

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 (przegląd 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, nawałne 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-Starkel, Starkel 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 (Williamson 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 ( $52^{\circ}$ – $56^{\circ}$  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)<sup>1</sup> 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 ściśle 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 tejże 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-

<sup>1</sup> Jeziora 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 peleoekologiczna, długookresowe serie badań), wreszcie jezior o trwale zmienionym reżimie termiczno-miktycznym w wyniku oddziaływania człowieka. Do takich należą na przykład jeziora podgrzane w wyniku zrztu 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.

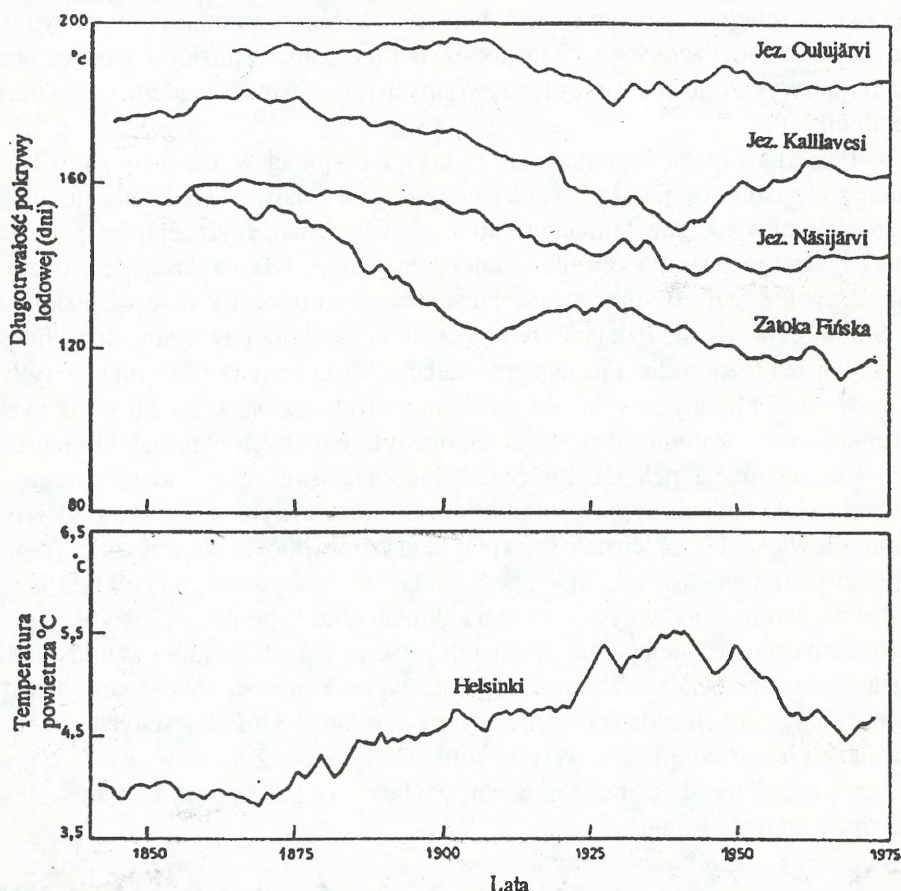
Opierając się na powyższej wiedzy z jednej strony, a z drugiej na najbardziej ogólnym scenariuszu zmian klimatu opisanym wyżej, można wskazać na niektóre, dość prawdopodobne zmiany, jakie zajądą w jeziorach obszarów pojeziernych

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, połączony 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).

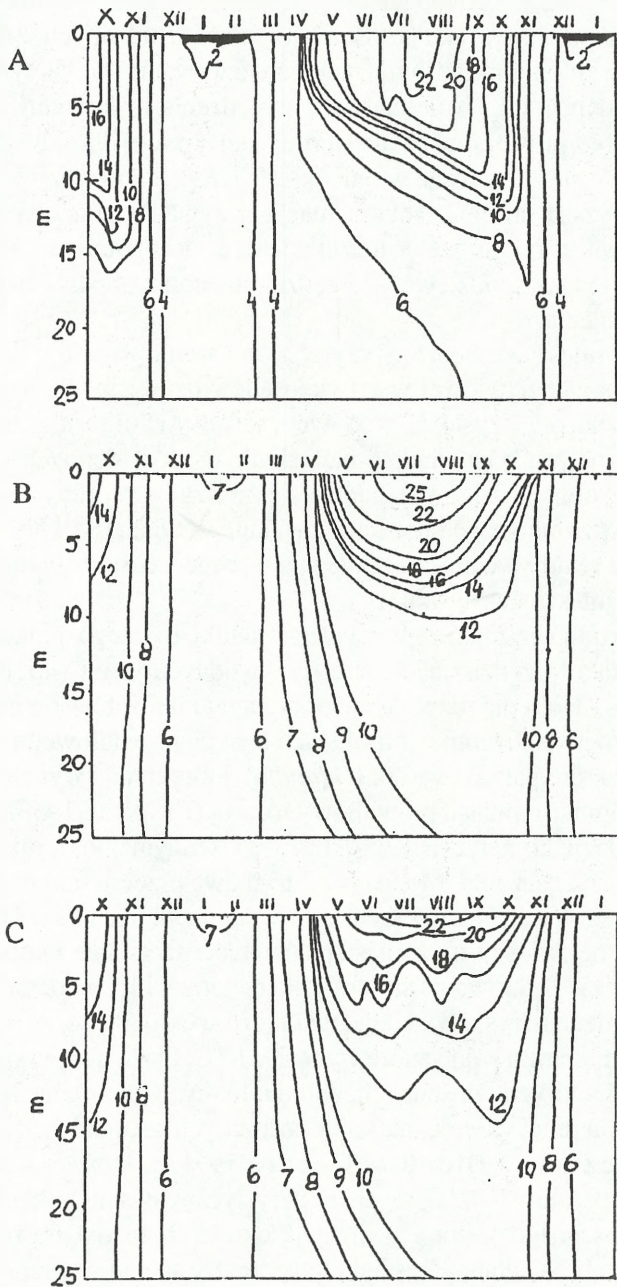


i intensywność mieszania się wód jeziornych. Głębsze jeziora z dimiktycznych, to jest mieszanych dwa razy w roku (wiosną i jesienią), a zlodzonych w okresie zimy (rys. 2A), staną się monomiktycznymi, czyli nieprzerwanie mieszanymi od jesieni do wiosny z tendencją do równomiernego schłodzenia mas wodnych 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  $< 10^{\circ}\text{C}$ , 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 rysunku 2B, może doprowa-

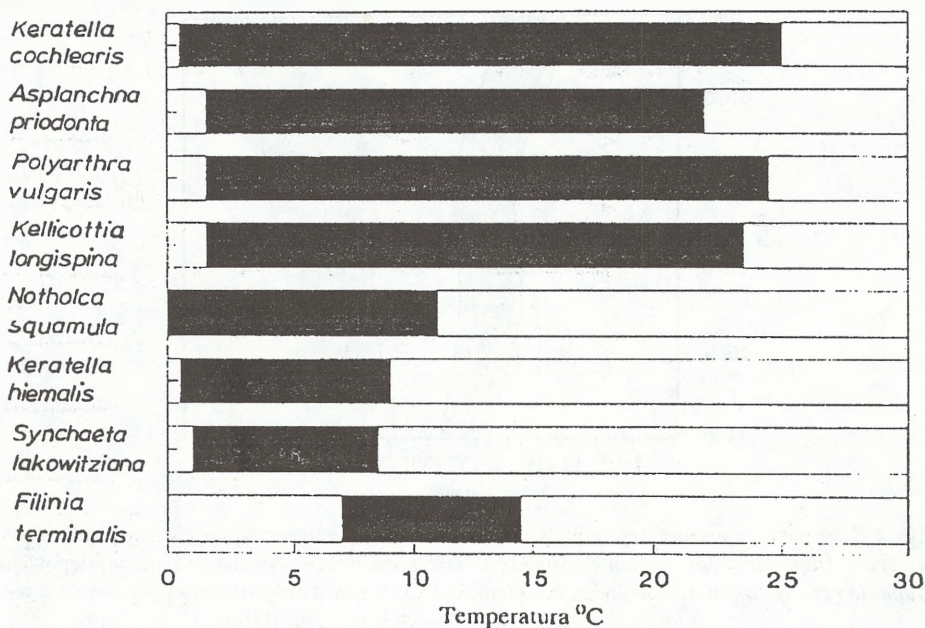


Rys. 2. Sezonowe zmiany pionowego rozkładu temperatur dla: A — typowego jeziora dimiktycznego z pokrywą lodową, w okresie zimy i pełnym mieszaniami wiosną i jesienią; B — tego samego jeziora w warunkach ocieplenia klimatu (brak zlodzenia), to jest wcześniej i trwalej, bezwietrznej pogody w okresie lata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



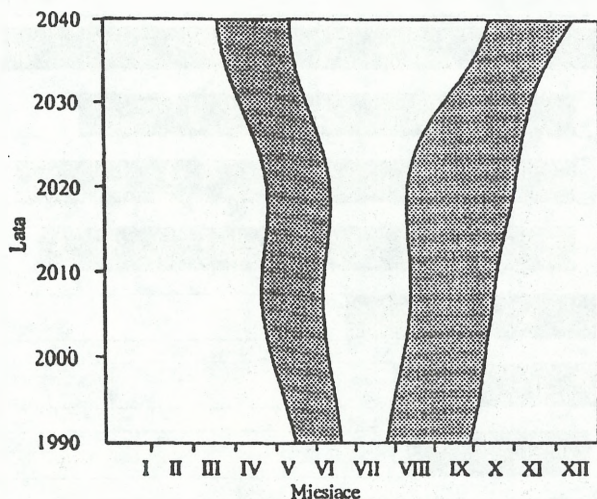
Rys. 3. Termiczna tolerancja kilku pospolitych gatunków wrotków planktonowych występujących w jeziorach (Bezin i Pejler, za George 1991)

wiosny, opisane zostało przez Gliwicz (1979), który wykazał związek między okresem formowania się i wielkością gradientu termicznego w metalimnionie jezior a nasilaniem 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 długotrwałości pojawu 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 długotrwałości) 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 odmienność 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 spekulację, 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*).

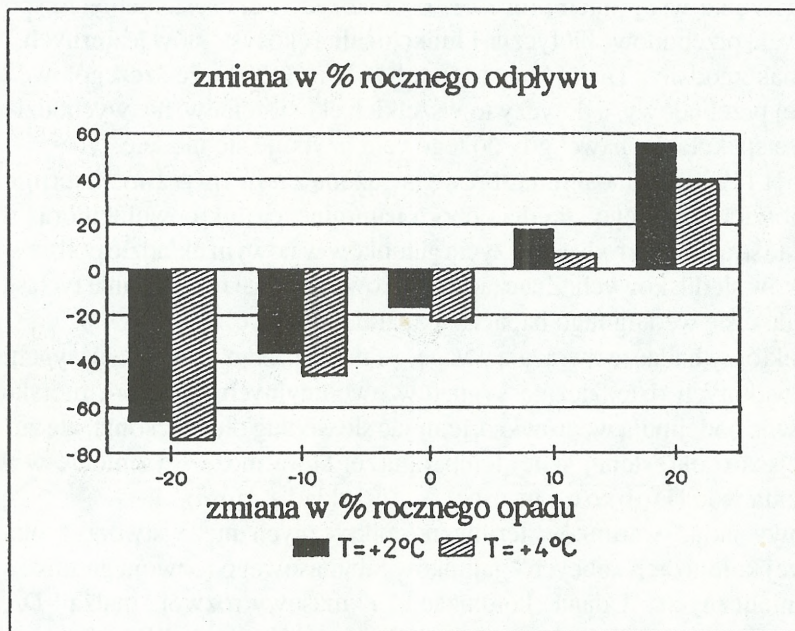
Nowy układ warunków termiczno-miktycznych może stworzyć okazje do masowej kolonizacji „obcych” gatunków lub masowego rozwoju gatunków do tej pory nielicznych. Udana kolonizacja i masowy rozwój małża *Dreissena polymorpha* — gatunku znanego z basenu Morza Czarnego i Kaspjskiego, który pojawił się w naszych 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 intensywnego 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  $\text{km}^2$ ) 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  $2^\circ\text{C}$ ) i niewielka (bo tylko o  $\pm 20\%$ ) zmiana rocznej sumy opadów, może spowodować odpowiednio blisko 60% wzrost odpływu, bądź blisko 70% spadek odpływu.



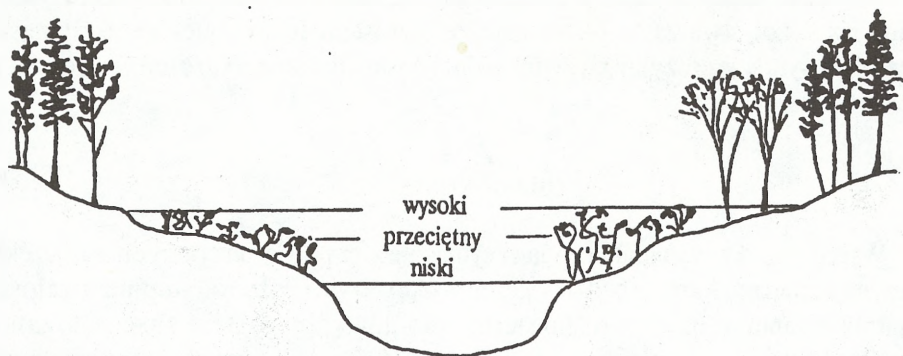
Rys. 5. Zmiana rocznego odpływu w warunkach wzrostu temperatury powietrza o  $+2^\circ\text{C}$  i  $+4^\circ\text{C}$  przy różnej intensywności opadów. Wyniki symulacji na modelu zlewni Värpingen (Szwecja, pow.  $3,3 \text{ km}^2$ ) (Berndtsson i in. 1989).

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 Hutchin (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 jeziora — 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  $\text{CO}_2$ , 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 zwiększonej 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-liking 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 CO<sub>2</sub>*. [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. „Biomaniipulacja”. 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:] Hutzinger 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., Ephraïm 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 CO<sub>2</sub> — 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 ichthyofauna*. 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.