red.), 1992. *Modeling the Earth system*, UCAR, Boulder/Colorado; 488 pp.
- Parlow E., 1991/1992. *Aktuelle Klimaprobleme*. Vorlesungsskript, Geographisches Institut, Universität Basel.
- Schneider S. H., 1990. *The global warming debate heats up: an analysis and perspective*, Bull. American Meteorological Society, 71, 9, September; 1292–1304.
- Schönwiese C. D., Diekmann B., 1990. *Der Treibhauseffekt. Der Mensch ändert das Klima*. Rohwolt, Reinbeck bei Hamburg.
- Siegenthaler U., Sanhueza E., 1991. *Greenhouse gases and other climatic forcing agents*, Proceedings of the Second World Climate Conference, Cambridge Univ. Press; 47–58.

ANIELA DZIEWULSKA-ŁOSIOWAInstytut Geofizyki PAN
Warszawa**REGINA HRYNIEWICZ**Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej
Warszawa

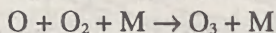
OZON W STRATOSFERZE I TROPOSFERZE

Cząsteczki ozonu występują w atmosferze, w warstwie sięgającej od powierzchni Ziemi do wysokości około 100 km, a więc w troposferze, stratosferze i mezosferze. W warstwie najniższej — troposferze zawartość ozonu jest niewielka, stanowi zaledwie kilka do kilkunastu procent całkowitej zawartości ozonu w atmosferze. Maksymalne koncentracje ozonu występują w stratosferze, rozciągającej się od tropopauzy (na wysokościach od 8 do 17 km, zależnie od szerokości geograficznej) do wysokości około 50 km. W warstwie powyżej 50 km — w mezosferze następuje już szybki eksponencjalny spadek koncentracji ozonu. Zmienność pionowego rozkładu ozonu w zależności od szerokości geograficznej i pory roku przedstawia rysunek 1.

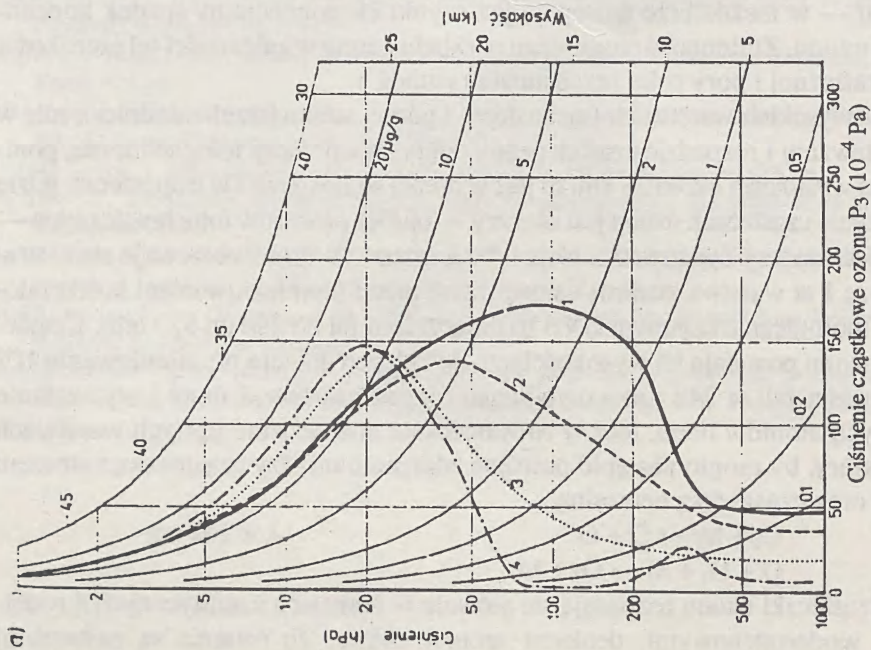
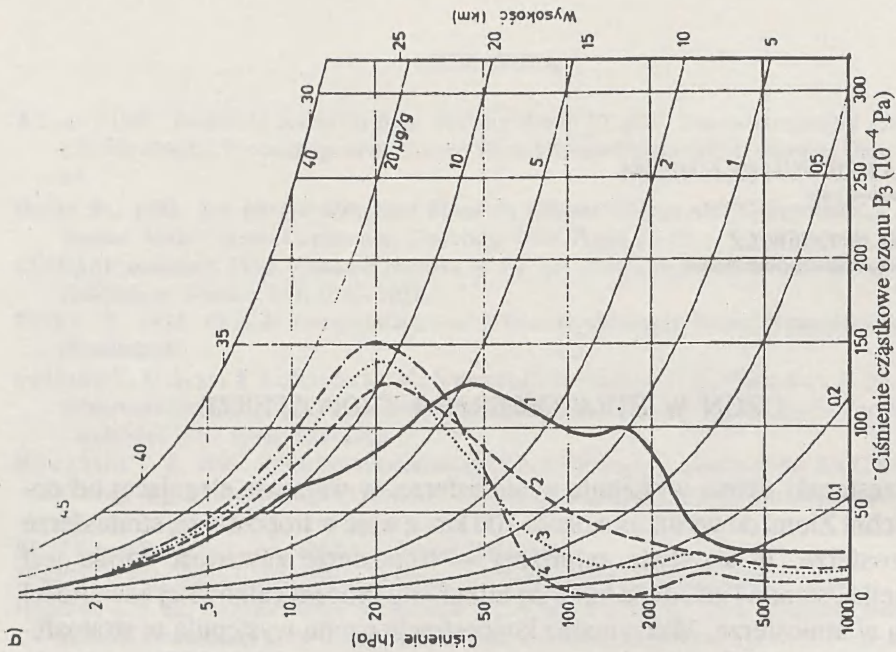
W wysokich warstwach (mezosferze i górnej stratosferze) zasadniczą rolę w powstawaniu i rozpadzie cząstek ozonu odgrywają procesy fotochemiczne, poniżej zaś wysokości około 25 km, to jest w dolnej stratosferze i w troposferze, gdzie czas życia cząsteczek ozonu jest dłuższy — oprócz procesów fotochemicznych — również procesy dynamiczne. Największą zawartość ozonu obserwuje się w stratosferze i ta warstwa stanowi osłonę Ziemi przed promieniowaniem krótkofalowym biologicznie czynnym UVB (o długościach fal od 280 do 320 nm). Cząsteczki ozonu powstają na wysokościach, do których dociera promieniowanie UV o długości fali < 242 nm, powodujące rozpad cząsteczki tlenu i wyzwalamie wolnych atomów tlenu, lecz w równocześnie dostatecznie gęstych warstwach atmosfery, by mogło nastąpić potrójne zderzenie między cząsteczką i atomem tlenu oraz cząsteczką neutralną.



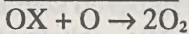
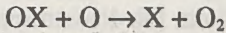
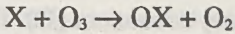
$$\lambda < 242 \text{ nm}$$



Cząsteczki ozonu rozpadają się głównie w reakcjach katalitycznych z rodnikami wodorotlenowymi, tlenkami azotu i chloru. Te ostatnie są najbardziej efektywne:

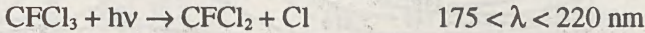


Rys. 1. Profile pionowego rozkładu ciśnienia cząstkowego w dwóch wybranych miesiącach: a) kwietniu, b) wrześniu na stacjach położonych w różnych szerokościach geograficznych: 1 — Resolute ($74^{\circ}43'$), 2 — Belsk ($51^{\circ}50'$), 3 — New Delhi ($28^{\circ}38'$), 4 — Leopoldville ($3^{\circ}S$).

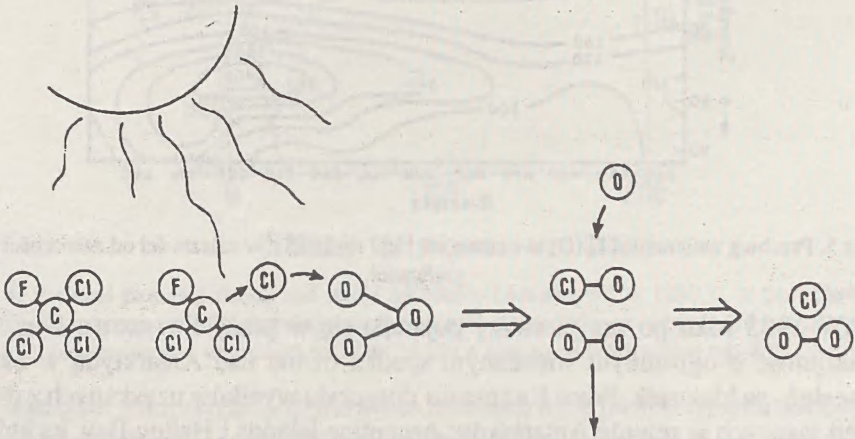


gdzie X oznacza rodnik wodorotlenowy (OH), tlenek azotu (NO) lub atom chloru (Cl), przy tym najszybszy łańcuchowy rozpad ozonu powstaje w reakcjach z chlorem.

W latach siedemdziesiątych stwierdzono, że w górnej stratosferze na wysokościach od 20 do 40 km wzrost zawartości atomów chloru powstaje z rozpadu, produkowanych na Ziemi i powoli dyfundujących do stratosfery freonów, pod wpływem promieniowania krótkofalowego Słońca:

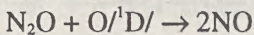


Dalsze reakcje katalityczne powodują łańcuchowy rozpad ozonu. Każdy atom chloru może spowodować w wyniku wielu reakcji łańcuchowych rozpad tysięcy cząsteczek ozonu (rys. 2).



Rys. 2. Opis rysunku w tekście.

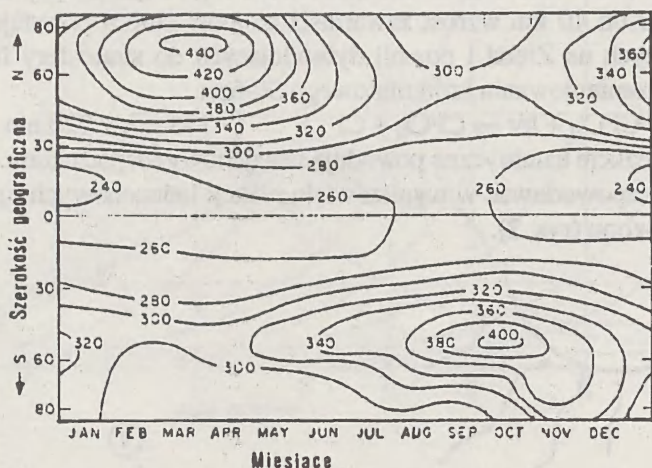
Źródłem tlenku azotu w stratosferze, powodującego rozpad ozonu, jest stale wzrastająca emisja podtlenku azotu (N₂O) w wyniku stosowania coraz większych ilości nawozów azotowych w rolnictwie. Powstaje on w glebie i wodzie oceanów w wyniku aktywności bakterii nityfikacyjnych. Emisja tego związku wzrasta około 0,4% rocznie. W troposferze związek ten jest mało aktywny, podobnie jak freony, i dopiero w stratosferze ulega reakcji:



i dalej utlenia się do NO₂. Antropogeniczne zanieczyszczenia: freony i podtlenek azotu powodują spadek zawartości ozonu w stratosferze, natomiast metan sprzyja wzrostowi całkowitej zawartości ozonu.

Ozonu w atmosferze jest stosunkowo bardzo mało. Całkowita zawartość ozonu (Ω) wyrażona grubością warstwy zredukowanej do ciśnienia normalnego i do temperatury 0°C wynosi średnio około 0,3 cm, co stanowi 6 × 10⁻⁵ całkowitej masy

atmosfery. W praktyce używa się jednostki zwanej dobsonem (D). Jeden dobson oznacza grubość warstwy ozonu wynoszącej 10^{-3} cm lub 1 matm-cm. Całkowita zawartość ozonu ulega dużemu zróżnicowaniu w zależności od szerokości geograficznej i pory roku. Największe wartości Ω obserwuje się w okolicach biegunów, tam też występuje największa zmienność w przebiegu rocznym (rys. 3). W naszych szerokościach geograficznych średnie wartości dzienne wahają się od 450 D wczesną wiosną do 270 D późną jesienią.



Rys.3. Przebieg zmienności Ω (D) w okresie od 1957 do 1975 r. w zależności od szerokości geograficznej.

W 1985 roku po raz pierwszy pojawiła się w pracy Farmana i in. 1985 wiadomość o ogromnym wiosennym spadku ozonu nad Antarktydą w okresie wrzesień–październik. Praca Farmana dotyczyła wyników uzyskanych z dwóch stacji leżących w rejonie Antarktydy: Argentine Islands i Halley Bay, na których pomiary prowadzono od 1957 roku. Przykład spadku zawartości ozonu w dolnej stratosferze przedstawiono na rysunku 4.

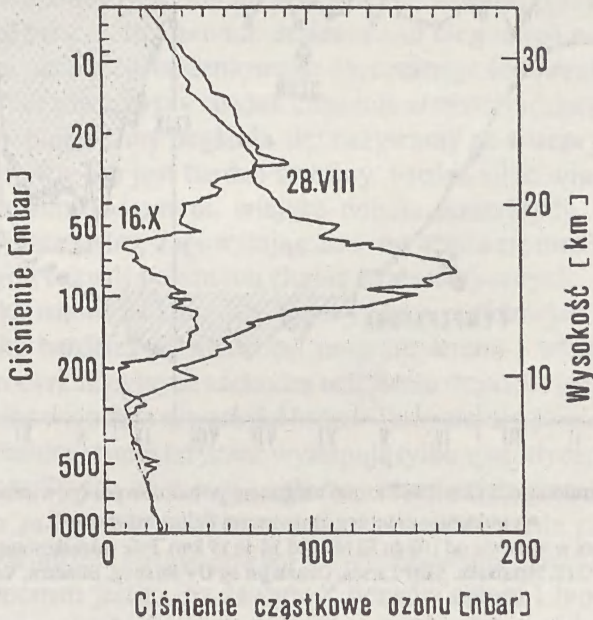
Dziura ozonowa pojawia się co roku nad Antarktydą wczesną wiosną w okresie sierpień–wrzesień od momentu „powrotu” Słońca do tych szerokości geograficznych i nagłego wzrostu absorpcji promieniowania słonecznego przez ozon. W miarę wzrostu wysokości Słońca podnosi się temperatura powietrza nad Antarktydą (rys. 5).

Minimalne dzienne wartości Ω za ostatnie lata na południe od 30°S pokazano na rysunku 6.

Poza rokiem 1988, gdy dziura obejmowała mniejszą powierzchnię i spadki zawartości ozonu były mniejsze, w ciągu lat 1987–1992 spadki Ω były zbliżone. Największy spadek zaobserwowano w 1992 roku, gdy całkowita zawartość ozonu spadła do 105 D i obejmował on największą jak dotąd powierzchnię.

Zmienność wielkości dziury ozonowej z roku na rok jest bardzo duża. Zmienność ta jest związana zarówno ze zmianami procesów makrocyrkulacyj-

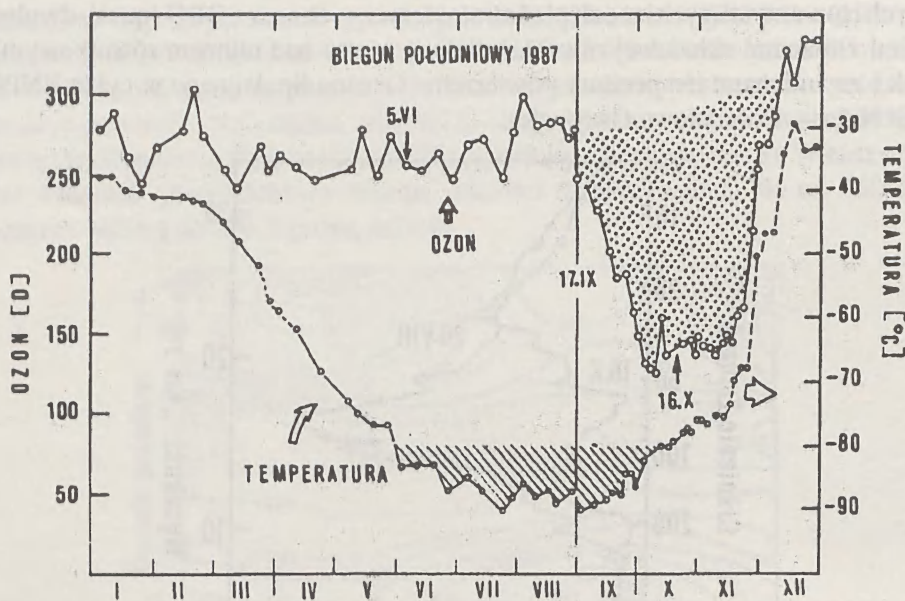
nych i towarzyszących im ociepleń stratosferycznych oraz z OBO (quasi-dwuletnimi zmianami składowej równoleżnikowej wiatru nad rejonem równikowym), jak i ze zmianami temperatury powierzchni Oceanu Spokojnego w cyklu ENPO (El Niño — Południowe Oscylacje).



Rys. 4. Rozkład pionowy ozonu nad stacją McMurdo (Antarktyda) w 1986 r., w początkowym stadium dziury ozonowej (28 sierpnia) oraz w czasie jej maksymalnego rozwoju (16 października). Temperatury na wysokości od 14 do 18 km w obu wypadkach niższe od -80°C .

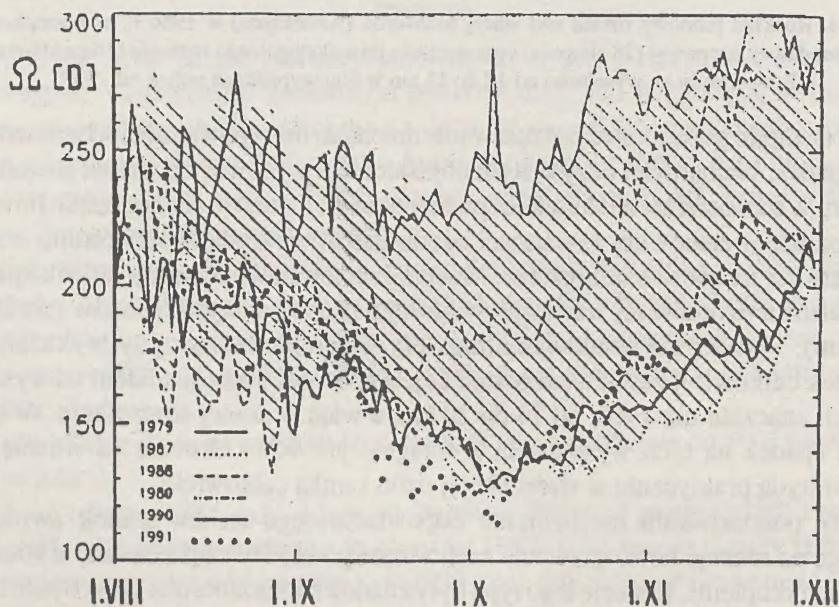
Nastąpiło gorączkowe poszukiwanie mechanizmów powodujących stwierdzony spadek. Najbardziej oczywistym objaśnieniem wydawał się wzrost zawartości chloru w stratosferze, na skutek rozpadu freonów i halonów. Jednocześnie bowiem ze spadkiem całkowitej zawartości ozonu nad Antarktydą obserwowano wzrost zawartości freonów w atmosferze. Mechanizm ten powodowałby jednak spadek zawartości ozonu w tej warstwie, w której następuje rozpad freonów (od 20 do 40 km). Wyniki zaś sondowań atmosfery w rejonie Antarktydy wykazały, że spadek całkowitej zawartości ozonu Ω jest spowodowany spadkiem na wysokościach znacznie niższych, od 14 do 20 km, a więc w dolnej stratosferze. W 1985 roku spadek na tych wysokościach osiągnął już 40%. Obecnie na wiosnę nad Antarktydą praktycznie w warstwie tej ozon zanika całkowicie.

W poszukiwaniu mechanizmu odpowiadającego za ten spadek zwrócono uwagę na reakcje heterogeniczne zachodzące pomiędzy cząsteczkami o różnych stanach skupienia. Reakcje tego typu były znane z badań laboratoryjnych jako efekt występujący na ściankach. Takimi ściankami w atmosferze polarnej mogą być powierzchnie kryształków chmur stratosferycznych zawierających duże ilości trójwodnego kwasu azotowego ($\text{HNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), kwasu siarkowego oraz małe



Rys. 5. Przebieg zmienności Ω w 1987 r. nad biegunem południowym (powierzchnia zakropkowana pokazuje przebieg zmienności dziury ozonowej).

Średnia temperatura w warstwie od 100 do 50 hPa (od 14 do 19 km). Pole zakreskowane pokazuje wielkość $T \leq -80^{\circ}\text{C}$ (T. Henriksen, SHH Larsen, Ozonlaget og UV Straling, Blindern, Varen 1989).



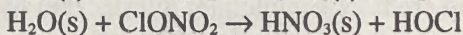
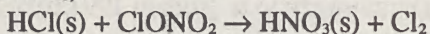
Rys. 6. Minimalne dobowe wartości Ω na południu od 30°S od sierpnia do grudnia. Powierzchnie zakreskowane pokazują, w zakresie jakich wartości minima dobowe zmieniają się od 1979 do 1990 r.

reaktywnych związków chloru i bromu. Ilość chmur stratosferycznych w miesiącach zimowych (lipiec–wrzesień) wzrasta nad Antarktydą, gdy temperatura na wysokościach około 20 km spada nawet poniżej -90°C .

W rejonie Antarktydy występują specyficzne warunki sprzyjające gromadzeniu się tlenków chloru i bromu. Jesienią nad biegunami na skutek coraz większego kąta padania promieniowania słonecznego temperatura powietrza obniża się, czemu towarzyszy spadek ciśnienia atmosferycznego. Tworzy się cyklon, który w ciągu zimy pogłębia się: nazywamy go wirami nocy polarnej. Nad Antarktydą wir ten jest bardzo stabilny, bardzo silne wiatry, zwłaszcza w okresie wczesnowiosennym, wiejące dokoła Antarktydy, odseparowują powietrze wewnątrz wiru, zapewniając utrzymywanie się niskich temperatur umożliwiających rozwój polarnych chmur stratosferycznych.

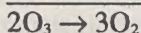
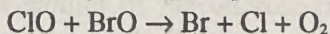
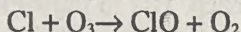
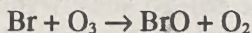
Nad Arktyką natomiast zimą wir polarny ulega częściowym rozpadom, bowiem w wyniku bardziej urozmaiconej orografii terenu i większego wpływu procesów makrocyrkulacyjnych zachodzą ocieplenia stratosferyczne, charakteryzujące się również wzrostem zawartości ozonu. Temperatura powietrza nie spada tak znacznie, chmury stratosferyczne występują tylko sporadycznie. Na wiosnę, z chwilą powrotu Słońca, następuje nagły wzrost natężenia promieniowania słonecznego, a co za tym idzie i absorpcji tego promieniowania przez ozon oraz rozpad wiru. Warunkiem dużego spadku Ω (występowania dziury ozonowej) nad biegunem północnym jest to, by zawartość tlenków chloru i bromu ClO i BrO utrzymywała się przy niskich temperaturach powietrza aż do miesięcy wiosennych (luty—marzec) tak, by mogły nastąpić reakcje heterogeniczne na stratosferycznych chmurach polarnych. Na rysunku 7 pokazano, jak bardzo zmienną wartością jest temperatura powietrza w rejonie Arktyki.

Wyniki badań laboratoryjnych wykazały, że powierzchnie aerozolu w chmurach stratosferycznych wpływają bardzo efektywnie na przekształcanie się związków trwałych chloru, takich jakimi są ClONO₂ i HCl, w związki bardziej reaktywne, jak Cl₂ i HOCl, z których atomy chloru są wyzwalane w procesach fotolizy. Równocześnie ze spadkiem temperatury następuje spadek koncentracji tlenków azotu (głównie NO₂), powodujących wzrost zawartości długożyciowego kwasu azotowego (HNO₃):



gdzie (s) oznacza fazę stałą lub ciekłą.

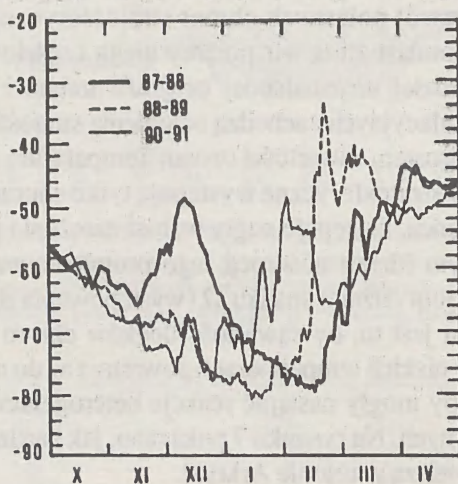
Na kryształkach chmur zachodzą również heterogeniczne reakcje łańcuchowe powodujące wydzielanie się tlenku chloru (ClO) i tlenku bromu (BrO) i wpływające na rozpad ozonu:



Ten ostatni cykl zachodzi wówczas, gdy zawartość tlenków azotu NO_x jest mała. Jeśli ten warunek nie jest spełniony, powstaną tlenki chloru ClONO_2 oraz bromu BrONO_2 .

W ciągu ostatnich lat obserwowano nie tylko wzrost obszaru dziury ozonowej nad Antarktydą, ale i powolny spadek Ω zimą w dużych i średnich wysokościach geograficznych półkuli północnej: największe spadki rzędu 10% na dekadę obserwowano na wysokościach około 20 km.

W styczniu 1992 r. wybuchła panika spowodowana doniesieniami międzynarodowych organizacji (NASA, UNEP i in.) o zarejestrowaniu gwałtownego wzrostu zawartości tlenków chloru oraz spadku całkowitej zawartości ozonu ponad ośrodkiem wiru polarnego przesuniętego w tym czasie nad północną Kanadę oraz



Rys. 7. Dobowe wartości temperatury powietrza na powierzchni 50 hPa w szerokości geograficznej 80°N .

dotąd nie występującym spadkiem Ω nad rejonami równikowymi, co stanowiło duże zaskoczenie. Wobec tego dziennikarze wysnuli wnioski o spodziewanym apokaliptycznym wzroście natężenia promieniowania UV-B przy powierzchni Ziemi już w marcu tegoż roku. W Polsce na podstawie wyników pomiarów w Obserwatorium Geofizycznym w Belsku zauważono w grudniu 1991 roku zmniejszenie Ω , w styczniu odchylenia od średniej wieloletniej miesięcznej były już rzędu 20% (w dniu 28 stycznia nawet chwilowy spadek do 193 D, a więc o 40%). Jednak w lutym spadek był już mniejszy, około 10% od średnich wieloletnich zawartości ozonu.

Przypuszczano początkowo, że na tak gwałtowny spadek Ω w średnich szerokościach geograficznych mógł wpłynąć bardzo silny wybuch wulkanu Pinatubo w dniu 15 czerwca 1991 r. na Filipinach. Był to największy wybuch w ostatnim stuleciu, do atmosfery przedostało się 20 milionów ton siarki. Wpływ silnego wybuchu wulkanicznego na spadek Ω obserwowano bowiem już wcześniej: od grudnia 1982 r. do kwietnia 1983 r. po trzykrotnie słabszym wybuchu

wulkanu El Chichón w Meksyku. Stwierdzono wówczas, spowodowany przez wybuch, spadek Ω w średnich szerokościach geograficznych rzędu 2–4%.

Jednakże, jak się obecnie okazało, wpływ chmury powybuchowej wulkanu Pinatubo spowodował nieznaczny stosunkowo spadek w dużych i średnich szerokościach, objawił się natomiast wyraźnie w spadku Ω w strefie równikowej.

Ustalono w badaniach laboratoryjnych, że podobne reakcje, jakie zachodzą na kryształkach chmur stratosferycznych, mogą również zachodzić na cząstkach aerozolu pochodzenia naturalnego i antropogenicznego.

Stwierdzono również w średnich szerokościach geograficznych ogromny wzrost koncentracji dwutlenku i tlenków chloru w ilości wystarczającej do spowodowania rozpadu ozonu oraz spadek zawartości tlenków azotu. Analiza zmian temperatury na powierzchni 50 hPa wykazała, że w grudniu 1991 r. nastąpiło ocieplenie stratosferyczne nad Wyspami Aleuckimi i nad Kamczatką (które później uległo rozszerzeniu na większy obszar). W dniu 11 stycznia temperatura osiągnęła wartość około -38°C . Natomiast chłodne powietrze z nad bieguna przesunęło się w stronę mniejszych szerokości geograficznych, a temperatura spadła do -81°C (rys. 8a).

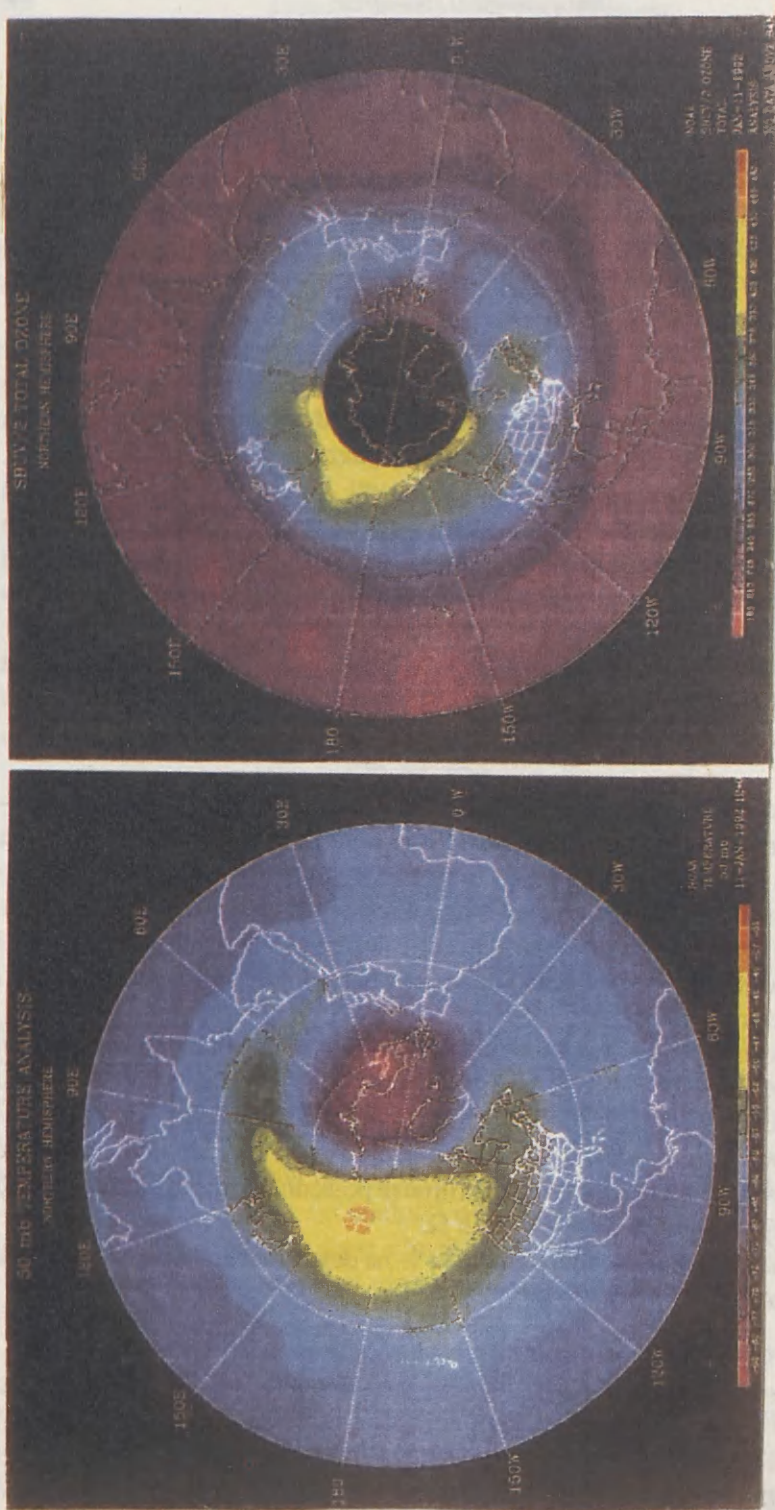
Zmiana w polu temperatury wpłynęła na zmiany Ω zarejestrowane przez satelitę NOAA-11. W dniu 11 stycznia 1992 r. największe wartości Ω (około 430 D) obserwowano nad Kamczatką, a najniższe (około 235 D) nad Anglią (rys. 8b).

W ciągu ostatnich lat nastąpił nie tylko wzrost dziury ozonowej nad Antarkydą, ale i bardzo powolny stały spadek Ω (tzw. trend) zimą w dużych i średnich szerokościach półkuli północnej poza obrębem wiru polarnego. Jedyne w rejonie równikowym od 25°N do 25°S takich długookresowych zmian nie widać. Po raz pierwszy na początku 1990 r. zaobserwowano również istotny spadek koncentracji ozonu w dolnej stratosferze wiosną i latem w średnich i wysokich szerokościach geograficznych obu półkul.

Obecnie wyniki pomiarów potwierdzają hipotezę, że głównym mechanizmem powstawania dziury ozonowej oraz spadku Ω w wysokich i średnich szerokościach są procesy chemiczne związane ze wzrostem zawartości chloru i bromu w atmosferze, spowodowane produkcją antropogeniczną freonów i halonów. Obecność tych związków wpływa bezpośrednio i na drodze pośredniej (uczestnicząc w wielu cyklach reakcji) na obserwowany spadek Ω .

Ogólnie na półkuli północnej trend Ω w % na dekadę od 26°N do 64°N ocenia się następująco:

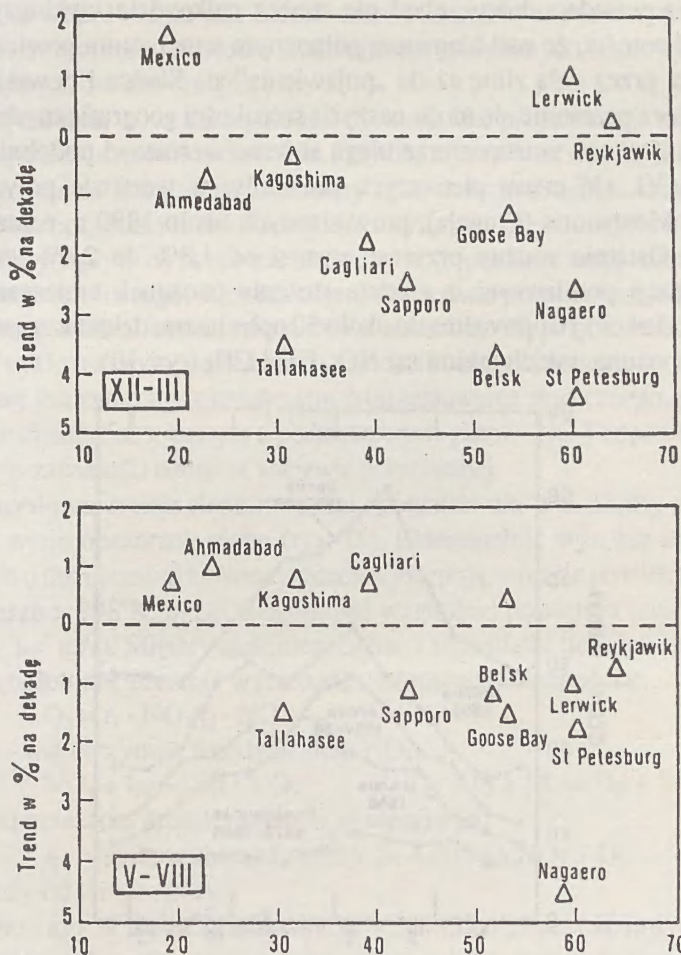
Miesiące	1970–1991	1979–1991
XII–III	-2,7	-4,7
V–VIII	-1,3	-3,3
IX–XI	-1,2	-1,2



Rys. 8a. Półkula północna. Temperatura powietrza na powierzchni 50 hPa w dniu 11 stycznia 1992 r.

Rys. 8b. Półkula północna. Całkowita zawartość ozonu (D) zmierzona z satelity NOAA-11 za pomocą aparatury SBUV/2 w dniu 11 stycznia 1992 r. Uwaga: brak danych w rejonie bieguna (oznaczony kolorem brązowym) jest spowodowany tym, że zimą do rejonu bieguna nie dochodzi promieniowanie słoneczne.

Nowym spostrzeżeniem jest stwierdzenie dużych różnic wartości trendu nie tylko w zależności od szerokości, ale również i od długości geograficznej (rys. 9).



Rys. 9. Zmiany Ω na dekadę na kilku stacjach otrzymane z pomiarów naziemnych w różnych szerokościach i długościach geograficznych (wyrażone w %) w miesiącach XII-III oraz V-VIII.

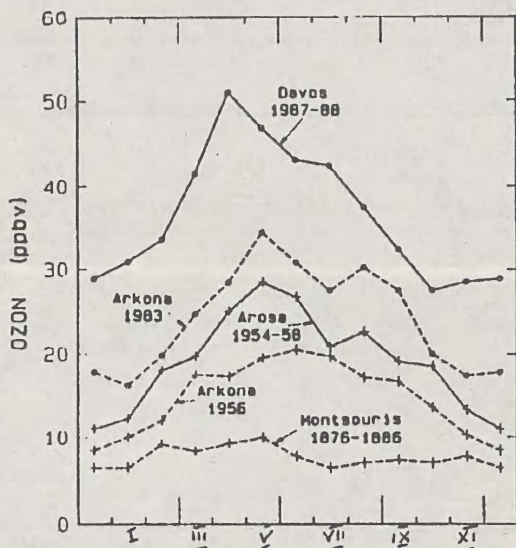
Wskazuje to na duże znaczenie procesów makrocyrkulacyjnych w kształtowaniu rozkładu całkowitej zawartości ozonu.

W pionowym rozkładzie spadek koncentracji ozonu na dekadę w dolnej stratosferze wynosi około 10%. Podobnej wielkości wzrost następuje w troposferze.

Spadki zawartości ozonu, stanowiące wynik wybuchu wulkanu Pinatubo, będą jeszcze widoczne przez parę lat. Niestety wpływ produkcji freonów F_{11} i F_{12} będzie wzrastał przez około 100 lat nawet wówczas, gdy produkcja tych związków będzie całkowicie wstrzymana w 2000 r. W tym wypadku maksymalny spadek Ω nastąpi około 2030 r., a powrót do warunków sprzed dużej produkcji — około 2070 r.

Spadek Ω tak duży, by zagrażał zdrowiu mieszkańców naszych szerokości geograficznych półkuli północnej przez wzrost natężenia promieniowania UV, jest bardzo mało prawdopodobny, choć nie można całkowicie wykluczyć takiego zbiegu okoliczności, że nad biegunem północnym temperatura powietrza będzie bardzo niska przez całą zimę aż do „pojawienia” się Słońca i powstanie dziura ozonowa, która przesunie się aż do naszych szerokości geograficznych.

Zawartość ozonu w troposferze ulega stałemu wzrostowi podobnie jak CO_2 , CH_4 , N_2O , CO . Od czasu pierwszych pomiarów w warstwie przyziemnej w Krakowie i Montsouris (Francja), prowadzonych około 1880 r., nastąpił wzrost 2–3-krotny. Ostatnio roczny przyrost wynosi od 1,3% do 2,4%, zależnie od położenia stacji pomiarowej, a średnie stężenie (stosunek zmieszania) ozonu zmienia się od około 10 ppbv zimą do około 50 ppbv latem, dzięki wzrostowi emisji prekursorów ozonu, takich jakimi są: NO_x , CO i CH_4 (rys. 10).



Rys. 10. Zmiany roczne zawartości ozonu w warstwie przyziemnej w Europie na podstawie danych historycznych i obecnych.

Zmiany zawartości ozonu w troposferze mają wpływ na bilans cieplny troposfery. Nie ma jednak jeszcze dotąd dobrego modelu opisującego wpływ zmian zawartości ozonu na przewidywane ocieplenie. Trzeba bowiem brać pod uwagę, prócz procesów fotochemicznych, również procesy dynamiczne, takie jak transport masy, ponieważ czas życia ozonu w troposferze jest stosunkowo bardzo długi. Odgrywają też rolę zmiany zawartości ozonu w dolnej stratosferze. Spadek zawartości ozonu powoduje bowiem wzrost natężenia promieniowania UV w troposferze.

Ozon w troposferze powstaje na skutek fotochemicznego utlenienia węglowodorów (głównie metanu) w obecności tlenków azotu (NO_x). Tlenki te działają jako

katalizatory. Zawartość NO_x w tych reakcjach stanowi więc pewien czynnik regulujący zmiany zawartości ozonu.

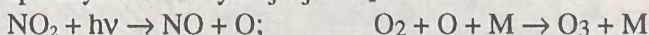
Rozkład źródeł ozonu jest bardzo nierównomierny, zależy w dużym stopniu od wielkości i rozkładu obszarów silnie uprzemysłowionych, stanowiących rejonu emisji wielu gazów antropogenicznych.

W troposferze, a w szczególności w warstwie przyziemnej, stężenie ozonu zmienia się w dość szerokim przedziale. Przyziemny ozon ma swe źródło pochodzenia naturalnego. Są to iniekcje ze stratosfery oraz reakcje fotochemiczne z udziałem tlenków azotu pochodzenia naturalnego oraz związków organicznych. Jednak obecnie coraz większy wpływ na tworzenie się ozonu w troposferze mają substancje pochodzenia antropogenicznego. Stężenia ozonu w warstwie przyziemnej mają swój dobowy i roczny przebieg. Maksimum dobowe obserwuje się w godzinach popołudniowych, a w cyklu rocznym w miesiącach letnich. Proces tworzenia się ozonu w warstwie przyziemnej jest związany z natężeniem promieniowania słonecznego, powodującym reakcje fotochemiczne z jednym z podstawowych gazów (NO_2) odpowiedzialnych za zwiększenie zawartości ozonu w warstwie przyziemnej.

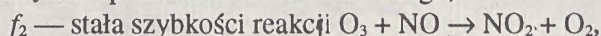
Przemysłowa emisja tlenków azotu spowodowała 2–3-krotny wzrost stężeń ozonu na wielu obszarach globu (rys. 11). Ekstremalnie wysokie stężenia ozonu w rejonach o dużej emisji zanieczyszczeń występują w masie powietrza o wysokiej temperaturze $> 298^\circ\text{K}$, małej wilgotności względnej powietrza oraz przy słabych wiatrach (3–6 m/s). Między stężeniem ozonu i stężeniami tlenków azotu ustala się równowaga fotochemiczna i wyraża się następującą zależnością:

$$\text{O}_3 = f_1 \cdot \text{NO}_2 / f_2 \cdot \text{NO}$$

gdzie f_1 — współczynnik fotodysocjacji NO_2



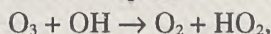
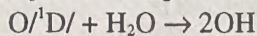
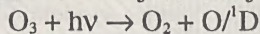
zależny od natężenia promieniowania słonecznego,



która zależy od temperatury.

Równowaga ta ulega zakłóceniu ze względu na obecność innych związków w troposferze jak metan, tlenek węgla, para wodna oraz duże stężenia aerozolu pochodzenia przemysłowego.

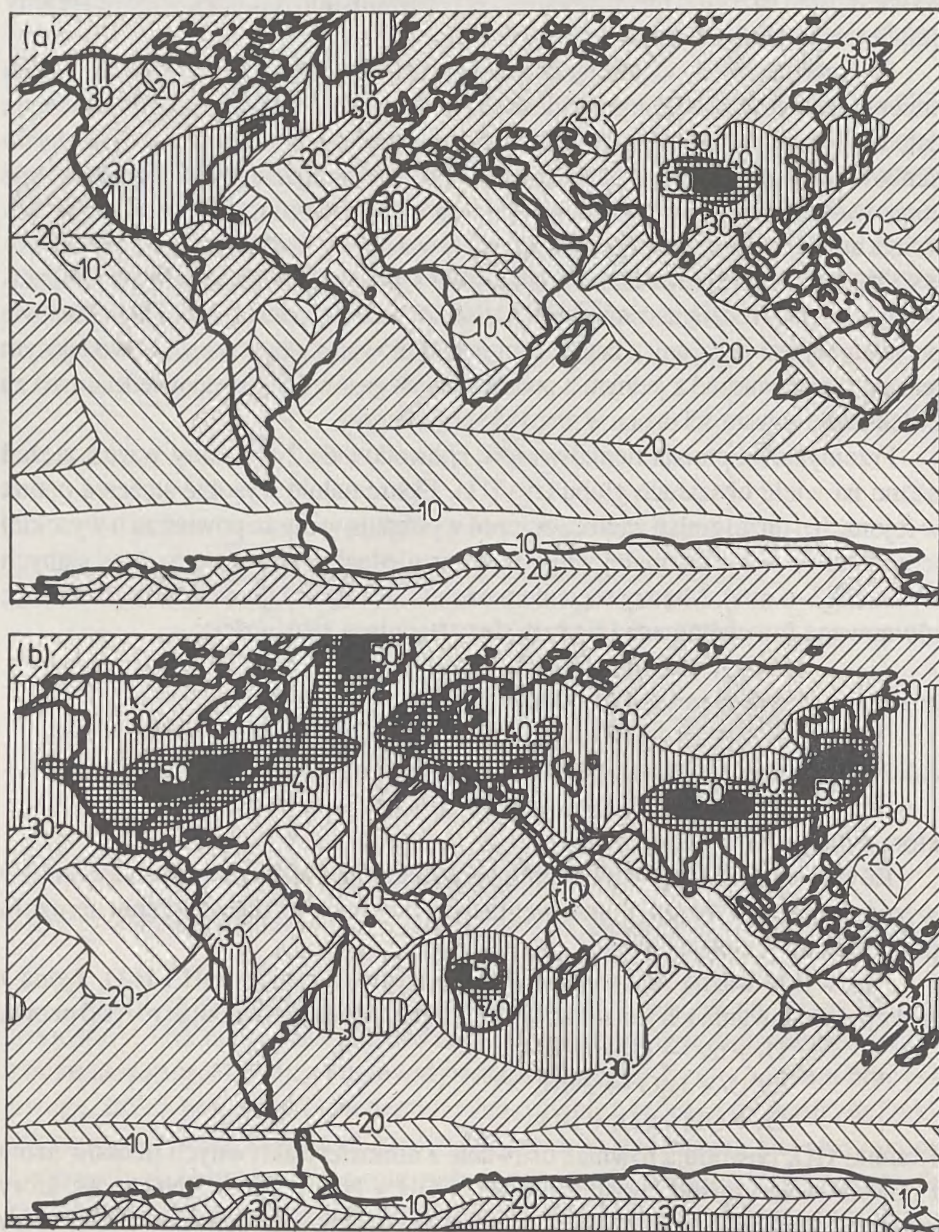
Niezwykle ważną rolę w troposferze odgrywają rodniki OH i H_2O . Jedną z reakcji powstawania ich jest reakcja ozonu z parą wodną powodując rozpad ozonu.



Rodniki HO_x powodują również usuwanie z atmosfery aktywnych tlenków azotu i powstawanie cząstek kwasu azotowego: $\text{OH} + \text{NO}_2 + \text{M} \rightarrow \text{HNO}_3 + \text{M}$, który rozpuszcza się w kroplach wody chmur i jest efektywnie usuwany z atmosfery wraz z opadami.

W rejonie o dużej emisji przemysłowej, gdzie stężenie aerozolu jest wysokie, następuje rozpad tych rodników na cząstkach aerozolu. Powoduje to zmniejszenie

procesów usuwania tlenków azotu z atmosfery. Dlatego też w powietrzu miast i rejonów przemysłowych o dużym stężeniu aerozolu następuje wyraźne zwiększenie takich zanieczyszczeń jak O_3 i CO oraz tlenków azotu.



Rys. 11. Rozkład ozonu w warstwie przyziemnej atmosfery (ppb) w czerwcu: a) bez uwzględnienia przemysłowej emisji NO_x , b) z uwzględnieniem tej emisji. (P. J. Crutzen, P. H. Zimmermann, Proc. EUROTRAC Symposium, Garmisch Partenkirchen, 2-5 April 1990).

Stosunkowo mało danych mamy z górnych warstw troposfery, a na tych wysokościach występuje emisja tlenków azotu w gazach spalinowych samolotów.

Wskutek gwałtownego rozwoju przemysłu, obecnie wpływ procesów fotochemicznych przeważa nad procesami transportu masy ze stratosfery, czego wynikiem może być przesunięcie się w ciągu ostatniego stulecia okresów występowania maksymalnych zawartości ozonu z wiosny do lata (patrz rys. 10).

Można dodać, że ozon w troposferze ma relatywnie większy wpływ na natężenia promieniowania UV-B przy powierzchni Ziemi niż ozon stratosferyczny, jednakże jest go stosunkowo bardzo mało.

OZONE IN THE STRATOSPHERE AND TROPOSPHERE

Summary

The paper presents results of measurements indicating that a spring decrease in the stratospheric ozone content occurs in recent years not only over the Antarctica (the site of the expanding ozone hole), but also over the Arctic region, or even at lower latitudes. Chemical and dynamical processes responsible for the fact that the greatest decay of ozone particles is observed over the Antarctica are described. The chemical agents are the emitted chlorofluorocarbons and nitrous oxide. Of major importance in the formation of ozone hole in the stratosphere over the Antarctica are stratospheric clouds, which develop in the conditions of large temperature drops in polar regions. Heterogenic reactions take place on crystals of these clouds, producing a decay of ozone and a decrease of its total content, which may be as large as a few tens percent. The ozone decay processes in the stratosphere occur also on aerosol particles of natural and anthropogenic origin.

The content and creation of ozone in the troposphere, notably in the over-ground layer, is associated with the enhanced anthropogenic emission, mostly of nitrous oxides and hydrocarbons, and meteorological conditions favourable to ozone-producing photochemical reactions. These are: the high solar radiation intensity, high temperature and low humidity of the air.

LITERATURA

- Dziewulska-Łosiowa A., 1991. *Ozon w atmosferze*, PWN, Warszawa, s.396.
- Farman J. C., Gardiner D. G., Shanklin J. D., 1985. *Nature* 315, 207–210.
- Fotochemiczskie procesy ziemnej atmosfery. Zb.prac nauk. pod red. J. K. Larina. Akademia Nauk ZSRR, Moskwa, „Nauka” 1990.
- UA Dept. of Commerce NOAA: the Northern Hemisphere; Winter Summary 1991–1992. Climate Analysis Center, May 15, 1992.
- WMO Global Ozone Research and Monitoring Project — Report Nr 18. Report of the International Ozone Trends Panel, 1988, vol. I, II, NASA, NOAA, FAD, UNEP.
- WMO Global Ozone Research and Monitoring Project — Report Nr 25, Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1991, NASA, NOAA, UK Dept. of the Environment, UNEP, WMO.

ZDZISŁAW KACZMAREK

Instytut Geofizyki PAN
Warszawa

ZASOBY WODNE ŚWIATA W OBLICZU ZAGROŻENIA

Woda stanowi surowiec o podstawowym znaczeniu dla warunków życia i rozwoju gospodarczego. W państwach i regionach o niedostatecznych zasobach tego surowca podejmowane są kosztowne i niekiedy kontrowersyjne, zarówno z ekologicznego jak i ekonomicznego punktu widzenia, inwestycje mające na celu bądź zwiększenie efektywności wykorzystania tych zasobów, bądź też ich powiększenie drogą retencjonowania lub importu z regionów sąsiednich. W sytuacjach skrajnych podejmowane są zabiegi o charakterze niekonwencjonalnym, jak na przykład odsalanie wód morskich. Problem zaopatrzenia w wodę o właściwych parametrach jakościowych ma istotne znaczenie cywilizacyjne, wpływa na stan zdrowotny i jakość życia społeczeństw.

Globalne zasoby wód słodkich wielokrotnie przewyższają bieżące potrzeby ludzkości, oceniane także w wymiarze globalnym. Jednakże ich rozkład przestrzenny i czasowy jest w wielu przypadkach niezgodny z potrzebami, wynikającymi ze struktury ludnościowej i gospodarczej poszczególnych regionów. Na przykład na kontynencie europejskim liczba mieszkańców zaopatrywanych przez 1 hm³ wody w roku o przeciętnych warunkach klimatycznych waha się od około 700 w Europie Centralnej do 35 w Skandynawii. Napięcia i zagrożenia w dziedzinie gospodarki wodnej mają więc charakter regionalny i nie mogą być rozwiązywane za pomocą strategii globalnej. Polska należy do krajów, w których napięcia te mogą, przynajmniej okresowo, być przyczyną poważnych trudności społecznych i gospodarczych.

Niemożliwość należytego zaspokojenia potrzeb wodnych ludności, przemysłu i rolnictwa może wynikać z różnych przyczyn, spośród których należy wymienić:

— niedostatek ilości wody, której dostarczenie użytkownikom powinno być gwarantowane z określonym stopniem prawdopodobieństwa w każdym momencie czasu,

— niewłaściwą jakość dyspozycyjnych zasobów wodnych obciążonych różnego rodzaju zanieczyszczeniami.

Przy rozważaniu obu tych przyczyn należy brać pod uwagę losowy charakter procesów hydrologicznych, którego konsekwencją jest duża i trudna do przewidywania zmienność dyspozycyjnych zasobów wodnych w czasie i przestrzeni.

Zagrożenia dla stabilności i prawidłowego działania systemów wodno-gospodarczych mogą wynikać ze zmniejszenia się zasobów wód powierzchniowych i podziemnych, wzrostu potrzeb, przekraczającego gwarantowaną wydajność systemu oraz z niewłaściwej gospodarki ściekami. Do niedawna przyczyny tych zagrożeń były analizowane niemal wyłącznie w kontekście regionalnych procesów demograficznych i gospodarczych, których konsekwencją są zmiany zapotrzebowania na wodę. W ostatnich latach coraz więcej uwagi poświęca się ocenie potencjalnego wpływu, jaki na regionalne zasoby wodne i ich użytkowanie mogą mieć zmiany globalnych procesów geofizycznych. Wpływ ten może być pozytywny lub negatywny. Z natury rzeczy uwaga środowisk naukowych i polityków skupia się na negatywnych konsekwencjach zmian globalnych. Wyrazem tego zainteresowania są między innymi zalecenia i deklaracje, zawarte w dokumentach wielu organizowanych w ostatnich latach ogólnoswiatowych konferencji, dotyczących zmian klimatu i ochrony środowiska przyrodniczego, rozpatrywanych w kontekście zachodzących w świecie procesów demograficznych i gospodarczych (porównaj np. raport *Climate Change 1991*).

Zmiany w przebiegu globalnych procesów geofizycznych mogą wpływać nie tylko na wielkość i rozkład w czasie zasobów wodnych, lecz także na potrzeby i zużycie wody, niezbędnej przykładowo dla zapewnienia odpowiedniego poziomu produkcji rolniczej. W tym sensie można w wielu regionach świata oczekiwać negatywnego sprzężenia oddziaływań czynników przyrodniczych, demograficznych i ekonomicznych. W pracy *Kulshreshthy i in. (1993)* podano, przedstawione w tabeli 1, przewidywania dotyczące stopnia zagrożenia niedoborem wody w skali globalnej w warunkach klimatu stacjonarnego i jego zmian. Zachowując niezbędną ostrożność w interpretacji tych danych, opartych na wysoce niepewnych scenariuszach zmian klimatycznych, należy z niezbędną powagą odnieść się do możliwości powstawania sytuacji konfliktowych w regionach największego zagrożenia, w których już obecnie występują okresowe niedobory wody. W dużym stopniu dotyczy to krajów rozwijających się, nie dysponujących odpowiednimi środkami dla przeciwdziałania takim zagrożeniom.

Stosowane dotychczas metody analizy i planowania polityki wodno-gospodarczej były oparte na założeniu stacjonarności procesów hydrologicznych w interesującym praktykę przedziale czasu, na przykład w okresie kilku dziesięcioleci. Konsekwencją tego założenia było w szczególności symulowanie przyszłej pracy systemów wodnych lub ich części na podstawie charakterystyk hydrologicznych określanych w wyniku analizy pomiarów i obserwacji wykonanych w przeszłości. Przyjmowano powszechnie, że im dłuższy okres obserwacji został wykorzystany przez projektanta, tym dokładniej mogą być odwzorowane warunki przyszłej pracy systemu wodnego. Założenie to i oparte na nim metody analityczne są obecnie

kwestionowane w obliczu przewidywanych zmian globalnych, w pierwszym rzędzie globalnych i regionalnych zmian klimatu, wywołanych czynnikami antropogenicznymi.

Tabela 1

Podział ludności świata według kryterium zagrożenia niedoborem wody

Stopień zagrożenia	Ludność w mln		
	rok 1990	rok 2025 klimat stały	rok 2025 zmiany klimatu
Brak zagrożeń	3 669 (70%)	5 098 (60%)	3 009 (35%)
Okresowy deficyt	1 474 (27%)	837 (10%)	2 444 (28%)
Głęboki deficyt	136 (3%)	2 513 (30%)	2 995 (37%)
Razem	5 279	8 448	8 448

We wspomnianych już deklaracjach konferencji międzynarodowych oraz w wielu publikacjach naukowych (Climate Change 1990; Gleick 1989; Lemmela i in. 1990; Shiklomanov 1989) można znaleźć ostrzeżenia, że bilans wodny całego globu i poszczególnych dorzeczy jest w wysokim stopniu wrażliwy na zmiany pól temperatur i opadów atmosferycznych, a przewidywana dynamika tych zmian znacznie przekracza dotychczasowe doświadczenia ludzkości. Ostrzeżeń tych nie można lekceważyć, choć ich podstawy naukowe są jeszcze ciągle wątpliwe, a stopień niepewności jest bardzo znaczny. Przedstawione poniżej oceny stanu wiedzy w tej dziedzinie są oparte na licznych już zagranicznych publikacjach naukowych dotyczących omawianego zagadnienia, jak również na wynikach badań uzyskanych w ostatnich latach w polskich placówkach naukowych.

Przewidywania dotyczące zmian klimatu są najczęściej odnoszone do umownego poziomu podwojonej koncentracji dwutlenku węgla i innych tak zwanych gazów cieplarnianych w atmosferze w stosunku do okresu przedindustrialnego. Oczekuje się, że towarzyszyć temu będzie wzrost temperatury w skali globu o około 3°K oraz dość znaczna intensyfikacja procesów kształtujących opady atmosferyczne i parowanie z łąd i oceanu. W 1990 r. poziom koncentracji CO₂ osiągnął 1,25 wartości z początku ubiegłego stulecia. Zgodnie z poglądem reprezentowanym przez większość klimatologów, w ciągu mijającego stulecia zaobserwowano dodatni trend średniej temperatury powietrza, zarówno na półkuli północnej jak i południowej. Stwierdzenie trwałych zmian dotyczących opadów atmosferycznych i parowania jest daleko trudniejsze ze względu na dużą zmienność losową tych elementów klimatu, występującą zarówno w czasie, jak i w przestrzeni.

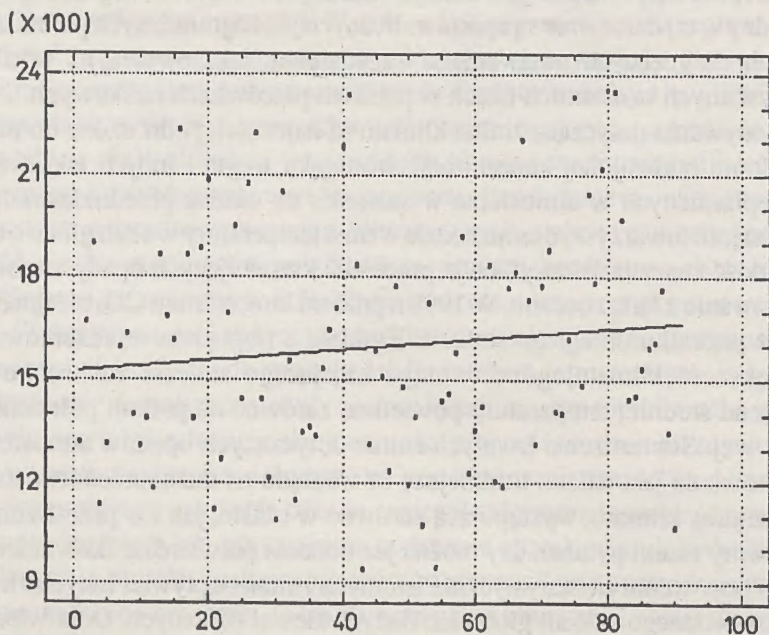
Postawmy zatem pytanie, czy można już obecnie potwierdzić doświadczalnie hipotezę o pojawieniu się statystycznie istotnych zmian odpływu i innych elementów bilansu wodnego w skali globu lub dużych zlewni rzecznych. Odpowiedź nie jest jednoznaczna. W Zakładzie Zasobów Wodnych Instytutu Geofizyki PAN przeprowadzono, we współpracy ze Światową Organizacją Meteorologiczną, ana-

lizę statystyczną 176 ciągów wartości przepływu w dorzeczach położonych na wszystkich kontynentach. Badania wykonywano za pomocą nieparametrycznych testów Kruskal-Wallisa i Manna, służących do wykrywania statystycznie istotnych trendów w odniesieniu do wartości średniej i wariancji. Szczegółowe wyniki zostały przedstawione w pracy Mitoska (1992). W odniesieniu do średnich rocznych przepływów hipoteza stacjonarności ciągu obserwacji (braku trendu) została zakwestionowana:

- w 14,9% przypadków w wyniku zastosowania testów Kruskal-Wallisa,
- w 44,9% przypadków w wyniku zastosowania testu Manna.

W wielu przypadkach kierunek zaobserwowanego trendu jest zróżnicowany, także w odniesieniu do rzek położonych w tym samym obszarze geograficznym. Świadczyć to może o innych, niż klimatyczne, przyczynach niestacjonarności procesu przepływu. Podobnie niejednoznaczne wyniki otrzymano dla wartości przepływów miesięcznych. Należy podkreślić, że nieodrzućenie przez dany test statystyczny hipotezy o stacjonarności badanego zjawiska nie oznacza oczywiście jej jednoznacznego potwierdzenia, ponieważ wnioskowanie ma charakter probabilistyczny.

Wobec znacznej naturalnej zmienności zjawisk hydrologicznych stosunek „sygnału” do „szumu” jest wysoce niekorzystny dla detekcji trendu. Na rysunku 1 pokazany jest dla przykładu przebieg średnich rocznych wartości łącznego przepływu Odry i Wisły w latach 1901–1990, wraz z liniowym trendem wyznaczonym za pomocą metody najmniejszych kwadratów. Jest oczywiste, że ewentu-



Rys. 1. Zmienność przepływów Odry i Wisły w latach 1901–1990.

alne tendencje zmian są w tym przypadku skutecznie „maskowane” przez rozrzut wartości Q , charakteryzujący ich losową zmienność. Podobne wyniki otrzymano dla innych dużych rzek europejskich, w szczególności dla Dunaju, Łaby i Renu. Tak więc efektywne badanie za pomocą metod statystycznych zmian w przebiegu czasowym zjawisk hydrologicznych, stanie się możliwe dopiero w przypadku znacznej intensyfikacji dynamiki trendu. Nie należy oczekiwać uzyskania na tej drodze interesujących naukowo wyników wcześniej, niż na początku następnego stulecia. Powstaje zatem pytanie, czy innego rodzaju metody, oparte przykładowo na zastosowaniu modeli hydrologicznych i symulacji za ich pomocą procesów zachodzących w zlewniach rzecznych, mogą stanowić alternatywne narzędzie analizy niestacjonarności tych procesów.

Rozważmy dwa sposoby podejścia do omawianego problemu. Pierwszy polega na poszukiwaniu miar wrażliwości systemu hydrologicznego na zakłócenia w czynnikach kształtujących bilans wodny, drugi zaś na symulowaniu funkcjonowania takiego systemu w odmiennych od obecnych warunkach klimatycznych. W tym drugim przypadku konieczne staje się odpowiednie zdefiniowanie zmienionego scenariusza klimatycznego. W obu podejściach wymagane jest opracowanie modelu badanych procesów, to znaczy uprzednie ustalenie zbioru funkcji opisujących związki zachodzące pomiędzy czynnikami klimatycznymi i bilansem wodnym zlewni rzecznej.

Wrażliwość systemu hydrologicznego na zmiany klimatu rozpatruje się zazwyczaj w odniesieniu do dwóch elementów w sposób istotny wpływających na bilans wodny, a mianowicie temperatury i opadu atmosferycznego. Jest to niewątpliwie daleko idące uproszczenie umotywowane przede wszystkim obecnym stanem globalnych modeli klimatycznych, pozwalającym na tworzenie scenariuszy zmian tych właśnie charakterystyk klimatu. Zakładając, że dla danego regionu została ustalona zależność przepływu od opadu i temperatury powietrza w postaci funkcji

$$R = f(T, P) \quad (1)$$

można określić zmianę wartości R pod wpływem zmiany T i P w postaci różniczki

$$dR = \frac{\delta R}{\delta P} dP + \frac{\delta R}{\delta T} dT, \quad (2)$$

gdzie pochodne cząstkowe obliczane są w ustalonym punkcie (T_0, P_0) , odpowiadającym obecnym warunkom klimatycznym. Dogodnymi miarami wrażliwości przepływu są zaproponowane przez Schaake (1) wskaźniki elastyczności, uzyskane przez podzielenie obu stron równania (2) przez $R_0 = f(T_0, P_0)$. Otrzymamy wówczas

$$\frac{dR}{R_0} = \Phi_P \frac{dP}{P_0} + \Phi_T \frac{dT}{T_0}, \quad (3)$$

gdzie

$$\Phi_P = \frac{\delta R}{\delta P} \frac{P_0}{R_0}, \quad \Phi_T = \frac{\delta R}{\delta T} \frac{T_0}{R_0}. \quad (4)$$

Wskaźniki (4) określają zatem wpływ zmian wartości opadu atmosferycznego i temperatury powietrza na zachowanie się odpływu w rozpatrywanej zlewni rzecznej. Ich wielkości liczbowe zależą w pewnym stopniu od przyjętego modelu hydrologicznego, lecz przede wszystkim odzwierciedlają cechy klimatyczne i fizjograficzne badanego obszaru. Na podstawie obliczeń przeprowadzonych za pomocą różnych modeli dla dorzeczy położonych w różnych warunkach klimatycznych, między innymi w Polsce, USA i w Południowej Afryce, można już obecnie przedstawić następujące wstępne wnioski w sprawie wrażliwości odpływu i innych wybranych charakterystyk hydrologicznych:

(a) Odpływ rzeczny jest bardziej wrażliwy na zmiany opadu niż na zmiany temperatury,

(b) Wskaźnik elastyczności ϕ_p przyjmuje wartości w granicach od 1,5 do 3,0, tym większe, im mniejszy jest współczynnik odpływu R_0/P_0 ,

(c) Wzrost temperatury o 1°K powoduje zmniejszenie odpływu w granicach od 3,0% do 6,0%,

(d) Parowanie potencjalne zmienia się przede wszystkim pod wpływem zmiany temperatury, natomiast parowanie rzeczywiste zależy także od przebiegu opadów.

Dla przykładu podamy, że obliczenia wykonane dla dorzecza Warty za pomocą opisanego w pracy Kaczmarka i Krasuskiego (1991) modelu bilansu wodnego CLIRUN wykazały, iż przy nie zmienionej temperaturze powietrza wzrost opadów o 10% powoduje przyrost odpływu rzeczego o 23%. Natomiast wzrost temperatury powietrza o 1°K (przy stałej wartości opadu) prowadzi do zmniejszenia wartości R o 4,5%. Wszystkie powyższe wnioski dotyczą średnich rocznych wartości elementów bilansu wodnego. Podobna analiza wrażliwości może być dokonana dla innych charakterystyk hydrologicznych, przykładowo dla przepływów minimalnych.

Na szczególną uwagę zasługuje wykazanie za pomocą zależności (4), iż zlewnie rzeczne charakteryzujące się małymi wartościami współczynnika odpływu R_0/P_0 są bardziej wrażliwe na zmiany klimatu niż obszary zasobne w wodę. Może to oznaczać katastrofalny wzrost deficytu wody w regionach już obecnie znajdujących się w trudnej sytuacji wodno-gospodarczej, jeżeli realizowany byłby tam scenariusz zmniejszających się opadów atmosferycznych. Z drugiej jednak strony regiony takie korzystałyby w większym stopniu z ewentualnego wzrostu opadów pod wpływem zmian w globalnych procesach cyrkulacji atmosfery.

Problem modelowania procesów hydrologicznych i symulacji ich przebiegu w warunkach określonego scenariusza zmian klimatu jest daleko bardziej złożony. Wymaga bowiem nie tylko opracowania modelu wiążącego bilans wodny z czynnikami klimatycznymi, lecz ponadto staje się konieczne określenie lokalnych zmian klimatu pod wpływem przewidywanych transformacji dotyczących globalnej cyrkulacji atmosfery. Tworzenie takich scenariuszy dla obszarów o skali właściwej dla zlewni hydrologicznych wymaga zastosowania odpowied-

nich metod interpretacji procesów wielkoskalowych. Zadanie to nie zostało dotychczas rozwiązane w sposób zadowalający potrzeby praktyki nie tylko w dziedzinie gospodarki wodnej, lecz również w innych dziedzinach ludzkiej działalności, zależnych w większym lub mniejszym stopniu od właściwości klimatu. Należy dodać, że modelowanie wielkoskalowych procesów atmosferycznych jest także obciążone znacznymi błędami, wynikającymi między innymi z nadmiernie uproszczonego traktowania współzależności pomiędzy zjawiskami zachodzącymi w glebie, szacie roślinnej i atmosferze, a także między oceanem i atmosferą.

Obok znanych trudności związanych z niedoskonałością modeli hydrologicznych wprowadza to dodatkowy element niepewności do skomplikowanego problemu modelowania obiegu wody w zlewni na podstawie charakterystyk klimatycznych. W literaturze hydrologicznej można znaleźć pewną liczbę przykładów zastosowania technik symulacyjnych opartych na założonych scenariuszach klimatycznych. Uzyskane dotychczas wyniki upoważniają do sformułowania obecnie jedynie wstępnych wniosków, które można streścić w sposób następujący:

a) Obliczenia przeprowadzone dla określonej zlewni za pomocą określonego modelu hydrologicznego, lecz przy zastosowaniu danych wejściowych wynikających z różnych modeli klimatu prowadzą zwykle do wysoce zróżnicowanych i trudnych do racjonalnej interpretacji wyników;

b) W zależności od wzajemnej relacji pomiędzy przewidywanymi dla danego regionu zmianami opadów atmosferycznych i temperatury symulowany odpływ może być mniejszy lub większy od wartości dotychczas obserwowanych, oznacza to, że w pewnych przypadkach zmiany klimatu mogą wpływać korzystnie na bilans wodno-gospodarczy, w innych natomiast bilans ten zdecydowanie pogarszać;

c) Zlewnie o niskich wartościach współczynnika odpływu są bardziej narażone na negatywne konsekwencje zmian klimatu, niż obszary zasobne w wodę;

d) Jeżeli zasilanie zlewni jest w znacznym stopniu związane z akumulacją śniegu w zimie i topnieniem pokrywy śnieżnej w okresie wiosennym, można oczekiwać istotnych zmian w rozkładzie sezonowym odpływu.

Obecny stan wiedzy o globalnych procesach geofizycznych nie pozwala na wyprowadzenie dalej idących wniosków i w szczególności na dokonanie uogólnionej oceny możliwych w przyszłości zmian w wielkości i rozkładzie przestrzennym światowych zasobów wód słodkich, wynikających z przewidywanej transformacji klimatu naszej planety. Niezbędne są zatem dalsze badania, przede wszystkim o charakterze regionalnym.

W Zakładzie Zasobów Wodnych Instytutu Geofizyki PAN są prowadzone prace, mające na celu zbadanie wpływu wybranych scenariuszy klimatycznych na odpływ powierzchniowy i inne elementy bilansu wodnego na obszarze Polski. Na podstawie danych uzyskanych z Narodowego Centrum Badań Atmosferycznych (NCAR) w Boulder (USA), opartych na zastosowaniu dwóch modeli globalnej cyrkulacji atmosfery, opracowanych przez:

— Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (Princeton) (GFDL),

oraz

— Goddard Institute for Space Studies (Nowy Jork) (GISS), przygotowano dla obszaru Centralnej Europy oceny dotyczące przewidywanych zmian miesięcznych wartości opadów i temperatury przy podwojeniu koncentracji CO₂ w atmosferze. Wartości liczbowe tych zmian określono dla węzłów siatki geograficznej o rozdzielczości 1,0° x 1,0°.

Symulacja zmian elementów bilansu wodnego została przeprowadzona dla 22 wybranych zlewni rzecznych w dorzeczeniach Wisły i Odry za pomocą opracowanego w Instytucie modelu hydrologicznego CLIRUN 3, uwzględniającego procesy parowania, odpływu powierzchniowego i podziemnego oraz retencji. Podstawowe założenia tego modelu, oparte na zastosowaniu stochastycznej teorii retencji, zostały przedstawione w pracy Kaczmarka i Krasuskiego (1991). Zawiera on trzy parametry, których wartości dla poszczególnych zlewni są ustalone za pomocą kalibracji, dokonywanej na podstawie hydrologicznych i meteorologicznych danych pomiarowych z lat 1951–1990. W tabeli 2 przedstawiono w formie

Tabela 2

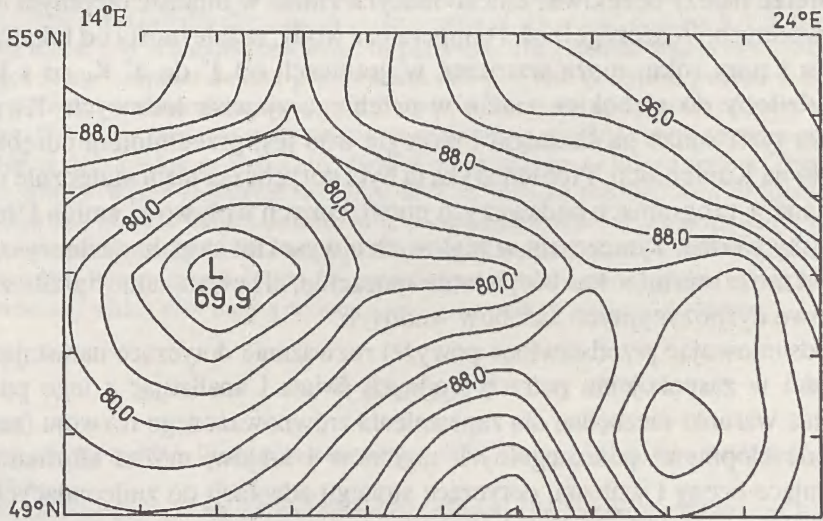
Odpływ w zlewni Pilicy po profil Przedbórz dla różnych scenariuszy klimatycznych

Miesiąc	R (mm)			C _v (R) (mm)		
	HIST	GFDL	GISS	HIST	GFDL	GISS
XI	14,1	12,0	16,5	0,41	0,41	0,65
XII	16,6	15,8	24,0	0,37	0,40	0,66
I	17,0	18,7	25,8	0,32	0,44	0,52
II	16,6	22,2	28,6	0,44	0,69	0,67
III	23,0	24,3	27,2	0,73	0,51	0,44
IV	22,6	19,9	23,2	0,62	0,33	0,46
V	18,6	17,1	18,4	0,34	0,43	0,34
VI	14,8	12,6	14,4	0,35	0,34	0,37
VII	14,2	9,7	16,2	0,48	0,37	0,87
VIII	13,4	8,6	14,3	0,54	0,41	0,65
IX	12,0	8,5	11,4	0,41	0,42	0,43
X	12,6	9,6	12,1	0,42	0,42	0,61
Rok	195,50	179,0	232,1	–	–	–

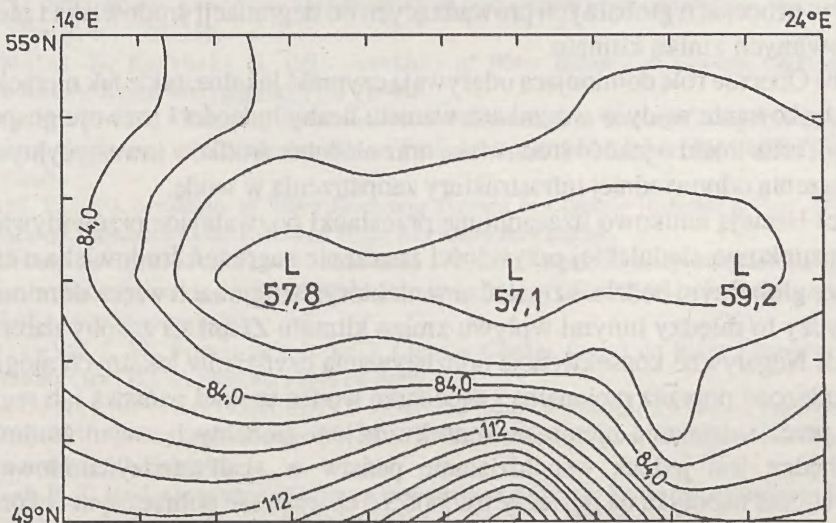
przykładu wyniki obliczeń odpływu średniego rocznego R i współczynnika zmienności $C_v(R)$, otrzymane dla zlewni rzeki Pilicy po profil Przedbórz dla warunków klimatu „historycznego” oraz dla wcześniej omówionych scenariuszy klimatycznych GFDL i GISS.

Wyniki otrzymane dla wspomnianych 22 zlewni rzecznych, rozłożonych równomiernie na obszarze kraju, wskazują w przypadku scenariusza GFDL na możli-

wość niewielkiego zmniejszenia sumarycznego odpływu rocznego, zwłaszcza w Polsce Centralnej. Stwierdzono także znaczne pogłębienie niedoboru wody w okresie niżówkowym oraz istotne zmiany w przebiegu sezonowym elementów bilansu wodnego. Na uwagę zasługuje zauważony w przypadku obu rozpatrywanych scenariuszy klimatycznych znaczny spadek wilgotności gleby w okresie wegetacyjnym. Są to jeszcze wyniki wstępne. Badania nad wpływem zmian klimatu na zasoby wodne Polski są kontynuowane, a ostateczne wyniki dla omówionych powyżej scenariuszy klimatycznych zostaną opublikowane w 1993r.



Rys. 2. Zmiany (w %) odpływu rocznego na obszarze Polski dla warunków scenariusza klimatycznego GFDL.



Rys. 3. Zmiany (w %) odpływu miesięcznego w okresie niżówkowym dla warunków scenariusza klimatycznego GFDL.

Znaczna większość dotychczas ogłoszonych wyników badań dotyczy cech ilościowych bilansu wodnego w alternatywnych warunkach klimatycznych. Należy dodać, że zmiany bilansu energetycznego naszej planety i w konsekwencji charakterystyk klimatu mogą także w istotny sposób wpływać na przebieg procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych w wodach śródlądowych. Badania wykonane w Zakładzie Fizyki Wody Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, których wyniki zostały przedstawione w pracy Jurak (1993) wskazują, że w przypadku podwojenia koncentracji dwutlenku węgla w atmosferze należy oczekiwać daleko idących zmian w bilansie cieplnym obiektów wodnych. W szczególności temperatura wody, w zależności od lokalizacji obiektu i pory roku, może wzrosnąć w granicach od 1° do 4° K, co z kolei prowadziłoby do głębokich zmian w przebiegu zjawisk lodowych. Kwestia wpływu tych zmian na chemizm i biologię wód jest przedmiotem odrębnego referatu na Konferencji. Problematyka ta była dotychczas niedostatecznie uwzględniana w programach badawczych poświęconych wpływowi zmian klimatu na zasoby wodne. Tymczasem w regionach o wysokim stopniu zanieczyszczenia wód może ona mieć bardziej istotne znaczenie, niż ewentualne ograniczenie ilościowe dyspozycyjnych zasobów wodnych.

Podsumowując przedstawione powyżej rozważania dotyczące narastających trudności w zaspokojeniu potrzeb wodnych świata i analizując z tego punktu widzenia warunki niezbędne dla zapewnienia zrównoważonego rozwoju (sustainable development) poszczególnych regionów i krajów, można sformułować następujące oceny i wnioski, dotyczące strategii adaptacji do zmieniających się warunków:

a) Zagrożenia dla stanu i prawidłowego użytkowania zasobów wodnych mają swoje źródła zarówno w błędach lokalnej polityki wodno-gospodarczej, jak i w procesach globalnych prowadzących do degradacji środowiska i niekontrolowanych zmian klimatu.

b) Obecnie rolę dominującą odgrywają czynniki lokalne, takie jak nieracjonalne użytkowanie wody w warunkach wzrostu liczby ludności i rozwoju gospodarczego, brak troski o jakość środowiska oraz niedobór środków inwestycyjnych dla stworzenia odpowiedniej infrastruktury zaopatrzenia w wodę.

c) Istnieją naukowo uzasadnione przesłanki pozwalające przewidywać, że w stosunkowo niedalekiej przyszłości znaczenie zagrożeń środowiska o charakterze globalnym będzie wzrastać, a w niektórych regionach wręcz dominować. Dotyczy to między innymi wpływu zmian klimatu Ziemi na zasoby naturalne.

d) Negatywne konsekwencje oddziaływania czynników lokalnych mogą być ograniczone poprzez racjonalną gospodarkę wodną w skali państwa lub regionu. Dla przeciwdziałania ujemnym konsekwencjom globalnych zmian środowiska niezbędne jest jednak współdziałanie państw w skali międzynarodowej, co dotychczas napotyka na poważne trudności o charakterze politycznym i ekonomicznym.

e) Dotychczasowy stan wiedzy o potencjalnym wpływie zmian globalnych na gospodarkę wodną państwa lub regionu jest niezadowolająca. Konieczna jest intensyfikacja badań w tej dziedzinie.

WORLD WATER RESOURCES UNDER THE THREAT

Summary

Due to population growth, agricultural and industrial development, increased pollution and the impact of changes in global geophysical processes, the reliability of water supply may substantially decrease in various parts of the world, causing in coming years serious social and economic problems. In particular, the possible effects of the expected changes in air temperature and precipitation will give rise to serious problems in many fields of water resources management. Based on literature and results of recent Polish studies, the paper presents some estimates concerning possible future changes in water balance of river basins, as well as in physical characteristics of inland waters. There is no single global water resources strategy able to resolve the problem of sustainable development. Most of the present and future water conflicts are regional in nature, and the solutions should also be found on a regional basis. Nevertheless, there is an urgent need for a concerted international action to protect our planet against global environmental degradation, which may have a serious negative impact on regional resources.

LITERATURA

- Climate Change and U.S. Water Resources* 1990. (red. P. E. Waggoner), John Wiley & Sons, New York.
- Climate Change: Science, Impacts and Policy*; Proceedings of the Second World Climate Conference 1991. (red. J. Jaeger i H. L. Ferguson), Cambridge University Press.
- Gleick P. H. 1989. *Climate Change, Hydrology and Water Resources*, Reviews of Geophysics, v. 27, s. 329–344.
- Jurak D. 1992. *Wpływ scenariuszy klimatycznych na temperaturę wody i parowanie*. Prz. Geofiz. t. 27, z. 3, 4, s. 149–159.
- Kaczmarek Z., Krasuski D. 1991. *Sensitivity of Water Balance to Climate Change and Variability*, IIASA Working Paper No 91–047.
- Kaczmarek Z. 1992. *Criteria of Water Resources Vulnerability to Climate Change*; Proc. of the Intern. Conference on Climate Impacts on the Environment and Society; WMO TD-No. 435, Tsukuba.
- Klemeš V. 1990. *Sensitivity of Water Resources Systems to Climatic Variability*; Proc. of 43rd Annual Conference of the Canadian Water Resources Association.
- Kulshreshtha S. N., Kos Z., Pryazhinskaya V. 1993. *Implications of Climate Change for Future Water Demands*; [W:] *Water Resources in the Face of Climatic Hydrologic Uncertainties* (IIASA, w przygotowaniu).
- Kundzewicz Z. W., Somlyódy L. 1993. *Climatic Change Impact on Water Resources — a Systems View*; IIASA Working Paper (w druku).
- Lemmela R., Liebscher H., Nobilis F. 1990. *Studies and Models for Evaluating the Impact of Climate Variability and Change on Water*; World Meteorological Organization, Regional Association VI, Helsinki.
- Mitosek H. T. 1992. *Occurrence of Climate Variability and Change Within the Hydrological Time Series — a Statistical Approach*; IIASA Collaborative Paper CP-92-05.
- Shiklomanov I. A. 1989. *Climate and Water Resources*; Hydrol. Sci. Jour., v. 34, s. 495–529.

ANNA HILLBRICHT-ILKOWSKA

Instytut Ekologii PAN
Warszawa

EKOSYSTEMY JEZIORNE A GLOBALNE ZMIANY KLIMATU

WPROWADZENIE

Według różnych scenariuszy zmian klimatu opartych na tak zwanym General Circulation Models należy się spodziewać, że w wyniku podwojenia koncentracji dwutlenku węgla i gazów szklarniowych w atmosferze względem poziomu 260–280 ppm w 1850 roku (obecnie około 345 ppm) nastąpi wzrost średniorocznej wartości temperatury powietrza w granicach 1,5°–4,5°C (około 0,3°C na dekadę) do około połowy przyszłego wieku (przeгляд w Obrębska-Starkel, Starkel 1991; Houghton i in. 1991). Rozkład przestrzenny skutków tego ocieplenia będzie jednakże nierównomierny i ogólnie wzrastający wraz ze wzrostem szerokości geograficznej (*ibid.*), jak też odmienny dla okresu zimowego i letniego. W szerokościach umiarkowanego klimatu Europy — dla strefy 40°–60°N należy się spodziewać ocieplenia rzędu 5° w zimie i 2°C latem (*ibid.*). Towarzyszyć temu może wzrost wilgotności i opadów głównie w okresie zimowym i jesiennym rzędu 150–330 mm rocznie (Huis, Ketner 1987), ale o bardzo zróżnicowanym rozkładzie przestrzennym (powiększenie obszarów z silnym deficytem, jak i z nadmiarem wilgoci) (*Climate and Water* 1989) i o rozkładzie sezonowym, odmiennym w stosunku do aktualnego. Prawdopodobnie wzrośnie częstotliwość zjawisk katastroficznych (huragany, nawalne deszcze, tzw. *extreme events*) (Dobson i in. 1989). Skutki tych zmian mogą być jednak okresowo i lokalnie maskowane lub wzmacniane w wyniku oddziaływania zarówno czynników antropogennych (np. zmiany odpływu, osuszanie, zanieczyszczenie), jak i naturalnych. Nie jest jasne, jak ustosunkować przypuszczalne globalne zmiany klimatu do stwierdzanej na wielu obszarach cykliczności wieloletniej (a nawet wielodekadowej) takich czynników, jak: temperatura powietrza, opad czy odpływ rzeczny (Behrendt i in. 1987; Gutry-Korycka, Boryczka 1990). Nakładanie się obu rodzajów zmian naturalnych i antropogennych o różnej skali czasowej może okresowo wzmacniać efekty oczekiwanego ocieplenia klimatu lub je maskować (Eiden 1988).

Wielu badaczy (np. Bach 1989; Obrębska-Starkeł, Starkeł 1991) podkreśla brak realistycznych scenariuszy regionalnych zmian klimatu powiązanych z oczekiwanymi zmianami globalnymi, to znaczy takich, które by uwzględniały regionalne warunki topograficzne, mezoklimatyczne, użytkowania ziemi i różne inne składowe obiegu wody w układzie „gleba — roślina — powietrze”. W tym jednak zakresie należy odnotować, jak twierdzi Lashof (1992), znaczny postęp w wyniku włączenia bardziej realistycznych relacji ocean — atmosfera. Zawężanie tego, nieraz bardzo szerokiego „zakresu niepewności” w modelowaniu skutków ocieplenia klimatu, jest wyraźnym zaleceniem Konferencji w Rio (Williams on 1992).

Powyższe braki i okoliczności sprawiają, że prognozowanie sytuacji ekologicznej jezior naszej strefy klimatycznej, a szczególnie jezior powiązanych z południowym krajobrazem pojeziernym środkowej i północnej Europy (52°–56°N), na najbliższe stulecie jest nader trudne choć niezmiernie pobudzające wyobraźnię. Ewentualnych zmian klimatu będą doświadczać jeziora relatywnie „młode” o kilkunastotysięcznej historii, w przeważającej liczbie zbiorniki niewielkie (poniżej 500 ha) i niegłębokie (< 10 m głębokość średnia)¹ a więc o małej „bezwładności” wobec czynników klimatycznych, jeziora z reguły nizinne, o zlewni w znacznym stopniu użytkowanej rolniczo, na ogół silnie zeutrofizowane i zanieczyszczone.

Tempo przewidywanej zmiany klimatu może okazać się większe, niż to miało miejsce w kilkunastotysięcletniej historii jezior. Jest to, jak stwierdzają Dobson i in. (1989) oraz Graham i Grim (1990), szczególnym wyzwaniem dla biologicznej różnorodności ekosystemów. Okoliczności te sprawiają, że bezpośrednie przenoszenie skutków zmian klimatu w poprzednich okresach geologicznych może okazać się niewystarczające.

W strukturze programu Global Change, zarówno międzynarodowego jak i poszczególnych krajów, ekosystemy jeziorne nie są wyodrębniane w oddzielny podprogram (na tyle, na ile jest to znane autorce), czy temat równorzędny do programu dotyczącego: oceanu, obszarów przybrzeżnych, lądowych ekosystemów czy klimatycznych stref roślinności lądowej typu biomu (Houghton i in. 1991). Nie wydaje się to słuszne. Przede wszystkim jeziora, jako trwałe zbiorniki wód, przez swoje ścisłe powiązanie z lokalnym i regionalnym układem warunków meteorologicznych (patrz niżej) mogą dobrze odzwierciedlać zmiany klimatyczne i służyć jako obiekt rejestracji ich skutków (monitoringu). Ponadto, będąc siedliskiem współodpowiedzialnym (razem z ekosystemami lądowymi) za zasoby różnorodności biologicznej świata mogą doświadczać zmian tejsze różnorodności w innym tempie i o innym charakterze niż układy lądowe. Wreszcie ich szczególna pozycja w gospodarce zasobami wodnymi każdego kraju, rola społeczna i zdro-

¹Jeziora o powierzchni nie większej jak 500 ha i głębokości średniej nie większej niż 10 m stanowią około 90% wszystkich naturalnych jezior w Polsce i około 50% ich zasobów wodnych (*Atlas Hydrobiologiczny Polski*, 1986).

wotna (wypoczynek, turystyka) oraz jako producentów żywności (gospodarka rybacka) sprawia, że zmiany, jakim mają podlegać w efekcie globalnych zmian klimatu, zasługują na większą uwagę.

ZWIĄZKI JEZIORA Z KLIMATEM

Klimat jest układem czynników, który w sposób zasadniczy kształtuje funkcjonowanie ekosystemu jeziornego. Upraszczając, oddziaływanie to realizuje się poprzez:

— Reżim termiczno-miktyczny wód jeziora. Cykliczne zmiany temperatury i mieszania się wód stanowią podstawowe tło środowiskowe dla wszystkich procesów ekologicznych różnej skali czasowej, począwszy od fizjologicznej na poziomie osobniczym, a skończywszy na sukcesji, różnorodności biotycznej zespołów i biocenozy oraz intensywności procesów krążenia materii.

— Reżim hydrologiczny jeziora. Cykliczność i intensywność zasilania jeziora, odpływu i retencji mas wodnych kształtują zależność jeziora od zlewni i decydują o dostawie materii i zanieczyszczeń, jak też (poprzez zmiany poziomu wód jeziora) decydują o wykształceniu się stref przywodnych (granicznych z lądem) oraz strefy litoralnej.

— Pośrednio przez kształtowanie pokrywy roślinnej w zlewni jeziora i jej zmienność sezonową, jak też przez kształtowanie sezonowości działań człowieka uwarunkowanych ściśle klimatem (uprawy, nawożenie, rekreacja, gospodarka rybacka). Jest to zespół okoliczności decydujących nie tylko o dostawie i rodzaju materii, ale też bezpośrednio wpływających na różnorodność biotyczną jezior.

Skutki ekologiczne działania powyższych czynników powiązanych z klimatem są bardzo różnorodne i nieustannie badane. Służą temu porównania nie tylko różnych stref klimatycznych, ale też konkretnych jezior w latach o różnych warunkach meteorologicznych (termika, opady), w różnych okresach klimatycznych (rekonstrukcja paleoekologiczna, długookresowe serie badań), wreszcie jezior o trwale zmienionym reżimie termiczno-miktycznym w wyniku oddziaływania człowieka. Do takich należą na przykład jeziora podgrzane w wyniku zrzutu ciepłych wód z elektrowni. Choć „podgrzanie” ich odbywa się na całkiem innej drodze niż ewentualny wpływ ocieplenia klimatu (zrzut „punktowy” wody ciepłej *versus* „obszarowe” ocieplenie mas wodnych), to jednak niektóre skutki mogą okazać się zastanawiająco zbieżne. Stąd niezwykle cenne są wyniki kompleksowych, ekologicznych badań przeprowadzonych w latach sześćdziesiątych i osiemdziesiątych jezior konińskich (Hillbricht-Ilkowska, Zdanowski 1988), w których nastąpił trwały wzrost temperatury wody o 1°–5°C bez lub krótkotrwałe o małym zasięgu zlodzenia.

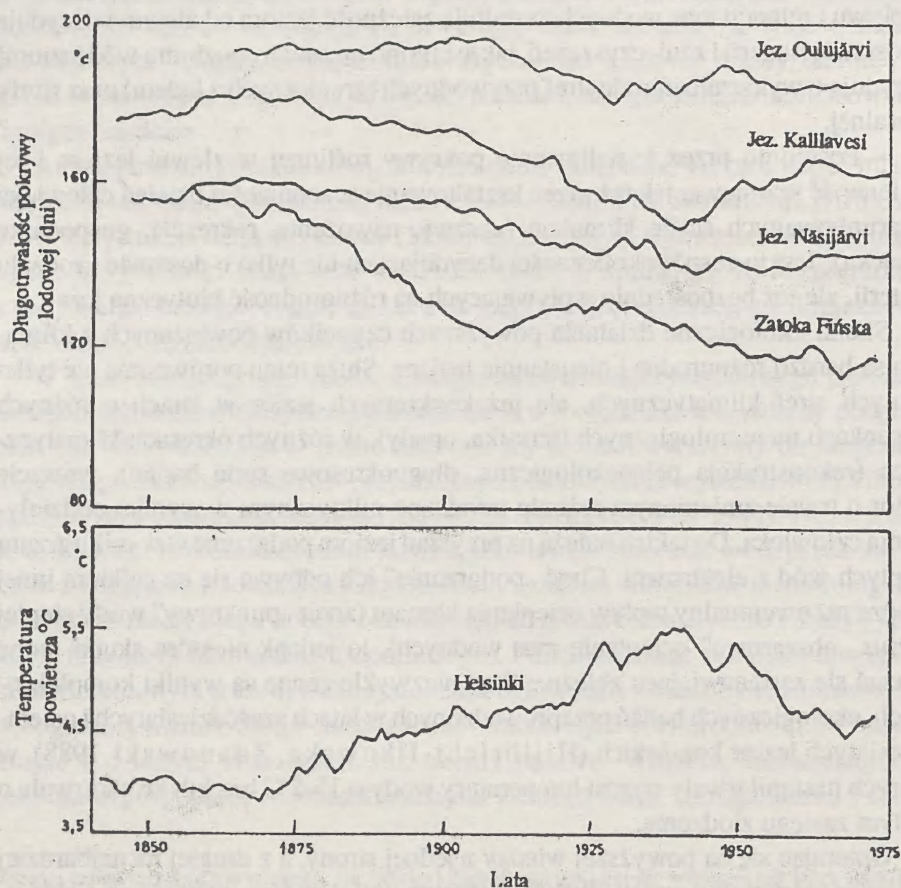
Opierając się na powyższej wiedzy z jednej strony, a z drugiej na najbardziej ogólnym scenariuszu zmian klimatu opisanym wyżej, można wskazać na niektóre, dość prawdopodobne zmiany, jakie zajdą w jeziorach obszarów pojeziernych

środkowej i północnej Europy. Zmiany te można ocenić z punktu widzenia jakości wód, różnorodności biologicznej czy ewolucji jezior.

NIKTÓRE PRZYPUSZCZALNE SKUTKI ZMIAN KLIMATU DLA SIEDLISKA JEZIORNEGO I ICH KONSEKWENCJE EKOLOGICZNE

ZMIANY REŻIMU TERMICZNO-MIKTYCZNEGO JEZIOR I SKUTKI WZROSTU TEMPERATURY

Nieregularność występowania i następnie skrócenia okresu, a w dalszej przyszłości trwały brak zlodzenia wód jeziora i gleby, połączone z intensywnymi opadami i wiatrami w okresie zimy i jesieni będzie prawdopodobnie skutkiem najbardziej spektakularnym, szczególnie w przypadku jezior dużych i głębokich lub głębokich. Według Aleniusa (1989) i Kuusisto (1989), skrócenie okresu zlodzenia jest już zauważalne od początku tego stulecia w Zatoce Fińskiej jak też w innych jeziorach rejonu Helsinek (rys. 1). Może się zatem zmienić sezonowość



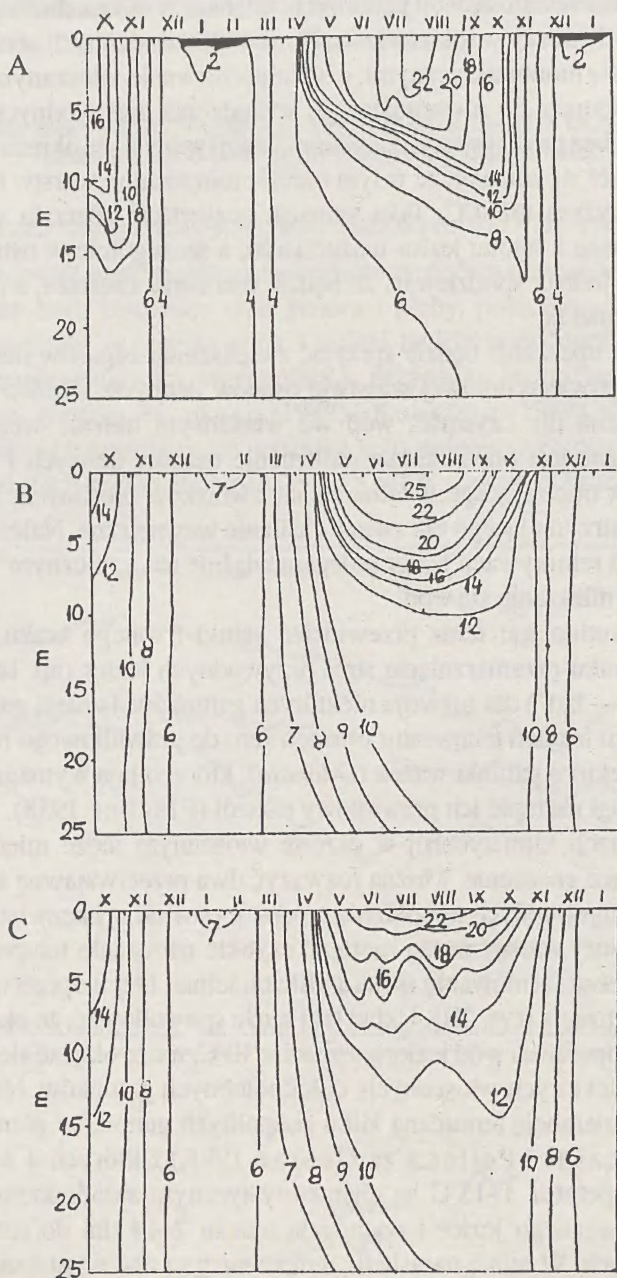
Rys. 1. Zmiany długości zlodzenia dla trzech jezior i Zatoki Fińskiej (Helsinki) ocenione metodą 21-letnich średnich ruchomych na tle temperatury powietrza w Helsinkach (Kuusisto 1989).

i intensywność mieszania się wód jeziornych. Głębsze jeziora z dimiktycznych, to jest mieszanych dwa razy w roku (wiosną i jesienią), a zlodzonych w okresie zimy (rys. 2A), staną się monomiktycznymi, czyli nieprzerwanie mieszanymi od jesieni do wiosny z tendencją do równomiernego schłodzenia mas wodnych w okresie zimowym (czyli bez prostej stratyfikacji termicznej typowej dla okresu zimowego) (rys. 2B, C). Może się zdarzyć, że w tym okresie temperatura warstw naddennych będzie trwale wyższa niż 4°C. Taka sytuacja oczywiście zdarzała się niekiedy (obserwacje własne z rejonu jezior mazurskich), a szczególnie w ostatniej dekadzie. Należy się jednak spodziewać, że będzie ona coraz częstsza, a może nawet trwała w skali stulecia.

Długotrwałe mieszanie będzie sprzyjać zwiększeniu zapasów tlenu w masie wód, jak też w powierzchniowej warstwie osadów dennych. Okoliczność ta jest niezmiernie ważna dla czystości wód we właściwym okresie wegetacyjnym. Szczególnie ważne jest odpowiednie natlenienie osadów dennych i utrzymanie potencjału redox obniżającego uwalnianie się związków biofilnych, szczególnie fosforu, czyli wstrzymującego tak zwane zasilanie wewnętrzne. Należy dodać, że niektóre techniki rekultywacji jezior polegają właśnie na „sztucznym” przedłużaniu wiosennego mieszania się wód.

Natomiast trudno jest teraz przewidzieć skutki trwałego braku zlodzenia, a szczególnie braku przemarznięcia stref przywodnych jezior (np. litoral, strefa ekotonu „woda — ląd”) dla rozwoju niektórych gatunków. Istnieją gatunki, które wymagają bardzo niskich temperatur bliskich zero do prawidłowego rozwoju. Do takich należą niektóre gatunki ważek (*Odonata*), których jaja wymagają przemarznięcia, aby mógł nastąpić ich prawidłowy rozwój (Fischer 1958).

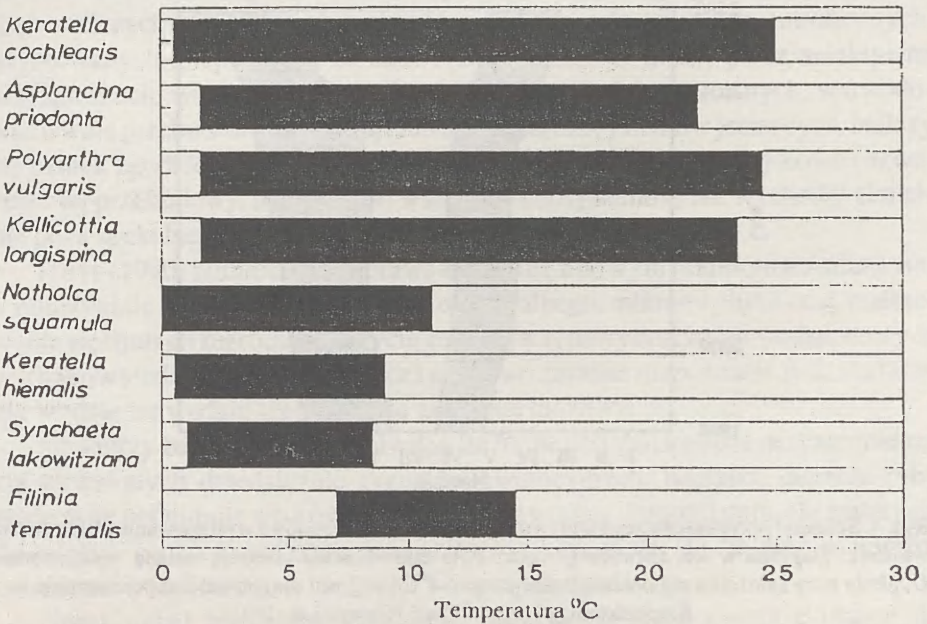
Zmiana sytuacji klimatycznej w okresie wiosennym może mieć dla jezior równie decydujące znaczenie. Można rozważyć dwa przeciwstawne scenariusze. W warunkach długotrwałych wysokich temperatur powietrza i bezwietrznej pogody już od wczesnej wiosny może nastąpić szybkie narastanie temperatury wód jeziornych, wczesne formowanie się stratyfikacji letniej i jej nieprzerwana, kilkumiesięczna stabilizacja (rys. 2B). Układ taki może spowodować, że okres wiosenny, w którym temperatura wód jeziora wynosi < 10°C, może okazać się krótszy niż okres rozwoju niektórych wiosennych, chłodnolubnych gatunków. Na rysunku 3 przedstawiono tolerancję termiczną kilku pospolitych gatunków planktonowych wrotków (wg Bezina i Pejler a za George 1991,) z których 4 występujące w zakresie temperatur 1–15°C są charakterystycznym składnikiem planktonu zimowego i wiosennego jezior i wymagają okresu 7–14 dni do rozwoju z jaj przetrwalnikowych. W miarę narastania temperatury są one wypierane do chłodniejszych wód hypolimnionu. Badania planktonu jezior podgrzanych (Hilbricht-Ilkowska i in. 1988) w wyniku zrzutu ciepłych wód z elektrowni wykazały, że dwa gatunki: *Filinia terminalis* i *Keratella hiemalis* znikają, gdy szybki wzrost temperatury obejmuje również głębsze warstwy jeziora. A zatem układ termiczny w okresie wiosennym, taki jak na na rysunku 2B, może doprowa-



Rys. 2. Sezonowe zmiany pionowego rozkładu temperatur dla: A — typowego jeziora dimiktycznego z pokrywą lodową, w okresie zimy i pełnym mieszanym wiosną i jesienią; B — tego samego jeziora w warunkach ocieplenia klimatu (brak zlodzenia), to jest wczesniej i trwałej, bezwietrznej pogody w okresie lata i wiosny; C — tego samego jeziora w warunkach ocieplenia klimatu (brak zlodzenia) i częstotliwych silnych wiatrów oraz nawalnych deszczy w okresie lata.

dzić do trwałej eliminacji gatunków chłodnolubnych i stenotermicznych, a zatem do zmniejszenia różnorodności gatunkowej zooplanktonu.

Układ taki może mieć również znaczące konsekwencje dla czystości wód. W warunkach dużej żyzności wód jeziornych, czyli zaawansowanej eutrofizacji, może sprzyjać wczesnemu i trwałemu zakwitowi sinic (składnika fitoplanktonu dającego uciążliwą biomasę), a zatem wzmacniać objawy eutrofizacji, zmniejszając przezroczystość wód i natlenienie warstw naddennych. Powyższe zjawisko, będące efektem trwałej stratyfikacji termicznej wód począwszy już od wczesnej



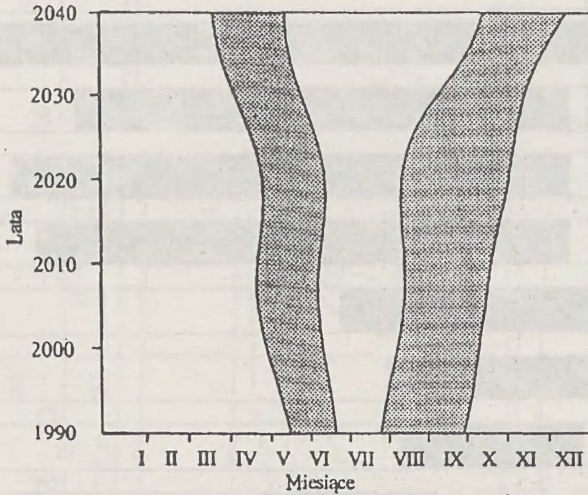
Rys. 3. Termiczna tolerancja kilku pospolitych gatunków wrotków planktonowych występujących w jeziorach (Bezin i Pejler, za George 1991)

wiosny, opisane zostało przez Gliwicz (1979), który wykazał związek między okresem formowania się i wielkością gradientu termicznego w metalimnionie jezior a nasileniem objawów eutrofizacji. Ten rodzaj sytuacji przewiduje George i in. (1990) posługując się scenariuszem zmian temperatury powietrza dla Wielkiej Brytanii (wzrost o 4°C w zimie i 2°C w lecie) i wynikami długookresowej serii badań jeziora (rys. 4). Przewidują oni, że niektóre wioślarki planktonowe (z rodzaju *Daphnia*) zależne od pojawu glonów pokarmowych (z kolei uzależnionych od intensywności mieszania w okresie wiosennym i jesiennym) będą występować coraz wcześniej wiosną i coraz później jesienią, „wypierane” niejako przez długotrwałe pojawy sinic w fitoplanktonie — glonów, nie stanowiących pokarmu planktonowych wioślarek z racji swojej wielkości i innych cech (rys. 4).

Inny scenariusz przewiduje Beran (1989). Stabilizacji termicznej wód jeziora w okresie wiosennym i letnim będą przeciwdziałać częstotliwe i intensywne wiatry

i nawałne deszcze (rys. 2C). Układ ten nie sprzyja zakwitom sinic, a więc niejako osłabia objawy eutrofizacji. Częstotliwe „pogłębianie” termokliny i wymuszanie intensywnego krążenia warstw powierzchniowych (poniżej strefy fotycznej) jest niekiedy stosowane w rekultywacji jezior jako środek ograniczający narastanie zakwitów sinic.

Pełne rozeznanie ekologicznych skutków wzrostu temperatury i zasobów ciepła wód jeziornych oraz zmiana cyklu sezonowego w wyniku ocieplenia



Rys. 4. Schemat przypuszczalnego wpływu zmian klimatu na sezonowe występowanie planktonowej wioślarki *Daphnia* w Jez. Estwaite (Anglia). Pola zakreskowane obrazują zmianę występowania *Daphnia* przy założeniu regionalnego ocieplenia o 4°C i wzrostu długości okresu występowania sinic w fitoplanktonie okresu letniego (George i in. 1991).

powietrza nie jest możliwe. Wskazano tylko niektóre, ale pewne wyniki z badań wspomnianych tu jezior konińskich, mogą inspirować wyobraźnię. Należy się liczyć z przyspieszeniem tempa wzrostu i rozwoju wielu organizmów z różnych ogniw łańcucha pokarmowego, w tym również ryb, których strukturotwórcze oddziaływanie na biocenozę jeziorną (na skład i dobór gatunków, ich strategię rozrodu i przeżycia) jest udowodnione we współczesnej ekologii ekosystemów jeziornych (przegląd w Dawidowicz 1986). We wspomnianych jeziorach podgrzanych stwierdzono (Wilkońska 1988) przyspieszone tempo wzrostu i dojrzewania, zwiększenie płodności niektórych ryb niedrapieżnych oraz ustępowanie bardziej chłodnolubnych gatunków drapieżnych, odżywiających się tymi ostatnimi (np. szczupaka). Oznacza to wzrost nacisku (zarówno w sensie intensywności, jak i długości) ryb niedrapieżnych na „niższe” ogniwa łańcucha troficznego, między innymi na zooplankton. Intensyfikację rozrodu i rozwoju stwierdzono również wśród gatunków zooplanktonu (Hillbricht-Ilkowska i in. 1988). Wydajność ekologiczna w tym zespole, mierzona jako stosunek produkcji gatun-

ków drapieżnych do roślinożernych, okazała się wysoka, świadcząc o napiętych oddziaływaniach pokarmowych. W tychże jeziorach stwierdzono również (Zdanowski 1988) intensyfikację procesów destrukcji, silniejszą niż procesów produkcji materii organicznej, formułując nawet wniosek o swoistej desynchronizacji w czasie i destabilizacji procesu przemian materii organicznej. Oczywiście trudno jest przesądzić, czy taka struktura biocenotyczna jezior w przyszłości „ocieplonych” będzie miała miejsce, zważywszy mimo wszystko, zasadniczą odmienną jezior „podgrzanych” (jak wyżej) i jezior „ocieplonych”. Wydaje się jednak, że sam czynnik termiczny — wzrost temperatury, tempo tego procesu i długotrwałość wyższych niż aktualne temperatur w nizinnych jeziorach eutroficznych, użytkowanych gospodarczo (a takich jest większość) może, przez selektywne przyspieszenie wszystkich procesów osobniczych i ekosystemalnych, spowodować trwałą przebudowę biotyczną i funkcjonalną ekosystemów jeziornych. Należy się jednak zgodzić z Long’em i Hutchinson’em (1991), że szczegółowe rozważenie tej przebudowy, a dotyczy to wszelkich ekosystemów, nie wychodzi aktualnie poza spekulacje, nawet gdy do tego celu użytkuje się modele.

Holt (1990) podnosi inną sprawę związaną z nowym reżimem termicznym, a mianowicie „nowego” tła dla doboru naturalnego, mikroewolucji oraz realizowania się strategii rozrodu i przeżycia gatunków w nowym układzie podstawowych warunków siedliskowych. Znaczące i naukowo zasadne rozpoznanie tych skutków nie wydaje się według tego badacza aktualnie możliwe.

Niektórzy badacze zwracają uwagę, że może nastąpić swoista desynchronizacja utrwalonych dziedzicznie sygnałów ewolucyjnych. Niektóre morskie ryby wędrowne podejmują wędrówki orientując się według długości dnia, ale zmierzają do miejsca o określonej stałej temperaturze, która może się zmienić w wyniku ocieplenia wód (Dobson i in. 1989 — przykład z *Alosa*).

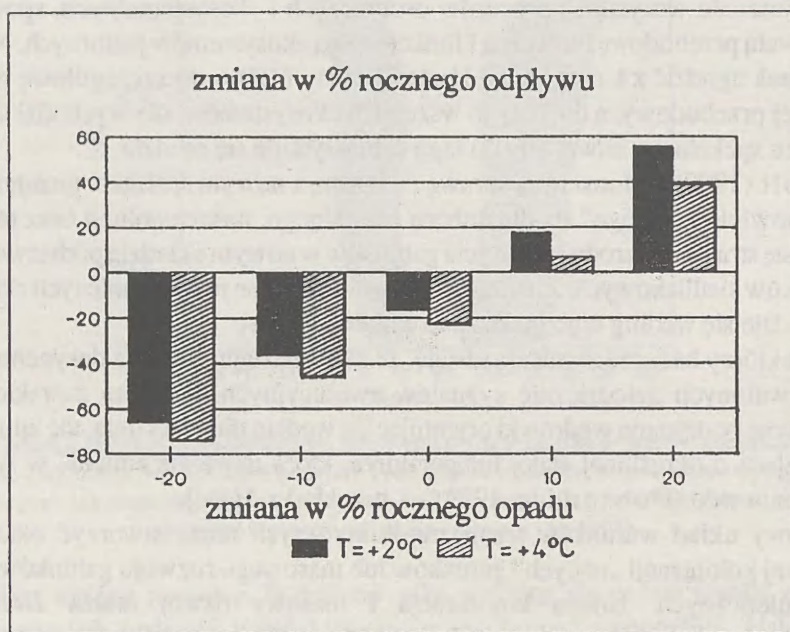
Nowy układ warunków termiczno-mikrotycznych może stworzyć okazje do masowej kolonizacji „obcych” gatunków lub masowego rozwoju gatunków do tej pory nielicznych. Udana kolonizacja i masowy rozwój małża *Dreissena polymorpha* — gatunku znanego z basenu Morza Czarnego i Kaspijskiego, który pojawił się w naszych jeziorach w XIX wieku (a obecnie stwierdzany jest również w jeziorach Ameryki Północnej) (Stańczykowska, Snyder w druku) — jest dowodem, że biocenozy jezior nie są układami zamkniętymi.

ZMIANY AKTYWNOŚCI HYDROLOGICZNEJ I UŻYTKOWANIA ZLEWNI

Niektórzy badacze (Arvola, Kankaala 1992; Beran 1989) skłonni są twierdzić, że w nowej sytuacji klimatycznej postępowi eutrofizacji i zanieczyszczeniu jezior będzie sprzyjać zwiększenie (w wyniku opadów) hydrologicznej aktywności zlewni. Zwiększy się bowiem długotrwałość oraz tempo dostawy zanieczyszczeń i materii ze zlewni i w opadach (również i w bezlodowym okresie zimowym), w tym również składników powodujących zakwaszenie wód i gleby. Behrendt (1988) zwraca uwagę, że okres wzmożonych spływów ze zlewni

zbiegnie się z okresem, w którym autor ten przewiduje dla obszarów intensywnej rolnictwa w Europie wysycenie gleby związkami pokarmowymi (azot, fosfor) w wyniku stałego nawożenia. Zwiększy się prawdopodobnie ilość materiału erodowanego, a w konsekwencji tempo wypełniania jezior osadami, jak też okresowo — mętność ich wód. Proces ten może być znaczący dla jezior płytkich.

Berndtsson i in. (1989) na modelu małej zlewni (rzędu kilku km²) wykazali jak kombinacja przypuszczalnego wzrostu temperatury i przypuszczalnej zmiany obfitości opadów wpłynie na wielkość odpływu (rys. 5). Wyniki są zaskakujące: stosunkowo niewielki wzrost temperatury (o 2°C) i niewielka (bo tylko o ±20%) zmiana rocznej sumy opadów, może spowodować odpowiednio blisko 60% wzrost odpływu, bądź blisko 70% spadek odpływu.

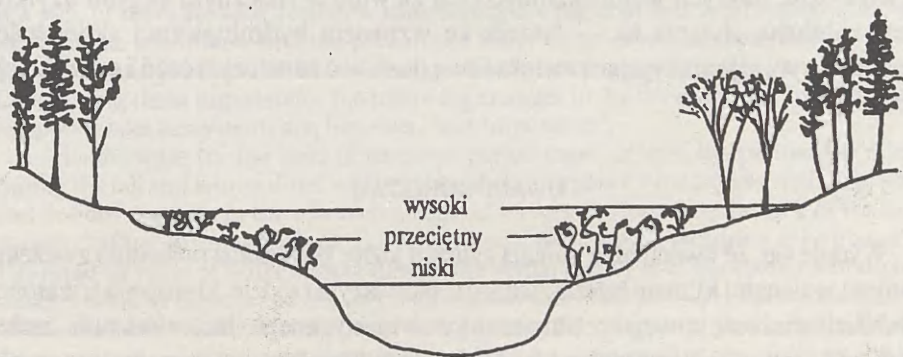


Rys. 5. Zmiana rocznego odpływu w warunkach wzrostu temperatury powietrza o +2°C i +4°C przy różnej intensywności opadów. Wyniki symulacji na modelu zlewni Värpingen (Szwecja, pow. 3,3 km²) (Berndtsson i in. 1989).

W warunkach zwiększenia rocznej obfitości opadów (choć o zmiennej sezonowości, patrz rozdz. *Związki jeziora z klimatem*) i zwiększonej aktywności hydrologicznej zlewni, a zatem zmiennej retencji i poziomu wód jeziornych, powiększą się być może obszary podmokłe w otoczeniu jeziora, w tym szczególnie torfowiska niskie (Huis, Ketner 1987). Może zwiększyć się również zasięg ekotonu „jezioro/ląd”, czyli strefy przejściowej hydrologicznie powiązanej z jeziorem (rys. 6), w której skład wchodzi również litoral jeziorny. Rola tej strefy przejściowej pokrytej zwykle roślinnością wodną i bagienną jest szczególnie ważna zarówno jako siedlisko życia (a więc dla różnorodności biologicznej), jak

też jako miejsce kumulacji materii allochtonicznej pochodzenia lądowego i produkcji materii autochtonicznej związanej z tym siedliskiem (Naiman, Decamps 1990). Funkcjonowanie tej strefy jest ściśle uzależnione od poziomu wód (w tym gruntowych), sezonowych zalewów, przesuszeń i przemarzań. W warunkach zwiększonego i całorocznego spływu, strefa ta (zależnie od lokalnych warunków topograficznych) może być stale hydrologicznie powiązana z wodami jeziora i stanowić zupełnie różne jakościowo siedlisko dla zespołów i poszczególnych gatunków. Strefa ta łącznie z litoralem jeziornym funkcjonuje jako skuteczna bariera zatrzymująca produkty erozji (osad) i związki troficzne spływające ze zlewni; jej ochronie oraz restytucji poświęcony jest między innymi specjalny program UNESCO/MAB (Naiman, Decamps 1990).

Beran (1989) jak też Long i Hutchinson (1991) są jednak zdania, że z równym prawdopodobieństwem należy się liczyć z osuszeniem i degradacją tego rodzaju siedlisk w lokalnych warunkach krajobrazowych, tam gdzie wzrostowi temperatury nie będzie towarzyszył wzrost opadów. Bez względu jednak na przypuszczalny kierunek zmian ten rodzaj siedlisk w zlewni jezior i w strefie brzegowej może ulec istotnym i trwałym przeobrażeniom w warunkach spodziewanych zmian klimatu (rys. 6).



Rys. 6. Zmiany poziomu wód w układzie jezioro — strefa brzegowa i ich konsekwencje: przeciętny (i sezonowo zmienny) — roślinność litoralna i przybrzeżno-bagienna trwale i lub okresowo połączona z jeziorem; niski — siedlisko litoralu jeziornego i przybrzeżne, trwale osuszone i odcięte od jeziora; wysoki — siedlisko jak wyżej oraz część niżej położonych siedlisk leśnych trwale połączone z jeziorem (Cowardin i in. 1979, za Naiman, Decamps 1990, zmodyfikowane).

Bardzo interesująco przedstawiają się rozważania na temat zmian pokrywy roślinnej i użytkowania ziemi, które mogą mieć miejsce w wyniku przystosowania do nowego układu klimatycznego przewidzianego dla Europy Północnej i Środkowej (Obrębska-Starkel, Starkel, 1991). Zmiany te mogą bardzo silnie oddziaływać na ekosystem jeziorny przez regulowanie dostawy i rodzaju materii spływającej ze zlewni. Na niektórych obszarach należy się liczyć z ustąpieniem lasów iglastych oraz zbiorowisk borealnych i ich wędrówką na północ do nowego optimum termicznego (Dobson i in. 1989). Powstaną być może nowe zbiorowi-

ska. Andersson (1991) jest zdania, że zwiększy się areal zbiorowisk trawiastych. Zmieni się produktywność gatunków drzewiastych w wyniku wzrostu CO₂, choć proces ten będzie silnie uzależniony od warunków edaficznych (Pastor, Post 1988). Niezwykle pobudzają wyobraźnię rozważania i obliczenia dotyczące tempa przesuwania się zbiorowisk roślinnych oraz poszczególnych gatunków drzew iglastych i porównania z analogicznym procesem w dawnych epokach geologicznych (Dobson i in. 1989; Ruddiman 1990). Trudno powiedzieć jednak, w jakim stopniu proces ten zmieni realnie pokrycie roślinne w zlewniach jezior naszej szerokości geograficznej, szczególnie w zestawieniu ze zmianami jakie wprowadza gospodarka leśna i rolna. Można jednak z dużym prawdopodobieństwem przypuścić, że zostanie zagrożonych wiele gatunków typowo borealnych, w tym chronionych, występujących przykładowo w siedliskach podmokłych. Może się zdarzyć dalsza fragmentaryzacja ich stanowisk właściwa gatunkom na krańcach ich zasięgu.

Bach (1989) i Parry i in. (1990), omawiając scenariusze zmian upraw rolnych w Europie w wyniku ocieplenia klimatu, wskazują, że długotrwałość wegetacji może przedłużyć się z 6 do 9 miesięcy, zwiększając plony, ale i co za tym idzie, również i zużycie nawozów oraz środków ochrony roślin. Zważywszy, że większość naszych jezior nizinnych ma zlewnię w znacznym stopniu użytkowaną rolniczo, stwarza to — łącznie ze wzrostem hydrologicznej aktywności zlewni — sytuację sprzyjającą zwłóknionej dostawie zanieczyszczeń i eutrofizacji jezior.

UWAGI KOŃCOWE

Wydaje się, że ewentualna zmiana sytuacji jezior powiązana pośrednio z oczekiwanymi zmianami klimatu będzie zależeć w pierwszym rzędzie od stopnia trwałości ustabilizowania się nowego reżimu termiczno-miktycznego (brak zlodzenia, zmieniony cykl sezonowy mieszania i trwałości stratyfikacji letniej oraz utrzymywania się wysokich temperatur). Konsekwencje ekologiczne mogą być znaczne, bowiem zmiany te mogą ingerować w procesy dostosowania (fitness) poszczególnych gatunków, zmienić intensywność procesów obiegu materii i stosunki w obrębie łańcuchów pokarmowych, jak też wpływać na charakter siedlisk przywodnych.

Przyspieszenie eutrofizacji i zanieczyszczenia jezior w warunkach wzrostu hydrologicznej aktywności zlewni oraz zmiany pokrywy roślinnej i użytkowania ziemi wydają się prawdopodobne. Należy jednak podkreślić różnorodność, a niekiedy przeciwstawność wyobraźalnych ekologicznych skutków ocieplenia klimatu związanych głównie z niedoskonałością aktualnej wiedzy oraz istniejących modeli potrzebnych do sensownego prognozowania.

Powstaje pytanie skierowane do limnologów: jaki rodzaj badań uruchomić, aby rozpoznać już teraz spodziewane skutki ocieplenia klimatu, nawet te, które wydają się mało prawdopodobne. Propozycji możemy wskazać wiele. Niektóre

wynikają bezpośrednio z treści niniejszego artykułu, na przykład należałoby rozpoznać długoletni trend okresu i intensywności zjawisk lodowych dla niektórych dużych jezior, jak też może uruchomić odpowiedni monitoring, również dotyczący termiki jezior (szczególnie w okresie wiosennym). Dla ekologów byłoby interesujące szczegółowe rozpoznanie skutków różnych okazjonalnych anomalii pogodowych (niekiedy krótkotrwałych, często rzędu dni), przykładowo nawalnych deszczy, okresów bezwietrznych czy okresów wysokiej temperatury, a więc takich sytuacji, których częstotliwość może wzrastać w warunkach postępującego ocieplenia klimatu, stwarzając z nich układ warunków przewidywalnych.

LAKE ECOSYSTEMS AND THE GLOBAL CLIMATE CHANGES

Summary

According to various scenarios the increase of air temperature (mean annual) until the half of the following century, about 5°C in winter and about 2°C in summer is expected in the zone of temperate climate in Northern Hemisphere (40°–60°) i.e. in the region of postglacial lakeland areas in Europe and North America. The accompanying increase of the precipitation (with the differentiated distribution in space and strong seasonality) as well as of the frequency of extreme events (hurricanes, rainstorms) are possible. However, there is a lack of more realistic scenarios considering the regional and local topographic and mesoclimate conditions, land use pattern and water usage as well as the cycles and trends in temperature precipitation and discharge already existing and found in various regions. Considering these uncertainties the following changes in the diversity and functioning of temperate lake ecosystems are, however, "not-impossible".

The decrease (or the lack) of ice-cover period together with the permanent mixing during the fall and winter times will be probably favourable for the oxygen regime in water and bottom deposits in the successive vegetation period. However, the lack of ice could strongly influence the egg hatching of some insects, like *Odonata*, requiring to be frozen up. The rapid increase of water temperature in the vernal period with the subsequent thermic stability of water column and the very high temperature of surface layer during the summer are the challenge for stenothermic, cold-loving species. But this pattern is usually stimulating the appearance of blue-green algae in eutrophic lakes with the further effects on the lake diversity. The multiannual studies on the effect of heated water discharge (from power plants) on lakes revealed that the growth, fecundity and the consumption of ichthyofauna increased (and became more prolonged) which means that fish impact on the trophic chain could increase also with well known "cascade" effects. Due to the increase of precipitation and changes of land use (the prolonged period of agricultural activities) in lake watersheds the increase and year-round duration of hydrological activity of watershed could be expected with the strong effect on the seasonality and the intensity of the nutrients and pollutants input into the lakes as well as the existence of the transitory zone between lake and land (the extent and duration of "lake-land" ecotone). The changes in the vegetation cover in the watersheds due to the shift of the typical boreal communities are also "not-impossible". The increased eutrophication and pollution of lakes in those new watershed conditions is quite possible.

The medium size lakes (up to several hundreds ha i.e. prevailing in the postglacial landscape in Poland and other areas in Europe) have a low inertia in respect to climate conditions and therefore they could be a good test for the effects of possible climate changes. The full-scale ecological recognition of the lack of ice-cover, changes in the thermic

stratification as well as the impact of extreme events should be probably a proper step in studying the possible effects of the global climate changes.

LITERATURA

- Alenius P., 1989. *Variation of the sea temperature around the coast of Finland*. [W:] zb. Int. conf. "Climate and Water", Helsinki, Finland, 11–15 Sept. 1989: 51–62.
- Anderson J. M., 1991. *The effect of climate change on decomposition processes in grassland and coniferous forests*. Ecological Applications 1: 326–347.
- Arvola L., Kankaala P., 1992. *Impact of climate change on carbon cycle in freshwater ecosystems*. Lammi Notes 19: 11–17.
- Atlas Hydrobiologiczny Polski*, 1986. Wyd. Geologiczne Warszawa, 800 str.
- Bach W., 1989. *Projected climatic changes and impacts in Europe due to increased CO₂*. [W:] zb. Int. Conf. "Climate and Water", Helsinki, Finland, 11–15 Sept. 1989: 31–47.
- Behrendt H., 1988. *Changes in non-point nutrients loading into European freshwaters: trends and consequences since 1950 and not-impossible changes until 2080*. NASA working Paper, 88–026, 30 str.
- Behrendt H., Olberg M., Stellmacher R., 1987. *Investigations on long term changes of the seston content in a shallow eutrophic lake and their relations to meteorological conditions*. Acta Hydrophys. Berlin 31: 143–151.
- Beran M., 1989. *The impact of climate change on the aquatic environment*. [W:] zb. Int. Conf. "Climate and Water", Helsinki, Finland, 11–15 Sept. 1989: 7–27.
- Berndtsson R., Larson M., Lindh G., Malm J., Niemczynowicz J., Tielin Zhang, 1989. *Climate—induced effects on the water balance*. [W:] zb. Int. Conf. "Climate and Water", Helsinki, Finland, 11–15 Sept. 1989: 437–449.
- Boer M., Koster E., Lundberg H., 1990. *Greenhouse impact on Fennoscandia — preliminary findings of an European Workshop on the effects of Climatic Change* AMBIO 19: 5–10.
- Bolin B., Doos B., (red.) 1986. *The greenhouse effect, climatic change and ecosystems*. SCOPE, 29. John Wiley and Sons, 542 str.
- Climate and Water*, 1989. Int. Conf. Helsinki, Finland, 11–15 Sept. 1989, 511 str.
- Dawidowicz P., 1986. „Biomaniplucja”. II. Oddziaływanie na fitoplankton poprzez przekształcanie struktury troficznej biocenozy wodnych. Wiad. Ekol. 4: 387–401.
- Dobson A., Jolly A., Rubenstein D., 1989. *The greenhouse effect and biological diversity*. Trends in Ecology and Evolution 4: 64–68.
- Eiden R., 1988. *The atmosphere: physical properties and climate change*. [W:] Hutzingger O., (red.). *The handbook of environmental chemistry*, vol 1, part E (The Natural environment and biogeochemical cycles); 180–185.
- Fischer Z., 1958. *Wpływ temperatury na rozwój jaj Lestes sponsa, Leach (Odonata)*. Ekol. Pol. B 4: 305–310.
- George D. G., 1991. *The influence of global warming on freshwater plankton communities in Britain*. Freshwater Forum 1: 204–214.
- George D. G., Hewitt D. P., Lund J. W. G., Smyly W. J. P., 1990. *The relative effect on enrichment and climate change on the long-term dynamic of Daphnia in Esthwaite Water, Cumbria*. Freshwater Biology 23: 55–70.
- Gliwicz M. Z., 1979. *Metalimnetic gradients and trophic state of lake epilimnia*. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 37: 121–143.
- Graham R. W., Grimm E. C., 1990. *Effects of global climate change on the patterns of terrestrial biological communities*. Trends in Ecology and Evolution 5: 289–292.
- Gutry-Korycka M., Boryczka J., 1990. *Long term fluctuations of hydroclimate elements in North-Eastern Europe*. Global Change Regional Research Centres: Scientific Problem and

- Concept Developments (red.), A. Breymayer Warsaw, 25–28 Sept. 1989; Seminar papers and IGBP WG-2 report: 8–33.
- Hillbricht-Ilkowska A., Ejsmont-Karabin J., Węgleńska T., 1988. *Long term changes in the composition, productivity and trophic efficiency in the zooplankton community of heated lakes near Konin (Poland)*. Ekol. Pol. 36: 115–144.
- Hillbricht-Ilkowska A., Zdanowski B., (red.) 1988. *Effect of heated water discharge on the functioning of lakes*. Ekol. Pol. 36: 3–281.
- Holt R., 1990. *The microevolutionary consequences of climate change*. Trends in Ecology and Evolution 5: 311–315.
- Houghton J. T., Jenkins G. J., Ephraimus J. J. (red.) 1991. *Climate change — The IPCC Scientific Assessment*, Cambridge Univ. Press. 365 str.
- Huis J., Ketner P., 1987. *Climate sensitivity of natural ecosystems in Europe*. Hol. Wageningen 17–21 Oct. 1987, 151 str.
- Kuusisto M., 1989. *Snow and ice — nonrenewable natural resources in the future ?* [W:] Int. Conf. "Climate and Water", Helsinki, 11–15 Sept. 1989: 300–318.
- Lashof D., 1992. *New findings confirm scientists warnings*. Acid News 2: 8–9.
- Long S. P., Hutchin P. R., 1991. *Primary production in grassland and coniferous forests with climate change: an overview*. Ecological Applications 1: 139–156.
- Naiman R. J., Decamps H., (red.) 1990. *The ecology and management of aquatic terrestrial ecotones*. MAB series 4. Parthenon Publishing Group. Paris. 316 str.
- Obrębska-Starkel B., Starkel L., 1991. *Efekt cieplarniany a globalne zmiany środowiska przyrodniczego*. Zeszyty Inst. Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania 4: 71 str.
- Pastor J., Post W. M., 1988. *Response of northern forest to CO₂—induced climate change*. Nature 334: 55–58.
- Parry M. L., Porter J. H., Carter T. R., 1990. *Agriculture: climatic change and its implications*. Trends in Ecology and Evolution 5: 318–322.
- Ruddiman W. F., 1990. *Changes in climate and biota on geologic time scales*. Trends in Ecology and Evolution 5: 285–288.
- Stańczykowska A., Snyder F., (w druku). *Present status of Dreissena polymorpha (Pall) in Europe*.
- Wilkońska H., 1988. *The effect of heated water discharge in the Konin lakes (Poland) on their ichtiofauna*. Ekol. Pol. 36: 145–164.
- Williamson P., 1992. *Global change: reducing uncertainties*. Publ. IGBP: 41 str.
- Zdanowski B., 1988. *Long-term and seasonal changes in the primary production and destruction in heated lakes near Konin (Poland)*. Ekol. Pol. 36: 79–96.

*LECH RYSZKOWSKI, ANDRZEJ KĘDZIORA*Zakład Badań Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN
Poznań

ROLNICTWO A EFEKT SZKLARNIOWY

WSTĘP

Ze wszystkich dziedzin działalności gospodarczej człowieka rolnictwo jest najściślej związane z klimatem. Susze, ulewne deszcze, przymrozki decydują o osiąganych plonach nawet w sytuacjach, gdy uprawiane są odmiany roślin przystosowanych do lokalnych warunków pogodowych. Olbrzymi wpływ pogody na efekty gospodarcze rolnictwa powoduje, że badania zależności pomiędzy czynnikami klimatu a rozwojem roślin i zwierząt prowadzone są już od najdawniejszych czasów i stanowią bardzo ważny dział agroekologii. Nic więc dziwnego, że w strategii trwałego i zrównoważonego ze środowiskiem rozwoju społeczno-gospodarczego Polski dużego znaczenia nabiera przewidywanie zmian warunków klimatycznych wywoływanych przez tak zwany efekt szklarniowy. Efekt ten określony jest przez globalne zmiany klimatu spowodowane przez wzrastającą koncentrację w atmosferze CO_2 , N_2O , CH_4 , freonów oraz innych gazów pochłaniających większą część długofalowego promieniowania Ziemi. Powoduje to ogrzewanie się atmosfery, która z kolei wysyła ku Ziemi znaczne ilości ciepła jako tak zwane promieniowanie zwrotne. Substancje wywołujące ten efekt są nazywane skrótowo gazami szklarniowymi. Gdyby nie efekt szklarniowy średnia temperatura powierzchni Ziemi wynosiłaby dzisiaj -17°C a nie 15°C . Z drugiej strony gdyby nie procesy wiązania CO_2 , wśród których duże znaczenie ma fotosynteza wraz z różnymi procesami magazynowania węgla organicznego, nastąpiłoby w atmosferze tak duże stężenie dwutlenku węgla, że efekt szklarniowy uniemożliwiłby egzystencję istniejących obecnie na Ziemi organizmów. Intensywność promieniowania słonecznego oraz silny efekt szklarniowy związany z dużą koncentracją CO_2 w atmosferze planety Wenus powoduje, że temperatura jej powierzchni wynosi ponad 450°C (Love Lock, 1989), co wyklucza istnienie życia.

Prognoza zmian warunków klimatycznych wywołanych przez narastanie efektu szklarniowego ma duże znaczenie zarówno dla strategii rozwoju rolnictwa, jak i programów ochrony środowiska. Jest to spowodowane tym, że obszary rolnicze stanowią przeszło 60% powierzchni kraju i tworzą „tkankę” otaczającą i łączącą

wszystkie inne ekosystemy, a produkcja żywności jest podstawowym działem gospodarki, stanowiącym o samowystarczalności kraju. Obszary rolnicze mają również duży wpływ na cykle obiegu materii i ochronę żywych zasobów przyrody (Ryszkowski i Bałazy 1991).

Reasumując, prognoza zmian warunków klimatycznych może być pomocna do opracowywania strategii rozwoju rolnictwa oraz umożliwiała odpowiednio wczesne przygotowania restrukturyzacji środków produkcji (np. wyhodowanie odpowiednich odmian), pozwalających w przyszłości na minimalizowanie negatywnych skutków przewidywanych zmian.

Należy już na wstępie podkreślić, że prognozy efektów szklarniowych obciążone są dużym stopniem niepewności, wynikającym z braków współczesnej wiedzy na temat czynników regulujących klimat. Nie można również wykluczyć zdarzeń stochastycznych odkształcających kierunek zachodzących zjawisk. Należy podkreślić, że pomimo tych ograniczeń wartości prognoz cechą współczesnej nauki jest podejmowanie prób zrozumienia funkcjonowania dużych systemów przyrodniczych celem lepszego rozpoznania prawdopodobnych konsekwencji ludzkiej gospodarki. Przeprowadzone na tej podstawie bilanse przewidywanych zysków i strat stają się ważnym kryterium trwałego i zrównoważonego z warunkami przyrodniczymi rozwoju społeczno-ekonomicznego (sustainable development). Ten nowy sposób ujęcia rozwoju cywilizacji przedstawiony w raporcie pani G. Brundtland (1987) dla Organizacji Narodów Zjednoczonych zyskuje coraz większe uznanie. W sferze nauki, prognozowanie efektu szklarniowego znalazło ostatnio swój wyraz w zorganizowaniu dużego międzynarodowego programu poświęconego zmianom globalnym.

Przedstawione w tym opracowaniu rozważania odnoszą się zarówno do wpływów rolnictwa na powstawanie efektu szklarniowego, jak i zwrotnego oddziaływania zmian klimatycznych na rolnictwo wraz z uwzględnieniem sytuacji jaka może wystąpić na terenie naszego kraju.

WPLYW ROLNICTWA NA POWSTAWANIE EFEKTU SZKLARNIOWEGO

ODDZIAŁYWANIA ROLNICTWA NA EMISJE GAZÓW SZKLARNIOWYCH

Pomimo istniejących ograniczeń wiedzy oraz niedokładności ocen niektórych parametrów wykonano ilościowe szacunki obiegu węgla, azotu, siarki i innych pierwiastków w skali całego globu. W ocenach tych uwzględniono również efekty przekształceń środowiska związanych z rolnictwem (Svensson i Soderlund 1975; Bolini Cook 1983; Houghton i in. 1983; Schlesinger 1986; Bowman 1990b; Freedman 1992). Generalizując, oddziaływania rolnictwa na zmianę koncentracji gazów szklarniowych w atmosferze można podzielić na dwie kategorie.

Do pierwszej należą te wszystkie oddziaływania, które zachodzą w czasie przekształcania naturalnych ekosystemów w agroekosystemy. Gdy naturalne eko-

systemy przekształcane są w pola uprawne, wzrasta znacznie mineralizacja zasobów próchnicy, a uwalniany w tym procesie dwutlenek węgla ulatnia się do atmosfery. Do atmosfery uwalniane są również znaczne ilości CO₂ i CH₄, gdy na skutek wycięcia lasu spalane są lub ulegają przyspieszonemu rozkładowi znaczne zasoby biomasy, zakumulowane w wyniku wieloletniej produkcji pierwotnej. Szklarniowe gazy uwalniane są również w procesach przekształcania ekosystemów trawiastych w pola uprawne, melioracji mokradel i innych.

Do drugiej kategorii można zaliczyć te działania rolników, które na istniejących już polach uprawnych intensyfikują ulatnianie się gazów szklarniowych. Tak na przykład intensywne nawożenie azotanami może stymulować ulatnianie podtlenku azotu, a zabiegi agrotechniczne zwiększające napowietrzenie gleby przy jednoczesnym nawożeniu azotem mogą zwiększać mineralizację próchnicy i ulatnianie się CO₂.

Choć wzrastająca koncentracja gazów szklarniowych w atmosferze jest wiązana z intensywnym zużywaniem kopalnych nośników energii przez rozwijający się przemysł i urbanizację to jednak rolnictwo ma niewątpliwie liczący się udział w tym procesie. We wcześniejszych analizach wzrost koncentracji dwutlenku węgla był wiązany ze wzrostem zużycia kopalnych nośników energii, a źródłem biologicznym nie przypisywano dużego znaczenia (np. Machta 1973; Oeschger i in. 1975; Siegenthaler i Oeschger 1978). Udział czynników biologicznych oceniano na podstawie różnicy pomiędzy roczną przemysłową emisją a przyrostem CO₂ w atmosferze i ilością pochłoniętą przez oceany. Szacunki tak uzyskane wskazywały, że składowe biotyczne obiegu węgla na kuli ziemskiej magazynują niewielkie ilości węgla. Do zupełnie przeciwnych wniosków doprowadziły bezpośrednie analizy udziału składowych biotycznych w emisji CO₂ opartych na zmianach użytkowania ziemi.

Pierwsza szersza analiza wpływu wycięcia lasów i przekształceń naturalnych ekosystemów w pola uprawne na zasoby CO₂ w atmosferze wykazała, że w okresie od 1860 do około 1960 r. emisja CO₂ ze spalonych kopalin była mniejsza niż ilość uwalniana w procesach mineralizacji próchnicy i spalania drewna z karczowanych lasów (Houghton i in. 1983). Dopiero w ciągu ostatnich 30-tu lat emisje CO₂ ze spalanych kopalin przewyższają jego ilości uwalniane w związku z działalnością rolniczą. Według Houghtona i in. (1983) w okresie od 1958 r. do 1980 r. około 85,5 miliardów ton C-CO₂ zostało uwolnione ze spalania kopalin, a przekształcanie lasów w pola i spalanie drewna uwolniło średnio 57,3 miliardów ton C-CO₂. Zakres zmienności tej ostatniej wartości został oceniony przez ten zespół (Houghton i in. 1983) na 38 do 76 miliardów ton C-CO₂, w zależności od przyjętych trzech sposobów przeprowadzania tej oceny. W 1980 r. przemysł emitował około 5 miliardów ton C-CO₂ (Freedman 1992), podczas gdy w tym samym roku spalanie i rozkład drewna oraz mineralizacja próchnicy na polach uprawnych uwolniła od 1,8 do 4,7 miliardów ton C-CO₂ (Houghton i in. 1983). Pomimo tych dużych rozbieżności współczesne analizy źródeł powstawania i wiązania CO₂

nie mogą pomijać wpływów przekształceń powierzchni ziemi wywołanych przez rolnictwo.

WPLYW ROZSZERZANIA POWIERZCHNI UPRAW NA WZROST KONCENTRACJI GAZÓW SZKLARNIOWYCH

Duża biomasa lasów jest efektem wieloletniego magazynowania asymilatów fotosyntezy. W przeciwieństwie do lasów, na polach uprawnych masa roślinna stanowi tylko część rocznej produkcji pierwotnej. Dlatego stan biomasy roślinnej w lasach jest znacznie wyższy niż na polach uprawnych. Whittaker i Likens (1973) przyjmują, że zawartość węgla w biomasy roślinności w lasach liściastych strefy umiarkowanej wynosi średnio $135 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, a w borach $90 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Do przeliczeń przyjęto, że 1 m^3 drewna drzew iglatych zawiera 280 kg C , a drzew liściastych 340 kg C . Natomiast na polach uprawnych średnia ilość węgla w roślinach w czasie okresu wegetacyjnego wynosi około $2\text{--}5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Oceny te są oparte na przyjętym przeliczniku, w myśl którego węgiel stanowi średnio 45% całej suchej masy roślinności pól uprawnych. Oczywiście zawartość węgla w produkcji pierwotnej pól uprawnych jest większa i wynosi średnio około $7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (produkcja biomasy roślinnej wynosi około $15 \text{ t} \cdot \text{s m} \cdot \text{ha}^{-1}$) z czego w zależności od rośliny uprawnej w płonach usuwane jest od 34% do 78% (Ryszkowski 1984, 1988). Już samo zestawienie masy węgla zawartego w roślinności lasów z jego zawartością w roślinności pól uprawnych wskazuje na znaczne zubożenie zmagazynowanego w biomasy roślinnej węgla w przypadku przekształcenia lasów w pola uprawne. W wyniku spalania lub rozkładu wykarczowanej masy roślinnej duża ilość węgla zawartego w masie drzew ulatnia się do atmosfery. Drugim ważnym procesem stymulującym ulatnianie się dwutlenku węgla do atmosfery jest zwiększona mineralizacja zasobów materii organicznej gleby pod wpływem jej uprawy. Straty próchnicy są znacznie szybsze w pierwszych latach uprawy nowiny niż w okresie późniejszym, przy czym mamy do czynienia nie tylko z mineralizacją próchnicy, ale i z przemieszczaniem się związków organicznych do głębszych warstw profilu glebowego (Schlesinger 1986). Autor ten, analizując wiele wyników badań, dochodzi do wniosku, że prawdopodobnie około 500 lat temu oddziaływania rolnictwa nie były na tyle intensywne, aby zmniejszać zasoby materii organicznej gleby. Procesy regeneracji względnie dobrze zbilansowały straty próchnicy. Ten stan względnej równowagi magazynowania i strat węgla z gleby został zmieniony wraz z rozwojem współczesnego intensywnego rolnictwa, które na terenach upraw powoduje spadek zasobów próchnicy (Schlesinger 1986). Uprawa roli prowadzi do spadku zasobów materii organicznej gleby. Choć część tych strat można wytłumaczyć procesami erozji, przemywania przez profil glebowy i innymi to jednak — jak to wykazali Houghton i in. (1983) — przeważająca część węgla ulotniła się z gleby w postaci CO_2 .

Bagna, torfowiska i inne podmokłe ekosystemy kumulują masę organiczną. Tempo kumulacji waha się w granicach od 5 do $150 \text{ g} \cdot \text{C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$. Przyjmując, że

średnia roczna kumulacja wynosi $30 \text{ g} \cdot \text{C} \cdot \text{m}^{-2}$ oraz że obszar terenów podmokłych wynosi 4,5 miliona km^2 , to oceniona kumulacja w naturalnych podmokłych ekosystemach kuli ziemskiej wynosi około 140 milionów ton (Schlesinger 1986; Bouwman 1990). Przyjmując za Aselmannem i Crutzenem (1990), że poprawniejsza ocena obszaru naturalnych ekosystemów podmokłych wynosi 5,7 miliona km^2 to wielkość związanego rocznie węgla w tych ekosystemach wyniesie 171 milionów ton. Oceniając, że na kuli ziemskiej zostało zmeliorowane do 350 000 km^2 , a średnie straty w procesach utleniania wynoszą $10 \text{ t} \cdot \text{C} \cdot \text{ha}^{-2} \cdot \text{rok}$, Bouwman (1990) wylicza, że około 35 milionów ton węgla jest rocznie traczone w wyniku utleniania zmeliorowanych gleb. Podobną ocenę podaje Schlesinger (1986). Straty powyższe są niskie w stosunku do kumulacji węgla w tych ekosystemach i dlatego możnaby było sądzić, że istniejące podmokłe ekosystemy jako całość magazynują węgiel. Ocenione powyżej straty węgla nie uwzględniają emisji metanu, ocenianej na około 37–75 milionów ton jeśli oceny Schutza i współautorów (1990) zostaną przeliczone tylko na masę emitowanego węgla. Uwzględniając to ostatnie źródło dopływu węgla do atmosfery całkowita ilość traconego węgla z gleb organicznych jest niewiele mniejsza lub nawet równa ilości magazynowanego rocznie węgla, jeżeli uwzględnić górną granicę ocen Schutza i in. (1990).

Przytoczone powyżej szacunki dobrze ilustrują trudności napotymane w globalnych ocenach węgla. Olbrzymie znaczenie dla przeprowadzanych szacunków ma nie tylko poprawna ocena reprezentatywnych parametrów wymiany gazów szklarniowych pomiędzy wyróżnianymi klasami ekosystemów a atmosferą, ale również szacunek terytorialnych rozmiarów wyróżnianych kategorii użytkowania powierzchni ziemi. Pomimo jednak niedokładności ocen tych dwóch wielkości, na podstawie omówionych powyżej wyników, jak i wielu innych pominiętych tu z braku miejsca prac, można sądzić, że przekształcenia naturalnych ekosystemów w pola uprawne prowadzą obecnie do wzrostu koncentracji gazów szklarniowych a zwłaszcza CO_2 i CH_4 . Jest to zjawisko mniej intensywne niż emisje gazów szklarniowych przez przemysł, motoryzację, składowanie organicznych odpadów i inne, ale liczące się w ogólnym bilansie wymiany tych gazów pomiędzy ekosystemami lądowymi a atmosferą. Fakt ten powinien być uwzględniony w propozycjach strategii ograniczania wzrostu koncentracji gazów szklarniowych w atmosferze.

WPLYW INTENSYFIKACJI ROLNICTWA NA EMISJĘ GAZÓW SZKLARNIOWYCH

Jak powszechnie wiadomo, współczesne tendencje intensywnej uprawy roli, wyrażające się dużą specjalizacją upraw, prowadzącą w skrajnych przypadkach do monokultur, wraz z ograniczonym nawożeniem organicznym czy to w postaci nawozów zielonych czy obornika, prowadzą do spadku zasobów próchnicy. Ciągłe przewracanie gleby, powodujące jej aerację wraz z rozbiciem agregatów glebowych, może prowadzić do szybszego utleniania materii organicznej gleby (Bouwman 1990). W glebie pól uprawnych wzrasta rola bakterii w stosunku do grzybów,

wyrażająca się większym ich udziałem w ogólnej masie drobnoustrojów (Gołębiowska i Ryszkowski 1977; Voroney i in. 1981; Kaszubiak i Kaczmarek 1985), zawężonym stosunkiem C : N i szybszą rotacją biomasy (McGill i in. 1981). Czynniki te powodują, że rotacja węgla w glebie pól uprawnych jest większa niż w ekosystemach leśnych i trawiastych. Szczególnie intensywna mineralizacja następuje w glebach pól uprawnych tropików. Lugo i Brown (1986) stwierdzili mineralizację 46% materii organicznej w ciągu 10 lat na polach położonych w tropikach, gdy gleba zawierała dostateczne zapasy wilgoci. Uprawy ryżu stanowią ważne źródło emisji CH_4 . Roczna emisja z pól ryżowych wynosi od 45 do 105 milionów ton po przeliczeniu danych Aseilmanna i Crutzena (1990) na ułatnianie się C- CH_4 . Jest to wielkość równoważąca emisję metanu ze wszystkich naturalnych ekosystemów podmokłych.

Następnym ważnym źródłem metanu są hodowane zwierzęta. Rocznie wydzielane jest przez nie około 57 milionów ton C- CH_4 . W tej wielkości krowy mają udział największy (40 milionów ton C- CH_4) (Bouwman 1990).

Produkcja metanu w hodowli ryżu i zwierząt gospodarskich znacznie przewyższa produkcję metanu w bagnach i torfowiskach kuli ziemskiej. Wzrastające potrzeby żywnościowe będą powodowały, że produkcja metanu w rozwijającej się hodowli zwierząt i uprawach ryżu będzie wzrastała. Wzrastająca koncentracja metanu w atmosferze wskazuje, że obecnie w ciągu roku przewaga produkcji CH_4 nad jego rozkładem wynosi od 30 do 53 t C- CH_4 , a istniejąca silna korelacja pomiędzy przyrostem ludności kuli ziemskiej a wzrostem koncentracji CH_4 w atmosferze sugeruje, że czynniki antropogeniczne związane z rolnictwem mają duże znaczenie (Bouwman 1990).

Podtlenek azotu jest gazem szklarniowym, który powstaje zarówno w procesach denitryfikacji jak i nityfikacji. Roczny wzrost koncentracji N_2O w atmosferze oceniany jest na 2,8 miliona ton (Bouwman 1990). Choć największe ilości N_2O uwalniane są z naturalnych ekosystemów lądowych i wodnych, to jednak pola uprawne, szczególnie nawożone wysokimi dawkami azotu i zmeliorowane, produkują duże ilości N_2O (Bouwman 1990). Brak jest jednak ocen jak nawożenie pól uprawnych azotem wpływa na emisję N_2O z dużych terenów rolniczych.

Omawiane wyniki badań nie pozwalają jeszcze na dokładne ilościowe określenie udziału rolnictwa we wroście koncentracji gazów szklarniowych. Przedstawione wyniki badań sugerują jednak, że uprawa roli i hodowla zwierząt stymuluje wzrost koncentracji gazów szklarniowych. Szczególnie wyraźnie można rozpoznać wpływ intensyfikacji hodowli zwierząt i upraw ryżu na emisję metanu oraz wpływ przekształcania lasów w pola uprawne na wzrost emisji CO_2 . Podobnie uprawa gleb stymuluje uwalnianie znacznych ilości CO_2 poprzez wzmoczoną mineralizację próchnicy. Łączny efekt tych oddziaływań, choć mniejszy niż oddziaływania przemysłu, niewątpliwie jest znaczący dla bilansu wymiany gazów szklarniowych pomiędzy powierzchnią ziemi a atmosferą.

ODDZIAŁYWANIE GAZÓW SZKLARNIOWYCH NA ROŚLINY UPRAWNE

RODZAJE ODDZIAŁYWAŃ

Oddziaływanie wzrostu koncentracji gazów szklarniowych na produkcję roślinną należy rozpatrywać w dwóch kategoriach. Do pierwszej należą bezpośrednie reakcje fizjologiczne na zmiany koncentracji gazów szklarniowych, jak na przykład bezpośrednie oddziaływanie wzrostu koncentracji CO_2 na intensyfikację fotosyntezy. Oddziaływanie to często określane jest jako efekt nawożenia CO_2 . Do tej kategorii należy też zaliczyć bezpośrednie oddziaływania CO_2 na rozwój tkanek asymilujących CO_2 , fotorespirację, obniżenie intensywności transpiracji przez rośliny związane z częściowym zamykaniem szparek liściowych w warunkach podwyższonych koncentracji CO_2 i inne. Do drugiej kategorii należą pośrednie oddziaływania wzrostu koncentracji gazów szklarniowych na produkcję roślinną przez zmiany warunków klimatycznych. Do pośrednich oddziaływań oprócz zmian klimatycznych można też zaliczyć bardziej skomplikowane współzależności pomiędzy zmianami klimatycznymi a innymi warunkami określającymi rozwój roślin. Są to przykładowo przemiany właściwości gleb wywołane zmianami klimatu. Należy również oczekiwać, że zmienne warunki klimatyczne będą miały wpływ na relacje pomiędzy roślinami a zwierzętami i drobnoustrojami, a zwłaszcza szkodnikami i patogenami roślin. Zmienia się warunki konkurencji pomiędzy różnymi gatunkami roślin, na przykład chwastami a roślinami uprawnymi, można również oczekiwać odkształceń szeregu procesów mikrobiologicznych. Nastąpią więc przekształcenia współzależności pomiędzy składowymi agroekosystemów wywołane przez zmiany klimatyczne, czy też przez bezpośrednie oddziaływania zmian koncentracji gazów szklarniowych na organizmy. Dopiero poznanie tych skomplikowanych ekosystemowych współzależności pozwala na opracowanie poprawnych ekologicznie prognoz. Prognoza reakcji dużych ekologicznych układów oparta tylko na współzależnościach stwierdzonych w uproszczonych warunkach laboratoryjnych może prowadzić do błędnych wniosków. Szczególnie dużą ostrożność należy zachować przy ekstrapolacji do warunków polowych wyników badań uzyskanych w izolowanych, krótkoterminowych eksperymentalnych hodowlach poszczególnych tkanek czy roślin. Często występujące zjawiska synergizmu działania czynników i kompensacji funkcji w organizmach powodują, że ekstrapolacja charakterystyk niższego poziomu hierarchicznego analizowanego systemu na wyższy poziom może prowadzić do błędnych wniosków.

ODDZIAŁYWANIA BEZPOŚREDNIE

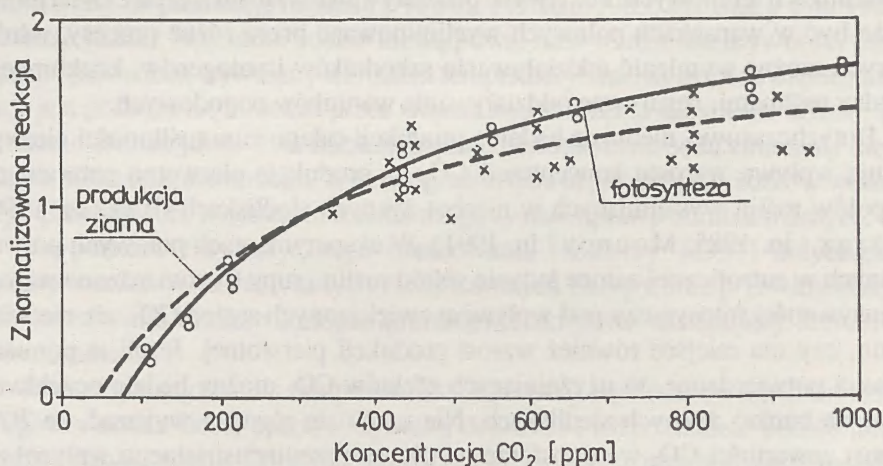
Rośliny, pochłaniając CO_2 w procesach fotosyntezy, mają olbrzymi wpływ na regulację koncentracji tego gazu w atmosferze. Dlatego rozstrzygnięcie problemu, czy roślinność rzeczywiście zwiększa asymilację CO_2 wraz ze wzrostem jego koncentracji w powietrzu (tzw. efekt nawożenia), co wyrażałoby się podniesieniem

intensywności produkcji biomasy, ma duże znaczenie teoretyczne dla modelowania obiegu węgla w przyrodzie. Rozstrzygnięcie tego zagadnienia może mieć również praktyczne znaczenie dla planów zabezpieczenia produkcji większej ilości żywności dla ludzi i zwierząt hodowlanych. Gdyby stymulacja produkcji biomasy rzeczywiście wystąpiła, mogłoby to w pewnym stopniu rekompensować negatywne skutki efektu szklarniowego, przykładowo zalewania przez morze nisko położonych części lądu, czy też zwiększonej częstości występowania ekstremalnych wartości czynników klimatycznych.

Przeprowadzone badania laboratoryjne nad tkankami lub poszczególnymi roślinami uprawnymi wykazały, że w warunkach optymalnych wzrost CO_2 prowadzi do wzrostu tempa fotosyntezy czy też wzrostu plonów, choć stopień reakcji jest zróżnicowany w zależności od gatunku, a nawet odmiany rośliny (Acock i Allen 1985, Bazzaz 1990). Tak na przykład wzrost koncentracji CO_2 z 330 ppm do 660 ppm spowodował przy optymalnych warunkach wzrost plonów koniczyny o 4%, bawełny o 104%. Wśród zbóż wzrost ten wynosił: dla ryżu 9%, kukurydzy 16%, jęczmienia 36%, pszenicy 38%. Hodując rośliny w optymalnych warunkach można stwierdzić, że wzrost koncentracji CO_2 spowoduje wyraźny wzrost szybkości fotosyntezy, częściowe zamykanie aparatów szparkowych i spadek transpiracji wśród tak zwanych roślin C_3 (rośliny zmniejszające fotooddychanie), do których należy też pszenica. Wśród roślin C_4 , do których należy też kukurydza, następuje w tych warunkach niewielki wzrost intensywności fotosyntezy (Acock i Allen, 1985)

Wyraźna reakcja procesu fotosyntezy na wzrost koncentracji CO_2 (Acock i Allen 1985) zachodzi w szerszym zakresie zmian CO_2 niż ma to miejsce z przyrostami masy asymilatów w poszczególnych organach roślin. Na przykład po znormalizowaniu rezultatów doświadczeń przez odniesienie ich do wyników uzyskanych przy koncentracji CO_2 równej 330–340 ppm można było porównać ze sobą reakcje fotosyntezy soi (roślina C_3) na wzrost koncentracji CO_2 z produkcją nasion tej rośliny hodowanej w optymalnych warunkach laboratoryjnych w tym samym zakresie zmian stężeń CO_2 . W ten sposób Acock i Allen (1985) mogli wykazać, że przy dużych stężeniach CO_2 (powyżej 400 ppm) przyrosty intensywności fotosyntezy są większe niż ma to miejsce w przypadku produkcji masy ziaren soi (rys. 1). Wskazuje to na większy stopień stabilności produkcji biomasy pomimo zmian koncentracji CO_2 , niż ma to miejsce w przypadku fotosyntezy. Zróżnicowane reakcje na wzrost koncentracji wykazują nie tylko odmienne gatunki czy odmiany roślin, ale i poszczególne organy tej samej rośliny. Przykładowo wśród typowych roślin C_3 należy się spodziewać większego wzrostu korzeni niż łodyg, przy najmniejszym przyroście liści (Acock i Allen 1985). Pamiętając o dużych międzygatunkowych czy nawet międzyodmianowych różnicach, można oczekiwać, że w idealnych warunkach plony, które stanowią części systemu korzeniowego (np. bulwy ziemniaków) będą reagowały silniej na wzrost stężenia CO_2 niż na przykład ziarna zbóż (Acock i Allen 1985).

Wzrost temperatury zmienia relacje pomiędzy stratami węgla w procesach dziennej respiracji a jego magazynowaniem w procesach fotosyntezy. W rezultacie łącznego oddziaływania wzrostu CO_2 i temperatury następuje większy wzrost biomasy wśród roślin C_3 hodowanych w warunkach laboratoryjnych (Long 1991; Hendrey 1992). Wśród roślin C_4 (jak np. kukurydza, sorgo, trzcina cukrowa) oddziaływania wzrostu koncentracji CO_2 na produkcję biomasy nie są tak wyraźne (Mooney i in. 1991; Long 1991, Hendrey 1992).



Rys. 1. Wpływ wzrastającej koncentracji CO_2 na fotosyntezę i plony (Acock i Allen 1985).

Wyniki powyższe zostały otrzymane w warunkach laboratoryjnych, w których zmianie podlegają tylko badane czynniki, pozostałe zaś czynniki wpływające na wzrost roślin są utrzymywane na stałym i optymalnym poziomie. Optymalne warunki rozwojowe nie występują jednak na polach uprawnych, zdarzają się też deficyty mineralnych składników odżywczych. Jak wykazały badania, zmienność temperatury i warunków wilgotnościowych, braki składników odżywczych i inne ograniczają lub niwelują wzrost plonów wywołany wyższą koncentracją CO_2 (Acock i Allen 1985; Lange i in. 1987; Bazzaz 1990, Mooney i in. 1991; Hendrey 1992).

Wiele omówionych powyżej doświadczeń przeprowadzono w krótkich okresach. W niektórych doświadczeniach prowadzonych przez dłuższy czas stwierdzono, że rośliny hodowane w warunkach podwyższonej koncentracji CO_2 po początkowym okresie wzrostu intensywności fotosyntezy obniżają jej poziom. Zjawisko to zostało nazwane adaptacją roślin do podwyższonej koncentracji CO_2 (Acock i Allen 1985; Hendrey 1992). Jeżeli zjawisko to występuje wśród wielu roślin, to przypuszczenia, że w naturalnych warunkach wraz ze wzrostem koncentracji CO_2 wzrośnie intensywność produkcji biomasy, mogą okazać się błędne.

Wśród roślin zbożowych, motylkowych i oleistych plon stanowią nasiona. Plon zależy więc w większym stopniu od warunków kontrolujących kwitnienie, a więc od długości dnia i temperatury, nie zaś od wzrostu CO_2 . Na przykład

podwyższone temperatury skracają okres wypełniania kłosów, co może negatywnie wpływać na wysokość plonu. Można więc oczekiwać, że wzrost temperatury wywołany efektem szklarniowym może kompensować pozytywne oddziaływania podwyższonych koncentracji CO₂ (Sinha 1991).

Większość roślin uprawnych należy do grupy C₃, które zgodnie z wynikami badań laboratoryjnych reagują wzrostem biomasy przy podwyższonych koncentracjach CO₂. Nie ma jednak pewności, czy rzeczywiście zjawisko to wystąpi w warunkach terenowych. Pozytywne oddziaływanie wzrostu stężeń CO₂ na plony może być w warunkach polowych wyeliminowane przez różne procesy, wśród których można wymienić oddziaływania szkodników i patogenów, konkurencję między roślinami, negatywne oddziaływania warunków pogodowych.

Dotychczasowe, nieliczne badania produkcji całego ładu roślinności nie wykazują wpływu wzrostu koncentracji CO₂ na produkcję pierwotną naturalnych zespołów roślin występujących w niezbyt żyznych siedliskach (Bazzaz 1990; Bazzaz i in. 1985; Mooney i in. 1991). W eksperymentach polowych prowadzonych w eutroficznej zatoce jedynie wśród roślin grupy C₃ stwierdzono wzrost intensywności fotosyntezy pod wpływem zwiększonych stężeń CO₂, ale nie wiadomo, czy ma miejsce również wzrost produkcji pierwotnej. Jeżeli te pomiary zostaną potwierdzone, to użyźniających efektów CO₂ można będzie oczekiwać tylko na bardzo żyznych siedliskach. Nie udało się również wykazać, że 20% wzrost zawartości CO₂ w atmosferze od okresu przedindustrialnego wpłynął na wzrost produkcji roślin (Strain 1985; Sinha 1991). Analizując w podobnych warunkach klimatycznych zjawiska konwergencji produkcji pierwotnej ekosystemów łąkowych, leśnych i agroekosystemów, w których roślinność występowała w ciągu całego okresu wegetacyjnego, Ryszkowski (1984, 1988) wykazał większą stałość wielkości produkcji pierwotnej niż plonów, co powodowane jest występowaniem procesów kompensacji w trakcie rozwoju ładu roślinności. Wzrost jednego organu rośliny wiąże się często z mniejszym rozwojem jej innego organu, podobnie jak silny rozwój jednego gatunku roślin jest związany ze słabszym rozwojem drugiego gatunku. Zjawiska kompensacji w obrębie całego ładu roślinności powodują, że produkcja całego zespołu roślinnego czy też ładu jest znacznie bardziej stała niż produkcja poszczególnych jego komponentów, pomimo dużej zmienności czynników oddziałujących na produkcję.

Generalnie można przypuszczać, że stwierdzone w laboratoryjnych warunkach pozytywne oddziaływanie wzrostu stężenia CO₂ na produkcję roślinną najprawdopodobniej nie będzie miało miejsca w warunkach polowych.

POŚREDNIE ODDZIAŁYWANIA EFEKTU SZKLARNIANEGO NA PRODUKCJĘ ROŚLINNĄ

Bardzo istotne znaczenie dla prognoz pośrednich oddziaływań wzrostu koncentracji CO₂ na rolnictwo będzie miała kwestia zmian ilości opadów. Jest to bardzo kontrowersyjny problem. Część badaczy przypuszcza, że wraz ze wzrostem temperatury nastąpi przesuszenie terenu (np. Scott i in. 1990), inni natomiast

uważają, że efekt szklarniowy na tym samym obszarze spowoduje wzrost opadów (Decker i in. 1985). Generalnie można stwierdzić, że prognozowanie wpływu efektu szklarniowego na reżim wodny określonego regionu jest niepewne (Hendrey 1992; Parry i Carter 1991; Hekstra 1991). Przy wzrastającym przesuszeniu można oczekiwać, że zmniejszenie transpiracji wywołane wzrostem koncentracji CO₂ może do pewnych granic przeciwdziałać negatywnym wpływom braku wody na produkcję rolniczą (Acock i Allen 1985, Mooney i in. 1991). Większe jednak znaczenie będzie niewątpliwie miał wzrost intensywności transpiracji i parowania wywołany wzrostem temperatury. Intensywność ewapotranspiracji jest ponadto regulowana przez stopień zachmurzenia i szybkość wiatru. Nie wiadomo jednak jak te dwa ostatnie czynniki klimatyczne będą zmieniały się na skutek efektu cieplarnianego. W celu ograniczenia negatywnych skutków wiosennego przesuszenia większe znaczenie mogą zyskać uprawy odmian ozimych.

Na podstawie syntetycznego opracowania Hekstry (1991) dotyczącego zmiany warunków klimatycznych i siedliskowych Europy oraz przewidywanych ich skutków dla rolnictwa można przedstawić skrótowo następujący scenariusz przekształceń.

Przewidywany wzrost temperatur do 2050 roku wyniesie od 1,5°C do 4,5°C. Prognozy zmian ilości opadów są mniej dokładne i różne modele podają nawet przeciwstawne oceny. Choć dokładność poszczególnych prognoz może być dyskutowana, to jednak nie ma wątpliwości, że nastąpią zmiany klimatyczne wpływające na naturalne zespoły roślinności, rolnictwo i leśnictwo. Niskie strefy pobrzeży mórz zostaną narażone na zalanie, a ekstremalne, zjawiska pogodowe będą groźniejsze i częstsze.

W strefie śródziemnomorskiej przewidywany jest wzrost przesuszenia terenów, co może ujemnie odbijać się na plonach, jeśli nie będą podjęte na szeroką skalę nawadniania pól. Jednak zwiększające się spływy powierzchniowe po ulewnych, krótkotrwałych deszczach spowodują znaczne zasolenie wód na skutek erozji. W regionie tym przestaną występować przymrozki, zagrażające obecnie plantacjom drzew owocowych. Różne modele prognoz przewidują albo generalne obniżenie produkcji rolnej, albo jej utrzymanie lub wzrost w przypadku wykorzystania zdobyczy inżynierii genetycznej.

Na terenach gór (Pireneje, Alpy, Karpaty, Kaukaz) wzrost temperatury spowoduje przesunięcie w górę stref roślinności o około 500 m na stokach północnych i 800 m na stokach południowych, a okres wegetacji we wszystkich strefach znacznie się wydłuży. Lodowce w Alpach ulegną zmniejszeniu. Rolnictwo w niższych partiach gór zacznie odchodzić od wypasu zwierząt na pastwiskach, a znacznie wzrośnie uprawa warzyw, tytoniu i winorośli. Lasy zmniejszą swój zasięg ze względu na narastające niedobory wody oraz oddziaływanie kwaśnych deszczy.

W Europie Zachodniej, objętej klimatem oceanicznym, czynnikiem decydującym o zmianach roślinności będzie działalność człowieka. Już obecnie obszar ten

jest najbardziej w Europie przekształcony przez człowieka. Obszary południowej Francji i północnej Hiszpanii staną się bardziej suche, w związku z czym wzrosną potrzeby nawodnień koniecznych dla rozwoju rolnictwa. Rzeki, jak Ren, Wezera, Elba, będą wykazywały krótszy okres wezbrań wiosennych następujących po wcześniejszym stopieniu śniegu w Alpach. Częściej będą w nich występowały również bardzo niskie stany wody w okresach letnich. Istniejące już obecnie problemy nadprodukcji rolniczej i wynikające z niej porzucanie gruntów uprawnych być może pozwoli przez odpowiednią zabudowę biologiczną odłogów opanać problemy erozji. Jest to obszar, gdzie w wyniku dobrego nawożenia oraz rozwiniętych form walki ze szkodnikami i patogenami może dojść do stymulacji produkcji na skutek podwyższonej koncentracji CO₂ w powietrzu. Wystąpieniu tego efektu będzie przeciwdziałało narastanie suszy.

We Europie Wschodniej wystąpi znaczny wzrost intensywności parowania potencjalnego. Natomiast wielkość jak i rozkład opadów są odmiennie prognozowane przez różne modele. Tak na przykład na południu Ukrainy według jednych prognoz będzie wzrastało przesuszenie i wystąpią zjawiska zasolenia gleb, co ujemnie odbije się na produkcji rolniczej. Według innych scenariuszy opady wzrosną, co będzie sprzyjało znacznemu wzrostowi produkcji rolnej. Przewiduje się, że w górnym dorzeczu Wołgi oraz w zlewni Wisły opady wzrosną, co również będzie stymulowało wzrost produkcji rolnej. Wiele upraw przesunie się bardziej na północ.

W strefie lasów borealnych wystąpią duże zmiany roślinności wyrażające się ekspansją gatunków liściastych. Naturalne zespoły roślinne ulegną bardzo dużym zmianom. Nastąpi znaczny rozwój rolnictwa związany z indrodukcją do Skandynawii wielu dotychczas nie uprawianych tam roślin.

Przedstawiony przez Hekstrę (1991) syntetyczny scenariusz zmian klimatu, warunków siedliskowych i roślinności powodowanych przez efekt szklarniowy należy uzupełnić informacjami charakteryzującymi przewidywane zmiany współzależności biocenotycznych, które mogą mieć znaczenie dla rozwoju rolnictwa.

Wzrost CO₂, oddziałując na zmniejszenie koncentracji azotu w tkankach roślin (Bazzaz 1990; Overdieck 1990) może zmienić wartości odżywcze tkanek roślinnych, co zwrótnie może zwiększyć presję roślinożerców na rośliny. Roślinożerze bowiem zjadają więcej pokarmu o małej zawartości azotu niż, gdy biomasa roślinna jest bogata w azot. Zmniejszona zawartość azotu powoduje, że relacje ilości tego pierwiastka do ilości węgla w tkankach ulegają zmianie, co może mieć wpływ na szybkość rozkładu resztek roślinnych przez drobnoustroje (Bazzaz 1990; Overdieck 1990; Mooney i in. 1991). Niektóre wyniki badań omówione przez Bazzaza (1990) wskazują, że wśród roślin rozwijających się w warunkach podwyższonej koncentracji CO₂ następuje silniejsze wykształcenie drobnych korzeni (prawdopodobnie również zwiększone są ilości wydzielin związków organicznych z korzeni), co sprzyja rozwojowi mikoryzy oraz zmienia relacje występowania różnych grup funkcjonalnych drobnoustrojów.

Bardzo ciekawe są wyniki eksperymentów wskazujących, że przy podwyższonych stężeniach CO₂ rośnie odporność niektórych gatunków roślin na działanie ozonu i dwutlenku siarki. Jest to wynikiem częściowego zamykania się szparek liściowych przy podwyższonej koncentracji CO₂, na co wskazywałoby to, że rośliny z grupy C₄, wykazujące w mniejszym stopniu zamykanie szparek przy wzroście koncentracji CO₂, są znacznie mniej odporne na uszkodzenia przez O₃ i SO₂ niż rośliny z grupy C₃ (Bazzaz 1990).

Przedstawione powyżej przykłady zmian funkcjonalnych relacji pomiędzy roślinami a zwierzętami czy mikroorganizmami w wyniku oddziaływania podwyższonych koncentracji CO₂ zostały wykryte w badaniach laboratoryjnych. Odnoszą się więc do nich te same zastrzeżenia, które zostały wysunięte w odniesieniu do laboratoryjnych badań wykazujących wpływ podwyższonych koncentracji CO₂ na produkcję biomasy roślin. Nie jest pewne, jak wyraźnie zjawiska te wystąpią w warunkach polowych. Można sobie wyobrazić, że spowolniony rozkład resztek roślinnych powodowany szerszym stosunkiem C : N będzie kompensowany szybszym rozkładem wywołanym podwyższoną temperaturą. Generalizując, należy więc jeszcze raz podkreślić, że przenoszenie wyników badań laboratoryjnych do warunków terenowych powinno być dokonane bardzo ostrożnie.

Wydłużające się na skutek efektu szklarniowego okresy wegetacji będą sprzyjały rozwojowi chwastów, zwłaszcza tych o krótkim okresie rozwoju, co umożliwi im zwiększenie liczby generacji w ciągu roku. Należą tu takie gatunki jak *Stellaria media* czy *Capsella bursa-pastoris* (Ketner 1990). Narastające ocieplenie klimatu będzie miało również wpływ na przesunięcie się na północ wielu gatunków chwastów, zwłaszcza tych, które silnie opanowują uprawy w rejonach południowych, jak *Amaranthus* sp, *Portulaca oleracea* i inne należące głównie do grupy roślin C₄. Stanowią one już obecnie problem na wielu uprawach spowodowany nieświadomym rozprzestrzenianiem ich przez człowieka. Wiele danych wskazuje, że przy wzroście temperatury i wydłużaniu się okresu wegetacji zasoby nasion chwastów w glebie znacznie wzrosną (Ketner 1990). Należy więc sądzić, że występowanie chwastów stanie się jeszcze poważniejszym problemem, a ich zwalczanie będzie wymagało wielu wysiłków w przyszłości.

Gdyby w wyniku efektu szklarniowego nastąpiło ocieplenie i wzrosła ilość opadów, będzie to nie tylko stymulowało jeszcze bujniejszy rozwój chwastów, ale również intensywniejsze występowanie patogenów porażających uprawy roślin (Bazzaz i in. 1985; Decker i in. 1985; Parry i Carter 1991). Na przykład oceniono, że w wyniku ocieplenia na Islandii będzie można zintensyfikować uprawę jęczmienia. Obecnie szkody wywołane przez szkodniki i patogeny nie mają znaczenia. Przy ociepleniu się klimatu szkody te mogą dochodzić do 15% plonów (Bergthorsson i in. 1988).

Człowiek kontroluje warunki środowiskowe hodowanych zwierząt. Dlatego oddziaływania efektu szklarniowego na produkcję zwierzęcą będą głównie zwią-

zane z podniesieniem kosztów utrzymania klimatyzacji warunków życia zwierząt. Oprócz tego można oczekiwać następujących efektów zmian klimatu:

a) produkcja zwierzęca może wzrosnąć na skutek cieplejszych zim, ale zbyt gorące lata będą oddziaływały na nią ujemnie;

b) wyższe temperatury letnie zwiększą ryzyko wyginięcia zwierząt na skutek przegrzania;

c) wyższe temperatury letnie obniżą rozród hodowanych zwierząt (Decker i in. 1985).

SCENARIUSZE ZMIAN KLIMATYCZNYCH W POLSCE

Założenia i sposoby obliczeń

Podjęte próby weryfikacji wyników uzyskanych z modelu ogólnej cyrkulacji atmosfery (GCM) przez porównanie ich z rzeczywistymi ilościami opadów w Europie w okresie 1931–1960 wykazały ich znaczne odchylenia, szczególnie duże dla obszaru północnych Niemiec oraz Polski (Parry i Carter 1991). W tej sytuacji przedstawione poniżej oceny zmian klimatycznych w Polsce wywołanych efektem szklarniowym (podwojenie koncentracji CO_2) przedstawiono w postaci założonych scenariuszy opadów. W pierwszej grupie scenariuszy w stosunku do panującej obecnie sytuacji przyjęto, że opady wzrosną o 23% (Jager 1986), a w drugiej, że zmaleją o 20% (tab. 1). Ponieważ lasy wywierają duży wpływ na strukturę bilansu cieplnego, dla każdej klasy zmian ilości opadów wyróżniono trzy sytuacje, w których lesistość poszczególnych regionów wzrosła o 10%, zmalała o 50% lub w wyniku bardzo silnych zanieczyszczeń środowiska lasy zupełnie wymarły. Jest to skrajny przypadek, który z pewnością nie wystąpi, ale analiza skutków takiej sytuacji pozwala lepiej ocenić znaczenie lasów dla kształtowania struktury bilansu cieplnego i wodnego poszczególnych regionów kraju. Wzrost temperatur w stosunku do obecnej sytuacji, w okresie podwojenia koncentracji CO_2 w atmosferze przyjęto z modelu GCM (Jager 1986). Wynosi on 2°C latem i 6°C zimą. Cały obszar kraju podzielono na 28 regionów przyjmując charakterystyki klimatyczne Romera (1949). Niektóre z regionów klimatycznych Romera podzielono na mniejsze z powodu zróżnicowanego użytkowania terenu (Kędziora i in. 1989). Oceny zmian klimatycznych przeprowadzono dla każdego miesiąca a wyniki uśredniono dla okresu ciepłego (kwiecień–wrzesień), zimnego (październik–marzec) i dla całego roku. Obecny stopień zalesienia poszczególnych regionów przyjęto według danych GUS za rok 1986. Szczegółowe informacje na ten temat podano w pracy Kędziory i in. (1989). Dla ocen zmian warunków klimatycznych, wywołanych przez efekt szklarniowy przy podwojeniu obecnej koncentracji CO_2 , oszacowano składowe bilansu cieplnego: R_n — saldo promieniowania; LE — utajone ciepło parowania, S — ciepło wykorzystane do ogrzania powietrza. W analizie struktury bilansu wodnego oszacowano opad (OP), parowanie rzeczywiste (ETR) i parowanie potencjalne (ETP). Sposoby obliczania

poszczególnych parametrów przedstawiono w pracach Kędziora i in. (1989) i Ryszkowski i in. (1991).

Tabela 1

Scenariusze prawdopodobnych zmian klimatycznych i lesistości w Polsce, powstałych w wyniku podwojenia się zawartości CO₂ w atmosferze

Scenariusz	Zmiany temperatury	Zmiany opadów	Zmiany lesistości
0	Temperatura waha się od 0° do -6°C zimą i od 16° do 19°C latem	Najniższe zimą Najwyższe latem Suma roczna 700 mm	28% powierzchni
1	Wzrost temperatury o 2°C latem i o 6°C zimą	Wzrost opadów o 0,6 mm/dobę wiosną i o 0,4 mm/dobę w pozostałym okresie średnio o 23%	Wzrost lesistości o 10% powierzchni obecnej
2	jak wyżej	jak wyżej	Degradacja lasów na 50% powierzchni
3	jak wyżej	jak wyżej	Całkowita degradacja lasów
4	jak wyżej	Spadek opadów o 20% sum obecných	Wzrost lesistości o 10% powierzchni obecnej
5	jak wyżej	jak wyżej	Degradacja lasów na 50% powierzchni
6	jak wyżej	jak wyżej	Całkowita degradacja lasów

W poszczególnych miesiącach roku średnia temperatura może być obliczona wzorem (Kędziora i in. 1989):

$$T = t + 2 \cdot (\cos(\pi : 6 \cdot (i-1) + 2)),$$

gdzie

T – temperatura po podwojeniu koncentracji CO₂,

t – temperatura aktualna,

i – kolejna liczba porządkowa miesiąca poczynając od stycznia.

Oceny długości okresu prac polowych i sezonu wegetacyjnego

Aktualnie długość okresu prac polowych (gdy temperatury dzienne przekraczają 2,5°C) waha się od około 215 w górach i 220 dni w północno-wschodniej części Polski do ponad 250 w południowo-zachodnich nizinnych regionach Polski (rys. 2, Molga 1986). W wyniku podwojenia stężenia CO₂ okres ten będzie wynosił od około 280 dni w górach i 310 na Suwalszczyźnie do pełnego roku w zachodniej części kraju (rys. 3). Przyrost długości okresu prac polowych wyniesie od 90 dni w tych regionach, w których jest on obecnie najkrótszy do 120 i więcej na tych terenach, gdzie jest on najdłuższy (rys. 4). Długość okresu wegetacyjnego (gdy temperatury dzienne przekraczają 5°C) waha się dzisiaj od około 185 dni w górach i poniżej 200 dni w północno-wschodnich regionach Polski

do około 220 w południowo-zachodniej części kraju (rys. 5, Molga 1986). W wyniku wzrostu temperatury długość tego okresu wzrośnie i wyniesie około 240 dni w górach i około 260 w północno-wschodniej Polsce do ponad 330 w szczecińskim i na Dolnym Śląsku (rys. 6). Przyrost długości okresu wegetacji waha się od około 60 dni na terenach najchłodniejszych, do ponad 120 w szczecińskim (rys. 7). Tak więc prawdopodobne zmiany klimatu różnicują Polskę pod względem klimatycznych warunków uprawy roślin jeszcze bardziej niż jest to obecnie. Dzisiaj różnica w długości okresu prac polowych i okresu wegetacji na obszarze całego kraju wynosi około miesiąca, natomiast w wyniku zmian klimatycznych wyniesie ona dwa miesiące.

Zmiany struktury bilansu cieplnego i wodnego w ciepłym półroczu

W strukturze bilansu cieplnego w aktualnych warunkach dyspozycyjna energia słoneczna (saldo promieniowania — R_n) wykorzystywana jest głównie na parowanie wody (3/4 wartości R_n). Na ogrzewanie powietrza wykorzystywane jest około trzy razy mniej energii niż na parowanie wody. Saldo promieniowania ma podobne wartości w Wielkopolsce i w całej Polsce, które odpowiednio wynoszą 83 i 84 $W \cdot m^{-2}$. W strukturze bilansu wodnego widać zasadniczą różnicę pomiędzy Wielkopolską i całym krajem. W Wielkopolsce występuje deficyt wilgoci (parowanie jest większe o 17 mm od wielkości opadów, tab. 2), co świadczy, że w okresie wegetacyjnym musi obniżać się zwierciadło wód gruntowych, gdyż rośliny czerpią wodę na swoje potrzeby z zasobów wody gruntowej.

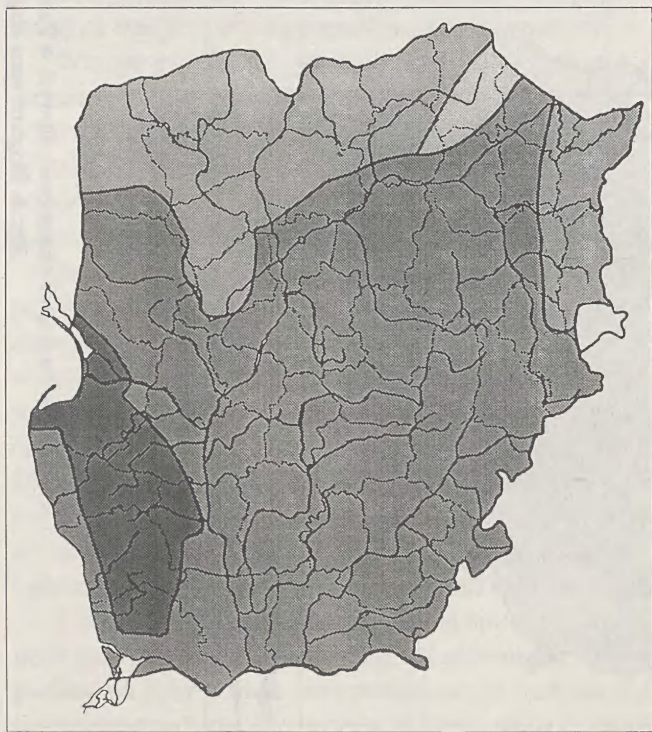
Wzrost temperatury powietrza, wzrost opadów i wzrost powierzchni leśnej (scenariusz 1) spowoduje wzrost salda promieniowania w Wielkopolsce i w Polsce odpowiednio o 9 i 8 $W \cdot m^{-2}$ (tab. 2). Wzrost ten wykorzystany będzie w równym stopniu na parowanie jak i na ogrzanie powietrza. Struktura bilansu cieplnego pozostanie prawie bez zmian. Wzrost parowania wyniesie około 40 mm, jednak wzrost opadów będzie większy i zniknie zjawisko deficytu opadów.

Jeżeli wraz ze wzrostem temperatury i opadów nastąpi zmniejszenie o połowę powierzchni leśnej, wtedy nastąpi spadek salda promieniowania i znaczny spadek strumienia utajonego ciepła parowania (scenariusz 2), podczas gdy strumień ciepła wykorzystany na ogrzewanie powietrza pozostanie bez zmian (tab. 2). Spadek parowania w stosunku do aktualnego wyniesie około 10 mm i przy wzroście opadów doprowadzi to do dodatniego bilansu wodnego (opad — parowanie) rzędu 80 mm w Wielkopolsce i 130 średnio w całym kraju. Liczby te świadczą o tym, że lokalnie, w terenach silnie urzeźbionych i słabo porośniętych wzrośnie groźba erozji wodnej, szczególnie w świetle przewidywanej zmiany struktury opadów (więcej będzie deszczy burzowych o dużym natężeniu opadu).

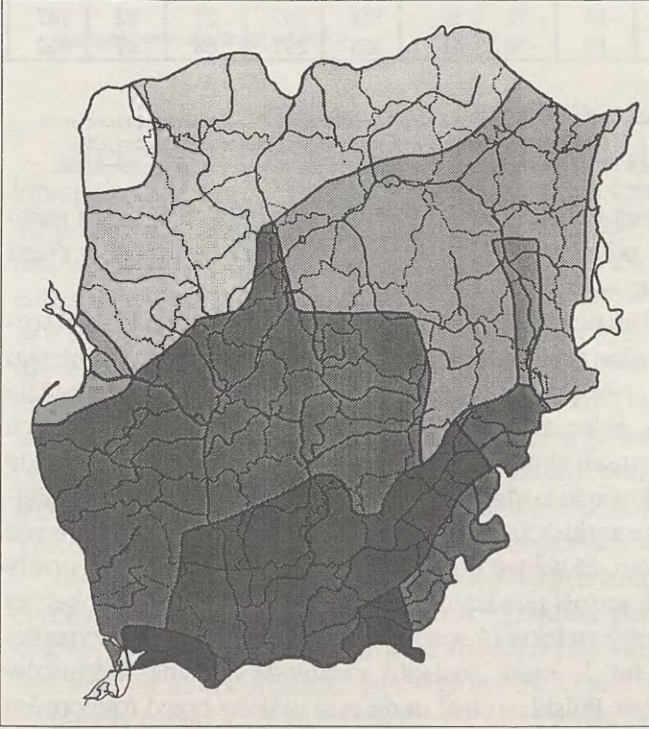
Całkowita degradacja szaty leśnej spowoduje znaczny spadek salda promieniowania (o 20 $W \cdot m^{-2}$), co odbije się głównie na zmniejszonym strumieniu ciepła parowania przy prawie nie zmniejszonym (jedynie o 3 $W \cdot m^{-2}$) strumieniu ciepła jawnego ogrzewającego powietrze. Degradacja szaty leśnej powoduje w strukturze bilansu cieplnego mały spadek udziału utajonego ciepła parowania (rubryka 6



Rys. 2. Aktualna długość okresu prac polowych w Polsce. (Okres z temperaturą powietrza wyższą niż 2,5°C.)
 Rys. 3. Prognozowana długość okresu prac polowych.



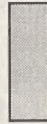
Rys. 4. Przyrost długości okresu prac polowych w wyniku podwojenia się obecnej zawartości CO₂ w powietrzu.
 Rys. 5. Aktualna długość okresu wegetacyjnego w Polsce. (Okres z temperaturą powietrza wyższą niż 5°C).



Długość okresu w dniach



241 - 255



256 - 270



271 - 285



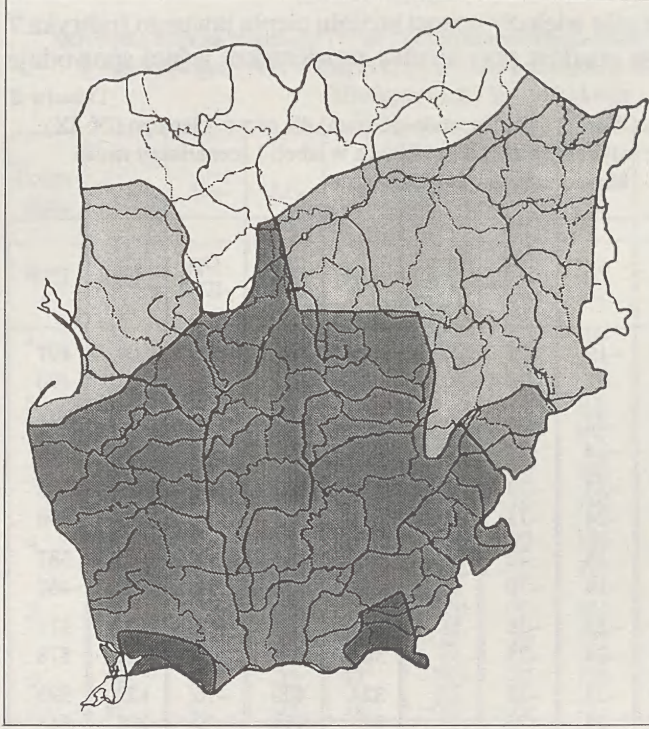
286 - 300



301 - 315



331 - 345



Długość okresu w dniach



51 - 65



66 - 80



81 - 95



96 - 110



111 - 125

Rys. 6. Prognozowana długość okresu wegetacyjnego.

Rys. 7. Przyrost długości okresu wegetacyjnego w wyniku podwojenia się obecnej zawartości CO₂ w powietrzu.

w tab. 3 — LE/Rn) i znacznie większy wzrost udziału ciepła jawnego (rubryka 7 w tab. 3 — S/LE). Wzrost opadów przy spadku powierzchni leśnej spowoduje

Tabela 2

Składowe bilansu cieplnego ($W \cdot m^{-2}$) i bilansu wodnego (mm) dla okresu ciepłego (IV–IX) w Wielkopolsce (W) i w całym kraju (P), dla podanych w tabeli 1 scenariuszy zmian klimatycznych i lesistości kraju

Scenariusz	Obszar	Rn	LE	S	LE	S	OP	ETR	Op -ETR	ETR	ETP
					Rn	LE				Op	
					%	%				%	
0	W	83	-64	-19	-76	30	396	413	-17	104	497
	P	84	-62	-21	-74	34	444	402	42	91	490
1	W	92	-70	-22	-76	31	480	452	28	94	575
	P	92	-69	-24	-75	35	528	445	83	84	578
2	W	85	-62	-23	-73	37	480	400	80	83	523
	P	85	-61	-24	-72	39	528	394	134	75	546
3	W	64	-46	-18	-72	39	480	297	183	62	387
	P	65	-46	-19	-70	41	528	297	231	56	462
4	W	92	-70	-22	-76	31	324	452	-128	140	575
	P	92	-69	-24	-75	35	365	445	-80	122	578
5	W	85	-62	-23	-73	37	324	400	-76	123	523
	P	85	-61	-24	-72	39	365	394	-29	108	546
6	W	64	-46	-18	-72	39	324	297	27	92	387
	P	65	-46	-19	-70	41	365	297	68	81	462

Znaczenie symboli: W — Wielkopolska, P — Polska, Rn — saldo promieniowania, LE — strumień ciepła utajonego, wykorzystywanego na parowanie, S — strumień ciepła jawnego wykorzystywanego na ogrzanie atmosfery, OP — opady atmosferyczne skorygowane, ETR — ewapotranspiracja rzeczywista, ETP — ewapotranspiracja potencjalna

wzrost groźby erozji wodnej w całym kraju. Różnica pomiędzy opadami i parowaniem w ciągu ciepłego półrocza wyniosłaby tyle, ile obecnie wynosi w ciągu całego roku (około 200 mm — rubryka 10 w tab. 4).

Spadek opadów przy jednoczesnym zwiększeniu się powierzchni leśnej (scenariusz 4), spowoduje tak silne przesuszenie środowiska, że intensywne rolnictwo nie będzie mogło istnieć. Nie pomogą tutaj nic nawodnienia, gdyż nie będzie zimowych zapasów wody, które można by zmagazynować dla pokrycia letnich niedoborów. W tym scenariuszu zimowy bilans wodny wykazuje tylko niewielkie nadwyżki. Nawet zdegradowanie lasów na 50% obecnej powierzchni nie zmniejszy deficytów wodnych (scenariusz 5). Z drugiej jednak strony z dotychczasowych badań (Bac 1968) wiadomo, że wzrost powierzchni leśnej o 1% zwiększa opady o 5 mm rocznie. Tak więc wzrost powierzchni leśnej o 3% (10% z 28% obecnej powierzchni leśnej) mogłoby zwiększyć opady o 15 mm. Tak więc w przypadku realizacji scenariusza 4 lub 5 musi nastąpić całkowita zmiana warunków wilgotnościowych na terenie Polski, co być może postawiłoby przed rolnictwem trudności nie do pokonania.

Tabela 3

Składowe bilansu cieplnego ($W \cdot m^{-2}$) i bilansu wodnego (mm) dla okresu zimnego (X-II) w Wielkopolsce (W) i w całym kraju (P), dla podanych w tabeli 1 scenariuszy zmian klimatycznych i lesistości kraju

Scenariusz	Obszar	Rn	LE	S	$\frac{LE}{Rn}$	$\frac{S}{LE}$	OP	ETR	Op -ETR	$\frac{ETR}{Op}$	ETP
					%	%				%	
0	W	4	-17	12	-429	-71	222	110	112	50	108
	P	5	-15	8	-368	-54	262	96	166	37	98
1	W	6	-30	23	-500	-77	300	194	106	65	222
	P	6	-29	21	-556	-72	340	188	152	55	208
2	W	4	-28	22	-700	-79	300	181	119	60	210
	P	5	-27	20	-609	-74	340	175	165	51	196
3	W	3	-22	17	-733	-77	300	142	158	47	174
	P	4	-21	16	-660	-76	340	135	205	40	162
4	W	6	-30	23	-500	-77	186	194	-8	104	222
	P	6	-29	21	-556	-72	217	188	29	87	208
5	W	4	-28	22	-700	-79	186	181	5	97	210
	P	5	-27	20	-609	-74	217	175	42	81	196
6	W	3	-22	17	-733	-77	186	142	44	76	174
	P	4	-21	16	-660	-76	217	135	82	62	162

Znaczenie symboli takie jak w tabeli 2

Półrocze zimne (październik-marzec)

Charakterystyczną cechą tego okresu jest bardzo małe saldo promieniowania, którego wartości są bardzo podobne dla wszystkich scenariuszy. Wysokie parowanie potencjalne (2 razy większe niż obecnie) powoduje również dwukrotny wzrost parowania rzeczywistego co wymaga od 5 do 7 razy więcej energii niż to jest dostępne z salda promieniowania (tab. 3). Te niedobory energetyczne pokrywane są z ciepła napływającego z masami atmosferycznymi; strumień jawny (S) skierowany jest ku powierzchni czynnej (wartości dodatnie w rubr. 5, tab. 3). Jawny strumień ciepła wzrośnie w 1 i 2 scenariuszu od 2 do 2,5 razy w stosunku do wartości aktualnych. Duże wartości parowania powodują, że pomimo wzrostu opadów (w 2 pierwszych scenariuszach) retencja wodna (opad OP — parowanie rzeczywiste ETR) praktycznie się nie zmienia w stosunku do wartości aktualnych. Tylko w scenariuszu, gdy następuje pełna degradacja lasów retencja wzrasta.

We wszystkich scenariuszach przewidujących zmniejszenie się opadów bilans wodny jest bardzo napięty, co bardzo ogranicza pole manewru w gospodarce wodnej w rolnictwie. Niemożliwe będzie utrzymywanie intensywnego rolnictwa opartego na nawodnieniach, gdyż nie będzie zimowych rezerw wody, które pozwoliłyby napełnić zbiorniki retencyjne wodą wykorzystywaną latem. Wielkopolska

Tabela 4

Składowe bilansu cieplnego ($W \cdot m^{-2}$) i bilansu wodnego (mm) dla okresu rocznego w Wielkopolsce (W) i w całym kraju (P), dla podanych w tabeli 1 scenariuszy zmian klimatycznych i lesistości kraju

Scenariusz	Obszar	Rn	LE	S	LE	S	OP	ETR	Op -ETR	ETR	ETP	
					Rn	LE				Op		Op
					%	%				%		%
0	W	43	-40	-4	-93	10	612	515	97	84	600	
	P	44	-38	-7	-86	18	707	495	212	70	553	
1	W	49	-50	1	-102	-2	780	644	136	83	780	
	P	49	-49	-1	-100	2	869	629	240	72	745	
2	W	45	-45	0	-100	0	780	580	200	74	744	
	P	45	-44	-2	-98	5	869	566	303	65	705	
3	W	34	-34	-1	-100	3	780	438	342	56	624	
	P	34	-33	-2	-98	6	869	429	440	49	592	
4	W	49	-50	1	-102	-2	504	644	-140	128	780	
	P	49	-49	-1	-100	2	580	629	-49	108	745	
5	W	45	-45	0	-100	0	504	580	-76	115	744	
	P	45	-44	-2	-98	5	580	566	14	98	705	
6	W	34	-34	-1	-100	3	504	438	66	87	624	
	P	34	-33	-2	-98	6	580	429	151	74	592	

Znaczenie symboli takie jak w tabeli 2

sce zagraża susza uniemożliwiająca rozwój nawet ekstensywnego rolnictwa. W tych warunkach można przewidywać rozwój półpustynnych zespołów roślinności.

Okres roczny

W okresie rocznym charakterystyczną cechą struktury bilansu cieplnego jest to, że we wszystkich scenariuszach (tab. 4) saldo promieniowania prawie całkowicie wykorzystywane jest na parowanie. W najoptimistyczniejszym scenariuszu 1 dyspozycyjne zasoby wody są na tyle duże, że mogą zabezpieczyć potrzeby wodne wszystkich gałęzi gospodarki narodowej. Przy tym groźba erozji nie jest istotna. Jednak przy wzroście opadów i całkowitej degradacji lasów powstanie poważne zagrożenie erozją wodną. W wypadku potęgującego się przesuszenia kraju zasoby wodne będą poważnym czynnikiem nie tylko ograniczającym rolnictwo, ale i cały rozwój gospodarczy kraju. Jedynie w wypadku zupełnego wylesienia (scenariusz 6) wystąpi niewielka nadwyżka opadów nad parowaniem.

Zasadniczym wnioskiem wypływającym z powyższej analizy jest konieczność opracowania już dzisiaj różnych strategii przystosowania gospodarki narodowej do różnych wariantów przewidywanych zmian. Pozwoli to na uniknięcie zaskoczenia nie przewidzianymi klimatycznymi sytuacjami. W przygotowywanych

strategiach ważną rolę powinien odgrywać monitoring przemian, pozwalający na odpowiednio wczesne rozpoznanie nasilającej się tendencji zmian. Umożliwi to odpowiednio wczesną restrukturyzację rolnictwa oraz innych działów gospodarki kraju, umożliwiając optymalizację nakładów i środków. W sytuacji zaskoczenia przez niekorzystny rozwój warunków klimatycznych poniesione będą znacznie większe koszty.

Nawet w przypadku wzrostu ilości opadów ze względu na ocieplenie klimatu należy spodziewać się daleko idących zmian w strukturze roślin uprawnych. Przykładowo, jeżeli w Polsce, zgodnie z prognozą Ryszkowskiego i in. (1991), zapanuje w 2050 roku klimat podobny do obecnie panującego w południowych Morawach, to można się spodziewać, że kukurydza będzie dojrzewała w granicach Polski, a udział winnic zacznie być znaczący w strukturze roślin uprawowych. Może to spowodować daleko idące zmiany struktury zasiewów, na przykład radykalne zmniejszenie się areалу upraw żyta czy ziemniaków lub zastąpienie odmian obecnie uprawianych przez odmiany bardziej dostosowane do cieplejszych warunków.

Duże znaczenie będzie miało wydłużenie okresu wegetacji roślin. W zależności od rozkładu warunków temperaturowo-wilgotnościowych będzie można uzyskać dwa plony w ciągu roku. Z pewnością wzrośnie możliwość uprawy przed- lub poplonów co wpłynie na poprawę zasobów pasz dla hodowanych zwierząt oraz będzie sprzyjało zachowaniu zasobów próchnicy.

ZAKOŃCZENIE

Przedstawiony przegląd wyników badań na temat relacji pomiędzy rolnictwem a zmianami globalnymi wywołanymi wzrostem koncentracji gazów szklarniowych prowadzi do następujących konkluzji:

a) intensyfikacja produkcji rolnej przyczynia się do wzrostu koncentracji gazów szklarniowych w atmosferze. Choć oddziaływania rolnictwa są mniej intensywne niż przemysłu, są one jednak znaczące. Dlatego w strategii ochrony środowiska należałoby podjąć badania pozwalające opracować technologie ograniczające emisje gazów szklarniowych z agroekosystemów. Na przykład ograniczenie intensywności procesów nityfikacji może zmniejszyć emisje podtlenku azotu z gleby. Niezmiernie ważne znaczenie dla ograniczania emisji CO₂ będzie miało zalesienie mniej żyznych gleb, nasycenie zmianowań roślin uprawnych przed- i poplonami, wprowadzanie bezorkowej uprawy, zaniechanie melioracji i uprawy gleb hydromorficznych i tym podobne. Przyszłe badania powinny być ukierunkowane na pełniejsze zrozumienie odkształceń w cyklach obiegu materii wywołanych przez działalność rolniczą przykładowo na wymianie CO₂, N₂O, NH₃, CH₄ pomiędzy glebą a atmosferą celem opracowania technologii upraw minimalizujących ich emisje.

b) Jak wykazują badania, reakcja fotosyntezy na wzrost CO_2 następuje w okresie paru sekund, natomiast procesy adaptacyjne do wzrostu CO_2 pojawiają się dopiero po dniach lub paru tygodniach (Mooney i in. 1991), a zwiększenie zaś biomasy następuje po upływie tygodni lub paru miesięcy. Oddziaływanie jednego czynnika w wyniku zjawisk synergizmu i kompensacji może być zmodyfikowane w terenie w porównaniu do rezultatów osiągniętych w laboratorium. Dlatego badania laboratoryjne, pozwalające zrozumieć powiązania między różnymi procesami, powinny być weryfikowane w warunkach terenowych, aby można było poprawnie wnioskować o ich znaczeniu dla produkcji biomasy w agroekosystemach. Systemowy, ekologiczny sposób analizy warunków rozwoju roślin powinien być wykorzystywany w rolnictwie szerzej niż ma to miejsce obecnie.

c) Należy liczyć się z wzrastającą częstością ekstremalnych sytuacji klimatycznych w miarę pogłębiania się efektu szklarniowego.

d) Wzrost efektu szklarniowego spowoduje, zarówno przez bezpośrednie jak i pośrednie oddziaływania, zmiany składu gatunkowego lub odmianowego uprawianych roślin. Nie należy jednak oczekiwać wzrostu plonów. Zarówno konieczność uprawy nowych odmian roślin, lepiej przystosowanych do panujących warunków pogodowych, jak i wzrost intensywności porażenia roślin przez patogeny i szkodniki będzie wymagał znaczącej reorganizacji technologii uprawy. Decydujące znaczenie dla produkcji rolnej będzie miało to, czy efekt szklarniowy spowoduje przesuszenie, czy też większe uwilgotnienie środowiska. W przypadku realizacji scenariusza, w którym nastąpi zmniejszenie opadów, należy liczyć się ze wzrostem kosztów związanych z nawadnianiem pól uprawnych, a w skrajnych scenariuszach z całkowitą przebudową rolnictwa, przewidywane zmiany warunków środowiskowych mogą być w dużym stopniu modyfikowane działalnością człowieka. Prognoza nie uwzględniająca decydującej roli rolników może prowadzić do zupełnie błędnych przypuszczeń.

AGRICULTURE AND GREENHOUSE EFFECT

Summary

Conversion of forests into cultivated fields as well as soil tillage activities increase the net release of greenhouse gases (CO_2 , CH_4 , N_2O). In the case of a forest clearing the wood is burnt or decomposed, and releases the carbon accumulated in vegetation biomass. Tillage, by changing soil aeration, moisture and temperature conditions enhances the decomposition of organic matter and release of CO_2 . Drainage and cultivation of wetlands, expansion of paddy rice cultivation and animal husbandry also provide important inputs of greenhouse gases into the atmosphere. Although industrial impacts on the accumulation of greenhouse gases in atmosphere are the most important nevertheless agricultural activities are second in rank in the anthropogenic impacts on climate global changes. Thus, when elaborating programs for the control of greenhouse effects, proper measures for minimizing negative side effects of agriculture should also be included. These are: afforestation of marginal lands, no-till agriculture, control of nitrification processes and others.

Many laboratory experiments have shown that elevated concentrations of CO₂ enhance photosynthesis and biomass production rates. But a transfer of these results into field conditions will be unwarranted. Responses of biomass production to elevated CO₂ concentrations may be limited by lack of water or nutrients or by unfavourable temperatures. There are also indications that pests, pathogens or weeds may limit yields more intensively at elevated temperatures, especially if precipitation will increase too. A few observations on responses of total plant communities to elevated CO₂ concentration did not support the conclusion that the production rate of plant biomass will increase because of the direct effect of rising CO₂ concentration.

Taking the estimates of temperature increase caused by the doubling concentrations of greenhouse gases predicted by the general circulation model (Jäger 1986) six scenarios of weather change in Poland were evaluated. In scenarios 1, 2 and 3 it is assumed that annual precipitation will increase by 23 per cent in comparison to present conditions (Jäger 1986). In scenarios 4, 5 and 6 it is assumed that annual precipitation will decrease by 20 per cent. In each class of increasing or decreasing precipitation it is assumed that afforestation of the Poland till middle of XXI century will increase by 10 per cent, or will decrease by 50 per cent, or the area of country will be completely deforested because of air pollution. The methods of weather change predictions based on heat and water balances transformations were described in details by Kędzióra et al. (1989), Ryszkowski et al. (1991).

Because of greenhouse effect the length of farming season (daily temperature above 2.5°C) will increase by 76–90 days in eastern Poland, and in the north-west part of Poland by 121–135 days providing an opportunity to work in the field for the whole year. The plant growing season (> 5°C) will also increase substantially.

The analysis of various scenarios indicates that the decrease of precipitation and the decrease of afforestation will evoke serious limitations to agriculture. Thus, during a cold season, very high potential evapotranspiration will also cause an increase of real evapotranspiration and practically no soil moisture storage will occur. During the whole year practically all net radiation balance will be used for evapotranspiration. Such a situation will create a challenge to agriculture. Thus, if precipitation will decrease in Poland as the effect of global climate changes the agriculture development will be seriously limited. If precipitation increases agriculture production may increase too, if not hampered by impacts of pests diseases or weeds. Taking these scenarios into account one can presume that agriculture will undergo substantial changes in the near future.

LITERATURA

- Acock B., Allen L. H. 1985. *Crop responses to elevated carbon dioxide concentration*. Springfield, 55–97. [W:] *Direct effect of increasing carbon dioxide on vegetation* (red.) Strain B. R., Cure J. D. U.S. Department of Energy.
- Aselmann I., Crutzen P. J. 1990. *Global seasonality, net primary productivity, and estimated methane emissions*. 441–449. [W:] *Soils and the greenhouse effect* (red.) Bouwman A. F. Wiley and Sons, Chichester.
- Bac S. 1968. *Rola lasu w bilansie wodnym Polski*. Folia Forestalia Polonica, A14, 5–65.
- Bazzaz F. A. 1990. *The response of natural ecosystems to the rising global CO₂ levels*. Ann. Rev. Ecol. Syst., 21, 167–196.
- Bazzaz F. A., Garbutt K., Williams W. E. 1985. *Effect of increased atmospheric carbon dioxide concentration on plant communities*. 155–170. [W:] *Direct effect of increasing carbon dioxide on vegetation* (red.) Strain B. R., Cure J. D. U.S. Department of Energy. Springfield.
- Bergthorsson P., Björnsson H., Dyrmondsson O., Gudmundsson B., Helgottir A., Jonmundsson J.V. 1988. *The effect of climatic variations on agriculture in Iceland*. 383–509.

- [W:] *The impact of climatic variations on agriculture* (red.) Parry M. L., Carter T. R., Konsin N. T. Kluwer, Dordrecht, 383–509.
- Bolin B., Cook R. B. (red.) 1983. *The major biogeochemical cycles and their interactions*. Wiley, New York 532 s.
- Bouwman A. F. 1990. *Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere*. 61–127. [W:] *Soils and the greenhouse effect*: Wiley and Sons, Chichester.
- Bouwman A. F. (red.) 1990. *Soils and the greenhouse effect*. Wiley and Sons, Chichester 575 s.
- Brundtland G. H. (red.) 1987. *Our common future*. Oxford Univ. Press, Oxford 400 s.
- Decker W. L., Jones V., Achutum R. 1985. *The impact of CO₂ — induced climate change on U.S. agriculture*. 69–93. [W:] *Characterization of information requirements for studies of CO₂ effects: water resources, agriculture, fisheries, forests and human health* (red.) White M. R. U.S. Department of Energy, Springfield.
- Freedman B. 1992. *Environmental ecology*. Academic Press, New York. 424 s.
- Gołębiowska J., Ryszkowski L. 1977. *Energy and carbon fluxes in soil compartments of agroecosystems*. Ecol. Bull. (Stockholm), 25, 274–283.
- Hekstra G. P. 1991. *Climatic change and land use impact in Europe*. 177–207. [W:] *Land use changes in Europe* (red.) Brouwer F. M., Thomas A. J., Chadwick M. J., Kluwer, Dordrecht.
- Hendrey G. R. 1992. *Global greenhouse studies: need for a new approach to ecosystem manipulation*. Critical Reviews in Plant Sciences, 11, 61–74.
- Houghton R. A., Hobbie J. E., Melillo J. M., Moore B., Peterson B. J., Shafer G. R., Woodwell G. M. 1983. *Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1990: a net release of CO₂ to the atmosphere*. Ecological Monographs 53: 253–262.
- Jager J. 1986. *Some notes of the preparation of climate scenarios. Note for the IIASA case study on future environments for the European continent*. International Institute for Applied Systems Analysis, Luxemburg, Austria.
- Kaszubiak H., Kaczmarek W. 1985. *Differentiation of bacterial biomass in croplands and grasslands*. Intecol Bulletin, 12, 29–37.
- Ketner P. 1990. *Will there be a weed problem as a result of climate change*. 18–19. [W:] *The greenhouse effect and primary productivity* (red.) Goudriaan J., van Keulen H., van Laar H. H., Pudoc, Wageningen.
- Kędziora A., Olejnik J., Ryszkowski L. 1989. *Spoleczno-ekonomiczne oraz ekologiczne czynniki „zdrowego” rozwoju rolnictwa w Polsce. I. Ekologiczne czynniki*. Wieś i rolnictwo, 65, 9–34.
- Lange O. L., Beyschlag W., Tenhunen J. D. 1987. *Control of leaf carbon assimilation input of chemical energy into ecosystem*. 149–163. [W:] *Potentials and limitations of ecosystem analysis* (red.) Schulze E. D., Zolfer H. Z. Springer Verlag, Berlin.
- Long S. P. 1991. *Modification of the response of photosynthetic productivity to rising temperature by atmospheric CO₂ concentrations: Has its importance been underestimated?* Plant, Cell and Environment, 14, 729–739.
- Lovelock J. 1989. *The ages of Gaia*. Oxford Univ. Press Oxford 252 s.
- Lugo A. E., Brown S., 1986. *Steady state terrestrial ecosystems and the global carbon cycle*. Vegetation, 68, 83–90.
- Machta L. 1973. *Prediction of CO₂ in the atmosphere*. 21–31. [W:] *Carbon and the biosphere* (red.) Woodwell G. M., Pecan E. V.). U.S. Atomic Energy Commission, Springfield.
- McGill W. B., Hunt H. W., Woodmansee R. G., Reuss J. O. 1981. *Phoenix, a model of the dynamics of carbon and nitrogen in grass land* (red.) Clark F. E., Rosswall T., Ecol. Bull. (Stockholm), 33, 48–115.
- Molga M. 1986. *Meteorologia rolnicza*. PWRiL, Warszawa 492 s.
- Mooney H. A., Drake B. G., Luxmoore R. J., Oechel W. C., Pitelka L. F. 1991. *Predicting ecosystem responses to elevated CO₂ concentrations*. BioScience, 41, 96–104.

- Oeschger H., Siegenthaler U., Schotterer K., Guglemann A. 1975. *A box diffusion model to study the carbon dioxide exchange in nature*. Tellus, 27, 168–192.
- Overdieck D. 1990. *Effects of elevated CO₂-concentration levels on nutrient contents of herbaceous and woody plants*. [W:] *The greenhouse effect and primary productivity in European agroecosystems* (red. Groudriaan J., van Keulen H., van Laar H. H.) Pudoc, Wageningen 31–37.
- Parry M. L., Carter T. R. 1991. *Climatic changes and land use potential in Europe*. 209–231. [W:] *Land use changes in Europe* (red.) Brouwer F. M., Thomas A. J., Chadwick M. J. Kluwer, Dordrecht.
- Romer S. 1949. *Regiony klimatyczne w Polsce*. Prace Wrocławskiego Towarzystwa Naukowego. Seria B. N° 16. Wrocław.
- Ryszkowski L. 1984. *Primary production in agroecosystems*. 77–94. Options mediterraneennes, International Centre for Advanced Mediterranean Agronomic Studies, Zaragoza.
- Ryszkowski L. 1988. *Agroekosystemowe zasady rozwoju rolnictwa*. Post. Nauk Rol., 5/6, 3–18.
- Ryszkowski L., Bałazy S. 1991. *Strategia ochrony żywych zasobów przyrody w Polsce*. Zakład Badań Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN, Poznań, 95 s.
- Ryszkowski L., Kędziora A., Olejnik J. 1991. *Potential effects of climate and land use changes on water balance structure in Poland*. [W:] *Land use changes in Europe* (red.) Brouwer F. M., Thomas A. J., Chadwick M. J., Kluwer, Dordrecht. 253–274.
- Schlesinger W. H. 1986. *Changes in soil carbon storage and associated properties with disturbance and recovery*. 196–220. [W:] *The changing carbon cycle* (red.) Trabalka J. R., Reichle D. E., Springer Verlag, New York.
- Schutz H., Seiler W., Rennenberg H. 1990. *Soil and land use related sources and sinks of methane (CH₄) in the context of the global methane budget*. 267–285. [W:] *Soils and the greenhouse effect* (red.) Bouwman A. F., Wiley and Sons, Chichester.
- Scott M. J., Rosenberg N. J., Edmonds J. A., Cushman R. M., Darwin R. F., Yohe G. W., Liebetran A. M., Hunsaker C. T., Bruns D. A., De Angelis D. L., Hales J. M. 1990. *Consequences of climatic change for the human environment*. Climate Research, 1, 63–79.
- Siegenthaler U., Oeschger H. 1978. *Predicting future atmospheric carbon dioxide levels*. Science, 199, 388–394.
- Sinha S. K. 1991. *Impact of climate change on agriculture. A critical assessment*. [W:] *Climate change: science, impact and policy* (red.) Jager J., Ferguson H. L., Cambridge Univ. Press, Cambridge 99–107.
- Strain B. R. 1985. *Background on the response of vegetation to atmospheric carbon dioxide enrichment*. 3–10. [W:] *Direct effects of increasing carbon dioxide on vegetation* (red.) Strain B. R., Cure J. D., U.S. Department of Energy, Springfield.
- Svensson B. H., Soderlund R. (red.) 1975. *Nitrogen, phosphorus and sulphur — global cycles*. Ecol. Bull. (Stockholm) 22, 192 s.
- Voroney R. P., van Veen J. A., Paul E. A. 1981. *Organic C dynamics in grassland soils 2. Model validation and simulation of the long-term effects of cultivation and rainfall erosion*. Can. J. Soil Sci., 61, 211–224.
- Whittaker R. H., Likens G. E. 1973. *Carbon in the biota*. 281–302. [W:] *Carbon and the biosphere* (red.) Woodwell G. M., Pecan E. V., U.S. Atomic Energy Commission, Springfield.

RYSZARD DOMAŃSKI

Katedra Ekonomiki Środowiskowej AE
Poznań

MODELOWANIE SYSTEMÓW EKOLOGICZNO- -EKONOMICZNYCH

Idea stabilnego rozwoju, będąca istotnym składnikiem współczesnej wiedzy i świadomości ekologicznej, przysporzyła nowego znaczenia modelowaniu złożonych systemów ekologiczno-ekonomicznych. Pogłębiła bowiem przeświadczenie o potrzebie współzależnego traktowania procesów ekonomicznych i ekologicznych. Uwypukliła konieczność nowego spojrzenia na środowiskowe ograniczenia limitujące zaspokajanie potrzeb ludzkich i związany z tym postulat zachowania godziwego środowiska dla przyszłych pokoleń.

Modelowanie jest metodą umożliwiającą wnikanie w zagadnienia, które trzeba rozwiązywać na drodze do zrównoważonego i trwałego rozwoju. Może ono służyć wielu celom, między innymi projektowaniu polityki środowiskowej. W projektowaniu tym winni brać udział zarówno eksperci, jak i decydenci. Pierwsi kładą nacisk na adekwatność, drudzy na efektywność modeli. Są to na ogół cele rozbieżne. Ponadto wśród decydentów może być wiele podmiotów społeczno-gospodarczych. Reprezentują one różne cele i poglądy na temat sposobów ich osiągania. Różnorodność celów jest podłożem, na którym powstają konflikty. Niezbędne więc jest poszukiwanie metod ich rozwiązywania. Jedną z takich metod jest metoda interakcyjna, rozumiana jako jedna z wersji analizy wielokryterialnej. Polega ona na uczestniczeniu ekspertów i decydentów w procesie modelowania i przygotowywania projektów decyzji. Takie współdziałanie sprzyja formułowaniu realistycznych przesłanek, porozumiewaniu się w sprawie ograniczeń, korygowaniu działań i celów, osiąganiu kompromisów.

Aby modele ekologiczno-ekonomiczne mogły sprostać wymaganiom polityki środowiskowej, winny udzielać odpowiedzi szybko i przy stosunkowo niskich nakładach, często w warunkach niepełnych informacji. Modele o orientacji praktycznej winny w związku z tym być nie tylko stałymi strukturami logicznymi, lecz także zbiorami hipotez i zależności stale powiększających się. Wymaga to stosowania w modelowaniu ekologiczno-ekonomicznym podejścia adaptacyjnego, tak by można było szybko reagować na krytycyzm użytkowników i ekspery-

mentować przy zmiennych założeniach dotyczących stanu i funkcjonowania systemów ekologiczno-ekonomicznych.

Wymienione postulaty i oczekiwania względem modelowania ekologiczno-ekonomicznego mogą na razie być spełnione tylko w ograniczonym stopniu. Jakkolwiek literatura na ten temat narasta szybko, rozwiązywanie problemów, zwłaszcza na poziomie operacyjnym, jest słabo zaawansowane. Artykuł naświetla modele ekologiczno-ekonomiczne ilustrujące kierunki dotychczasowych poszukiwań i wysuwa sugestie podjęcia nowych prac nad modelowaniem opartym na teorii struktur dysypatywnych.

W modelowaniu ekologiczno-ekonomicznym wykorzystuje się dotychczas najczęściej zasady i techniki sformułowane w toku prac nad modelami jednodyscyplinowymi: ekologicznymi i ekonomicznymi. Ich integracja wymaga dodatkowych hipotez dotyczących relacji między działalnością gospodarczą i procesami ekologicznymi. W próbach integrowania napotyka się jednak wiele problemów (Braat, Lierop 1987). Problemy powstają w związku z różnicami w czasowych i przestrzennych skalach modeli oraz w sposobie pomiaru zmiennych ekologicznych i ekonomicznych. Skupiają się jak w soczewce w trudnościach gromadzenia danych o zasobach i przepływach ekologicznych i ekonomicznych. W zakresie zagadnień ekonomicznych stosunkowo lepsze dane istnieją w skali krajowej, w zakresie zagadnień ekologicznych — w skali lokalnej. W rezultacie, mimo wysiłków integracyjnych, dochodzi się do modeli słabo powiązanych, z małymi możliwościami testowania, a w konsekwencji z małymi możliwościami stosowania. Ograniczenia w stosowaniu ujawniają się zwłaszcza, gdy modele próbuje się wykorzystać w rozwiązywaniu problemów polityki środowiskowej i zarządzania jakością środowiska.

W procesie integrowania zmienne składające się na submodel ekologiczny i submodel ekonomiczny wiązane są w trojaki sposób: 1) trzonem jest submodel ekonomiczny, do którego włącza się zmienne ekologiczne, 2) trzonem jest submodel ekologiczny, do którego włącza się zmienne ekonomiczne, 3) submodele są wzajemnie powiązane, stają się współzależne.

Adaptacja i przekształcanie modeli jednodyscyplinowych, zmierzające do zbudowania zintegrowanego modelu ekologiczno-ekonomicznego, ma znaczenie praktyczne, jeśli nowy model może być testowany na zadowalającej podstawie danych empirycznych. Jeśli danych takich brakuje, model może funkcjonować tylko jako narzędzie koncepcyjne, integrujące wiedzę i niezweryfikowane hipotezy. W tej funkcji może być użyteczny w pracach teoretycznych. W miarę uzupełniania luk w zbiorach danych empirycznych, również jego znaczenie praktyczne będzie rosło.

Selekcja i wiązanie modeli jednodyscyplinowych w celu budowy modeli wielodyscyplinowych jest głównym sposobem integracji. Obok niego rozwija się drugi sposób, mianowicie modelowanie holistyczne. Zamiast składania modeli szczegółowych w coraz bardziej złożone zespoły, podejście holistyczne prowadzi

od początku do budowy jednego całościowego modelu. Aby zapewnić takiej konstrukcji wewnętrzną spójność, stosuje się zwykle jedną technikę modelowania, a często także jeden wspólny mianownik dla różnych zmiennych. Przykładem takiego podejścia są próby ekologów oparcia integracji na pojęciu energii ucieleśnionej w tworcach ekologicznych i ekonomicznych, przy czym energia ucieleśniona odgrywa także rolę owego wspólnego mianownika. W krytyce naukowej przeważa pogląd, że podejście to jest intelektualnie inspirujące, jednak do praktycznych zastosowań zbliża nas bardziej podejście pierwsze, scalenie odpowiednio dobrych modeli jednodyscyplinowych.

Nowe możliwości integracji stwarza teoria struktur dysypatywnych i samoorganizacji Prigogine'a, która będzie naświetlona w dalszej części artykułu. Analiza opinii specjalistów na temat modelowania prowadzi do wniosku, że za najbardziej użyteczne i obiecujące uważają oni modele dynamiczne, nieliniowe i deterministyczne. Teoria struktur dysypatywnych i samoorganizacji pozwala na budowę modeli mających takie właściwości (Domański 1992).

ROZSZERZONE MODELE EKONOMICZNE

MODELE ZARZĄDZANIA JAKOŚCIĄ ŚRODOWISKA

Modele zarządzania jakością środowiska, oprócz komponentu ekonomicznego i ekologicznego, zawierają także moduł kryteriów zarządczych (Lakshmanan, Bolton 1986). Moduł ten ma zwykle postać funkcji celów, które mogą być włączone do struktury modelu, bądź też zapisane poza nią. Jako czynnik egzogeniczny służy do kierowania zastosowaniami modelu w złożonych sytuacjach z wielorakością celów. Tę klasę modeli otwiera pionierskie opracowanie na temat przemysłowej zlewni rzeki Delaware, wnosi ono zwłaszcza sposób powiązania modelu unieszkodliwiania zanieczyszczeń i napowietrzania wody z ekonomicznym modelem optymalizacyjnym.

Na jakość wody wpływa wiele czynników, wśród nich przede wszystkim rozpuszczony tlen. Jego zawartość w wodzie zależy z kolei od czynników meteorologicznych i hydrologicznych oraz zrzutu zanieczyszczeń organicznych. Wskaźnik zawartości tlenu jest często stosowany jako zastępcza miara jakości wody. W modelowaniu zakłada się podział zlewni na m stref wewnętrznie jednorodnych. C_i oznacza polepszenie jakości wody, niezbędne by sprostać standardom tlenowym w strefie i . Osiągnięcie celów ujętych w wektorze \underline{C} obejmującym m elementów, wymaga nakładów w gospodarce wodną w każdej z m stref. Niech inny wektor $\underline{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, którego elementy są również wektorami, oznacza ścieki odprowadzane do wód powierzchniowych. Każdy wektor \underline{x} jest wektorem n ścieków w każdej strefie m . Masę ścieków określa się za pomocą liniowego modelu produkcji i konsumpcji. Jest ona zmienna i zależy od procesów technologicznych, zużywanych surowców, ponownego użycia odpadów i innych. W dopu-

szczyalnych rozwiązaniach problemu wektor \underline{X} przedstawia zrzućy zanieczyszczeń w różnych miejscach zlewni nie przekraczające wielkości docelowych \underline{C} .

Modele wchodzące w skład komponentu ekologicznego są funkcjami transformacji przekształcającymi wektor zanieczyszczeń w wektor stężeń tlenu rozpuszczonego w wodzie. Są to funkcje o postaci:

$$\underline{AX} = \underline{R},$$

gdzie: \underline{A} – jest macierzą współczynników transformacji, zaś \underline{R} – wektorem stężenia rozpuszczonego tlenu w warunkach stanu ustalonego.

Na wektor \underline{X} nakłada się dwa ograniczenia: $\underline{AX} \geq \underline{C}$ oraz $\underline{X} \geq 0$. Niech \underline{D} oznacza wektor wierszowy, którego elementy d_j są jednostkowymi kosztami unieszkodliwiania \underline{X}_j ($j = 1, 2, \dots, n$). Możemy teraz sformułować model rozważanego zagadnienia:

$$\min d\underline{X}$$

pod warunkiem, że

$$\underline{AX} \geq \underline{C}$$

$$\underline{X} \geq 1$$

Model ten był użyty w trzech operacjach: a) w analizie narastających i całkowitych kosztów osiągnięcia kolejnych poziomów jakości wody, b) w oszacowaniu wielkości zrzućy zanieczyszczeń, średniej dla zlewni i konkretnej dla poszczególnych stref, c) w oszacowaniu skali korzyści możliwych do osiągnięcia z rekreacji wodnej.

Opracowanie to ma szereg braków. Należą do nich: ograniczony zakres technicznych opcji zarządzania gospodarką wodną, nieuwzględnienie stochastycznych aspektów ustalania się jakości wody i brak powiązań gospodarki regionalnej z resztą gospodarki narodowej. Braki te zdołano usunąć w toku dalszych prac.

MODELE POLITYKI ENERGETYCZNEJ

Zbudowano szereg modeli ekonomicznych dla regionalnej analizy różnych tendencji i polityk w dziedzinie energetyki. Można wyróżnić wśród nich trzy typy (Lakshmanan, Bolton 1986). Pierwszy typ zwrócony jest ku regionalnym różnicom produkcji i zużycia energii, wynikającym ze zmian w cenach energii i źródeł zaopatrzenia. Niektóre z modeli reprezentujących ten typ analizują także strukturę przepływów energii, opierając analizę na złożonej współzależności między produkcją i popytem końcowym w różnych regionach. Z punktu widzenia środowiska interesujący jest model, który oszacowuje całkowitą zawartość energii w wytworzonych dobrach (E). W jednostkach pieniężnych przybiera on postać:

$$\underline{E} = \underline{B} (\underline{I} - \underline{A})^{-1} \underline{Y},$$

gdzie: \underline{B} — oznacza macierz jednostkowych cen energii, $(\underline{I} - \underline{A})^{-1}$ — macierz współczynników pełnego zużycia, \underline{Y} — macierz popytu końcowego.

Od analizy typu nakładów — wyników przechodzi się do liniowego modelu optymalizacyjnego, który generuje więcej informacji dla użytkowników. Celem

praktycznego zastosowania tego modelu była analiza strukturalnych różnic produkcji i zużycia energii we Francji, Niemczech, Włoszech i Danii.

Drugi typ modeli służy analizowaniu reakcji sektora dostarczającego energię na zmiany cen, regulacji taryf i technologii. Model reprezentatywny dla tego typu składa się z części dotyczącej popytu na energię, części dotyczącej dostaw energii oraz wiążącego je komponentu. W wyniku daje projekcję cen i ilości energii. Model może uwzględniać rozmaitość regulacji w sektorze energetycznym i oszacowywać konsekwencje różnych polityk w zakresie taryf importowych, kwot importowych, sposobów oszczędzania energii i innych.

Trzeci typ modeli obejmuje całość systemu energetycznego, mianowicie techniczne charakterystyki przetwarzania energii oraz procesy zaopatrzenia w energię i jej zużycia. Jego konstrukcja opiera się na systemie energetycznym przyjętym za układ odniesienia. Układ odniesienia określa technologiczną strukturę systemu energetycznego wraz ze współczynnikami charakteryzującymi sprawność techniczną i emisję z różnych procesów energetycznych oraz przepływami energii od źródeł do końcowych punktów zużycia. Model może być stosowany w celu optymalizacji lub symulacji. W postępowaniu optymalizacyjnym, gdy określone są ograniczenia dotyczące dostępności zasobów, rynkowa penetracja różnych technologii i zdolności produkcyjne energii otrzymuje się z modelu optymalny układ podaży — popytu. W postaci symulacyjnej model określa pożądany układ podaży — popytu i oszacowuje koszty całego systemu energetycznego oraz jego wpływ na środowisko. Model był użytkowany także w oszacowywaniu możliwości udziału czystych i odnawialnych zasobów energii (słonecznej, siły wiatru) i ich wpływu na koszty oraz postawy społeczne wobec problemów energetycznych.

ZAADAPTOWANY MODEL VOLTERRY-LOTKI. EKOLOGIA MIAST

Nieliniowe dynamiczne układy równań Volterry-Lotka należą do kanonu ekologii matematycznej. Opisują one wzrost populacji zwierzęcych oraz wzajemne oddziaływania między tymi populacjami. Po odpowiednich przekształceniach, mogą dobrze opisywać wzrost i wzajemne oddziaływania populacji miejskich. W terminach ekologicznych miasto jest środowiskiem, w którym rozwijają się różne grupy ludności i różne rodzaje działalności gospodarczej. Między ludnością i gospodarką z jednej a środowiskiem miejskim z drugiej strony zachodzą rozliczne stosunki. Jedne są współdziałaniami, inne sprzecznościami stanowiącymi podłoże konfliktów. Rozgałęziona jest także sieć stosunków między ludnością i gospodarką, z licznymi oddziaływaniami wzajemnymi i kolizjami. W skali pojedynczych stref miejskich rozwój działalności społeczno-gospodarczej znajduje wyraz w użytkowaniu gruntów miejskich, konkurencji o te grunty, w zastępowaniu jednych form użytkowania przez inne. Poszczególne strefy miejskie z kolei konkurują o różne rodzaje działalności społeczno-gospodarczej, przykładowo o przedsiębiorstwa przemysłowe lub

gospodarstwa domowe potrzebne dla bardziej zrównoważonego rozwoju strefy. Charakterystyczne relacje ze wzajemnym przenikaniem funkcji miejskich ustalają się między centralnymi częściami i suburbiami wielkich aglomeracji miejskich. Na wyższym szczeblu hierarchicznym rozwijają się relacje między miastem a jego środowiskiem, jakie tworzy cały krajowy system miast. W ramach tej sieci powiązań zachodzą oddziaływania między pojedynczymi miastami.

Rozważmy parę miast oddziałujących na siebie na różne sposoby. W tej różnorodności możemy wyróżnić następujące układy oddziaływań: 1) symbiotyczny, który zachodzi, gdy wzajemne oddziaływanie obu miast jest dodatnie (oba powiększają swoją ludność), 2) komensalny — gdy jedno miasto oddziałuje dodatnio na drugie bez odwrotnego oddziaływania, 3) drapieżczy — gdy jedno miasto żeruje na innym zdominowanym przez siebie (mieście-ofierze), 4) amensalny — gdy jedno miasto oddziałuje ujemnie na drugie bez odwrotnego oddziaływania 5) konkurencyjny — gdy oddziaływanie między obu miastami jest antagonistyczne, 6) izolacyjny — gdy oddziaływanie między miastami nie występuje.

Wymienione układy nie pojawiają się w krajobrazie geograficznym z jednakową częstotliwością. Układy komensalne, amensalne i drapieżcze pojawiają się częściej, układy symbiotyczne, konkurencyjne i izolacyjne rzadziej. Pewne światło na prawdopodobieństwo ich pojawienia się rzuca analiza stabilności poszczególnych układów. Badania wykonane na gruncie ekologii ogólnej sugerują, że z sześciu wymienionych układów cecha stabilności przysługuje układom: komensalnemu, amensalnemu i drapieżczemu, nie przysługuje natomiast układom: symbiotycznemu i konkurencyjnemu. Z badań przeprowadzonych w zakresie ekologii miast wynika dodatkowo, że wśród układów stabilnych dominującym typem jest układ drapieżczy. Prawdopodobieństwo jego pojawienia się w regionalnych i krajowych systemach miast jest najwyższe.

W układzie drapieżca — ofiara stopa wzrostu populacji ofiar wykazuje ujemną zależność od wielkości populacji drapieżców, natomiast stopa wzrostu populacji drapieżców — dodatnią zależność od populacji ofiar. Gdy populacja drapieżców równa się zero, populacja ofiar rośnie wykładniczo, gdy jednak populacja ofiar równa się zero, populacja drapieżców zanika.

Postać modelu drapieżca — ofiara może być rozwijana i komplikowana na wiele sposobów. Komplikację stwarza na przykład założenie, że część ofiar jest niedostępna dla drapieżców, to znaczy, że ma kryjóWKi. Inną komplikacją jest założenie, że drapieżca zabija ofiary nie przez całe życie, lecz dopiero gdy osiągnie określone stadium dojrzałości.

Gdy model próbuje się zastosować do badań populacji miejskich, trzeba dokonać jeszcze innych przekształceń. Prace w tym kierunku rozwijają się. Stopniowo tworzy się nowa gałąź ekologii miast, mianowicie matematyczna ekologia miast. Wcześniej ekologię miast uprawiano w sposób niesformalizowany. Istotny wkład do rozwoju matematycznej ekologii miast wnieśli Dendrinos i Mullally. W pracy na temat ewolucji miast (Dendrinos, Mullally 1985), adaptując

równania Volterry-Lotki, sformułowali założenia i modele matematycznej ekologii miast. Jeden z nich poddano testowaniu przy wykorzystaniu danych statystycznych dotyczących rozwoju obszarów metropolitalnych USA. Zastosowany model ma postać:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= a(y - \bar{y})x - bx^2 \\ \dot{y} &= c(\bar{x} - x)y,\end{aligned}$$

gdzie: x — względna wielkość zaludnienia miasta znormalizowana w stosunku do ogólnego zaludnienia kraju lub regionu,

y — realne dochody na głowę ludności miasta,

\bar{x} — względna pojemność ludnościowa miasta określona przez jego położenie w przestrzeni kraju,

\bar{y} — realne dochody na głowę ludności przeważające w kraju lub regionie,

a — parametr określający szybkość względnego wzrostu zaludnienia w jednostce czasu,

c — parametr określający szybkość względnego wzrostu realnych dochodów na głowę ludności.

Istnieje niewątpliwa zależność względnego wzrostu ludności miast od zróżnicowania dochodów na głowę ludności (i odwrotnie). Zależność ta nie wyjaśnia jednak dostatecznie zmian ludnościowych. Aby zwiększyć zakres wyjaśnienia zmienności, do modelu włączono komponenty przyciągania i odpychania. Wyraz bx^2/a oznacza negatywne efekty koncentracji ludności zależne od względnej wielkości i położenia miast. Pojawiają się one w wyniku zatłoczenia miast, stwarzającego bariery ich wzrostu ludnościowego. Są więc czynnikiem odpychania. Wyraz $(y - \bar{y})x$ oznacza siły przyciągające. Zależą one od względnej wielkości zaludnienia miast (x) z preferencją dla miast większych i oddziaływania różnic w dochodach jednostkowych $(y - \bar{y})$ na względny wzrost zaludnienia. Jak długo $y > \bar{y}$, czynnik ten działa jako siła przyciągająca, choć wzięta z osobna nie wystarczająca do rzeczywistego przyciągnięcia ludności. Gdy relacja zmienia kierunek i jednostkowe dochody na głowę ludności miasta spadają poniżej średniej krajowej, staje się on czynnikiem odpychającym.

Z wykonanych badań empirycznych wynika, że obszary metropolitalne, ich populacje, wykazują stabilną dynamikę. Badania, do których się odwołujemy, przeprowadzono w okresie 38 lat (1940–1977). Przez większą część tego okresu obszary te zbliżały się szybko do stanu ustalonego (steady state). Ten stan równowagi jest wyznaczony przez względną pojemność ludnościową obszarów, uwarunkowaną przez czynniki wewnętrzne i zewnętrzne. Gdy miasta zbliżają się do granic pojemności, zaczynają podlegać drastycznym zmianom, które przesuwają je ku nowej pojemności, najczęściej większej, rzadziej mniejszej. Przesunięcie jest wynikiem zmiany parametrów wyrażających szybkość względnego wzrostu populacji i dochodów na głowę ludności.

Stabilność systemów pozostaje w związku z ich złożonością. Z przeprowadzonych badań wyciągnięto wniosek, że system miast, którego złożoność rośnie, jest

stabilny, jeśli jest powiązany wysoce nielosowymi oddziaływaniami społeczno-gospodarczymi. Wysunięto hipotezę, że warunek ten jest spełniony, gdy ustala się hierarchiczny układ miast, co z reguły zachodzi.

W przeciwieństwie do oddziaływań międzymiejskich, które podtrzymują dynamiczną równowagę systemu, oddziaływania wewnątrzmiejskie prowadzą z dużym prawdopodobieństwem do niestabilności. Wewnątrz miast bowiem znacznie częściej występują oddziaływania typu konkurencyjnego. Konkuruje się o przestrzeń miejską, a wynikiem konkurencji jest często zmiana formy użytkowania ziemi lub zmiana działalności w ramach tej samej formy użytkowania. W gospodarce rynkowej zmiany te mają w wysokim stopniu charakter losowy. Wygaśnięcie lub eliminacja jednej formy użytkowania lub rodzaju działalności na rzecz innej oznacza bifurkację w przebiegu procesu przestrzennego. Prowadzi to do zmian struktury przestrzennej miasta, które są z reguły nieodwracalne i tworzą nowy porządek.

SYSTEMY EKOLOGICZNO-EKONOMICZNE JAKO STRUKTURY DYSYPATYWNE

Między strukturami dysypatywnymi w sensie Prigogine'a i systemami ekologiczno-ekonomicznymi można dość łatwo ustalić reguły odpowiedniości. Tak więc w systemach ekologiczno-ekonomicznych zachodzi rozpraszanie materii i energii, współzależne zachowanie się podsystemów, organizowanie rozproszonych zasobów w struktury w postaci morfologicznego zróżnicowania i funkcjonalnej specjalizacji, rozwój struktur od niższych ku wyższym stopniom złożoności.

Warunkiem przekształceń strukturalnych, oddalających systemy od równowagi początkowej, jest występowanie relacji nieliniowych. Nowe struktury odległe od równowagi początkowej są utrzymywane w stanie równowagi dynamicznej dzięki przepływowi materii i energii między tymi strukturami a ich otoczeniem. Przekształcające się w ten sposób struktury wykazują nowe właściwości nie spotykane w stanach bliskich równowagi. Należą do nich: fluktuacje, zdolność do reagowania na różnice występujące w otoczeniu (adaptacja), zdolność do przechwytywania negatywnej entropii z otoczenia, jej przechowywania i spożytkowania w przyszłości, bifurkacja, samoorganizacja.

Zdefiniowanie prostych reguł odpowiedniości nie wystarcza jednak do efektywnego badania heterogenicznych systemów ekologiczno-ekonomicznych. Niezbędne jest rozwijanie teorii struktur dysypatywnych w kontekście ekologiczno-ekonomicznym. Artykuł niniejszy jest przyczynkiem zmierzającym w tym kierunku.

Pierwszą operacją, którą uważamy za niezbędną, jest przekształcenie tej relacji i to w podwójnym sensie. 1. Relację dwuczłonową trzeba przekształcić w relację trójczłonową. Relacja gospodarka — środowisko nie odzwierciedla bowiem złożoności powiązań między społeczeństwem i przyrodą. Trzecim członem, który obecnie wprowadzamy do systemu jest inteligencja, rozumiana jako zdolność

jednostek, grup i społeczeństw, umożliwiającą wykorzystanie nabytej wiedzy oraz skuteczne zachowanie się wobec nowych zadań i warunków życia, a także zdolność do modyfikowania zewnętrznego otoczenia. 2. Relację odzwierciedlającą wzajemne oddziaływania trzeba rozszerzyć wprowadzając zasadę jej przemienności (objaśnienie niżej). Zasada ta dyktowana jest przez system wartości społecznych, w których istotne miejsce zajmuje przetrwanie obecnej i przyszłych generacji ludzkich w godziwych warunkach środowiskowych.

Wprowadzenie trzeciego członu relacji, odgrywającego w systemie gospodarka — środowisko rolę regulatora, zmienia dysypatywną strukturę systemu. Poza członem ekonomicznym, kierującym się kryteriami czysto ekonomicznymi oraz członem ekologicznym, podlegającym prawom natury, pojawia się trzeci człon: inteligentny człowiek, inteligentna grupa społeczna, inteligentne społeczeństwo, kierujące się uznanym systemem wartości. Inteligentne społeczeństwo reguluje zakres wykorzystywania zasobów i walorów naturalnych oraz przeznaczenia zasobów gospodarczych na regenerację środowiska. Regulacja jest niezbędna wobec występowania czynników limitujących w ekosystemach i szczupłości zasobów w systemach gospodarczych. Oznacza to, że rozważany system nie jest już tylko przetwornikiem zasobów naturalnych i gospodarczych. Do procesu przetwarzania włączane są zasoby informacji. Jego dysypatywna struktura zyskuje nową jakość.

Wraz ze zmianą struktury zmieniają się właściwości systemu dysypatywnego. Inteligentny system trójczłonowy: 1) tworzy nową informację o wzajemnym oddziaływaniu elementów i zmianie parametrów systemu, 2) uruchamia nowe zarówno przyrodnicze, jak i społeczno-gospodarcze instrukcje i złożone programy nakazujące określone zachowanie się i przemiany (przetwarzanie), 3) rozszerza sieć i zwiększa intensywność wzajemnych oddziaływań, 4) zwiększa możliwość akumulacji środków działania, 5) zwiększa możliwość sterowania zmianami, uwzględniającego wartości i cele społeczne, 6) stwarza warunki przemienności relacji.

Właściwości te określają charakter złożonych procesów ekologiczno-ekonomiczno-społecznych. Procesy te zmierzają do osiągania przez system równowagi dynamicznej z dala od równowagi początkowej. W terminach ekonomiczno-geograficznych znaczy to tyle, co: 1) stabilność rozumiana jako ograniczanie fluktuacji zapobiegającej utracie zdolności do samoregulacji systemów ekologicznych i społeczno-gospodarczych, 2) wysoki stopień zorganizowania obu systemów sprzyjających akumulacji negatywnej entropii i tworzeniu potencjałów rozwojowych.

Naruszenie granic tolerancji ekosystemów i systemów społeczno-gospodarczych stwarza zagrożenie dla normalnego funkcjonowania, a ich daleko idące przekroczenie prowadzi do klęski ekologicznej i ruiny społeczno-gospodarczej. Występuje więc konieczność opóźnienia entropii w procesie rozwoju. Zdolność opóźniania mają zarówno systemy ekologiczne, jak i tym bardziej systemy społeczno-gospodarcze. Realizuje się ona przez tworzenie negatywnej entropii. Negen-

tropia podtrzymuje strukturę i uporządkowanie systemów. Pojęcie to bywa utożsamiane z informacją. Założenie tożsamości obu pojęć rozszerza możliwości interpretacji pojęcia struktur dysypatywnych.

W systemach biotycznych strukturotwórcze działania zakumulowanej negentropii powodują redukcję zużycia i odpływu swobodnej energii na jednostkę biomasy, a przez to opóźnienie łącznej entropii. Dokonuje się to przez różnicowanie i specjalizację gatunków. Akumulacja negentropii zachodzi także w systemach abiotycznych. W skorupie ziemskiej w różnych okresach geologicznych odkładały się niecałkowicie rozłożone organizmy roślinne i zwierzęce. Powstałe z nich złoża paliw kopalnych są akumulacją naturalnej negentropii (karbon, kreda, trzeciorzęd).

O systemach biologicznych mówi się poglądowo, że żywią się negentropią. Podobnie systemy społeczno-gospodarcze żywią się informacją. Zasoby kapitałowe w gospodarce są formą zmagazynowanej użytecznej informacji. Reguły rynku kapitałowego są instrukcjami wskazującymi różne możliwości efektywnego lokowania kapitału i pobudzania wzrostu gospodarczego. Ten sposób wkomponowania informacji w gospodarkę jest realizowany dzięki oszczędnościom i inwestycjom. Współcześnie donioślejszy jest inny sposób, mianowicie tworzenie informacji przez badania naukowe. Informacje te inspirują powstawanie kolejnych generacji technologicznych.

Zmiany struktur społeczno-gospodarczych pod wpływem postępu naukowo-technicznego podobne są do różnicowania się struktur morfologicznych i specjalizacji funkcji w systemach biotycznych. Podobne są też skutki tych zmian. Pociągają one za sobą redukcję zużycia surowców i energii na jednostkę produkcji. Umożliwiają także włączanie do produkcji nowych surowców i źródeł energii, które przy dawnej technologii nie mogły być efektywnie przetwarzane. W ten sposób rozszerzają się zasobowe podstawy rozwoju.

Opóźnienie entropii w procesie rozwoju dysypatywnego systemu środowisko-gospodarka-społeczeństwo nie wystarcza. W procesach nieodwracalnych bowiem sumaryczna entropia układu i otoczenia zawsze rośnie. Procesy te pogarszają warunki funkcjonowania i zbliżają system do stanu dezorganizacji. W krańcowym przypadku do jego zniszczenia.

W celu nie dopuszczenia do zbyt daleko posuniętej dezorganizacji, niezbędna jest przemienność relacji głównych członów systemu. Jest to podstawowa idea tej pracy. Rozważmy najpierw przemienność relacji gospodarka-środowisko. Nasilające się wykorzystanie zasobów naturalnych i obciążenie środowiska może doprowadzić system do stanu zagrożenia lub klęski ekologicznej. Idea przemienności polega na tym, że gdy system zbliża się do tego stanu na odległość wymagającą zachowania przezorności, a tym bardziej, gdy odległość tę przekracza, wówczas gospodarka i środowisko (otoczenie) zamieniają się funkcjami. Funkcje środowiska przejmuje gospodarka, środowisko zaś staje się układem centralnym. Zasoby gospodarki kierowane ku środowisku w celu jego uporządkowania podnoszą stopień organizacji, odtwarzają struktury, zmniejszają entropię. Gospodarka jak

gdyby otacza środowisko, spełnia funkcje opiekuńcze. Towarzyszy temu, używając terminów teorii struktur dysypatywnych, wzrost dezorganizacji gospodarki, jej struktur, entropii. Przejawia się to w dysypacji zasobów gospodarczych, zmianie struktury ich użytkowania, przeznaczaniu mniejszej części na cele produkcyjne i konsumpcyjne, większej na ochronę środowiska.

Oznacza to zwrot strzałki (a ściślej jednej ze strzałek) przepływów zakumulowanych zasobów. W pierwszej fazie przeważa akumulacja zasobów gospodarczych kosztem środowiska, w drugiej odwrotnie. Sprawna i racjonalna gospodarka może na tych przepływach zyskać dzięki efektywnemu i wielokrotnemu wykorzystywaniu zasobów naturalnych. Przepływy regenerujące środowisko nie muszą więc być ekwiwalentne. Winny jednak być dostateczne, aby przywrócić środowisku dynamiczną równowagę, a w warunkach klęski ekologicznej, zdolność samo-regulacji.

Idea zmiennych relacji może przyjmować i rzeczywiście przyjmuje jeszcze inną postać. Przejawia się ona nie tylko w odwracaniu stosunków środowisko-gospodarka-społeczeństwo, ale przede wszystkim w przemienności dynamiki regionalnej. Opiera się na następującym założeniu termodynamicznym. Możliwe są różne co do charakteru, ale zachodzące równocześnie procesy, w wyniku których pewne części układu stają się bardziej uporządkowane kosztem jego otoczenia. W terminach geograficznych można to zinterpretować następująco. Dzięki przestrzennej rozległości i zróżnicowaniu geosfery i biosfery oraz odmienności systemów społecznych, w różnych regionach rozwinęły się różne typy kultury gospodarczej różniące się poziomem technologii, intensywności produkcji, poziomem konsumpcji, obciążeniem środowiska. Regiony, w których rozwój społeczno-gospodarczy doprowadza do dezorganizacji środowiska, załamania struktury, wysokiej entropii ograniczają swój wzrost a nawet cofają się, jeśli zakumulowane zasoby własne lub pomoc zagraniczna nie wystarcza dla odwrócenia kierunku tego rozwoju. Rozwój społeczno-gospodarczy przesuwają do innych regionów o niższej entropii, uporządkowanej strukturze i organizacji środowiska. Przesunięcie takie ma zawsze charakter względny, to znaczy poszczególne regiony wykazują zróżnicowane tempo wzrostu lub upadku. Stopniowo w regionach przyspieszonego rozwoju może dochodzić do dezorganizacji struktury i wzrostu entropii, zaś regiony wcześniej zdeorganizowane mogą regenerować swoje środowisko. Następuje więc kolejna przemienność dynamiki regionalnej. Tak więc niektóre regiony mogą zmniejszać swoją entropię, odzyskiwać strukturę i stawać się bardziej uporządkowane dzięki korzystnym dla nich przepływom zasobów z pozostałej części geosfery i biosfery, w której wskutek tego dochodzi do wzrostu entropii i dezorganizacji. Odwrócenie tego kierunku rozwoju może się dokonywać dzięki przemienności relacji pierwszego rodzaju.

Badanie systemów ekologiczno-ekonomicznych, podobnie jak innych systemów heterogenicznych, jest trudne. Napisano już wprawdzie wiele słów o podejściu wielodyscyplinowym, ale jego podstawy teoretyczne i metodologiczne są

wciąż słabe. Brakuje także jednolitej metody pomiaru zjawisk heterogenicznych. Autor proponuje, aby za ogniwo łączące ten heterogeniczny system przyjąć pojęcie użyteczności. Propozycja ta może budzić sprzeciw ekonomistów, którzy trwają przy klasycznej definicji użyteczności. Jego treść ewoluowała jednak i obecnie jest znacznie szersza.

MODELLING OF ECONOMIC-ECOLOGICAL SYSTEMS

Summary

The idea of sustainable development gave rise to new attempts in economic-ecological modelling. Previous approaches relied mostly on the extension of monodisciplinary models by including elements of other disciplines. This is a realistic way of making advance in this field. Many-sided and continually growing interactions of economic and ecologic spheres requires, however, further extension by including mechanism of broader integration of both spheres.

This paper, in its first part, throws light upon previous economic-ecological models. Attention is given to the model of regional environmental quality management and model based on Volterra-Lotka equations. Next, it sets forward the idea of using the theory of dissipative structures as the basis of economic-ecological modelling.

LITERATURA

- Braat L.C., von Lierop W. F. J., (red.) 1987. *Economic-ecological modeling*, Amsterdam: North-Holland.
- Dendrinis D. S., Mullally H., 1985. *Urban evolution. Studies in the mathematical ecology of cities*. Oxford: Oxford University Press.
- Domański R., 1992. *Propozycja badań systemów środowisko przyrodnicze-gospodarka-społecznościwo za pomocą teorii struktur dysypatywnych*. Prz. Geogr. z. 1-2.
- Lakshmanan T. R., Bolton R., 1986. *Regional energy and environmental analysis*, s. 581-628. [W:] P. Nijkamp (red.) *Handbook of regional and urban economics*, t. 1. *Regional economics*, Amsterdam: North-Holland.

KAROL ROTNICKIInstytut Badań Czwartorzędu
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza
Poznań

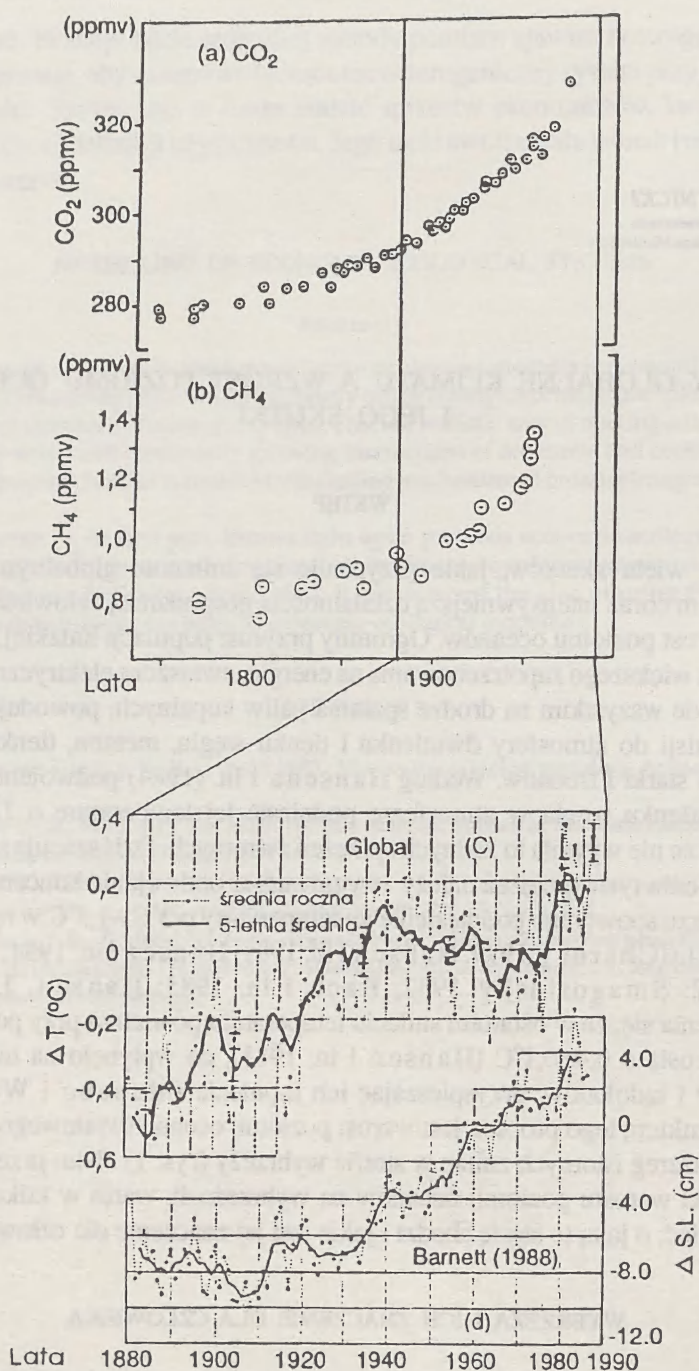
ZMIANY GLOBALNE KLIMATU A WZROST POZIOMU OCEANÓW I JEGO SKUTKI

WSTĘP

Wśród wielu skutków, jakie przypisuje się zmianom globalnym klimatu, wywołanym coraz intensywniejszą działalnością gospodarczą człowieka, wymienia się wzrost poziomu oceanów. Ogromny przyrost populacji ludzkiej, wymagającej coraz większego zapotrzebowania na energię, zwłaszcza elektryczną, uzyskiwaną przede wszystkim na drodze spalania paliw kopalnych, powoduje znaczny wzrost emisji do atmosfery dwutlenku i tlenku węgla, metanu, tlenków azotu, dwutlenku siarki i freonów. Według Hansena i in. (1984) podwojenie koncentracji dwutlenku węgla w atmosferze podniesie jej temperaturę o $1,2^{\circ}\text{C}$, przy założeniu, że nie wywoła to żadnych sprzężeń zwrotnych. Dziś szacuje się, że przy uwzględnieniu tych sprzężeń należy estymować, iż podwojenie koncentracji CO_2 w atmosferze spowoduje podniesienie jej temperatury o 3°C – $1,5^{\circ}\text{C}$ w nadchodzącym stuleciu (Charney 1979; Hansen i in. 1981; Hansen i in. 1984; Keeling i in. 1982; Smagorinsky 1982; Bach i in. 1985; Hansen, Lebedeff 1988). Ocenia się, że w ostatnim stuleciu temperatura powietrza przy powierzchni Ziemi wzrosła o $0,4 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ (Hansen i in. 1981), co wpłynęło na bilans masy lodowców i lądolodów, przyspieszając ich topnienie (Manabe i Wetherald 1975). Skutkiem tego procesu jest wzrost poziomu oceanu światowego, a to musi wywołać szereg istotnych zmian w strefie wybrzeży (rys. 1). Nim przedstawione będą skutki wzrostu poziomu oceanów na wybrzeżach, warto w kilku zdaniach przypomnieć, o jaką to strefę chodzi i jakie jest jej znaczenie dla człowieka.

WYBRZEŻA I ICH ZNACZENIE DLA CZŁOWIEKA

Wybrzeże, jako obszar kontaktu oceanu światowego z kontynentami, to miejsce, w którym skutki zmian globalnych klimatu mogą być szczególnie drastyczne



Rys. 1. Wzrost średniej rocznej temperatury (ΔT) i poziomu oceanu ($\Delta S.L.$) na tle zmian koncentracji dwutlenku węgla i metanu w atmosferze w ostatnich stu pięćdziesięciu latach (Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone — LOICZ, 1990, IGBP Report No. 12).

już w najbliższej przyszłości. Początki tych skutków są obecnie wyraźnie obserwowane i coraz dotkliwiej odczuwane w postaci wymiernych strat. Carter (1989) uważa, że wybrzeże to po prostu strefa obejmująca z jednej strony tę część lądu, która znajduje się pod wpływem działalności wód morskich, a z drugiej strony podwodną strefę mórz przybrzeżnych o głębokości od 0 do 200 m, czyli do górnej krawędzi szelfu kontynentalnego. Wybrzeże obejmuje więc szeroki zakres specyficznych ekosystemów lądowych, pływowych i szelfowych cechujących się ogromnym bogactwem flory i fauny; zawiera w sobie część równin nadbrzeżnych różnej genezy, klify morskie, laguny, mierzeje, bariery, estuaria, równiny słonych marszów i mangrowych bagien. Wszystkie te środowiska znajdują się pod wpływem jednej lub wielu form wpływu wód morskich, takich jak: spiętrzenia sztormowe, pływy, aerosol wód słonych, słone wody gruntowe i tym podobne.

Właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne mórz szelfowych są kształtowane między innymi przez słodkie wody rzek wpadających do morza i transportowane przez nie ładunek mineralny, chemiczny i organiczny, który niekiedy jest źródłem żywności wód przybrzeżnych i szelfowych, ale może być także przyczyną degradacji, a nawet wyniszczenia w nich życia. Aktywność biologiczna wód szelfowych odgrywa wielką rolę w globalnym cyklu obiegu węgla. Istnieje w tej strefie bardzo delikatna równowaga między procesami redukcyjnymi a mineralizacją materii organicznej. Te pierwsze prowadzą do wyłączenia węgla z obiegu i zdeponowania go w postaci osadów mułowo-organicznych w lagunach, zatokach i marszach, czemu towarzyszy deponowanie zredukowanych form takich metali, jak żelazo i mangan (Koike i Sørensen 1988). Mineralizacja materii organicznej dostarczonej na szelf wprowadza do obiegu, a więc i do atmosfery, dodatkowe ilości węgla.

Strefa kontaktu lądu i morza tworzy więc specyficzny system, w którym dokonuje się intensywne wymiana energii i materii. Każda zmiana przestrzennego zasięgu jednej ze stref kosztem drugiej, a także zmiana stopnia i sposobu wzajemnego wpływu morza i lądu, wyzwala łańcuch przemian środowiska z licznymi sprzężeniami zwrotnymi, wywołując daleko i głęboko sięgające skutki, tak w jego sferze abiotycznej, jak i biotycznej, nie mówiąc na razie o sferze socjoekonomicznej człowieka.

Analiza problemu wzrostu poziomu oceanu światowego musi znacznie poszerzyć nasze pojmowanie wybrzeża o obszary, które dziś jeszcze do wybrzeży nie należą, znajdują się z dala od nich, lecz w stosunkowo nieodległej przyszłości staną się nimi.

Z powyższego widać, że dla zrozumienia istoty, efektów i przewidywania skutków zmian globalnych w strefie wybrzeża podstawowym imperatywem musi być holistyczne widzenie wszystkich zjawisk tej strefy, ich wzajemnych powiązań i oddziaływań (Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone — LOICZ, 1990).

Właściwości strefy wybrzeża i zachodzących w niej procesów powodują, że dostarcza ona człowiekowi tak cenne dobra jak pokarm i paliwa. Sprzyjające

warunki naświetlenia płytkich szelfowych mórz, dostępność w nich elementów pokarmowych, która jest uwarunkowana obecnością prądów zwiesinowych, mieszaniem się wód słodkich i słonych oraz dopływem elementów pokarmowych, głównie materii organicznej zarówno z ładu, jak i z oceanu, to główne przyczyny wysokiej pierwotnej produktywności biologicznej mórz przybrzeżnych dostarczającej pokarmu organizmom konsumentów. Są więc te morza obszarami bogatych zasobów ryb, skorupiaków i mięczaków.

Nic dziwnego, że od najwcześniejszych dziejów ludzkich cywilizacji człowiek zasiedlał obszary nadmorskie i stał się wysoce zależny od zasobów wybrzeży, zarówno jego części lądowych, jak i morskich. Urodzajne niziny nadmorskie, w tym obszary licznych wielkich delt rzecznych, obfite zasoby pokarmowe tej strefy i możliwości prowadzenia wymiany towarowej ze światem poprzez budowę portów, stoczni i floty handlowej stanowiły główną podstawę motywacji osadnictwa nadbrzeżnego i, z czasem, zainwestowania w tej strefie ogromnych kapitałów w przemysł służący eksploatacji jej bogatych zasobów. Ponadto, piękno krajobrazu, a także klimat wielu wybrzeży potęgowały tę motywację i sprawiły, że wybrzeża stały się miejscem intensywnej turystyki i wypoczynku milionów ludzi. Dzisiaj, według Willia msona (1992), 50% ludności świata żyje w obrębie pasa nadmorskiego o szerokości 50 km, a przeciętna gęstość zaludnienia tej strefy jest dziesięciokrotnie większa od wszystkich pozostałych obszarów lądowych kuli ziemskiej. Jeżeli do tego doliczyć zaludnienie równin nadrzecznych wielkich dolin uchodzących do oceanu światowego, które zdaniem Goudie (1989) mogą być uznane za fizjograficzne przedłużenie równin nadbrzeżnych, to w całej tej strefie żyje aż 70% ludności świata.

Liczyby te mówią, z jednej strony o stopniu uzależnienia się człowieka od wybrzeży, z drugiej zaś pozwalają wyobrazić sobie, w jak wielkim stopniu człowiek wywarł wpływ na środowisko tej strefy i jak znaczne zainwestował w nią pieniądze. Jest więc zrozumiałe, że obserwowane od stu lat podnoszenie się poziomu oceanu światowego budzi coraz większy niepokój uczonych, a w wielu krajach — także polityków, ekonomistów i co bardziej świadomych zagrożen społeczeństw. Niepokój jest tym większy, że w ostatnich dziesiątkach lat natężenie tego procesu wyraźnie wzrosło.

WZROST POZIOMU OCEANU

PRZYCZYNY WZROSTU POZIOMU OCEANU ŚWIATOWEGO

Wzrost lub obniżenie poziomu oceanu światowego określa się jako zmiany eustatyczne (Wielka Encyklopedia Powszechna 1969, Schopf 1980). Mówimy o rzeczywistych i względnych zmianach poziomu oceanu (Schopf 1980; Titus i Barth 1984; Titus 1987; Ande l 1985). Zmiany rzeczywiste poziomu oceanu światowego są skutkiem zmian objętości wody wypełniającej baseny oceaniczne. Obecna na Ziemi woda została uwolniona z wnętrza planety bardzo wcześnie,

ponad 2,5 miliarda lat wstecz i od tego czasu przybyło jej zaledwie kilka procent (Kuenen 1950; Schopf 1980). Można więc przyjąć, nie popełniając większego błędu, że w okresie ostatnich 2 milionów lat, podczas których wystąpiły poważne zmiany rzeczywiste poziomu oceanu światowego, osiągające amplitudę 150 m, objętość wody znajdująca się w planetarnym cyklu obiegu jest stała. Zmiany objętości wody w oceanie światowym i jego poziomu, w przyjętej przez nas skali czasowej, mogą dokonywać się więc jedynie wskutek zmian klimatu i są one pochodną zmian temperatury przy powierzchniowej warstwy atmosfery Ziemi.

Klimat wpływa w dwojaki sposób na zmiany poziomu oceanu. Powstawanie i zanik lodowców górskich i lądolodów kontynentalnych był w przeszłości geologicznej przyczyną wahań poziomu oceanu w granicach od 100 do 200 m (Lamb 1977; Schopf 1980; Andel 1985; Bloom 1971). Ocenia się, że poziom oceanu światowego wzrósłby o około 70 m, gdyby wszystkie istniejące jeszcze dziś lodowce i lądolody uległy stopieniu (Untersteiner 1975). Ogólniej mówiąc, o zmianach poziomu oceanu światowego decydują zmiany ilości wody zmagazynowanej na kontynentach. Drugą klimatyczną przyczyną zmian poziomu oceanu jest zmiana temperatury jego wód, co powoduje zmianę ich gęstości i objętości. Podniesienie temperatury wody w oceanie światowym o 1°C powoduje wzrost poziomu oceanu o 60 cm (Lamb 1977).

Drugą główną przyczyną zmian poziomu oceanu jest tempo spredingu, czyli rozprzestrzeniania się płyt tworzących dno oceanu (Russell 1968; Berger i Winterer 1974; Forney 1975). Wyższe tempo spredingu powoduje, że dno oceanu w szerszej strefie towarzyszącej grzbietom śródoceanicznym jest wyżej podniesione, podczas gdy przy powolniejszym spredingu leży ono niżej (Russell 1968; Schopf 1980; Andel 1985). Podczas szybszego spredingu poziom oceanu podnosi się, natomiast wolniejszy spreding obniża ten poziom. W ten sposób przy nie zmienionej objętości wód oceanicznych, poziom oceanu może zmieniać się od 300 do 500 m. Z uwagi na skalę czasową tych zmian, spreding nie wchodzi w rachubę przy rozważaniach zmian poziomu oceanu zachodzących współcześnie i w najbliższych stu latach. Z tego samego powodu pominiemy inne przyczyny zmian poziomu oceanu, takie jak sedymentacja osadów.

Zmiany względne poziomu oceanu są spowodowane takimi procesami, jak tektoniczne lub izostatyczne podnoszenie lub obniżanie jakiegoś obszaru, subsydenca wybrzeża spowodowana kompaktacją osadów, podnoszenie powierzchni wskutek akumulacji osadów, na przykład w obrębie delt. Te procesy mają różny zasięg przestrzenny, od lokalnego do regionalnego. Skutki względnych i rzeczywistych zmian poziomu oceanu mogą się dodawać lub odejmować. W praktyce obserwujemy względne zmiany poziomu oceanu, które są wynikiem bilansu wszystkich wymienionych ruchów wody i lądów. Dokładne określenie wielkości rzeczywistych zmian poziomu oceanu jest rzeczą niezmiernie trudną, ponieważ prócz wymienionych czynników utrudniających, na ich zmienną wartość wpływa również przestrzennie zmienna stała grawitacji (Mörner 1976).

ZMIANY POZIOMU OCEANÓW W OSTATNICH STU LATACH NA TLE NATĘŻENIA
ZJAWISKA W PRZESZŁOŚCI GEOLOGICZNEJ

Jak już wspomniano we wstępie, współczesny rzeczywisty wzrost poziomu oceanów jest wiązany ze wzrostem temperatury przypowierzchniowej warstwy atmosfery, wywołanym coraz większą emisją gazów szklarniowych będących ubocznym produktem rosnącej produkcji energii i rozwoju przemysłu.

Można powiedzieć, że uśredniony, globalny poziom oceanu podnosi się od końca dziewiętnastego wieku z prędkością 0,10–0,15 m/100 lat, czyli 1,0–1,5 mm/rok (Barnett 1984; Görnitz i Lebedeff 1987; Pugh 1990; Titus 1987; Hicks i in. 1983; Lamb 1977; Rossiter 1972). Na ogół istnieje w świecie nauki zgoda co do tego, że wartości te odpowiadają rzeczywistemu wzrostowi poziomu oceanu. Podając te wartości, pominięto wszystkie zawiłości i problemy metodologiczne związane z pomiarem poziomu morza i czynnikami, które utrudniają określenie rzeczywistych zmian poziomu oceanu, jak choćby problem zmian kształtu geoidy ziemskiej (Clark 1980; Mörner 1980; Newman i in. 1980; Carter i in. 1989; Pugh 1990). Czynniki te powodują, że nie ma jednej uniwersalnej krzywej wzrostu poziomu oceanu, lecz istnieje szereg krzywych o zasięgu lokalnym bądź regionalnym i wszystkie przedstawiają względny wzrost poziomu oceanu (rys. 2). Jest też wiele miejsc na kuli ziemskiej, gdzie względny poziom oceanu obniża się wskutek ruchów tektonicznych podnoszących obszary lądowe (np. Sitka na Alasce, tab. 1). Względny wzrost poziomu oceanu jest w rzeczywistości większy i wynosi od 2 do 10 mm/rok (Titus 1987; Psuty 1991, Rotnicki i Borówka 1990; Pugh 1990).

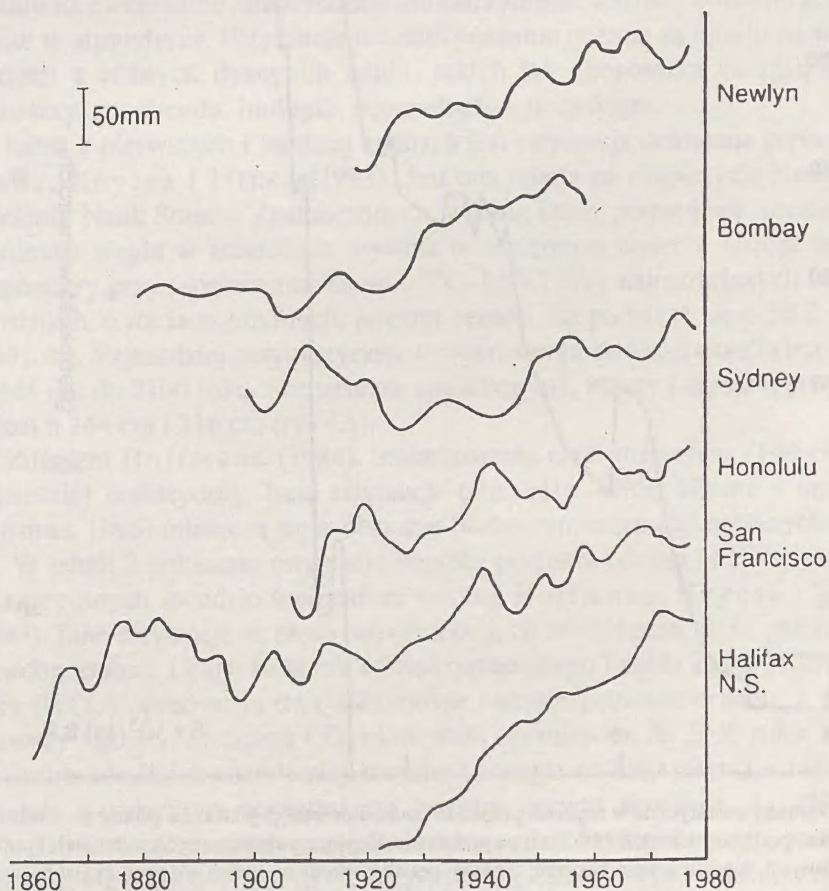
Tempo wzrostu poziomu oceanów, obserwowane w ostatnim stuleciu, nie jest czymś szczególnym w historii geologicznej Ziemi, choćby w okresie jej dziejów

Tabela 1

Trendy wzrostu średniego rocznego poziomu morza w ostatnich kilkudziesięciu latach; natężenie procesu podano w mm/rok, w nawiasach określono błąd standardowy estymacji (Pugh 1990)

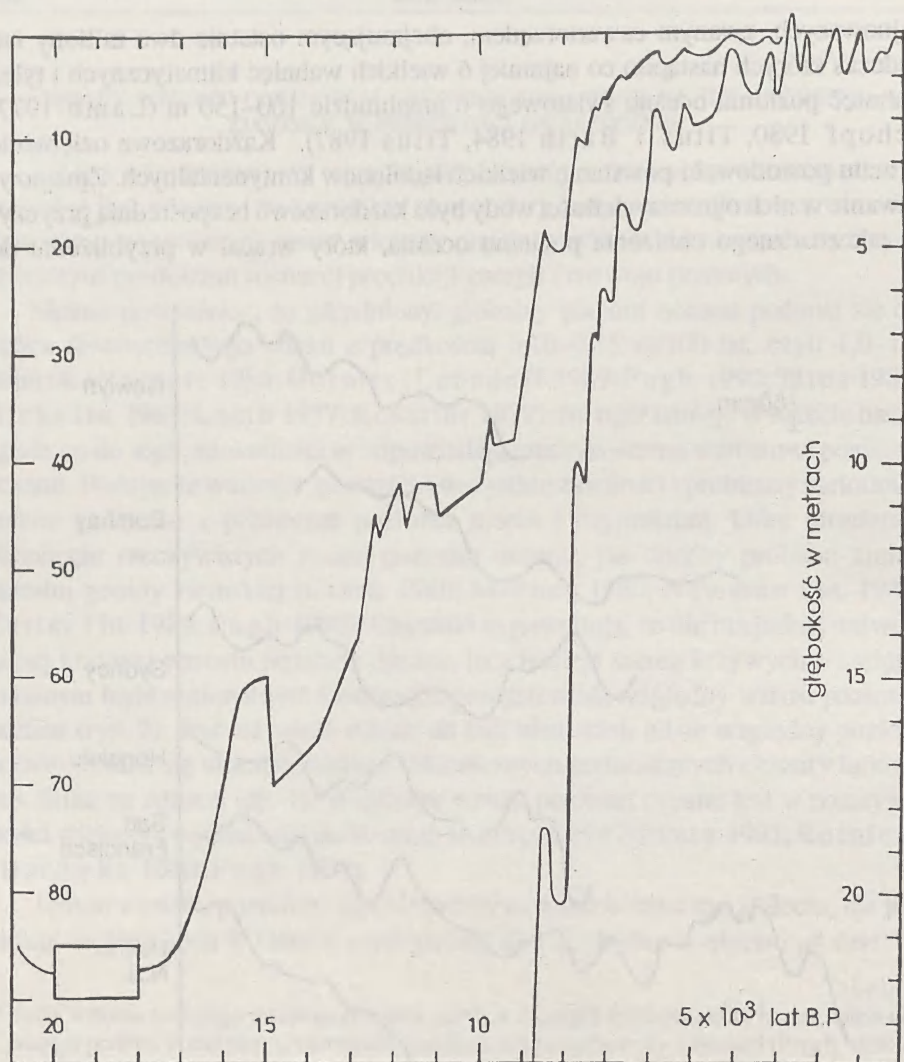
Miejscowość	Szerokość geograficzna	Okres	Liczba lat	Trend (błąd standardowy)	
				Pełna seria	Seria do 1940 roku
Sitka, Alaska	57°03'N	1939–1979	41	-2,5 (0,4)	-2,6 (0,3)
Newlyn	50°06'N	1916–1980	65	1,7 (0,2)	1,5 (0,4)
Brest	48°23'N	1807–1981	141	0,9 (0,1)	1,5 (0,4)
Halifax, Nova Scotia	44°40'N	1897–1980	62	3,7 (0,1)	3,2 (0,3)
San Francisco	37°48'N	1854–1979	127	3,8 (1,5)	1,5 (0,4)
Honolulu	21°19'N	1905–1980	76	1,6 (0,2)	0,8 (0,4)
Bombay	18°55'N	1878–1978	101	1,0 (0,1)	-1,0 (0,4)
Sydney	33°51'N	1897–1981	85	0,7 (0,1)	2,0 (0,3)

najnowszych, zwanym czwartorzędem, obejmującym ostatnie dwa miliony lat, podczas których nastąpiło co najmniej 6 wielkich wahaní klimatycznych i tyleż wahaní poziomu oceanu światowego o amplitudzie 100–150 m (Lamb 1977; Schopf 1980, Titus i Barth 1984, Titus 1987). Każdorazowe oziębienie klimatu powodowało powstanie wielkich lądolodów kontynentalnych. Zmagazyrowanie w nich ogromnych ilości wody było każdorazowo bezpośrednią przyczyną tak znacznego obniżenia poziomu oceanu, który wracał w przybliżeniu do



Rys. 2. Zmiany poziomu oceanu podczas ostatniego stulecia w sześciu różnych punktach Ziemi (Pugh 1990)

poprzedniego poziomu podczas interglacjałów. Po ostatnim zlodowaceniu, w okresie największego natężenia wzrostu poziomu oceanu (rys. 3), co miało miejsce pomiędzy 9500 a 8500 lat temu, prędkość tego procesu wynosiła aż 8–28 mm na rok (Jelgersma 1980; Mörner 1980; Armentano i in. 1987). Poziom oceanów podnosił się aż do końca atlantyckiego optimum klimatycznego i od około 5000 lat ustabilizował się (Mörner 1980).



Rys. 3. Zmiany eustatyczne w regionie północno-zachodnio-europejskim, na północno-wschodnim Atlantyku, podczas ostatnich 21 000 lat na podstawie danych z południowej Skandynawii i potwierdzone innymi danymi z tego regionu; zmiany przedstawiono w dwóch różnych skalach — skala krzywej po prawej stronie jest czterokrotnie większa od skali krzywej zamieszczonej po stronie lewej (Mörner 1980)

Niepokój budzi więc nie tyle samo tempo wzrostu oceanu światowego w ostatnim stuleciu, ile dwa fakty: 1) wzrost ten po raz pierwszy zagraża wybrzeżom posiadającym tak gęste zaludnienie i tak wysoki stopień zainwestowania kapitału oraz 2) w ostatnich kilkudziesięciu latach obserwuje się przyspieszenie tego procesu, co wyraźnie widać, jeżeli porównać dwie ostatnie kolumny w tabeli 1. Podobne zjawisko obserwuje się również na polskim wybrzeżu Bałtyku (Dziedziszko i Jednorąg 1987; Rotnicki i Borówka 1990, 1991).

ESTYMACJA WZROSTU POZIOMU OCEANU ŚWIATOWEGO DO 2100 ROKU

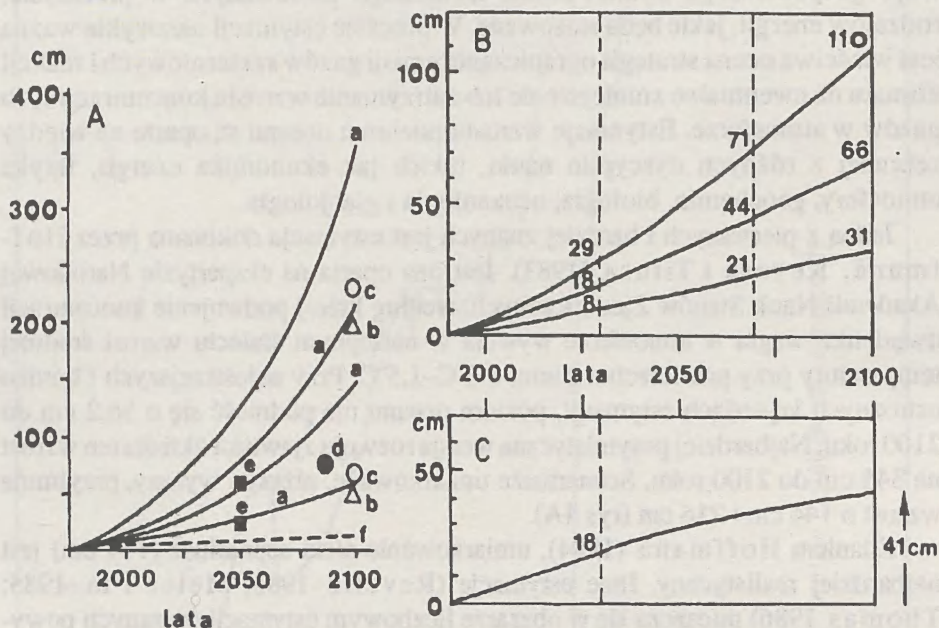
Szacowanie wielkości przyszłego wzrostu poziomu oceanu do 2100 roku jest dokonywane dla różnych scenariuszy przyszłych zmian i kierunków rozwoju gospodarczego świata, zmian technologii stosowanych w przemyśle, rodzajów energii, jakie będą stosowane. W procesie estymacji niezwykle ważna jest właściwa ocena strategii ograniczania emisji gazów szklarniowych i reakcji klimatu na ewentualne zmniejszenie lub zatrzymanie wzrostu koncentracji tych gazów w atmosferze. Estymacje wzrostu poziomu oceanu są oparte na wiedzy zebranej z różnych dyscyplin nauki, takich jak ekonomika energii, fizyka atmosfery, geochemia, biologia, oceanologia i glaciologia.

Jedną z pierwszych i bardziej znanych jest estymacja dokonana przez Hoffmana, Keyesa i Titusa (1983). Jest ona oparta na ekspertyzie Narodowej Akademii Nauk Stanów Zjednoczonych, według której podwojenie koncentracji dwutlenku węgla w atmosferze wywoła w następnym stuleciu wzrost średniej temperatury przy powierzchni Ziemi o 3°C – $1,5^{\circ}\text{C}$. Przy najostrzejszych i bardzo ostrożnych kryteriach estymacji, poziom oceanu ma podnieść się o 56,2 cm do 2100 roku. Najbardziej pesymistyczna wersja rozwoju zjawiska określa ten wzrost na 345 cm do 2100 roku. Scenariusze umiarkowane, niższy i wyższy, przyjmują wzrost o 144 cm i 216 cm (rys 4A).

Zdaniem Hoffmana (1984), umiarkowanie niski scenariusz (144 cm) jest najbardziej realistyczny. Inne estymacje (Revelle 1983; Meier i in. 1985; Thomas 1986) mieszczą się w obszarze liczbowym estymacji opisanych powyżej. W tabeli 2 pokazano estymacje wzrostu poziomu oceanu w XXI wieku dla poszczególnych dwudziestopięcioleci według Hoffmana, Keyesa i Titusa (1983). Inne estymacje są nieco ostrożniejsze, co nie oznacza, że są one bardziej prawdopodobne. Grupa Robocza I Międzyrządowego Panelu Zmian Klimatycznych (IPCC) opracowała dwa scenariusze wzrostu poziomu oceanu, z których pierwszy zakłada, że emisja CO_2 nie została ograniczona do 2030 roku, a druga przyjmuje ustabilizowanie emisji dwutlenku węgla w 2030 roku (rys. 4B i 4C). Zgodnie z pierwszym scenariuszem poziom oceanu wzrośnie do 2100 roku o 31–110 cm (najlepsza estymacja 66 cm), natomiast według drugiego, poziom ten podniesie się tylko o 41 cm (IPCC Report of the CZMS 1990, Warrick 1990).

Trzeba powiedzieć, że estymacja przyszłego wzrostu poziomu oceanu jest obciążona wysokim stopniem niepewności co do zachowania się wielu zmiennych, które wpływają w bezpośredni i pośredni sposób na zmianę klimatu i poziomu oceanu. Wzrost temperatury wskutek emisji gazów szklarniowych zmieni wiele innych czynników klimatycznych, wzmacniając prawdopodobnie efekt końcowy poprzez uruchomienie łańcucha klimatycznych pozytywnych sprzężeń zwrotnych, których łączne skutki są trudne do określenia (Hoffman i in. 1983; Hoffman 1984; Titus 1987). Można jednak przypuszczać, że spowodują one dalszy wzrost temperatury powietrza. I tak, wzrost temperatury spowoduje zwiększenie ilości

pary wodnej w powietrzu, która będzie działać jak gaz szklarniowy, a topnienie śniegów i pływających lodów, zmniejszając ilość światła słonecznego odbitego od powierzchni Ziemi, wywoła także dalszy wzrost temperatury, co przyspieszy wzrost poziomu oceanu światowego. Trudno dziś powiedzieć, jaką rolę odegra wzrost ilości chmur, zmiana ich grubości i wysokości.



Rys. 4. Estymacja zmian poziomu morza do 2100 roku według różnych autorów

A: zestawienie według Titusa (1987); a — estymacje: ostrożna (niska), średnia umiarkowana, średnia wysoka i wysoka (Hoffman i in. 1983); b — niska i wysoka estymacja wg Meiera i in. (1985); c — niska i wysoka estymacja wg Thomasa (1986); d — estymacja wg Revelle (1983); e — niska i wysoka estymacja wg Hoffmana i in. (1986). B: niska, średnia i wysoka estymacja Grupy Roboczej i Międzyrządowego Panelu Zmian Klimatycznych, przy założeniu braku ograniczeń emisji dwutlenku węgla (wg IPCC Report of the Coastal Zone Management Subgroup, 1990). C: estymacja wzrostu poziomu morza według tego samego źródła, przy założeniu, że koncentracja gazów szklarniowych ustabilizuje się w 2030 roku (IPCC Report of the CZMS, 1990).

Tabela 2

Wzrost poziomu oceanu w latach 2000–2100 w centymetrach według różnych scenariuszy (Hoffman, Keyes i Titus 1983 i Hoffman 1984)

Rok	Scenariusz niski	Scenariusze pośrednie		Scenariusz wysoki	Ekstrapolacja danych historycznych
		Umiarkowany	Wysoki		
2000	4,8	8,8	13,2	17,1	2–3
2025	13,0	26,2	39,3	54,9	4,5–8,25
2050	23,8	52,3	78,6	116,7	7–12
2075	38,0	91,2	136,8	212,7	9,5–15,5
2100	56,2	144,4	216,6	345,0	12–18

Biorąc jednak pod uwagę wszystkie możliwe do przewidzenia okoliczności, trzeba stwierdzić, że wzrost poziomu oceanu w najbliższym stuleciu — nawet według najostrożniejszej estymacji — będzie od 4 do 10 razy szybszy od zaobserwowanego w mijającym wieku. Wyobrażalne skutki tego procesu w strefie wybrzeży będą więc ogromne.

Obecny i przyszły wzrost poziomu oceanu do 2100 roku następują głównie z ekspansji termalnej wód oceanicznych wskutek podniesienia się ich temperatury w warstwach przypowierzchniowych. Według specjalistów, ten proces będzie decydował w ponad 40% o wzroście poziomu oceanu do 2100 roku. Topnienie lodowców górskich i lądolodu Grenlandii przyczynią się do tego wzrostu w jednakowym stopniu, wynoszącym po 17%. Na pozostałe przyczyny, w tym topnienie lądolodu Antarktydy, przypadnie łącznie zaledwie 23% (na podstawie Revelle 1983; Meiera i in. 1985; Hoffmana i in. 1986 i Thomasa 1986). Największą niewiadomą jest to, kiedy lądolód Antarktydy zareaguje na ocieplenie się klimatu (Pugh 1990); dziś odbywa się jeszcze pewien jego rozrost wskutek wzrostu opadów, co w pewnym stopniu niweluje nawet wpływ innych czynników wzrostu poziomu oceanu (Warrick 1990). Przypuszcza się jednak, że po 2100 roku, w okresie 200–500 lat może nastąpić całkowity zanik czaszy lądolodu zachodniej Antarktydy, co — gdyby nastąpiło — podniosłoby poziom oceanu o około 6 m (Hughes 1983).

WZGLĘDNY WZROST POZIOMU OCEANU ŚWIATOWEGO

Na wielu zurbanizowanych i gęsto zaludnionych obszarach nizin nadmorskich tempo podnoszenia się oceanu będzie jeszcze szybsze, przez co groźniejsze w skutkach. Dla wielu obszarów należy bowiem mówić o względnym wzroście poziomu oceanu, na którą to wielkość składają się:

- rzeczywisty wzrost poziomu wody,
- subsydencja, czyli obniżanie się łądu.

Na pewnych obszarach, przykładowo delt rzecznych i wybrzeża mierzejowego, subsydencja jest zjawiskiem naturalnym — jest ona wynikiem konsolidacji, kompacji młodych, świeżo zdeponowanych przez rzekę lub morze osadów. Jednakże na niektórych obszarach, od parudziesięciu lat obserwuje się niepokojący wzrost natężenia subsydencji. Przyczyną tego zjawiska jest naruszenie równowagi środowiska wskutek rosnącej presji człowieka na strefę wybrzeża, wyrażającą się w zwiększaniu się liczby ludności tej strefy i coraz intensywniejszej jej eksploatacji. Przyspieszona subsydencja jest skutkiem eksploatacji ropy naftowej i gazu ziemnego oraz nadmiernego wydobycia wód gruntowych. Na przykład, na nizinach nadmorskich Bangladeszu, wskutek sześciokrotnego wzrostu liczby ujęć wody w latach 1975–1985, nastąpił dwukrotny wzrost rocznego tempa obniżania się powierzchni łądu. Szacuje się więc, że względny wzrost poziomu oceanu na wybrzeżu Bangladeszu osiągnie do 2050 roku aż 2 metry (Titus 1990). W Bangkoku subsydencja wynosiła 0,8–1,2 cm/rok w latach 1933–1978, podczas

gdy ostatnio w ciągu 9 lat (1978–1987) wzrosła aż do 3–7 cm/rok (Misdorp 1990).

Inną przyczyną szybszego względnego wzrostu poziomu oceanu na niektórych obszarach jest gospodarka wodna prowadzona w wielu dorzeczeniach rzek uchodzących do oceanu. Polega ona na magazynowaniu wód przez budowanie tam i zbiorników retencyjnych w górnych i środkowych biegach rzek oraz na budowie wałów przeciwpowodziowych wzdłuż dolnych biegów rzek na nizinach nadmorskich i deltach rzecznych. Zapory i zbiorniki retencyjne w zasadniczy sposób zmniejszają dostawę osadów do dolnego biegu rzeki i oceanu, natomiast wały przeciwpowodziowe nie dopuszczają do powodziowej sedymentacji osadów na powierzchni delt i nizin nadmorskich. Obydwa rodzaje budowli hydrotechnicznych zatrzymały naturalny proces agradacji powierzchni delt. Na przykład, wskutek tego procesu traci się obecnie w Luizjanie 100 km² delty Mississipi rocznie. Jeszcze kilkadziesiąt lat wstecz delta ta rozrastała się, wchodząc daleko w Zatokę Meksykańską, mimo jej naturalnej subsydencji, wynoszącej 1 cm rocznie. Jednakże coroczne powodzie dostarczały taką ilość osadów z dorzecza, które wystarczały nie tylko na utrzymanie się powierzchni delty na określonym stałym poziomie, lecz powodowały również jej rozrost (Titus 1987, 1990).

W ostatnich czterdziestu latach wybudowano 15000 tam, które wprawdzie uregulowały około 15% globalnego odpływu wód z powierzchni kontynentów i zracjonalizowały gospodarkę wodną wielu obszarów, z drugiej jednak strony wywołały dramatyczne zmniejszenie transportu zawiesiny do delt i oceanu, co przyspieszyło względne podnoszenie się poziomu oceanu i abrazję brzegów na wielu obszarach nadmorskich (Williamson 1992). W Mississipi, w ciągu ostatniego stulecia zredukowano ilość transportowanego rumowiska o 85% (Titus 1987).

Podnoszący się poziom oceanu, przy jednoczesnej subsydencji wielu obszarów nadmorskich, jest przyczyną wzrostu częstości spięrzeń sztormowych oraz wysokich pływów. W Wenecji średnia wysokość, na której leży miasto, wynosi 110 cm n.p.m. i jest o 22 cm niższa niż przed 80 laty. Jedną z przyczyn tak dużej subsydencji jest nadmierna eksploatacja wód gruntowych w ostatnich kilkadziesiąt latach (rys. 5). W latach 1931–1945 tylko 8 pływów osiągnęło lub przekroczyło wysokość 110 cm n.p.m., podczas gdy w latach 1971–1985 aż 49 razy. Podczas siedmiu wieków istnienia Republiki Weneckiej zanotowano mniej skrajnie wysokich pływów (51), niż w 52 latach między 1914 a 1966 rokiem, podczas których wystąpiły 53 pływy wysokie (Sbavaglia i in. 1990).

Przytoczone przykłady pokazują, że przyspieszony wzrost poziomu oceanu i towarzyszące mu zjawiska związane ze zmianami globalnymi klimatu wynikające z rosnącego wpływu człowieka na środowisko, nie są jakimiś mglistymi i niepewnymi zagrożeniami, które mogą pojawić się w bliżej nieokreślonej przyszłości. Zagrożenie to jest realne już dzisiaj. Skutkuje ono od pewnego czasu

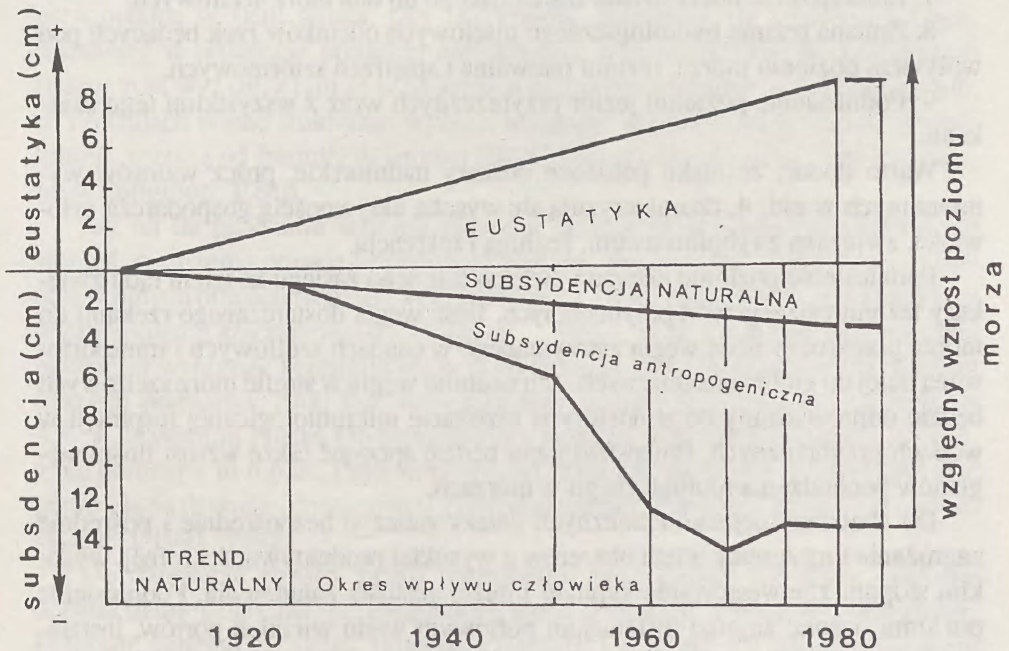
z narastającą siłą, a wiele krajów nadmorskich doświadcza już dramatycznie jego rezultaty.

SKUTKI WZROSTU POZIOMU OCEANU ŚWIATOWEGO

Wśród głównych skutków wzrostu poziomu oceanu wyróżniamy: fizyczne, chemiczne, biologiczne i socjoekonomiczne.

Do najważniejszych skutków fizycznych zalicza się:

1. Wzrost erozji i abrazji brzegu morskiego, co przyspieszy tempo jego cofania się.
2. Zwiększenie wysokości fal morskich oraz częstości i wysokości spięrzeń sztormowych oraz ich przestrzennego zasięgu.



Rys. 5. Eustatyka, trend subsycji i względny wzrost poziomu morza oraz ich przyczyny w Wenecji (Sbavaglia i in. 1990).

3. Podniesienie rzędnych zasięgu pływów morskich, co przesunie w głąb lądu obszar równi pływowych oraz podniesie maksymalny zasięg pływów wysokich, szczególnie drastycznych w skutkach.

4. Zatopienie najniższej położonych nizin nadmorskich, w tym obszarów dzisiaj podmokłych, stanowiących bogactwem taksonomicznym i wysoką produktywnością ekosystemów ogromny rezerwuar biomasy. Rezerwuar ten, choć obejmuje tylko 8% ogólnej powierzchni lądu, to zawiera 20–25% ogólnej biomasy. Lasy mangrowe są ponad 20 razy bardziej produktywne niż otwarty ocean. Wysoką produktywnością cechują się estuaria rzeczne, równiny słonych marszów, rafy

korale i morza szelfowe. Te ostatnie dostarczają 90% łowionych ryb, skorupiaków i małży (Williamson 1992).

Ocenia się, że łączna powierzchnia tylko największych, o znaczeniu światowym, podmokłych równin nadbrzeżnych wynosi 733 tys. km², co stanowi 0,8% powierzchni krajów je posiadających (IPCC Report of the Coastal Zone Management Subgroup, 1990). Jednometrowe podniesienie poziomu oceanu spowoduje zatopienie 17% powierzchni gęsto zaludnionego Bangladeszu; z uwagi na dużą subsydencję, przewiduje się, że do 2050 roku w rejonie wybrzeża tego kraju poziom oceanu światowego wzrośnie względnie o ponad 2 metry (Titus 1990).

5. Wzrost zasolenia estuariów i wód gruntowych.

6. Zmiana miejsca depozycji osadów rzecznych wynoszonych z kontynentów do morza.

7. Zmniejszenie ilości światła docierającego do dna mórz szelfowych.

8. Zmiana reżimu hydrologicznego ujściowych odcinków rzek będących pod wpływem poziomu morza, reżimu falowania i spięrzeń sztormowych.

9. Podniesienie poziomu jezior przybrzeżnych wraz z wszystkimi tego skutkami.

Warto dodać, że nisko położone obszary nadmorskie, prócz walorów wymienionych w pkt. 4, charakteryzują się wysoką aktywnością gospodarczą człowieka, związaną z rybołówstwem, żegluga i rekreacją.

Podniesienie poziomu oceanu i zwiększenie jego zasięgu kosztem lądu zwiększy też eutrofizację wód przybrzeżnych. Ilość węgla dostarczanego rzekami do morza przekroczy ilość węgla zatrzymanego w osadach szelfowych i transportowaną dalej do głębin oceanicznych. Ten nadmiar węgla w strefie mórz szelfowych będzie odprowadzany do atmosfery w rezultacie mikrobiologicznej respiracji w wodach przybrzeżnych. Procesowi temu będzie sprzyjać także wzrost ilości węglanów pochodzenia biologicznego w morzach.

Do skutków socjoekonomicznych należy zaliczyć bezpośrednie i pośrednie zagrożenie i niszczenie wielu obszarów o wysokiej produktywności rolnej, wysokim stopniu zainwestowania kapitału i dużej gęstości zaludnienia. Podniesienie poziomu oceanu zagrozi instalacjom portowym wielu wielkich portów, instalacjom stoczniowym i przemysłowi zlokalizowanemu na nizinach nadmorskich, gospodarce polderowej, akwakulturom, infrastrukturze technicznej miast i całych regionów nadmorskich, ich zasobom mieszkaniowym i często bezcennemu dziedzictwu kulturowemu ludzkości. Wiele wielkich miast świata znajduje się na obszarach położonych poniżej 2 m n.p.m., a przykładowo 12–15% obszarów uprawnych i 8 milionów mieszkańców Egiptu ajmuje tereny położone poniżej 1 m n.p.m. Tereny te dostarczają 10–15% produktu narodowego (Sestini 1989).

Ochrona wymienionych zasobów wymaga ogromnych nakładów finansowych, które muszą być rozłożone na wiele pokoleń, wymaga nowej, odpowiedniej polityki i strategii państw, których zasoby są zagrożone. Te strategie, to wybór jednej z następujących opcji dla poszczególnych zinventaryzowanych zagrożeń:

1) pozostawienie obszaru bez żadnej ochrony, 2) wycofanie się, 3) adaptacja do nowych warunków, 4) obrona za wszelką cenę. O wyborze opcji decyduje rachunek ekonomiczny strat i zysków oraz czynniki socjologiczne i kulturowe.

Niektóre bogate państwa już zinwentaryzowały zagrożenia wynikające ze wzrostu poziomu oceanu światowego, dokonały szacunku wartości strat, kosztów różnych wariantów ochrony i zachowań wobec problemu zagrożeń oraz przyjęły podstawy polityki i strategii wobec konieczności ochrony zasobów i stref zagrożonych.

Dokonano też bardzo ogólnych oszacowań kosztów ochrony wybrzeży dla 181 krajów, biorąc pod uwagę jedynie koszty bardzo podstawowej ochrony. Nie obejmują one na przykład kosztów ochrony obszarów, które dzisiaj nie są chronione, ani też kosztów skutków zwiększonej częstości spiętrzeń sztormowych. Rzeczywisty koszt ochrony wybrzeży jest więc wielokrotnie wyższy i trudny dziś do oszacowania w skali świata. Dla 181 krajów, przeciętny tak rozumiany koszt, wyrażony w procencie produktu narodowego, wynosi 0,038%. W 128 krajach koszty te są wyższe, z tym że w 53 krajach są one ponad dziesięciokrotnie wyższe, w 12 krajach ponad stukrotnie wyższe, osiągając w Malediwach wartość tysiąc-krotnie wyższą od średniej światowej (IPCC Report of the Coastal Zone Management Subgroup, 1990).

Jak na tle problemu wzrostu poziomu oceanu światowego przedstawia się stopień zagrożenia polskiego wybrzeża Bałtyku. Problem ten omówiono dokładniej w innych pracach (Rotnicki i Borówka 1990, 1991, 1992). Według wyżej wymienionych szacunków (IPCC Report..., 1990), koszty ochrony podstawowej polskiego wybrzeża kształtują się poniżej średniej kosztów światowych. Według naszych pomiarów 2700 km² wybrzeża leży poniżej 2,5 m n.p.m., co stanowi 0,87% terytorium Polski. Do bezpośrednio zagrożonych zalicza się obszary położone poniżej 1 m n.p.m., czyli nieco ponad 1600 km² (0,51%), z czego 640 km² przypada na depresje, co stanowi 0,21% powierzchni kraju (Rotnicki i Borówka 1990, 1991, 1992).

Do dziesięciu państw świata, najbardziej zagrożonych wzrostem poziomu oceanu światowego, należą: Bangladesz, Egipt, Indonezja, Malediwy, Mozambik, Pakistan, Senegal, Surinam, Tajlandia i Gambia. Jak widać, nie ma wśród nich ani jednego państwa bogatego. Jest więc ironią losu, że najmniej odpowiedzialni za zmiany globalne klimatu i ich rezultaty będą najdotkliwiej ponosić ich skutki (Jacobson 1990).

GLOBAL CLIMATIC CHANGES AND SEA-LEVEL RISE AND ITS EFFECTS

Summary

The article presents problems of the contemporary sea-level rise as a result of a global change in the climate, viz. its warming. The warming is a result of an excessive emission of the so-called greenhouse gases which are by-product of the ever growing energy production and industrial development.

The first to be discussed is the role of the coast in biological productivity and the carbon cycle in nature, as well as their importance for man and his economy. Next, the main tectonic and climatic causes of real and relative changes in the sea-level are considered. The tendency and rate of the sea-level rise over the last century is discussed against the background of what we know about the recent geological past, namely the end of the last Pleistocene Glaciation, during which the rate of change in the sea-level was much more rapid than today. Our knowledge of the past warns us that a rise in the sea-level of 1.0–1.5 m over the next one hundred years is a perfectly real danger. In turn, an estimation is made of the sea-level rise by the year 2100, and of physical, biological and economic effects of this process on the coastal zone. The article closes with a discussion of the choice of responses to the danger for the coastal zone posed by the sea-level rise that are open to man.

LITERATURA

- Andel van T. H., 1985. *New Views On An Old Planet; Continental Drift And The History of The Earth*. Cambridge University Press, 1–287.
- Armentano, T. V., Park R. A., Cloonan C. L., 1987. *Impacts on coastal wetlands throughout the United States*. [W:] J. G. Titus (red.), *Greenhouse Effect, Sea Level Rise And Coastal Wetlands*, USEPA, Washington, 87–128.
- Bach W., Jung, H. J., Knottenberg H., 1985. *Modeling the Influence of Carbon Dioxide on the Global and Regional Climate*. Münsterische Geographische Arbeiten, Heft 21, Ferdinand Schöningh, Paderborn, 1–114.
- Barnett T. P., 1984. *The estimation of global sea-level change: a problem of uniqueness*. Journal of Geophysical Research, 89, 7980–7988.
- Berger W. H., Winterer E. L., 1974. *Late stratigraphy and the fluctuating carbonate line*. [W:] K. J. Hsü, H. C. Jenkyns (red.), *Pelagic sediments: On Land and under the Sea*, Intern. Assoc. of Sedimentologists, 11–48.
- Bloom A. L., 1971. *Glacial-Eustatic and Isostatic Controls of Sea Level Since the Last Glaciation*. [W:] K. K. Turekian, *The Late Cenozoic Glacial Ages*, Yale University Press, 355–379.
- Carter R. W. G., 1989. *Coastal environments. An introduction to the physical ecological and cultural system of coastlines*. Academic Press, Orlando, Florida.
- Charney J., Chairman, 1979. *Carbon Dioxide and Climate: A Scientific Assessment*. Washington, D.C.: NAS Press.
- Clark J. A., 1980. *A Numerical Model of Worldwide Sea Level Changes on a Viscoelastic Earth*. [W:] N. A. Mörner (red.), *Earth, Rheology, Isostasy And Eustasy*, Wiley, Chichester–New York–Toronto, 525–534.
- Dziadziuszko Z., Jednorat T., 1987. *Wahania poziomu morza na polskim wybrzeżu Bałtyku*. *Studia i Materiały Oceanologiczne*, 52, 215–238.
- Forney G. G., 1975. *Permo-Triassic sea-level change*. Journal of Geology, 83, 773–779.
- Görnitz V., Lebedeff S., 1987. *Global sea-level changes in the past century*. [W:] D. Nummedal, O. H. Pilkey, J. D. Howard (red.), *Sea-level changes and coastal evolution*, Society for Economic Paleontologists and Mineralogists, SEPM, Special Publ. No. 4.
- Goudie A. S., 1989. *The human impact: man's role in environmental change*. MIT Press, Cambridge, MA., 1–316.
- Hansen J. E., Johnson D., Lacis A. A., Lebedeff S., Lee P., Rind D. H. i Russell G. L., 1981. *Climatic impact of increasing atmospheric carbon dioxide*. Science, 213, 957–966.
- Hansen J. E., Lacis A. A., Rind D. H., Russel G. L., 1984. *Climate Sensivity to Increasing Greenhouse Gases*. [W:] M. C. Barth i J. G. Titus (red.), *Greenhouse Effect and Sea Level Rise; A Challenge for This Generation*, Van Nostrand Reinhold Company, 57–77.
- Hansen J. E., Lebedeff S., 1988. *Global surface air temperatures: Update Trough 1987*. Geophysical Research Letters, No.15/4.

- Hicks S. D., DeBaugh H. A., Hickman L. E., 1983. *Sea Level Variation for the United States 1855–1980*. Rockville, MD., National Ocean Service.
- Hoffman J. S., 1984. *Estimates of Future Sea Level Rise*. [W:] M. C. Barth i J. G. Titus (red.), *Greenhouse Effect And Sea Level Rise*, Van Nostrand Reinhold Company, 79–103.
- Hoffman J. S., Keyes D., Titus J. G., 1983. *Projecting Future Sea Level Rise U.S.GPO 055-000-0236-3*, Washington, D.C.; Government Printing Office.
- Hoffman J. S., Wells J. B., Titus J. G., 1986. *Future Global Warming and Sea Level Rise*. [W:] F. Sigbjarnarson (red.), *Iceland Coastal and River Symposium*, Reykjavik, National Energy Authority.
- Hughes T., 1983. *The Stability of West Antarctic Ice Sheet: What Has Happened and What Will Happen*. [W:] *Proceedings: Carbon Dioxide Research Conference: Carbon Dioxide, Science and Consensus*, DOE Conference 820970. Washington, D.C., Department of Energy.
- IPCC Report of the Coastal Zone Management Subgroup, 1990. *Strategies For Adaption To Sea Level Rise*, 1–122.
- Jacobson J. L., 1990. *Holding Back the Sea*. [W:] J. G. Titus, R. Wedge, N. P. Psuty, J. Fancher (red.), *Changing Climate And The Coast*, UNEP, WHO, EPA, NOAA, Washington, Vol.1, 101–123.
- Jelgersma S., 1980. *Late Cenozoic Sea Level Changes in the Netherlands and the Adjacent North Sea Basin*. [W:] N. A. Mörner (red.), *Earth, Rheology, Isostasy And Eustasy*, Wiley, Chichester–NewYork–Toronto, 435–447.
- Keeling C. D., Bacastow R. B., Whorf T. P., 1982. *Measurements of the Concentration of Carbon Dioxide at Mauna Loa, Hawaii*. [W:] W. Clark (red.), *Carbon Dioxide Review 1982*, N.Y., Oxford University Press, 377–382.
- Koike I., Sørensen J., 1988. *Nitrate reduction and denitrification in marine sediments*. SCOPE 33, Wiley, Chichester, 251–273.
- Kuenen P. H., 1950. *Marine Geology*. Wiley, New York, 1–568.
- Lamb H. H., 1977. *Climate: Present, Past And Future*; Vol. 2: *Climatic History And The Future*, Methuen & Co., London–New York, 1–835.
- Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone – LOICZ, 1990. [W:] *IGBP Report No. 12*, 4.1–1–4.1–23.
- Manabe S., Wetherald R.T., 1975. *The effects of doubling the CO₂ concentration on the climate of a general circulation model*. *Journal of Atmospheric Sciences*, 32, 3–15.
- Meier M. F. i in., 1985. *Glaciers, Ice Sheets and Sea Level: Effects of a CO₂-Induced Climatic Change*. Washington, National Academy Press.
- Misdorp R., 1990. *Existing Problems in Coastal Zones: A Concerb of IPCC?* [W:] J. G. Titus, R. W. Edge, N. P. Psuty, J. Fancher, *Changing Climate and the Coast*, UNEP, WHO, EPA, NOAA, Washington, Vol. 1, 95–100.
- Mörner N. A., 1976. *Eustasy and geoid changes*. *Journal of Geology*, 84, 123–151.
- Mörner N. A., 1980: *Eustasy and Geoid Changes as a Function of Core/Man- ile Changes*. [W:] N. A. Mörner (red.), *Earth, Rheology, Isostasy And Eustasy*, Wiley, Chichester, New York, Toronto, 535–553.
- Newman W., Marcus L., Pardi R., Paccione J., Tomecek S., 1980. *Eustasy and Deformation of the Geoid: 1000–6000 Radiocarbon Years BP*. [W:] N. A. Mörner (red.), *Earth Rheology, Isostasy And Eustasy*, Wiley, Chichester, New York, Toronto, 555–567.
- Psuty N. P., 1991. *The Effects of an Accelerated Rise in Sea Level on the Coastal Zone of New Jersey, U.S.A*. Contribution 91–55 of the Institute of Marine and Coastal Sciences, Rutgers, New Brunswick, New Jersey, 1–51.
- Pugh D., 1990. Sea-level: change and challenge. *Nature & Resources*, Ocean and coastal reserach concerns, Vol. 26, No. 4, 36–46.
- Revelle R., 1983. *Probable Future Changes in Sea Level Resulting From increased Atmospheric Carbon Dioxide*. [W:] *Changing Climate*, Washington, D. C., National Academy Press.

- Rossiter J. R., 1972. Sea level observations and their secular variation. *Phil. Trans., A*, 272, London, 131–139.
- Rotnicki K., Borówka R. K., 1990. *Impact of a Future Sea Level Rise in the Polish Baltic Coastal Zone*. [W:] J. G. Titus, R. Wedge, N. P. Psuty, J. Fancher (red.) *Changing Climate and the Coast*, UNEP, WHO, EPA, NOAA, Washington, 247–264.
- Rotnicki K., Borówka R. K., 1991. *Impact of a Future Sea Level Rise in the Polish Baltic Coastal Zone*. International Sea-Level Rise Studies Project, Institute of Marine and Coastal Sciences, Rutgers University, New Brunswick, New Jersey, USA, 1–28.
- Rotnicki K., Borówka R. K., 1992. *Quantification Of Risk To Poland From Accelerated Sea-Level Rise*. International Sea-Level Rise Studies Project, Institute of Marine and Coastal Sciences, Rutgers University, New Brunswick, New Jersey, USA, 1–27.
- Russell K. L., 1968. Oceanic ridges and eustatic changes in sea level. *Nature*, 218, 861–862.
- Sbavaglia A., Clini C., De Siervo F., Ferro G., 1990. *Venice: An Anticipatory Experience of Problems Created By Sea Level Rise*. [W:] J. G. Titus, R. Wedge, N. P. Psuty, J. Fancher, *Changing Climate and the Coast*, Vol. 2, 139–159.
- Schopf T. J. M., 1980. *Paleoceanography*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts and London, England.
- Sestini G., 1989. *The implications of the climatic changes for the Nile Delta Report WG 2/14*, Nairobi, Kenya: United Nations Environment Program.
- Smagorinsky J., 1982. *Carbon Dioxide: A Second Assessment*. Washington, D.C., National Academy of Sciences Press.
- Thomas R. H., 1986. *Future Sea Level Rise and Its Early Direction by Satellite Remote Sensing*. [W:] J. G. Titus (red.), *Effects of Changes in Stratospheric Ozone and Global Climate*, Vol. 4: Sea Level Rise.
- Titus J. G., 1987. *Sea Level Rise and Wetland Loss: An Overview*. [W:] J. G. Titus (red.), *Greenhouse Effect—Sea Level Rise and Coastal Wetlands*, EPA, Washington, 1–35.
- Titus J. G., 1990. *An Overview of the Effects of Global Warming on the Coast*. [W:] J. G. Titus, R. Wedge, N. P. Psuty, J. Fancher, UNEP, WHO, EPA, NOAA, Washington, 63–85.
- Titus J. G., Barth M. C., 1984. *An Overview of the Causes and Effects of Sea Level Rise*. [W:] M. C. Barth i J. G. Titus (red.) *Greenhouse Effect and Sea Level Rise*, Van Nostrand Reinhold Company, 1–56.
- Untersteiner N., 1975. *Sea Ice and Ice Sheets: Role in Climatic Variations. Physical Basis of Climate Modeling*, Series 16, 206–224.
- Warrick R. A., 1990. *Future Climate and Sea Level Change: Certainties, Uncertainties and Shades of Grey*. [W:] *The Environmental Implications of Global Change*, The World Conservation Union, Global Change General Assembly Workshop, Perth, Nov. 30th–Dec. 1st 1990, 1–6.
- Wielka Encyklopedia Powszechna, 1969. PWN Warszawa.
- Williamson P., 1992. *Reducing Uncertainties; Coastal Connections*. IGBP, Stockholm, 19–21.

MACIEJ SADOWSKI

Instytut Ochrony Środowiska
Warszawa

MIĘDZYKARODOWE I POLITYCZNE ASPEKTY ZMIAN KLIMATU

Wpływ gazów cieplarnianych na temperaturę powietrza ma zasięg globalny. Oznacza to, że potencjalne ocieplenie jest problemem o charakterze ogólnoswiatowym. Z tego względu nie może być rozpatrywany i rozwiązywany odrębnie przez poszczególne kraje. Jest to także międzynarodowy problem społeczny, ekonomiczny i polityczny, wymagający skoordynowania i uzgodnień, bowiem wszelkie działania, jakie powinny być podjęte w celu ograniczenia procesu ocieplenia i jego skutków — związane są z ograniczeniami i poświęceniami. Zmusza to do podjęcia wspólnej, uzgodnionej akcji wszystkich krajów świata w celu zapobieżenia ociepleniu wynikającemu z działalności człowieka i jego skutkom.

Idea wspólnego zapobiegania możliwym zmianom klimatu powstała wiele lat temu i była przedmiotem licznych międzynarodowych konferencji. Powstałe na nich dokumenty o charakterze deklaracji dobrej woli potwierdziły celowość wynegocjowania wspólnej konwencji o ochronie klimatu pod auspicjami ONZ i gotowość przystąpienia do takich negocjacji większości krajów. Decyzję w tej sprawie Zgromadzenie Ogólne ONZ podjęło na 45 sesji w grudniu 1990 r.

Celem Konwencji jest ograniczenie koncentracji gazów cieplarnianych pochodzenia antropogenicznego w atmosferze do takiego poziomu, który nie będzie oddziaływał niekorzystnie na system klimatyczny kuli ziemskiej. Osiągnięcie tego celu jest możliwe przez ograniczenie emisji tych gazów do atmosfery oraz zwiększenie ich pochłaniania przez biosferę.

Już wstępne negocjacje wykazały, że osiągnięcie consensusu nie będzie łatwe. Rzutuje na to przede wszystkim zróżnicowany poziom rozwoju społeczno-cywilizacyjnego i sytuacja gospodarcza poszczególnych krajów. W pertraktacjach musiały być uwzględnione następujące elementy:

- zróżnicowanie rozwoju ekonomicznego krajów świata,
- zróżnicowanie zmian klimatu,

- zróżnicowanie szkód spowodowanych tymi zmianami,
- zróżnicowana odpowiedzialność krajów za efekt cieplarniany,
- określenie działań zmierzających do zapobieżenia groźbie zmian klimatu oraz działań adaptacyjnych do oczekiwanych zmian wraz ze wskazaniem zobowiązań finansowych,
- określenie zobowiązań i sposobu ich realizacji przez kraje uzależnione gospodarczo od wydobywania i eksportu surowców energetycznych,
- ograniczenia możliwości krajów wynikające z warunków naturalnych (położenie geograficzne, warunki przyrodnicze i in.).

Istota zobowiązań zawartych w Konwencji sprowadza się do:

- ustabilizowania emisji gazów szklarniowych przez kraje rozwinięte na poziomie roku 1990 do roku 2000, a następnie jej redukcja,
- ograniczenia wyřębu lasów i wdrożenie programu zalesiania, zwłaszcza w strefie międzyzwrotnikowej i subpolarnej,
- przyjęcie przez kraje rozwinięte zobowiązania do pokrycia kosztów wdrażania postanowień Konwencji przez kraje rozwijające się,
- zapewnienie transferu nowych, ekologicznie zdrowych technologii do krajów rozwijających się na zasadach preferencyjnych.

Różnica poglądów uwidoczniła się najbardziej pomiędzy krajami rozwiniętymi i rozwijającymi się, zwłaszcza w odniesieniu do strategii rozwoju gospodarczego, suwerenności i zabezpieczenia interesów narodowych. Kraje rozwijające się wychodzą z założenia, że kraje bogate ponoszą główną odpowiedzialność za dotychczasowy wzrost koncentracji gazów cieplarnianych w atmosferze, będący wynikiem rozwoju gospodarczego tych krajów, który w przeszłości dokonywał się kosztem krajów kolonialnych. Obecnie obowiązkiem krajów rozwiniętych powinno być ograniczenie własnego rozwoju i zapewnienie rozwoju krajom rozwijającym się. Kraje rozwijające się powinny być zwolnione z wszelkich obligatoryjnych zobowiązań i ich udział w realizacji zadań Konwencji opierałby się na zasadach dobrowolności. Innymi słowy obowiązek podjęcia działań zmierzających do ochrony klimatu w krajach rozwijających się powinien spoczywać na krajach rozwiniętych. Przy tym za kraje rozwinięte uważa się wszystkie kraje OECD i kraje Europy Środkowej i Wschodniej z wyjątkiem Rumunii. Szczególnie twarde stanowisko w tej sprawie zajmują Indie popierane przez Chiny.

Kraje rozwinięte w pewnym stopniu gotowe są uznać swoją odpowiedzialność za stan obecny, jednakże nie zamierzają ani rezygnować z dalszego własnego rozwoju ani ponosić pełnych kosztów realizacji zobowiązań Konwencji w krajach rozwijających się.

Szczególne stanowisko w tej sprawie zajmują Stany Zjednoczone. Administracja Prezydenta znajduje się pod stałym naciskiem dwóch różnych grup społecznych. Pierwsza to silnie rozwinięty ruch zielonych mający poparcie części społeczeństwa, domagający się od Rządu przyjęcia na siebie konkretnych zobowiązań do ograniczenia emisji i udzielenia daleko idącej pomocy krajom rozwijającym

się. Druga to lobby przemysłowe, które jest przeciwne jakimkolwiek ograniczeniom, widząc w tym zagrożenie swoich interesów. Ścieranie się nacisków tych dwóch grup przejawiało się w formie dosyć charakterystycznego stanowiska zajmowanego przez negocjatorów amerykańskich. W czasie negocjacji ulegało ono stopniowej ewolucji. Początkowo Rząd Stanów Zjednoczonych uznawał jedynie celowość prowadzenia badań problemu globalnego ocieplenia i był gotów udzielić ograniczonej pomocy tym krajom rozwijającym się, które podejmą konkretne kroki celem ograniczenia emisji. Dotyczyło to przede wszystkim Brazylii w celu zahamowania wycięcia Puszczy Amazońskiej. Z czasem pod naciskiem grupy pierwszej i opinii międzynarodowej zgodzono się na włączenie do Konwencji bardziej konkretnych zobowiązań dotyczących ograniczenia emisji, pomocy finansowej dla krajów rozwijających się i transferu technologii. W ostatecznym efekcie Stany Zjednoczone podpisały Konwencję.

Kolejną grupą krajów przeciwnych powstaniu Konwencji są niektóre arabskie kraje naftowe, które w ograniczeniu emisji widzą zagrożenie dla eksportu ropy naftowej. Z drugiej strony gorącymi orędownikami Konwencji zawierającej konkretne zobowiązania redukcji emisji są kraje Europy Zachodniej i nisko położone kraje, głównie wapiarskie.

Odrębnym problemem spornym była sytuacja krajów postsocjalistycznych Europy Środkowej i Wschodniej. Kraje rozwijające się nie chciały uznać specjalnej sytuacji tej grupy krajów, traktując je jak kraje rozwinięte, ze wszystkimi konsekwencjami wynikającymi z tego faktu. Stały bowiem na stanowisku, że świat dzieli się jedynie na dwie, tradycyjnie przyjęte grupy krajów. Intensywna działalność przedstawicieli Polski i Rosji doprowadziły do uznania odrębności tej grupy krajów. Oznacza to, że zobowiązania dotyczące emisji mogą być ustalane odrębnie przez każdy z tych krajów, a zobowiązania finansowe i transfery technologii ich nie dotyczą. Podpisana w czerwcu 1992 r. w Rio de Janeiro Ramowa Konwencja ONZ o Zmianach Klimatu jest pierwszym, międzynarodowym prawnym dokumentem zobowiązującym sygnatariuszy do podejmowania działań. Konwencja ma charakter ramowy i z tego względu niezbędne są dalsze negocjacje, które w postaci protokołów do Konwencji będą ustalać zobowiązania w zakresie ograniczenia emisji, powstrzymania procesu wylesiania, zobowiązań finansowych i transferu technologii.

Polska stanowi jedno z poważniejszych źródeł emisji gazów szklarniowych w skali światowej: w emisji dwutlenku węgla zajmujemy 10–12 miejsce na świecie, w emisji metanu uwalnianego przy wydobywaniu węgla miejsce czwarte. Przyjęty tekst Konwencji zakłada, że Polska w przypadku ratyfikacji będzie musiała wypełnić następujące zobowiązania:

— ograniczyć emisję gazów szklarniowych: dwutlenku węgla, metanu i podtlenku azotu. (Chlorofluorowęglowodory objęte są działaniami określonymi w Protokole Montrealskim do Konwencji Wiedeńskiej o Ochronie Warstwy Ozonowej, do której Polska przystąpiła w 1990 r.),

— opracować narodowy raport zawierający ocenę stanu emisji oraz program działań gospodarczych i społecznych zmierzających do wypełnienia przyjętego zobowiązania oraz przedstawiać okresowe raporty o postępie prac,

— opłacać składki z tytułu udziału w Konwencji. Wysokość tej składki nie jest jeszcze ustalona i będzie określona na pierwszym posiedzeniu Konferencji Stron.

W odniesieniu do podstawowego zobowiązania, jak już oświadczyli przedstawiciele Rządu RP na forum międzynarodowym, jesteśmy gotowi podjąć się ustabilizowania emisji dwutlenku węgla do roku 2000 na poziomie roku 1988. Jak wykazały ekspertyzy, jest także możliwe ustabilizowanie emisji metanu. Oznacza to, że jesteśmy w stanie w pełni wykonać to zobowiązanie. Wymagać to będzie opracowania:

— programów gospodarczych kraju co najmniej do roku 2000 z uwzględnieniem wzrostu efektywności zużycia paliw i wykorzystania surowców energetycznych, odnawialnych źródeł energii, wtórnego wykorzystania gazów (CFC's) i innych, zwłaszcza w odniesieniu do takich sektorów gospodarki jak energetyka, przemysł, w tym wydobywczy, gospodarka komunalna, budownictwo, program poprawy stanu zdrowotnego lasów i zalesienia do roku 2000,

— programu wiązania CO₂ przez gleby w Polsce.

Powyższe programy, wraz z oceną kosztów oraz skutków ekonomicznych ich wdrożenia, powinny być opracowane nie później niż do roku 1995, a następnie zatwierdzone przez Rząd i Sejm i skierowane do realizacji. Częściowo programy te już istnieją i są stopniowo realizowane przez zainteresowane resorty. Ponadto niezbędne jest opracowanie:

— oceny możliwości i strategii redukcji emisji gazów szklarniowych do roku 2010 w stosunku do okresu bazowego (1988) i roku 2000,

— oceny możliwości i strategii zwiększenia pochłaniania i wiązania gazów szklarniowych przez gleby i lasy.

Korzyści, jakie Polska może wynieść z przystąpienia, ratyfikacji, przyjęcia lub zatwierdzenia Konwencji, są dwojakiego rodzaju. Po pierwsze wnosimy swój wkład w ochronę klimatu kuli ziemskiej. Po drugie ograniczenie lub stabilizacja emisji na podanym poziomie oznacza konieczność zwiększenia efektywności wykorzystania surowców energetycznych w polskiej gospodarce, zmniejszając jej energochłonność a tym samym obniżając koszty produkcji. Jest to kierunek zgodny z kierunkiem reform gospodarczych kraju. Po trzecie zwiększamy powierzchnię leśną kraju oraz poprawiamy stan jakościowy lasów i gleby. Przystąpienie do Konwencji oznacza także otwarcie dostępu do nowych i ekologicznie zdrowych technologii zachodnich na zasadach preferencyjnych, co jest przywilejem jedynie krajów Stron Konwencji.

W związku z podpisaniem Konwencji będziemy zobowiązani do jej ratyfikacji lub innej formy akceptacji oraz do przedstawienia narodowego raportu w ciągu sześciu miesięcy po wejściu w życie Konwencji.

Wspomniany raport musi zawierać:

— inwentaryzację emisji i pochłaniania gazów z rozbiem na rodzaje i dla sektorów gospodarki w roku bazowym (1988), opracowanej zgodnie z metodologią przyjętą przez Konferencję Stron,

— opis ogólny działań podjętych lub przewidywanych, zmierzających do realizacji zobowiązań,

— szczegółowe programy działania, ocenę wpływu podjętych działań na emisję i pochłanianie gazów szklarniowych.

Aby wypełnić podjęte zobowiązania Konwencji niezbędne będzie:

— uruchomienie monitoringu gazów szklarniowych (CO₂, CH₄, N₂O, CFC's),

— uruchomienie badań nad możliwościami zwiększenia absorpcji i retencji gazów szklarniowych przez lasy, glebę i użytki zielone,

— opracowanie programów adaptacji gospodarki do zmienionych warunków klimatycznych i środowiska.

Wymaga to utworzenia (lub aktywizacji o ile istnieje) międzyresortowego zespołu studiów strategicznych, który zajmie się opracowaniem takiego programu i raportu, oraz przeznaczenia środków na wykonanie tych prac.

Reasumując, trzeba stwierdzić, że podpisanie Konwencji, a następnie jej ratyfikacja leży w interesie Polski i nie przekracza naszych aktualnych możliwości.

POLITICAL AND INTERNATIONAL ASPECTS OF CLIMATE CHANGE ISSUE

Summary

The paper discuss matters related to the UN Framework Convention on Climate Change negotiation process and positions of different groups of countries. Difficulties which were met during negotiations are also presented. Special stress was laid on commitments mainly for countries with economies in transition including Poland.

Finally consequences of ratification the Convention by Poland and its meaning for the Polish economy were presented.

In conclusion it was stated that the convention will create Poland an opportunity to improve energy efficiency and sanitary conditions of forests and may bring very specific benefits for the economy as a whole. So it should be ratified as soon as possible.

ADAM BIELA

Katolicki Uniwersytet Lubelski
Lublin

REAKCJE PSYCHICZNE W SYTUACJI GLOBALNYCH ZMIAN W ŚRODOWISKU

Zmiany w środowisku przyrodniczym, zwłaszcza gdy mają charakter globalny, znajdują odbicie zarówno w dostrzegalnych zmianach w zachowaniu ludzi, będących podmiotami funkcjonowania w tym środowisku, jak i w ich konsekwencjach.

Omawianie psychologicznych konsekwencji zmian w środowisku wymaga dokładniejszego sprecyzowania koncepcji podmiotowego funkcjonowania w nim oraz związku pomiędzy jego osobowością a środowiskiem. Po nakreśleniu tego teoretycznego kontekstu możliwe będzie naświetlenie niektórych kwestii związanych z reakcjami ludzi na nagłą zmianę w środowisku oraz ze spostrzeganiem procesu systematycznej degradacji środowiska lokalnego.

CZŁOWIEK JAKO PODMIOT FUNKCJONOWANIA W ŚRODOWISKU

Jedną z podstawowych przesłanek psychologii środowiskowej jest teza o podmiotowości relacji mieszkańców regionu i społeczności lokalnej do fizyczno-przyrodniczego środowiska ich życia (Biela 1986). Teza ta oznacza, że człowiek, będąc elementem układu *Ja — Środowisko*, ma świadomość że:

1 — przyroda jest jego środowiskiem życia, a więc takim, które zaspokaja jego ludzkie potrzeby (tzn. jemu służy na miarę jego potrzeb biologicznych, psychologicznych, społecznych i materialnych) i w którym „czuje się sobą” lub „u siebie”;

2 — świadomy jest swojego działania w środowisku w sensie przewidywania konsekwencji tego działania i w związku z tym ma poczucie odpowiedzialności za swoje środowisko.

Te dwa komplementarne wobec siebie warunki definicyjne podmiotowości ludzkiego funkcjonowania w środowisku przyrodniczym określają z jednej strony świadomość, iż przyroda jest dla człowieka w sensie zaspokajania jego potrzeb, lecz z drugiej strony nakładają na człowieka obowiązek kontrolowania swoich działań w środowisku w imię odpowiedzialności za jego stan i perspektywę trwania. Podmiotowe funkcjonowanie człowieka w środowisku oznacza więc

przede wszystkim zdolność do operowania szerszym horyzontem czasowym w zakresie przyczynowo-skutkowego bilansowania swoich własnych działań w środowisku.

Problem podmiotowości funkcjonowania człowieka w środowisku obejmuje zarówno sferę indywidualną, jak i społeczną. Chodzi tutaj o postawy, odczucia, cele działań indywidualnych osób w ich środowisku lokalnym, czy też jako indywidualnych ekodecydentów, jak również i zachowania społeczne oraz funkcjonowanie grup czy określonych organizacji społecznych, gospodarczych i politycznych w środowisku.

Poczucie podmiotowości mieszkańców danego regionu wobec środowiska przyrodniczego stanowi psychologiczny warunek samopoczucia zdrowotnego tych mieszkańców. Teza ta znalazła dość gruntowne potwierdzenie w przeprowadzonych badaniach terenowych mieszkańców regionu suwalskiego (Biela 1981). Na wybór regionu suwalskiego, jako terenu badań, zadecydowało kilka powodów. Główną racją był stosunkowo mały stopień zanieczyszczenia tych okolic przez przemysł, ich walory krajobrazowe oraz specyfika etnologiczno-kulturowa. Istotnym czynnikiem badania świadomości ekologicznej mieszkańców Suwalszczyzny było prowadzenie na terenie gmin Wiżajny i Jeleniewo badań geologicznych, które w czasie przeprowadzania naszych badań terenowych weszły w etap końcowy. Widok szybów wiertniczych stanowił dla mieszkańców zapowiedź budowy w tym regionie wielkiego okręgu przemysłowego, który miał nosić nazwę „Śląska Północy”. Wobec istnienia planów intensywnej budowy obiektów przemysłowych zachodziła potrzeba badań nad możliwościami adaptacyjnymi mieszkańców tych terenów do tempa zmian industrialno-ekologicznych. Badania te mają istotne znaczenie dla profilaktyki zdrowotnej mieszkańców przyszłego regionu przemysłowego. Z dotychczasowych doświadczeń wynika, że największe problemy psychospołeczne i zdrowotne mają te osoby, które przeżyły nagłą zmianę środowiska: 1 — osoby, które wyemigrowały z terenów rolniczych do regionów wysoko uprzemysłowionych oraz 2 — mieszkańcy wsi tradycyjnych, na których terenie w szybkim tempie zbudowano wielkie obiekty przemysłowe.

Z punktu widzenia profilaktyki zdrowotnej mieszkańców nowego regionu przemysłowego ważne jest poznanie, jaka jest świadomość ich aktualnej sytuacji ekologicznej oraz jaka jest antycypacja zdarzeń przyszłych, związanych z perspektywami zmiany ich własnego środowiska.

Badanie świadomości sytuacji ekologicznej mieszkańców wsi suwalskich wymagało skonstruowania specjalnie do tego celu dostosowanej metody wywiadu swobodnego oraz technik standaryzowanych, zastosowanych również w innych regionach kraju do badania psychologicznych aspektów relacji człowiek — środowisko przyrody. Jeśli chodzi o techniki standaryzowane zastosowano: 1 — kwestionariusz badający poziom lęków cywilizacyjnych oraz stan wiedzy ekologicznej, 2 — skalę poczucia deprywacji potrzeb oraz 3 — kwestionariusz ekologiczny.

Zastosowana w badaniach metoda wywiadu swobodnego zawierała następujące sfery pytań: I — ogólne intuicje naturalnych ekosystemów; II — szczegółowe ujęcie niektórych relacji ekosystemowych (w ekosystemie: jeziora, rzeki, lasy, łąki); III — poznawcza reprezentacja relacji człowiek — przyroda; IV — echa światowego kryzysu ekologicznego; V — moralne aspekty relacji ekologicznych.

Uzyskane wyniki badań pozwalają wysunąć hipotezę o istnieniu mechanizmu psychicznego, którego stanem na wejściu jest percepcja środowiska, elementem centralnym jest stan poczucia podmiotowości środowiska przyrodniczego, zaś stanem wyjściowym jest samopoczucie zdrowotne mieszkańców. Na podstawie uzyskanych wyników badań można wysunąć następujące wnioski dotyczące funkcjonowania tego mechanizmu:

A. Wnioski dotyczące poczucia podmiotowości wobec środowiska:

1. Mieszkańcy badanego regionu nieuprzedmiotowionego spostrzegają swoje środowisko jako bardzo zdrowe. W udzielonych odpowiedziach na pytania kwestionariusza często pojawiały się określenia zdrowotnych walorów ich miejsca zamieszkania, przykładowo „Wszystko jest tutaj przesiąknięte zdrowym powietrzem”, „Ludzie zdają sobie sprawę, że mieszkają w zdrowych okolicach”, „Nasze tereny należą do najczystszych w Europie”.

2. Spostrzeganie swojego środowiska zamieszkania jako zdrowego, wytwarza stan silnego związku emocjonalno-motywacyjnego z otaczającą człowieka przyrodą. Stan ten jest dla mieszkańców regionu źródłem poczucia podmiotowości wobec środowiska przyrodniczego. Poczucie to wyraża się w identyfikacji elementów przyrody jako własnego środowiska (moja okolica, ziemia, pole, łąka, jezioro, las). Silne poczucie podmiotowości przyrodniczego środowiska u mieszkańców badanego regionu okazało się czynnikiem dominującym w relacji ze środowiskiem. Ekosystemy naturalne mieszkańcy tego regionu traktują głównie w odniesieniu do potrzeb człowieka jako podmiotu panującego nad żywiołem przyrody dzięki swojej pracy.

3. Poczucie podmiotowości wobec środowiska okazało się istotnym czynnikiem kształtującym samopoczucie zdrowotne u mieszkańców badanego regionu. Badane osoby są wręcz przekonane, iż koniecznym warunkiem ich dobrego samopoczucia zdrowotnego jest zamieszkiwanie w „ich własnym regionie”. W czasie przeprowadzania wywiadu można było usłyszeć bardzo przekonujące argumenty świadczące o bardzo silnym, niemal biologicznym związku samopoczucia zdrowotnego badanych osób z aktualnym środowiskiem ich zamieszkania. Przykładem mogą być wypowiedzi: „Gdy jadę gdzie indziej, to głowa mnie boli i czuję się cały chory”, „Najzdrowiej jest dla mnie tutaj”, „U siostry w Lublinie to nie mogę oddychać i szybko muszę wracać do Smolnik”.

B. Wnioski dotyczące świadomości sytuacji ekologicznej:

1. Indagacja na temat ekosystemów pozwala wnioskować, iż badani mieszkańcy Suwalszczyzny mają bogatą i zróżnicowaną percepcję ekosystemów przyrodniczych.

2. Poziom ogólnej wiedzy ekologicznej tych mieszkańców na temat związku zdrowotności z kryzysem industrialno-ekologicznym jest bardzo niski.

3. Jedynym źródłem informacji o sytuacji ekologicznej są dla nich środki masowego przekazu.

4. Mieszkańców badanego regionu cechuje bardzo słaba antycypacja zdarzeń i stanów przyszłych będących konsekwencją przeobrażeń industrialno-ekologicznych. Nie potrafią oni ujmować tych przeobrażeń w kategoriach konsekwencji zdrowotnych. Nie dostrzegają niebezpieczeństwa tempa rozbudowy przemysłu, nie potrafią widzieć zdrowotnych skutków zanieczyszczania środowiska przyrody przez przemysł.

5. Osoby badane w małym stopniu wykazały postawę gotowości obronnej wobec ewentualnych faktów dewastacji ich środowiska przyrodniczego w związku z ewentualnymi planami budowy okręgu przemysłowego.

6. Można mieć całkowitą pewność, że jeśli nie podjęłoby się żadnej działalności profilaktycznej, tempo rozbudowy przemysłu w regionie nieuprzemysłowionym, takim jak Suwalszczyzna, będzie dla mieszkańców tego regionu dużym szokiem psychicznym, którego skutki mogą być poważne zarówno dla zdrowia psychicznego, jak i somatycznego. Siłę tego szoku można przewidywać na podstawie dwóch parametrów: stopnia związku z regionem zamieszkania oraz poziomu przygotowania do mających mieć miejsce przeobrażeń przemysłowo-ekologicznych. W sytuacji mieszkańców Suwalszczyzny byłoby można oczekiwać wielu tragedii ludzkich spowodowanych stanami silnych frustracji z powodu „nagłego skoku” przemysłowo-ekologicznego łamiącego relację: człowiek — środowisko przyrodnicze.

OSOBOWOŚĆ CZŁOWIEKA A ŚRODOWISKO

W historii filozofii można spotkać na ogół dość skrajne stanowiska w odniesieniu do relacji człowiek — środowisko przyrody. Kierunki monistyczne (materialistyczne oraz panteistyczno-materialistyczne) akcentują tezę, iż człowiek jest częścią przyrody i jako taki podlega jej prawom w sposób deterministyczny. Kierunki te były w swoim czasie podłożem ideologicznym dla różnego rodzaju rewolucji: społeczno-politycznych i naukowo-technicznej, gdzie jednostka ludzka była poświęcana dla idei ogólnej, którą był postęp naukowo-cywilizacyjny, społeczny. Przykładem był materializm dialektyczny, który nazwał się „naukowym”

i ściśle przestrzegał zasad dialektyki przyrody w odniesieniu do interpretacji zachowania człowieka. Obecnie podobną tendencję wykazują kierunki określane jako ekologizm, które w sposób mniej lub bardziej świadomy implikują różne warianty tezy o konieczności podporządkowania człowieka układowi ekologicznym, gdzie człowiek jest traktowany jako część zdeterminowana prawami układu. W niektórych przypadkach układ ten ma atrybuty bóstwa.

W drugim skrajnym przypadku człowiek — panując nad przyrodą w sensie intelektualnym, politycznym lub ekonomicznym — ma prawo do dysponowania zasobami środowiskowymi zgodnie ze swoimi aktualnymi potrzebami i upodobaniami. W tej sytuacji świat przyrody jest tylko całkowicie podporządkowany człowiekowi funkcjonującemu w określonych układach społecznych i polityczno-gospodarczych.

Wbrew pozorom oba te wydawałoby się przeciwstawne, skrajne stanowiska prowadzą do tej samej konsekwencji: pozbawiają człowieka możliwości kształtowania relacji ze środowiskiem, jeżeli przez ludzkie kształtowanie rozumie się działanie świadome i odpowiedzialne moralnie. Tego typu możliwość daje koncepcja podmiotowego funkcjonowania człowieka w środowisku, zakładająca, że człowiek zaspokajając swoje ludzkie potrzeby w środowisku przyrody stara się jednocześnie być moralnie odpowiedzialny za skutki swojego działania w tym środowisku. Oznacza to, iż uwzględnia on konsekwencje swojej działalności dla trwania zasobów przyrody w aspekcie innych ludzi.

Psychologiczną konsekwencją tezy o podmiotowości funkcjonowania człowieka w środowisku przyrody jest pogląd na osobowość człowieka jako na strukturę relacyjną: *Ja — Świat*. Nawiązując do koncepcji osobowości belgijskiego psychologa Nuttina (1968) można powiedzieć, że środowisko, w którym mieszka i pracuje człowiek, staje się w sensie psychologicznym „częścią” jego osobowości. Co to oznacza ?

Oznacza to przede wszystkim, że środowisko, stanowiąc pole zaspokajania potrzeb człowieka, wytworzyło określone wzorce preferencji w zakresie zaspokajania tych potrzeb oraz ustrukturyzowało poznawczo-emocjonalne sfery funkcjonowania ludzi w środowisku. Żeby lepiej zrozumieć tę kwestię, postarajmy się wyliczyć niektóre potrzeby zaspokajane przez człowieka w kontakcie z przyrodą.

Rozpocznijmy od potrzeb biologicznych, które psychologia uważa za pierwotne w stosunku do potrzeb społecznych. Takie potrzeby, jak potrzebę tlenu i potrzebę wody człowiek zaspokaja w bezpośrednim kontakcie ze środowiskiem. Potrzebę pożywienia natomiast zaspokaja w sposób pośredni korzystając z przemysłu rolno-przetwórczego i handlu.

Oprócz tych funkcji biologicznych kontakt ze środowiskiem zaspokaja również potrzebę regeneracji organizmu. Lecznictwo sanatoryjne wykorzystuje skuteczność mikroklimatu w regeneracji psychosomatycznej.

Jeśli chodzi o potrzeby psychiczne, to można wskazać trzy kierunki ich zaspokojenia (Biela 1988):

- 1 — bezpośrednie zaspokojenie potrzeb psychicznych;
- 2 — katalizujący wpływ środowiska naturalnego na zaspokojenie niektórych potrzeb psychicznych;
- 3 — powstawanie nowych potrzeb psychicznych w kontakcie człowieka ze środowiskiem naturalnym.

Rola treści środowiskowych w strukturze osobowości człowieka najbardziej wyraźnie uwidacznia się w sytuacjach deprywacyjnych, kiedy człowiek nie jest w stanie zaspokajać swoich potrzeb oraz funkcjonować na dotychczasowym poziomie na wskutek istotnych zmian w środowisku, czyli na wskutek załamania się dotychczasowej relacji człowieka z konkretnym środowiskiem. W dalszej części opracowania omówimy reakcje ludzi na informację o nagłej zmianie w ich środowisku oraz spostrzeganie procesu degradacji środowiska lokalnego.

Wysunięto następujące hipotezy dotyczące zaspokojenia potrzeb w sytuacji degradacji środowiska (Pietrulewicz, Zaleski 1984): 1 — wraz z nasileniem zagrożenia środowiska wzrasta poczucie deprywacji potrzeb biologicznych i psychicznych, 2 — w sytuacji zagrożenia bardziej będą cenione wartości bezpośrednio zagrożone niż wartości nie narażone bezpośrednio na deprecjację z powodu zanieczyszczenia środowiska przez przemysł. Hipotezy te próbowano zweryfikować na podstawie badań terenowych przeprowadzonych w trzech regionach różniących się istotnie stopniem degradacji środowiska: Bogomice koło Głogowa (rejon najbardziej zagrożony), Wronów koło Puław (rejon o znacznym stopniu zagrożenia), Krężnica Jara (rejon nie zanieczyszczony działalnością przemysłu).

W badaniach posługiwano się skalą deprywacji potrzeb. Zadaniem badanych było dokonanie oceny na pięciostopniowej skali możliwości zaspokojenia potrzeb w kontakcie z przyrodą:

- wypoczynku,
- kontaktu z Bogiem,
- głębszych kontaktów z innymi ludźmi,
- bezpieczeństwa,
- świeżego powietrza,
- czystej wody,
- przeżywania piękna i ładu w przyrodzie,
- ruchu,
- zdrowia fizycznego,
- odkrywania sensu własnego życia,
- zdrowego pokarmu.

Średnie wyniki ocen wskazują, iż największą możliwość zaspokojenia swoich potrzeb w kontakcie z przyrodą widzą mieszkańcy regionu nie zagrożonego działalnością przemysłową — Krężnicy Jarej ($M = 4,33$), mniejszą mieszkańcy rejonu znacząco zagrożonego — Wronowa ($M = 3,39$), a najmniejszą mieszkańcy regionu najbardziej zagrożonego — Bogomic ($M = 1,70$). Porównując jednak oceny wewnątrz grup okazuje się, że w Bogomicach, jak również i we Wronowie, najniższe wskaźniki dotyczą podstawowych potrzeb biologicznych, a mianowicie:

- świeże powietrze: $M = 1,39$ w Bogomicach; $M = 2,87$ we Wronowie;
- czysta woda: $M = 1,33$ w Bogomicach; $M = 3,03$ we Wronowie;
- zdrowie fizyczne: $M = 1,54$ w Bogomicach; $M = 3,41$ we Wronowie.

Najwyższą wartość w grupie potrzeb biologicznych uzyskała w Bogomicach potrzeba ruchu ($M = 2,28$), lecz dwukrotnie mniejszą w porównaniu z pozostałymi grupami ($M = 4,13$ we Wronowie; $M = 4,77$ w Krężnicy Jarej).

Potrzeby psychiczne uzyskały na ogół wyższe oceny, chociaż znacznie niższe niż w Bogomicach i we Wronowie. Przykładowo:

- potrzeby wypoczynku: $M = 2,15$ w Bogomicach; $M = 3,01$ we Wronowie;
- potrzeba bezpieczeństwa: $M = 1,58$ w Bogomicach; $M = 3,27$ we Wronowie;
- potrzeba sensu życia: $M = 1,96$ w Bogomicach; $M = 3,41$ we Wronowie.

Świadomość możliwości zaspokojenia potrzeb religijnych zdaje się nie być uzależniona od stopnia degradacji środowiska ($M = 4,04$ we Wronowie; $M = 4,06$ w Krężnicy Jarej). Wniosek taki należy jednak wyciągać ostrożnie z uwagi na brak danych na ten temat z Bogomic.

Jak sytuacja ekologiczna wpływa na plany życiowe mieszkańców związane z przesiedleniem ?

W Bogomicach tylko jedna osoba widzi sens pozostawania w swojej wsi, cztery osoby nie mają jeszcze wyrobionego zdania w tej sprawie, a pozostałe (52 osoby) są zdecydowane na migrację ekologiczną.

We Wronowie tylko pięć osób myśli o zmianie miejsca zamieszkania, z których trzy podają jako powód migracji „zatrucie środowiska”, a dwie motywują tę decyzję pozaekologicznymi racjami. Pozostali mieszkańcy nie widzą, jak na razie, potrzeby zmiany miejsca zamieszkania.

W grupie porównawczej (Krężnica Jara) tylko jedna osoba ma zamiar zmienić miejsce zamieszkania.

Migrację ekologiczną można traktować jako globalną reakcję wypadkową człowieka na stan depriwacji potrzeb w danym środowisku. Problem ten był przedmiotem badań psychologicznych przez Zaleskiego (1991), który przeprowadził analizę przymusowej migracji ekologicznej mieszkańców niektórych wsi Tarnobrzeskiego Okręgu Siarkowego. Autor ten analizował związek pomiędzy stosunkiem do migracji mieszkańców, negatywnymi odczuciami związanymi z działalnością kopalni odkrywkowej siarki, zaangażowaniem w sprawy wsi oraz negatywną oceną przyszłości. Okazuje się, że najbardziej wyraźnie oceniają swoją przyszłość i jednocześnie ujawniają najbardziej negatywne emocje rolnicy wsi bardzo oddalonej od kopalni, mający słabe kontakty z pracownikami kopalni. Wieś ta oddzielona jest od centrum siarkowego Wisłą, a sprawa jej wysiedlenia jest na tyle niejasna, że nie wiadomo, czy do jej wysiedlenia w ogóle dojdzie, gdyż wiązałoby się to z koniecznością przesunięcia koryta Wisły. Ich postawę i odczucia można wyjaśnić istnieniem bariery naturalnej, jaką jest koryto rzeki. Bariera ta z jednej strony podnosi poczucie bezpieczeństwa, lecz z drugiej strony opóźnia myślenie i działanie prewencyjne, sprzyja raczej postawie biernego oczekiwania na pomoc z zewnątrz, na przykład działanie ze strony władz, które „chyba nie dopuszczą do zmiany koryta Wisły”. Z podobnym nastawieniem spotkaliśmy

się w przypadku mieszkańców wsi Wronów, oddzielonej od puławskich „Azotów” barierą leśną.

REAKCJE NA INFORMACJĘ O NAGŁEJ ZMIANIE W ŚRODOWISKU

Przykładem reakcji na informację o nagłej zmianie w środowisku są wyniki badań nad zachowaniem się ludzi po awarii w Czarnobylu. Badanymi osobami byli studenci reprezentujący różne regiony Polski o zróżnicowanym stopniu napromieniowania radioaktywnego jako konsekwencji awarii. Znamienny jest fakt, że zaledwie 25% badanych osób uzyskało pierwszą wiadomość dotyczącą nagłej zmiany — o charakterze globalnym — ich środowiska, jakim było zagrożenie skażeniem promieniotwórczym z oficjalnych źródeł przekazu. Pozostałe osoby dowiedziały się o tym fakcie od swoich znajomych, kolegów, krewnych (50% badanych) lub z innych nieoficjalnych dróg przekazu (22% badanych). Oznacza to, że informacja o globalnej zmianie środowiska jest tak istotna, iż jej przekaz uruchamia natychmiast lawinowe reakcje w postaci spontanicznego przekazu informacji kręgu znajomych i w ten sposób w krótkim czasie obejmuje prawie całe społeczeństwo.

W ocenie badanych osób informacja o awarii w Czarnobylu przekazana przez oficjalne środki masowego przekazu była subiektywnie ważna i potrzebna, lecz nie spełniała podstawowych wymogów dobrej informacji, gdyż była nierzetelna, spóźniona i niekompletna. Stąd, typową reakcją na sytuację globalnego zagrożenia środowiska był strach, zaniepokojenie i zdenerwowanie (34% badanych). Zaledwie 10% badanych osób było zdolnych w tej sytuacji do podjęcia działań w kierunku zapobiegania negatywnym skutkom zmiany w środowisku.

Jeśli chodzi o spostrzegane zmiany w środowisku tuż po awarii, w relacjach ludzi dominowały zmiany dotyczące zjawisk w przyrodzie ożywionej, zwłaszcza w vegetacji roślin. W trzy miesiące później dostrzegane zmiany dotyczyły przede wszystkim zdrowia ludzi i zwierząt. Trudno określić, w jakim stopniu dolegliwości zgłaszane przez badane osoby były faktycznie spowodowane promieniowaniem jonizującym. Nie ulega jednak wątpliwości, że jeżeli te osoby były przekonane o wpływie promieniowania, to przekonanie to stanowiło realność psychologiczną o charakterze stresogennym. Różnego rodzaju przejawy behawioralne w środowisku społecznym, jako reakcja na awarię w Czarnobylu, były zauważone przez 94% badanych osób (strach, panika, wykupywanie żywności, przebywanie w domu, rezygnowanie ze spożywania wielu artykułów żywnościowych, wyjazd w inne regiony kraju).

Innym aspektem badań była percepcja ryzyka związanego z awarią w Czarnobylu w kontekście spostrzegania ryzyka czternastu innych zjawisk, zachowań o charakterze potencjalnie zagrażającym zdrowiu (np. silne zanieczyszczenie środowiska odpadami przemysłowymi, chemizacja rolnictwa, szkodliwe środowotnie stanowisko pracy, motoryzacja, przepracowanie, lekomania, brak higie-

ny). Najwyższą ocenę ryzyka uzyskała awaria elektrowni atomowej ($M = 5,03$ na skali siedmiostopniowej), w dalszej kolejności jako ryzykowne zostało dostrzeżone zanieczyszczanie środowiska ($M = 4,04$), budowa nowego regionu przemysłowego ($M = 4,09$), chemizacja rolnictwa ($M = 4,03$) oraz motoryzacja ($M = 4,02$).

SPOSTRZEGANIE PROCESU DEGRADACJI ŚRODOWISKA

W sytuacji zagrożenia środowiska można mówić o dwóch czynnikach etiologicznych schorzeń: 1 — bezpośredni wpływ intoksykacji ze środowiska na organizm; oraz 2 — stresogenne działanie kryzysu ekologicznego, na które człowiek reaguje lękiem. Na zdrowie somatyczne i psychiczne człowieka mają wpływ oczywiście oba czynniki, jednak pierwszy z nich jest przedmiotem badań biomedycznych, zaś drugi stanowi przedmiot zainteresowania psychologów i psychiatrów.

Degradacja środowiska jest obecnie, obok znieczulicy społecznej, najbardziej lękorodnym zagrożeniem cywilizacyjnym (Szymańska 1982). Stopień świadomości zagrożenia ekologicznego zależy od poziomu wykształcenia. Osoby z wykształceniem średnim lepiej zdają sobie sprawę z grożącego niebezpieczeństwa niż osoby z wykształceniem zasadniczym zawodowym.

Korelacja między poziomem lęków cywilizacyjnych a wiedzą na temat zanieczyszczenia środowiska jest stosunkowo wysoka ($r = 0,63$). Na tej podstawie można wysunąć wniosek, że istnieje zależność między poziomem lęków cywilizacyjnych a wiedzą ekologiczną o zagrożeniu środowiska. Oznacza to, że ujawnione lęki cywilizacyjne mają charakter uświadomiony.

Z badań psychologicznych nad funkcjonowaniem ludzi w regionach silnego zagrożenia ekologicznego wynika, że postrzeganie procesu degradacji środowiska prowadzi w konsekwencji do zmiany w spostrzeganiu siebie (self-perception) w kierunku negatywnym (Juros i Oleś 1984). Zjawisko to określane jest jako krzywe zwierciadło przyrody (Biela 1989). Polega ono na systematycznym zatracaniu pozytywnego obrazu siebie pod wpływem spostrzeganej degradacji środowiska swojego zamieszkania. Nasilanie się tego zjawiska prowadzi do różnego rodzaju dysfunkcji psychologicznych ludzi w ich środowisku lokalnym, zaś przy dłuższym trwaniu i braku psychologicznego przeciwdziałania powoduje nerwice, schorzenia psychosomatyczne (choroba wrzodowa żołądka i dwunastnicy, choroby układu krążenia, cukrzyca oraz inne choroby określane jako cywilizacyjne), a w niektórych przypadkach — u osób mniej odpornych — schorzenia psychiczne typu psychotycznego.

Spostrzeganie ewidentnych symptomów denaturacji środowiska przyrodniczego prowadzi do osłabienia się emocjonalno-motywacyjnych związków człowieka z regionem zamieszkania. Na skutek pogłębiającego się procesu wyobcowywania się mieszkańców regionów uprzemysłowionych ze środowiska przyrodniczego osłabia się ich poczucie podmiotowości wobec tego środowiska. Stopień

wyalienowania i brak poczucia podmiotowości wobec środowiska zależy od stopnia zanieczyszczenia tego środowiska.

Poczucie braku podmiotowości wobec środowiska sprzyja tendencji do ztracania poczucia sensu życia. Uzyskane wyniki badań wskazują, że osoby zamieszkujące tereny zanieczyszczone przez przemysł mają znacznie niższe poczucie sensu życia (mierzonego testem PLT) niż mieszkańcy regionów nie uprzemysłowionych.

Konsekwencją poczucia braku podmiotowości wobec środowiska przyrody są między innymi zmiany niektórych cech osobowości u mieszkańców rejonów zanieczyszczonych działalnością przemysłową. Pracownicy zakładu przemysłowego charakteryzują się podobnymi cechami psychicznymi jak leśnicy z terenów zanieczyszczonych przez przemysł. Stan ten wskazuje, że mimo odmiennych środowisk pracy obu grup pracowniczych, skutki ujemnego oddziaływania środowiskowych bodźców wywołujących tendencje neurotyczne, obniżenie poczucia sensu życia oraz poczucie deprywacji potrzeb są dla obu badanych grup osób takie same. Statystycznie różne skutki w badanych sferach osobowości uzyskali natomiast badani leśnicy z regionu nie zanieczyszczonego przez przemysł.

Z badań epidemiologicznych nad stanem zdrowia ludności zamieszkującej regiony uprzemysłowione oraz ekologicznie zdegradowane w Polsce wynika, że choroby układu nerwowego należą tam do najczęściej występujących (Sprawozdanie, 1984). Stanowi to globalną reakcję organizmu i psychiki człowieka na degradacyjne zmiany w jego środowisku pracy i zamieszkania.

Odrębnym problemem w rejonach zagrożonych są dzieci. Odsetek dzieci chorych jest ponad 4-krotnie wyższy w tych regionach w porównaniu z regionami czystymi: 30,6% w rejonach zanieczyszczonych; 7,7% w rejonach czystych. W obu tych rejonach częściej chorują chłopcy niż dziewczynki.

Jeśli chodzi o procent dzieci zaliczanych do tak zwanych grup dyspanseryjnych, zakwalifikowano aż 41,5%, zaś w rejonach czystych tylko 7,7%.

Z terenów zanieczyszczonych przez przemysł ponad trzykrotnie więcej dzieci jest umysłowo opóźnionych w stosunku do opóźnień umysłowych dzieci—według badań psychologów w rejonach nie zanieczyszczonych wskutek działalności przemysłowej. Wiąże się to często z występowaniem u dzieci niepowodzeń w szkole. Największy wskaźnik badanych dzieci z niepowodzeniami szkolnymi uzyskano w rejonach silnie uprzemysłowionych.

HUMAN REACTIONS IN GLOBAL ENVIRONMENTAL CHANGES

Summary

The psychological literature rarely deals with human reactions in ecological crisis situations caused by pollution due to modern technology. The natural environment is seen by persons as a field of possible actions that could fulfil their needs or the needs of other people who live in the same area. So, the environment is interpreted as a field of human external potentiality which determines at the same time its limitations.

The person — environment relationship is so obvious, biologically as well as psychologically, that people seem to underestimate the existential importance of their environment.

However, what does happen to the person when he or she perceives changes in the environment caused by industrial pollution? Environmental pollution is seen here as decreasing the external human potential in the given ecological situation. Awareness of this appears to be a strong stressor, especially in inhabitants of an ecological crisis area.

People realize that deterioration of the environment is somehow related to limitations of their life perspectives, and to the psychological emptiness caused by a gradual loss of known ways of relating to the environment. The psychological stress in ecological crisis situation leads to an increasing lack of control over one's actions and an increasing difficulty in attaching meaning to the environmental events. That, in turn, leads to a state of alienation. Persons lose the sense of being closely linked to their natural surroundings which they start to find more and more alien and threatening.

The perceived changes in one's environment caused by industrial pollution are interpreted by inhabitants of the ecological crisis area as environmental feedback which mirrors their own situation in this environmental context (i.e. one's actions and their effects on the environment). So, the negative environmental changes are seen as reflecting one's own unfavorable features. In that way an unfavorable environmental mirror-effect comes into existence in the inhabitants of polluted areas. Such an unfavorable "mirror-perception" of the ecological crisis situation will determine substantial, negative changes in the inhabitants' self-esteem and self-concept.

In order to test these ideas two studies were conducted: Study 1 investigated personality changes in inhabitants of three villages varying in degree of environmental pollution, and Study 2 tested personality differences in occupational groups with different relationships to the environment. In the latter study, participants were foresters, working in high-polluted and notpolluted areas, and factory workers.

Our findings allow us to develop a general picture concerning the relation between ecological crisis and personality functioning. Both studies show a negative impact on personality caused by environmental pollution. The results pointed out that living in a polluted area, or working in a polluted environment was related to a strong feeling of alienation. The findings also indicate that environmental crisis is associated with a negative impact on personality in terms of the self-concept. We can interpret this finding in terms of the mirror-effect: people living in a highly polluted area perceive the degradation of their environment as mirroring their own personality change. The negative mirror-effect appears to be proportional to the level of environmental pollution. It is larger in the highest polluted area than in the medium-polluted village.

For example, the inhabitants of the high-polluted area showed more negative shifts in their self-rating. They described themselves as more lonely, less hard-working, more irritable, and more anxious, compared to the inhabitants of medium-polluted area. Let us take as an example the adjective "hard-working". The inhabitants of the clean area or the medium-polluted area did not differ on this item. However, the inhabitants of the high polluted village estimated that they were much less hard-working nowadays than they were before. This negative shift in this element of self-esteem is surprising because the inhabitants of this particular village in fact have to work much harder than before due to the ecological crisis situation. The industrial pollution is seen as a reason for decreasing the efficiency of their work. However, when perceiving the negative environmental changes, they blame themselves and as a consequence, see themselves more negatively.

LITERATURA

- Biela A., 1981. *Badania terenowe świadomości i sytuacji ekologicznej mieszkańców regionu nieuprzemysłowionego*. Summarius, 30, 203–208.
- Biela A., 1986. *Człowiek jako podmiot życia w środowisku przyrodniczym*. [W:] Z. Babska, A. Biela, T. Witkowski (red.), Wykłady z psychologii w Katolickim Uniwersytecie Lubelskim w roku akademickim 1984/85. Lublin, Redakcja Wydawnictw KUL.
- Biela A., 1988. *Ochrona środowiska naturalnego jako problem psychologiczny*. [W:] A. Biela, Z. Uchnast, T. Witkowski (red.), Wykłady z psychologii w Katolickim Uniwersytecie Lubelskim w roku akademickim 1985/86. Lublin, Redakcja Wydawnictw KUL.
- Biela A., 1989. *Ecological crisis situation and personality*. [W:] G. van Heck, S. Hampson, J. Reykowski, J. Zakrzewski (red.), *Personality Psychology in Europe*, vol.3, Amsterdam, Swets & Zeitlinger.
- Juros A., Oleś, P., 1984. *Niektóre aspekty reakcji osobowościowych w sytuacji silnego zagrożenia ekologicznego*. [W:] A. Biela (red.), *Stres psychiczny w sytuacji kryzysu ekologicznego*. Lublin, Tow. Nauk. KUL
- Nuttin J., 1968. *Struktura osobowości*, Warszawa, PWN.
- Pietrulewicz B., Zaleski Z., 1984. *Deprywacja potrzeb, ocena wartości i decyzje w sytuacji zagrożenia ekologicznego*. [W:] A. Biela (red.), *Stres psychiczny w sytuacji kryzysu ekologicznego*. Lublin, Towarzystwo Naukowe KUL.
- Sprawozdanie z realizacji tematu 1.1 w roku 1984: *Ocena stanu zdrowia społeczności zamieszkujących wsie rejonów uprzemysłowionych*. Kierownik tematu: M. Mackiewicz, Lublin, 1984, Instytut Medycyny Wsi w Lublinie.
- Szymańska I., 1982. *Poziom i struktura lęków cywilizacyjnych w środowisku miejskim i wiejskim*. Lublin, Archiwum KUL.

SPIS TREŚCI

<i>Leszek Starkel</i> — Przedmowa	7
<i>Stefan Kozłowski</i> — Konferencja „Środowisko i rozwój” w Brazylii w roku 1992	15
<i>Leszek Starkel</i> — Globalne zmiany środowiska w przeszłości	33
<i>Jerzy Topolski</i> — Zasoby przyrody a historia społeczeństw	47
<i>Tadeusz Florkowski</i> — Struktura gazowa atmosfery a produkcja energii	55
<i>Barbara Obrębska-Starkłowa</i> — Efekt cieplarniany a zmiany klimatu	65
<i>Aniela Dziewulska-Łosiowa, Regina Hryniewicz</i> — Ozon w stratosferze i troposferze	79
<i>Zdzisław Kaczmarek</i> — Zasoby wodne świata w obliczu zagrożenia	95
<i>Anna Hillbricht-Ilkowska</i> — Ekosystemy jeziorne a globalne zmiany klimatu	107
<i>Lech Ryszkowski, Andrzej Kędziora</i> — Rolnictwo a efekt szklarniowy	123
<i>Ryszard Domański</i> — Modelowanie systemów ekologiczno-ekonomicznych	151
<i>Karol Rotnicki</i> — Zmiany globalne klimatu a wzrost poziomu oceanów i jego skutki	163
<i>Maciej Sadowski</i> — Międzynarodowe i polityczne aspekty zmian klimatu	181
<i>Adam Biela</i> — Reakcje psychiczne w sytuacji globalnych zmian w środowisku	187

CONTENTS

<i>Leszek Starkel</i> — Foreword	11
<i>Stefan Kozłowski</i> — The Conference on “Environment and Development” in Brazil, 1992	15
<i>Leszek Starkel</i> — Global environmental changes in the past	33
<i>Jerzy Topolski</i> — Natural resources and the history of human being	47
<i>Tadeusz Florkowski</i> — Trace gases in the atmosphere and the production of energy	55
<i>Barbara Obrębska-Starkłowa</i> — Greenhouse effect and climatic changes	65
<i>Aniela Dziewulska-Łosiowa, Regina Hryniewicz</i> — Ozone in the stratosphere and troposphere	79
<i>Zdzisław Kaczmarek</i> — World water resources under the threat	95
<i>Anna Hillbricht-Ilkowska</i> — Lake ecosystems and the global climate changes	107
<i>Lech Ryszkowski, Andrzej Kędziora</i> — Agriculture and greenhouse effect	123
<i>Ryszard Domański</i> — Modelling of economic-ecological systems	151
<i>Karol Rotnicki</i> — Global climatic changes and sea-level rise and its effects	163
<i>Maciej Sadowski</i> — Political and international aspects of climate change issue	181
<i>Adam Biela</i> — Human reactions in global environmental changes	187

