

Kajak, Zdzisław

Sprawozdanie z działalności Towarzystwa : Sprawozdanie z Działalności Wydziałów : Wydział IV nauk biologicznych : Streszczenia : Kierunki badań limnologicznych

Rocznik Towarzystwa Naukowego Warszawskiego 54, 172-183

1991

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych oraz w kolekcji mazowieckich czasopism regionalnych mazowsze.hist.pl.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

KIERUNKI BADAŃ LIMNOLOGICZNYCH

Limnologia – nauka o słodkich wodach śródlądowych, liczy sobie (jak i ekologia, której jest częścią) niewiele ponad 100 lat. Za jej początek uważa się wydanie monografii Forela o jeziorze Genewskim – charakterystyki ekosystemu jeziornego (w latach 1892-1904). Równoległe, aczkolwiek w nieporównywalnych warunkach, Polak, zesłaniec Syberyjski, Benedykt Dybowski odkrył dla świata endemiczną faunę Bajkału.

Z historii hydrobiologii polskiej należy jeszcze wspomnieć intensywną i płodną działalność Stacji Hydrobiologicznej na Wigrach (1922-1939) poświęconą różnym aspektom funkcjonowania ekosystemów jeziornych; była to jedna z placówek przodujących w skali światowej. Bujny rozwój hydrobiologii w Polsce i na świecie nastąpił po ostatniej wojnie światowej.

Hydrobiologia ma oczywiście charakter nauki podstawowej, zajmując się jednak elementem tak niezbędnym jak woda nie może uniknąć aspektów praktycznych, jak sprawy czystości wody i różnych form oddziaływania człowieka na ekosystemy wodne (zanieczyszczenie, regulacja rzek, rybactwo, wędkarstwo, rekreacja itd.).

Najogólniej rzecz biorąc hydrobiologia zajmuje się funkcjonowaniem ekosystemów wodnych.

Zatrzymam się na głównych kierunkach badań w ostatnich 30 latach.

Produktywność biologiczna wód (lata 60-te i początek 70-tych), badania w ramach Międzynarodowego Programu Biologicznego, poświęconego produktywności biosfery, przyniosła istotne rozeznanie prawidłowości i mechanizmów rządzących produkcją substancji organicznej i jej przekształcaniem w wodach, a także efektywnością produkcji w różnych sytuacjach – szerokościach geograficznych, okresach roku, ekosystemach różnego rodzaju i pod różną presją człowieka (Le Cren, Lowe McConnel 1980).

Pojęcie produktywności i związane z nim – przepływu energii (zaczynając od asymilowanej energii słonecznej) pozwoliło na całkowitą charakterystykę funkcjonowania ekosystemów, objęcie „wspólnym mianownikiem” organizmów od bakterii do ryb, oraz różnych form substancji organicznej. Produkcję wyraża się w jednostkach biomasy, substancji organicznej, węgla organicznego (niekiedy azotu jako wskaźnika ilości białek), kaloriach, joulach.

Produkcja pierwotna wód zawiera się w zakresie 20 – 46.000 kilojouli. $m^{-2} \cdot r^{-1}$, produkcja wtórna zooplanktonu 0,2-310, zoobentosu – 10-1000, ryb 4-300 $KJ \cdot m^{-2} \cdot r^{-1}$. Efektywność produkcji czyli stosunek produkcji danego do poprzedniego poziomu troficznego waha się od kilku do około 20%. Szerokość geograficzna (głównie różnice radiacji słonecznej, temperatury) wyjaśnia około 50% zróżnicowania produkcji pierwotnej; jeśli uwzględnić także stężenie chlorofilu, przezroczystość wody i głębokość warstwy mieszanej – uzyskujemy prawie 90%. Produkcja

wtórna w 50% zależy od produkcji pierwotnej, średniej głębokości oraz średniej temperatury. Efektywność produkcji wtórnej w większym stopniu niż pierwotnej zależy więc od innych czynników, w tym powiązań biotycznych.

Dla jednego pokolenia organizmów produkcja jest średnio kilka razy wyższa niż średnia biomasa. Produkcja netto populacji wykazuje ścisły związek z oddychaniem – średnio wynosi około 1/2 oddychania.

Międzynarodowy Program Biologiczny i badania produkcyjne oprócz pogłębiania wiedzy, ogromnie nasiliły kontakty i współpracę międzynarodową co profituje do dziś.

Eutrofizacja (wzrost żyzności) i zanieczyszczenie wód intensywnie się nasilające zwłaszcza od końca drugiej wojny światowej (rys. 1) bardziej zagraża zbiornikom wodnym (w których się kumuluje i krąży) niż ciekom; te ostatnie zwykle po przerwaniu dopływu zanieczyszczeń „wracają do siebie”.

W efekcie rozległych badań światowych mamy dobre rozeznanie w procesach eutrofizacji i wiemy, że poziom trofii zależy w grubych zarysach od ładunku – ilości substancji dopływających z zewnątrz do ekosystemu wodnego; wiemy także jakie ładunki poważnie zagrażają czystości wód; np. dla fosforu, przy głębokości średniej zbiornika 5; 10; 50 m jest to odpowiednio 0,13; 0,20; 0,50 g.m⁻².r⁻¹. Ładunki fosforu do większości naszych Wielkich Jezior Mazurskich już w latach 70-tych kilka – kilkunastokrotnie przekroczyły poziom niebezpieczny; jedynie największe z tych jezior – Śniardwy i kompleks Mamr znajdują się na granicy ładunku dopuszczalnego. Wielkość ładunku wynika z ilości wody dopływającej i stężenia w niej danej substancji (tabl. 1). Substancje eutrofizujące i zanieczyszczające dopływają ze źródeł punktowych (rury, kanały) i obszarowych w ramach tych ostatnich – głównie z rolnictwa. Błędny jest często głoszony pogląd rolników, że rolnictwo nie zanieczyszcza wód. To co stanowi niewielką stratę dla pól uprawnych (np. jeśli chodzi o fosfor), jest już ogromnym zagrożeniem dla wód, bowiem stężenia substancji (zwłaszcza fosforu) w wodach czystych są bardzo niskie (tabl. 1). Z reguły zakres zróżnicowania tych stężeń jest ogromny. Poziom trofii wód (jeśli nie ma ładunków ze źródeł punktowych) jest proporcjonalny do % pól w zlewni (rys. 2). Obecnie same ładunki z atmosfery są zbliżone do ładunków dopuszczalnych; należałoby więc, dla ochrony wód nie dopuścić żadnych innych ładunków!

Zagrożenia obszarowe dotyczą także substancji toksycznych, w tym środków ochrony roślin działających na organizmy niekiedy w stężeniach niewykrywalnych chemicznie!

Sole pokarmowe, zwłaszcza fosforany, dopływające do wód, powodują masowy rozwój fitoplanktonu stanowiącego „wtórne zanieczyszczenie wód”; zachodzi to do poziomu około 100 µg.l⁻¹ fosforu; powyżej tej wartości nie limituje on już rozwoju fitoplanktonu. Ogromna większość naszych wód znacznie i dawno ten poziom przekroczyła.

Po przekroczeniu pewnego progu trofii i związanych z tym deficytów tlenowych, następuje uwalnianie z osadów dennych znacznych ilości fosforanów

(pożywki dla fitoplanktonu), które w warunkach natlenienia były silnie związane z żelazem w osadach dennych. Są to więc, oprócz ładunków zewnętrznych dodatkowe ładunki wewnętrzne zwiększające poziom trofii wód; ładunki wewnętrzne mogą być wnoszone także przy resuspensji osadów dennych, a w mniejszym stopniu także na drodze innych mechanizmów (np. wydzielane przez makrofity, które je pobierają z podłoża) (Kajak, 1979; Wetzel, 1983).

Zakwaszenie wód jest obecnie problemem ogólnoswiatowym, szczególnie ostrym w terenach o słabym zbuforowaniu gleb – Skandynawia, północna Kanada. „Kwaśne deszcze” – zawierające kwas siarkowy i azotowy, powodują zakwaszenie gleb i wód, oraz występowanie toksycznego, wolnego jonu glinu. Powoduje on ginienie wielu organizmów, w tym ryb; jest także toksyczny dla człowieka. Próbuje się walczyć z zakwaszeniem przez wapnowanie gleb i wód, co jest oczywiście kosztowne, kłopotliwe i nie zawsze skuteczne.

W Polsce wody zakwaszone występują tylko lokalnie, w rejonach górskich, o słabym zbuforowaniu gleb – Górach Świętokrzyskich, Karkonoszach, Beskidach (np. Czarna Wisielka), Tatrach (Wróbel – w Kajak 1990).

Rekultywacja wód

Ekosystemy zdegradowane, w tym nadmiernie zeutrofizowane, można rekultywować – np. przez usuwanie osadów dennych, w których skumulowały się sole pokarmowe i inne substancje (tab. 2), a także bardzo żyznych wód głębinowych. Również wykaszanie makrofitów i wyłów ryb w pewnym stopniu zmniejszają zasoby nagromadzonych w nadmiarze substancji, są to jednak z reguły ilości niewielkie w stosunku do ładunków i wysoce niewystarczające dla poprawy czystości wód. Można też usuwać fosfor z toni wodnej do osadów dennych przez wytrącanie (z żelazem, glinem, wapniem), lub napowietrzanie odtlenionych wód głębinowych, powodujące samorzutne wytrącenie fosforu z żelazem zawartym w wodzie i osadach dennych. Trzeba podkreślić, że rekultywacja ma sens tylko wtedy, gdy równocześnie lub uprzednio przerwie się dopływ zanieczyszczeń (Kajak, 1979; 1991).

Bio-manipulacja

Bio-manipulacja w hydrobiologii jest to oddziaływanie na stan i funkcjonowanie ekosystemu przez manipulowanie organizmami – na ogół introdukcję ryb. Okazuje się, że oprócz działania z dołu ku górze (od soli mineralnych przez fito, zoo-plankton i bentos do ryb) oddziaływanie odwrotne – z „góry ku dołowi”, może być również bardzo efektywne.

Ryby oddziałują na ekosystemy wielorako – ryją w dnie i wznicają osady denne, wyżerają plankton i bentos oraz zmieniają ich stosunki ilościowe, niszczą makrofity itd.

Najczęściej jednak przez bio-manipulację obecnie rozumie się takie oddziaływanie poprzez ryby, aby zmniejszyć ilość fitoplanktonu, czyli „zanieczyszczenie wtórne”. Zasada jest prosta; duże gatunki zooplanktonu (rodzaj *Daphnia*), odżywiają się stosunkowo dużymi formami fitoplanktonu i są w stanie przeciwdziałać jego masowemu rozwojowi; dotyczy to nawet szczególnie niepożą-

danych sinic nitkowatych, które mogą być rozdrabniane a następnie zjadane przez zooplankton. Wszystkie ryby zooplanktonożerne (kilka gatunków wyspecjalizowanych oraz młodzież wszystkich naszych gatunków ryb) preferują duże formy zooplanktonu – właśnie duże rozwielitki (*Daphnia*). A więc tam gdzie dużo ryb „niedrapieżnych” – mało dużej *Daphnia*; może ona występować licznie tylko tam gdzie nie ma lub jest bardzo mało wyżerających ją ryb. Dla poprawy czystości wody należy ograniczyć ilość tych ryb. Mogą one wyginąć w sposób naturalny (np. w efekcie zimowej przyduchy), po wytruciu, po przetrzebieniu przez ryby drapieżne. Ten ostatni sposób jest preferowany w biomanipulacji; wprowadza się ryby drapieżne, które zasadniczo obniżają liczebność ryb „niedrapieżnych” (żywiących się zooplanktonem), co pozwala na występowanie odpowiednio obfitej populacji *Daphnia* zdolnej do przeciwdziałania zakwitom fitoplanktonu (tab. 3). Trzeba tu podkreślić, że właśnie przeciwdziałania a nie zwalczania; gdy już zakwit się rozwinie *Daphnia* nie jest w stanie go zlikwidować czy ograniczyć; przeciwnie – glony fitoplanktonowe, zwłaszcza nitkowate sinice, prowadzą do spadku liczebności lub nawet likwidacji populacji *Daphnia* przeszkadzając jej w pobieraniu pokarmu; (nitki sinic wchodząc w szczelinę między kłapkami pancerza powodują ich niedomykanie i nieefektywne odsączanie pokarmu). Zależności te: ryby – zooplankton – fitoplankton potwierdzono na olbrzymim materiale. Wiązano z nimi ogromne nadzieje na utrzymanie czystych wód (o względnie niskiej ilości fitoplanktonu jako wtórnego zanieczyszczenia). Nadzieje te zawiodły. Sprawdzają się tylko w niewielkich izolowanych zbiornikach, raczej przez krótkie okresy czasu (tygodnie – miesiące). W zbiornikach dużych, skomplikowanych, połączonych – nie sposób zapanować nad rozwojem ichtiofauny. Sprawę komplikuje fakt niezbędności nie tylko dużej obfitości i presji ryb drapieżnych, ale i określonej ich wielkości osobniczej; powinny to być ryby stosunkowo małe, aby wyżerały gatunki o małych rozmiarach i młodociane stadia dużych ryb; ryby niedrapieżne o dużych rozmiarach są dla dużego zooplanktonu niegroźne – preferują one inny pokarm, większe kęsi.

Sprawy niezawodności biomanipulacji komplikuje także fakt możliwości zaistnienia nieprzewidzianych okoliczności; np. nagły spadek temperatury, wpływ toksyn ze zlewni lub ich wytworzenie przez glony, mogą doprowadzić do załamania populacji *Daphnia*, co wykorzystują glony; ich bujny rozwój nie pozwoli na ponowny rozwój *Daphnia*.

O ile większość technik rekultywacji technicznej usuwała przyczyny zakwitów – obniżała stężenia fosforu i azotu, o tyle biomanipulacja wpływa tylko na ilość fitoplanktonu pozostawiając stężenia substancji biogennej niezmiennione. Choć kierunek biomanipulacji nie spełnił nadziei na poprawę czystości wód, to przyczynił się do zasadniczego pogłębienia naszej wiedzy o zależnościach biocenotycznych i ekosystemalnych – powiązaniach troficznych, rozmieszczeniu i migracjach zooplanktonu i ryb, powiązaniach konkurencyjnych i drapieżnych, wreszcie – powiązaniach i oddziaływaniach poprzez sygnały chemiczne – substancje wydzielane przez organizmy do wody w znikomych ilościach,

świadczące o ich obecności w środowisku. Np. woda uwarunkowana chemicznie przez drapieżcę (którego aktualnie nie ma w tym środowisku) powoduje, że jego potencjalne ofiary rozmieszczają się i zachowują tak jak w obecności drapieżcy. Dotyczy to zależności w obrębie zooplanktonu, między zooplanktonem a rybami niedrapieżnymi i drapieżnymi itd. Wiąże się z tym nadzieje i prowadzi próby identyfikacji i produkcji tych substancji, aby przy ich pomocy osiągnąć efekty, których nie udało się osiągnąć przez manipulację żywymi organizmami (Gliwicz, Kajak, 1990).

Krażenie materii

Wszystkie omówione wyżej kierunki badawcze, oprócz swego głównego aspektu zajmowały się także krążeniem materii – węgla, azotu, fosforu i innych pierwiastków. Jest to jednak sprawa tak ważna, że należy ją wymienić jako osobny kierunek badawczy. Chodzi o ilościowe określenie ile poszczególnych pierwiastków dopływa, jak są rozmieszczone w ekosystemie, jak się zmieniają w czasie, jakie mechanizmy (np. konsumpcja, wydzielanie, sedymentacja, kumulacja) te zmiany powodują. Procesy produkcji, eutrofizacji i inne zależą od krążenia materii, ale także o nim decydują.

Znana i ogromna jest rola mikroorganizmów w krążeniu materii. Znaczna jest jednak także rola zwierząt m.in. przez wpływ na występowanie mikroorganizmów (przez ich wyżeranie oraz kształtowanie środowiska), ale także przez bezpośrednie wydzielanie – np. fosforanów i amoniaku. Im mniejszy organizm, tym wydzielanie na jednostkę jego biomasy jest większe (rys. 3). Nierzadko wydzielanie fosforanów przez zooplankton w pełni zaspokaja a nawet znacznie przewyższa zapotrzebowanie na fosforany fito- i bakterio-planktonu.

Fitoplankton wydziela węgiel w postaci rozpuszczonej substancji organicznej i jest to nielogiczne z punktu widzenia organizmów wydzielających – tracą one substancje, na produkcję których poniosły uprzednio znaczne straty energetyczne. Jest to jednak niezbędne dla funkcjonowania całego systemu; rozpuszczona substancja organiczna stanowi bowiem główną bazę pokarmową dla bakterii toni wodnej.

Funkcjonowanie ekosystemów wodnych stanowi główny przedmiot zainteresowań limnologii. Składa się nań, oprócz wszystkiego co wyżej omówiono wiele innych powiązań i oddziaływań. Wspomnę tu kilka przykładów. Np. względnie niedawno odkryto, że glony i bakterie wpływają na krążenie fosforu przez wydzielanie enzymów – fosfataz, które uwalniają przyswajalną formę fosforu – fosforany, z jego związków organicznych (Chróst 1991).

Bakterie w małym stopniu są bezpośrednio chwywane i zjadane przez filtrujące skorupiaki; są one natomiast pobierane przez pierwotniaki w tym wiciowce, które następnie stanowią pokarm filtratorów planktonowych.

Glony, które dostają się do przewodów pokarmowych skorupiaków planktonowych są w różnym stopniu trawione; szereg zielenic ze względu na ich celulozową błonę komórkową przechodzi przez przewód pokarmowy niestrawione, w stanie nienaruszonym; co więcej – jest to dla nich korzystne; w prze-

wodzie pokarmowym pobierają bowiem dużą ilość fosforanów i azotanów, co pozwala po ponownym dostaniu się do wody, rozwijać się ze znacznie wzmoczoną intensywnością.

Przy bardzo wysokim stężeniu w przybrzeżnej strefie zbiorników wodnych rozwijają się masowo maty glonów nitkowatych. Stwierdzono konkurencję – wyścig z czasem między tymi glonami a kielkującymi wiosną pędami makrofitów, zależną m.in. od przebiegu temperatury; w niskiej większe szanse mają glony, w wyższej makrofity. Glony działają na makrofity niekorzystnie przez ich zacienianie a także substancje antybiotyczne (Ozimek, w Kajak 1990).

Konkurencję makrofitów zanurzonych i fitoplanktonu obserwuje się na całej powierzchni płytkich jezior typu stawowego. Przy ich wysokiej żyzności istnieje tendencja do ustępowania makrofitów, ponieważ masowy rozwój glonów powoduje deficyt światła. Z drugiej strony makrofity kumulują znaczną ilość substancji biogennej, obniżając ich stężenie w wodzie do tego stopnia, że ogranicza to rozwój glonów. Jeśli jednak coś zakłóci normalny rozwój makrofitów (np. zostaną wyrwane przy wmarznięciu w pokrywą lodową i podniesieniu poziomu wody wiosną lub też jeśli zostaną „zdzięsiatkowane” przez ryby) – glony fitoplanktonowe rozwiną się masowo i nie dopuszczą już do odrodzenia makrofitów. Takich punktów delikatnej równowagi w ekosystemie jest wiele. Wyżej wspomniano np. że początek deficytów tlenu w profundalu powoduje uruchomienie ładunków wewnętrznych fosforu i ogromny wzrost trofii wód.

To samo, a także wielorakie inne konsekwencje wywołuje ustąpienie roślinności przybrzeżnej; włączają się do obiegu w wodzie substancje biogenne zakumulowane uprzednio w roślinach a także w osadach dennych nagromadzonych wśród roślinności i chronionych przez nią przed rozmyciem; zanikają różne kryjówki tej sfery służące rybnym, wielu gatunkom zooplanktonu, co zasadniczo zmienia warunki środowiskowe oraz biocenotyczne również w strefie otwartej wody.

Różny przebieg temperatur i procesów mieszania wód powoduje różny charakter gradientu termicznego w podpowierzchniowej warstwie wód. Wykształcenie gradientu bardzo ostrego powoduje zatrzymywanie się sedymentującej zawiesiny w tej warstwie i zwrot produktów jej rozkładu do warstw powierzchniowych, a w efekcie wyższą ich trofię. Większa głębokość warstwy mieszanej niż warstwy naświetlonej w zbiornikach (co zależy od trofii i wielkości zbiornika) powoduje, że glony fitoplanktonowe znajdują się okresowo w strefie afotycznej; wpływa to zasadniczo na skład, stosunki ilościowe i obfitość fitoplanktonu. Ogromna liczba i komplikacja zależności w ekosystemie powoduje trudność ich całościowego opisanie i zrozumienia tak, aby dawało to podstawy do prognozowania reakcji ekosystemu na określone czynniki. Pomocne w tym zakresie jest modelowanie matematyczne funkcjonowania ekosystemów intensywnie się ostatnio rozwijające. M.in. uświadamia i wskazuje ono liczne braki naszej wiedzy i potrzeby badawcze, z drugiej – zmusza do ściśle ilościowego ujmowania zależności i powiązań. Obecny etap modelowania matematycznego

daleki jest jednak, mimo ciągłego postępu, od możliwości ujęcia ekosystemów w całej ich złożoności i zmienności. Eksperymenty na całych ekosystemach stanowią niezastąpioną metodologię badawczą dla zrozumienia ich funkcjonowania. Należą tu m.in. wszelkie zabiegi rekultywacyjne i biomanipulacyjne przynoszące nieraz zaskakujące i nieoczekiwane rezultaty. Z reguły nie sposób przewidzieć reakcji ekosystemu w całej jego komplikacji w oparciu o analizę reakcji populacji, lub fragmentów ekosystemu na określone bodźce, jak zmiany stężeń biogenów, introdukcję organizmów itd. Np. w jeziorze Siam (w rejonie jezior Ładoga-Onega) wsiedlenie stynki spowodowało zupełne wyparcie sielawy, podczas gdy w jeziorach sąsiadujących i wielu innych oba te gatunki zgodnie współżyją.

W jeziorze Wiktorja w Afryce introdukowany okoń nilowy wyniszczył około 300 gatunków endemicznych ryb, co zresztą spowodowało rewolucję w lokalnym rybactwie i stosunkach społecznych. Podobny efekt wyniszczenia prawie wszystkich ryb miejscowych zaistniał w zbiorniku Gatun w Panamie po wprowadzeniu ryb drapieżnych.

Ciągle trwają zmiany w Wielkich Jeziorach Amerykańskich gdzie budowa w XIX wieku kanału omijającego barierę jaką stanowi wodospad Niagara spowodowała inwazję minogów i wyniszczenie przez nie łososiowatych. W latach 40-tych bieżącego stulecia nastąpiła eksplozja planktonożernej Alosa (która występowała w tych jeziorach już od końca XIX wieku!); spowodowało to zasadnicze zmiany w ichtiofaunie; okresowo zdarzają się eksplozje stynki amerykańskiej.

Spektakularnym przykładem jest jezioro Washington, gdzie odcięcie dopływu ścieków spowodowało istotną poprawę czystości wody, jednak nadal występowały sinice, które, a także drapieżna Meomysis, nie dopuszczały do rozwoju dużej Daphnia – składnika mogącego ograniczać rozwój fitoplanktonu. Bujny rozwój Daphnia nastąpił samorzutnie w latach 70-tych, co spowodowało skokową poprawę czystości wody (rys. 4). Jest to zarazem jeden z przykładów jak profitują wieloletnie obserwacje poszczególnych ekosystemów (jez. Washington od lat 30-tych).

Kilka powyższych przykładów uczy pokory wobec przyrody a także dowodzi niezastąpionej roli poznawczej eksperymentu (zamierzonego lub samorzutnego) na całych ekosystemach.

Większość omawianych kierunków badań, w tym rekultywacja, biomanipulacja, obieg materii, eksperymenty na ekosystemach i wycinkach ekosystemów, a także zależności między organizmami – allelopatia, konkurencja, drapieżnictwo – są nadal uprawiane.

Prócz tego dominują aktualnie 2 bardzo odmienne kierunki – 1) badania strategii życiowych organizmów, z uwzględnieniem ich behavioru, 2) badania ekotonów – stref granicznych lądu i wody jako barier przeciwdziałających zanieczyszczaniu wód (Hillbricht-Ilkowska 1984, 1985). W ramach pierwszego chodzi m.in. o takie sprawy jak wielkość i kształt organizmów, ich zmienność i szybkość reakcji, wyrostki, rozczłonkowanie ciała, odległość „odskoku” przy zetk-

nięciu z drapieżcą, migracje pionowe itp. właściwości, od których w efekcie zależy zdolność przeżycia i liczebność populacji w stosunkach drapieżca – ofiara.

W ramach drugiego – chodzi o to jak różne zespoły roślinne, na różnych typach gleb, przy różnym nachyleniu podłoża, rodzaju gleby, szerokości pasa roślin, intensywności opadów itd. – pochłaniają, kumulują substancje (zarówno biogenne jak i toksyczne) spływające ze zlewni do wód. Przy ciągle rosnącym zagrożeniu wód, także ze źródeł obszarowych (głównie rolnictwa) kierunek ten, obok aspektów poznawczych jest bardzo istotny dla ochrony wód.

Piśmiennictwo

Chróst R.J., 1991 Exoenzymes in aquatic environments: microbial strategy for substrate supply. Verh. Internat. Ver. Limnol 24

Hillbricht-Ilkowska A., 1984 Współczesne kierunki badań w ekologii wód słodkich. I. Wiad. Ekol. 30:331-358; II. Wiad. Ekol. 30: 359-384

Hillbricht-Ilkowska A., 1985 Współczesne kierunki badań w ekologii wód słodkich. III. Wiad. Ekol. 31: 221-252

Kajak Z., 1979 Eutrofizacja jezior. PWN Warszawa 233 str.

Kajak Z. (red) 1890 Funkcjonowanie ekosystemów wodnych, ich ochrona i rekultywacja. Wyd. SGGW-AR t. 50. cz. I i II, 340 i 260 str.

Kajak Z. 1991 Wody otwarte. W „Ekologiczne podstawy gospodarki środowiskiem przyrodniczym”. Wyd. SGGW-AR 77:67-85

Le Cren E.D., Lowe-McConnel R.H., 1980 The functioning of freshwater ecosystems. IBP.22. Cambridge Univ. Press. 588 pp

Wetzel R.G., 1983 Limnology, Saunders Pbl. Philadelphia, 849 str.

T A B E L E

Tab. 1. Stężenie fosforu całkowitego w różnych źródłach jako podstawa oceny stopnia zagrożenia jaki stanowią dla wód powierzchniowych

	mg.l ⁻¹	wartości względne
Wody powierzchniowe umiarkowanie eutroficzne, odpływy z lasów i łąk naturalnych, opady atmosferyczne	0,01-0,1	1
Odpływy z rolnictwa	0,02-1,7	10 ²
Spływy powierzchniowe z miast	0,2-1,1	10 ²
Ścieki komunalne	10,0	10 ² -10 ³
Niektóre ścieki przemysłu spożywczego	50,0	10 ⁴
Gnojowica, odcieki ze składowisk nawozu	1000,0	10 ⁵ -10 ⁶

Tabl. 2 Udział % fosforu w poszczególnych składnikach ekosystemu trzech różnych jezior. Z osadów dennych wzięto pod uwagę 10 cm warstwę powierzchniową, z makrofitów – części nadziemne. Wg. Kajak, 1978. Około (lub powyżej) 90% fosforu zawartego w całym ekosystemie jest skumulowane w powierzchniowej warstwie osadów dennych.

Składniki	Jezioro		
	Mikołajskie	Warniak	Trummen
Osady denne	89,6	93,0	95,2
Woda z sestonem	7,6	0,3	0,5
Makrofity	1,3	6,4	3,3
Ryby	1,5	0,3	1,0

J.Mikołajskie – eutroficzne, 460 ha, głęb. max 27,8 m, głęb. śred. 11,0 m, litoral stanowi 19% całkowitej powierzchni jeziora.

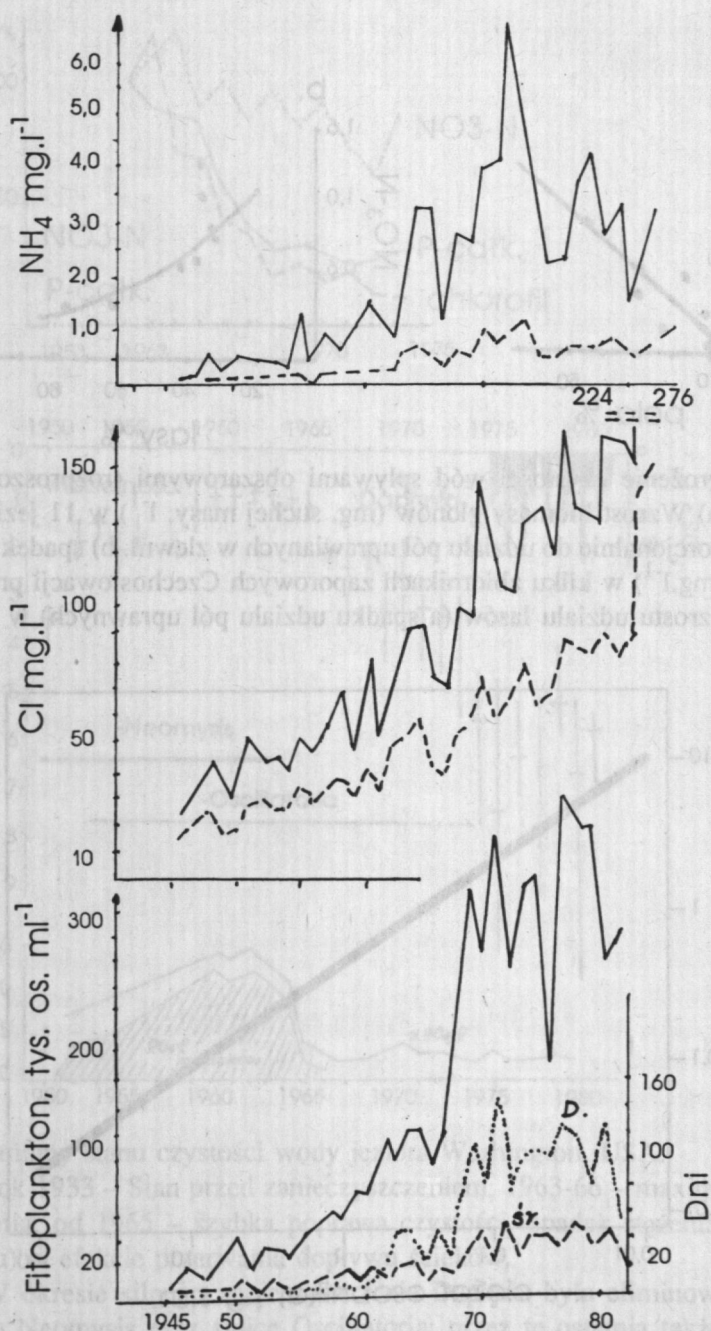
J.Warniak – eutroficzne, stawowe, 38 ha, głęb.max. 3,7 m, głęb. śred. 1,2 m, pokryte roślinnością zanurzoną na całej powierzchni.

J.Trummen – hypertroficzne (wzięto pod uwagę stan przed rekultywacją), 100 ha, głęb. max. 2,2 m, głęb. śred. 1,1 m, silny rozwój roślinności.

Tabl. 3 Przykład kontroli (utrzymywania na niskim poziomie) fitoplanktonu przez duże *Daphnia*, które pojawiły się licznie dzięki wyginięciu ryb w czasie przyduchy (zupełnego braku tlenu) zimowej. Jezioro Severson, USA

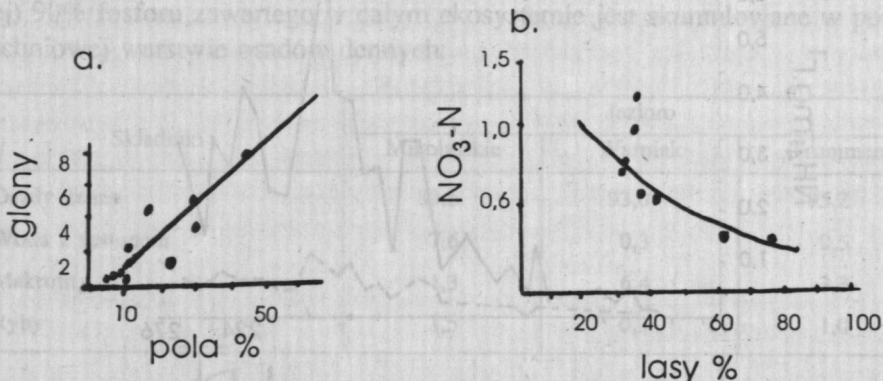
Stan jeziora	Występowanie dużej <i>Daphnia</i>	Fitoplankton mg.l ⁻¹	Widzialność* m
Przed przyduchą liczne ryby	brak	60	0,5
Po przydusze, brak ryb	liczne	<1	5,5

* miernik czystości – przezroczystość wody

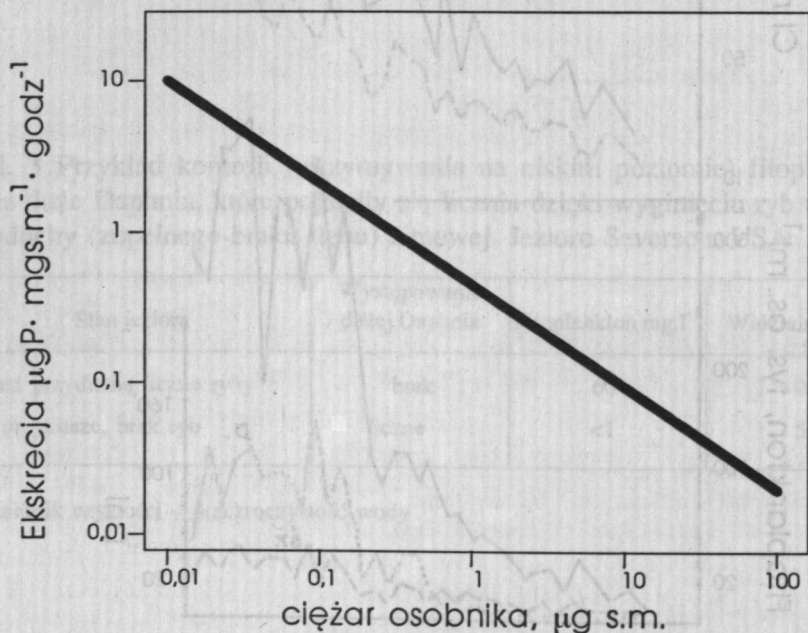


Rys. 1 Intensywny wzrost zanieczyszczenia Wisły (na przykładzie wybranych czynników) od roku 1945. Fitoplankton – liczebności średnie (\bar{S}_r) i maksymalne (Max.), oraz liczba dni (D) z wysoką liczebnością – powyżej 50 tys.os. ml^{-1} .

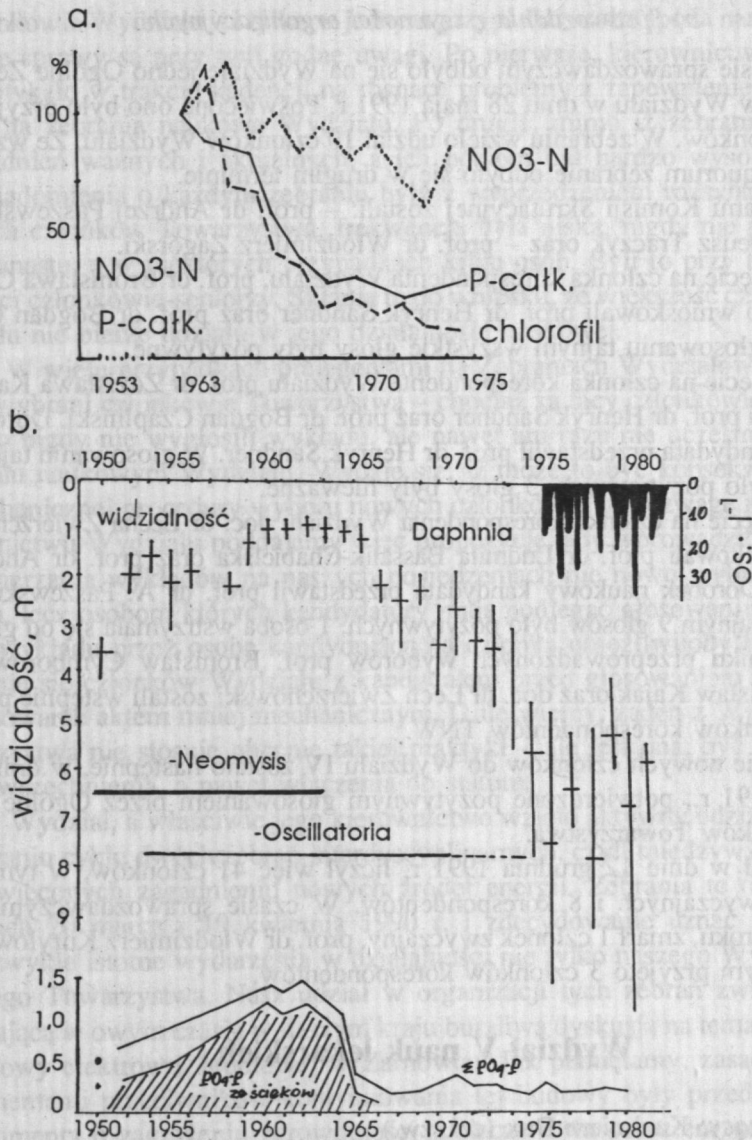
Tabl. 2 Udział % fosforu w poszczególnych składnikach ekosystemu, znacz-
 ną różnicę. Z uwagi na brak danych wzięto pod uwagę licznik ymawę powierzchni-
 nowa, z makrofitów - części makrofitów. Wg. Kojak, 1971, Ekologia (lub powo-
 dny 50% fosforu zawartego w całym ekosystemie jest skumulowany w powo-
 dny 50% w składnikach ekosystemu.



Rys. 2 Zagrożenie czystości wód sypływami obszarowymi (rozproszonymi) z rolnictwa. a) Wzrost biomasy glonów (mg. suchej masy. Γ^{-1}) w 11 jeziorach w Anglii proporcjonalnie do udziału pól uprawianych w zlewni. b) spadek stężenia azotanów ($\text{mg} \cdot \Gamma^{-1}$) w kilku zbiornikach zaporowych Czechosłowacji proporcjonalny do wzrostu udziału lasów (a spadku udziału pól uprawnych) w zlewni.



Rys. 3 Zależność wydzielania fosforanów od ciężaru ciała osobnika; im mniej-
 szy osobnik tym więcej wydziela fosforanów (także amoniaku) na jednostkę
 biomasy. S.m. – sucha masa.



Rys. 4 Zmiany stanu czystości wody jeziora Washington, USA.

a. Rok 1933 – Stan przed zanieczyszczeniem; 1963-66 – maximum zanieczyszczenia; od 1965 – szybka poprawa czystości (spadek stężenia fosforu i chlorofilu) w efekcie przerwania dopływu ścieków.

b. W okresie silnego zanieczyszczenia *Daphnia* była eliminowana przez drapieżną *Neomysis* oraz sinicę *Oscillatoria*; przez tę ostatnią także kilka lat po przerwaniu zrzutu ścieków; od roku 1975 nastąpił przełom – *Daphnia* zaczęła występować licznie i nie dopuszczać do rozwoju *Oscillatoria*; w efekcie czystość wody mierzona jej przezroczystością (widzialnością krążka Secchi'ego) wzrosła kilkakrotnie. Widzialność – średnie (kreski poziome) i zakres wahań.