

Michaił I. Aleksiejew
Ludmiła I. Cwietkova
Boris G. Miszukow
Galina I. Kopina

EUTROFIZACJA W ZBIORNIKACH WODNYCH O NISKIEJ MINERALIZACJI

Problem pogarszania się jakości wody w związku z eutrofizacją antropogenną zbiorników wodnych nabrał ważnego znaczenia. Oprócz tego termin eutrofizm, jak również kryteria stopnia trofizmu okazują się być do końca nieokreślone. W praktyce badań hydrobiologicznych stan trofizmu przyjęto charakteryzować jako kompleks cech abiotycznych (zawartość biogenów, tlenu i innych wskaźników jakości wody) i cech biotycznych (zakwity, struktura, liczebność i biomasa planktonu roślinnego, prędkość fotosyntezy, koncentracja chlorofilu, stan makrofytów i inne). Ocena stopnia trofizmu nosi przy tym charakter opisu jakościowego i nie jest z reguły przydatna do celów inżynierskich. Brakuje kryteriów ilościowych, odzwierciedlających wpływ całego ekosystemu (a nie oddzielnych jego ogniw) na nagromadzenie biogenów i substancji organicznych.

Dlatego też strona praktyczna tego zagadnienia wymaga szeregu aktualnych zadań, rozwiązanie których ma zarówno teoretyczne jak i praktyczne znaczenie:

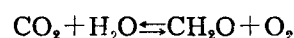
- opracowanie całościowych kryteriów ilościowych trofizmu i metod monitoringu stanu ekologicznego zbiorników wodnych,
- badanie zależności ilościowych stopnia trofizmu od warunków abiotycznych w zbiorniku wodnym, niezbędnych do opracowania podstaw empirycznych przy modelowaniu matematycznym,
- ustalanie normatywów ekologicznych dla substancji biogennych w obiektach wodnych w celu prowadzenia obliczeń inżynierskich w zakresie dopuszczalnych obciążeń biogenami i substancjami organicznymi.

Metodyka badań

Stopień trofizmu określony został przez autorów jako wynik tworzenia i rozpadu substancji organicznych w zbiorniku, co odpowiada energetycznemu bilansowi procesów autotroficznych i heterotroficznych. W dystroficznych wodach ten roczny bilans jest ujemny, w oligotroficznych zerowy, a w eutroficznych — dodatni.

W niniejszej pracy wykorzystano bilans biotyczny do oceny poziomu eutrofizmu zbiornika wodnego. Daje on szersze pojęcie o ekosystemie i może charakteryzować stan równowagi ekologicznej. W oparciu o sformułowane pojęcia opracowano ilościowy wykładnik stopnia trofizmu zbiornika wodnego.

Wiadomo, że zarówno budowie jak i rozpadowi substancji organicznych towarzyszy wymiana gazowa tlenu i dwutlenku węgla w środowisku, która znajduje się w ścisłej zależności z szybkością zużycia i dyspersji energii. W środowiskach wodnych stosunek stężenia tlenu rozpuszczonego i gazowego dwutlenku węgla określa się stosunkiem szybkości fotosyntezy i rozpadu substancji organicznych. Wówczas z prostego schematu równania fotosyntezy i prawa zachowania mas wynika:



$V_{\text{fotosyntezy}} = K_1[\text{CO}_2][\text{H}_2\text{O}]$; $V_{\text{rozpadu}} = K_2[\text{CH}_2\text{O}][\text{O}_2]$
ale $[\text{CH}_2\text{O}] = [\text{H}_2\text{O}] = I$; następnie: $V_{\text{fotosyntezy}}/V_{\text{rozpadu}} = K_1[\text{CO}_2]/K_2[\text{O}_2]$; w wodach naturalnych $\text{pH} = f(\text{CO}_2)$, skąd $V_{\text{fotosyntezy}}/V_{\text{rozpadu}} = K \text{ pH}/[\text{O}_2]$.

Oprócz tego w zbiorniku wodnym stosunek zawartości tlenu i dwutlenku węgla określa się ilością allochtonicznej organicznej substancji zużywającej tlen w procesie biochemicznego utleniania, którego finalnym produktem może być gazowy dwutlenek węgla. Zatem stosunek zawartości tlenu i pH zależy od szybkości fotosyntezy i rozkładu autochtonicznej i allochtonicznej substancji organicznej.

Wychodząc z powyższego otrzymano zależności empiryczne $\text{pH} = f[\text{O}_2, \text{‰}]$ dla zbiorników z wyznaczonym wcześniej (w oparciu o kompleks klasycznych właściwości) stopniem trofizmu. Materiałem wyjściowym były dane z wieloletnich obserwacji składu i ilości planktonu roślinnego i jakości wody w Newskiej Wardze Zalewu Fińskiego Morza Bałtyckiego, które są prowadzone w LISI od 1960 roku, a także dane literaturowe. Podstawą metodyki pracy była analiza statystyczna wskaźników abiotycznych i biotycznych.

Wyniki badań

Ustalono, że w zbiornikach wodnych przy różnym poziomie trofizmu zależność pH od nasycenia wody tlenem zadowalająco aproksymuje funkcja liniowa:

$$\text{pH} = a + b[\text{O}_2, \text{‰}] \quad (1)$$

Przy przejściu zbiornika ze stanu dystrofizmu w eutrofizm rośnie wartość parametru (a), natomiast średnia roczna szybkość przyrostu pH przy zwiększaniu nasycenia wody tlenem (b) pozostaje w tym układzie w przybliżeniu stała. Następnie wielkość pH przy dowolnie przyjętym nasyceniu wody tlenem zależy od poziomu trofizmu. Ale oczywiście i

poziom trofizmu można określać w oparciu o podaną zależność.

Wskaźnik pH przy normalnym 100%-wym nasyceniu wody tlenem oznaczono symbolem pH_{100} . W zbiornikach o środowisku węglanowo-wapniowym przy mineralizacji do 1 g/dm³ wskaźnik pH_{100} przyjmuje następujące wartości:

- dystroficzne: $5,7 \pm 0,3$,
- ultraoligotroficzne: $6,3 \pm 0,3$,
- oligotroficzne: $7,0 \pm 0,3$,
- mezotroficzne: $7,7 \pm 0,3$,
- eutroficzne: $8,3 \pm 0,3$.

To okazało się słuszne dla Newskiej Wargi, jezior Ameryki Północnej, obwodu Jarosławskiego i stawów rybnych Krasnodarskiej Krainy. Wskaźnik ten łatwo oblicza się na podstawie pomiarów pH i zawartości tlenu w wodzie zbiornika:

$$pH_{100} = pH_c + k(100 - C) \quad (2)$$

gdzie C — stężenie tlenu w wodzie w momencie pomiaru pH, ‰

pH_c — pH przy stężeniu tlenu C, ‰; k — współczynnik empiryczny.

Możliwość wykorzystania tego wskaźnika była sprawdzona doświadczalnie. Ustalono, że zarówno charakterystyki tradycyjne (liczebność wodorostów, szybkość fotosyntezy) jak i pH_{100} dodatnio korelują ze stężeniami fosforu i azotu. Zależności te posiadają analogiczny charakter. Zaobserwowano ścisłą korelację także pomiędzy wskaźnikami ($\sigma_{xy} = 0,9$), co świadczyło o niezawodności jego wykorzystania dla oceny stopnia trofizmu [1]. Wskaźnik był wykorzystany także dla perspektywicznych analiz przy ocenie postępu eutrofizacji w Newskiej Wardze. Zmiana wartości pH_{100} od 1911 do 1987 roku wykazała, że stopień trofizmu w Newskiej Wardze zwiększył się z dystroficzno-oligotroficznego do mezotroficznego. Szybkości procesu szczególnie wzrosły w latach 1967—1977, co świadczyło o antropogenicznym charakterze eutrofizacji. W akwenu zbiornika proces przebiegał nierównomiernie: najbardziej eutroficznymi były obszary przybrzeżne.

Ocena trofizmu Newskiej Wargi i tendencji rozwoju procesu wykonana tą metodą była w pełni zbieżna z ocenami przeprowadzonymi metodami tradycyjnymi [2]. Proponowany wskaźnik prawidłowo opisuje stan trofizmu oddzielnych części zbiornika wodnego i może być wykorzystany jako kryterium stanu ekosystemu.

Liczbowe kryterium trofizmu pozwoliło na przeprowadzenie analizy ilościowej czynników abiotycznych w kształtowaniu troficznego stanu wody Newskiej Wargi i opracowanie metody oceny ekologicznie dopuszczalnych stężeń (EDS) substancji biogennych dla wydzielonych części akwenu. Uwidoczniono pierwszoplanowe czynniki: ścisły związek obserwowano między pH_{100} i głębokością, szybkością przebiegu, temperaturą i zawartością mineralnych form fosforu i azotu w wodzie (tab. 1).

Nagromadzenie liniowej parzystej korelacji między wskaźnikami i priorytetowymi współczynnikami pozwala na wykorzystanie równania liniowego wielokrotnej regresji do opisu zależności stopnia trofizmu od współczynników abiotycznych:

$$pH_{100} = a_0 + a_1 P_{min} + a_2 N_{min} + a_3 h + a_4 V + a_5 t \quad (3)$$

gdzie:

- P_{min} — stężenie fosforu mineralnego, gramoatom/dm³
- N_{min} — stężenie azotu mineralnego, gramoatom/dm³
- h — głębokość, m
- V — szybkość, cm/s
- t — temperatura, °C.

Przy określaniu parametrów równania liniowego wielokrotnej regresji wykorzystano dane z obserwacji terenowych w okresie wegetacyjnym 1980÷1985. Weryfikację przeprowadzono na podstawie danych z 1986 r. Obliczenia kontrolne wykazały, że sformułowany model wystarczająco odzwierciedla zależność stanu trofizmu wody w Newskiej Wardze od podstawowych współczynników abiotycznych. Równanie to wykorzystano do wyznaczenia EDS fosforu w wodzie Newskiej Wargi. Za EDS zbiornika uważa się graniczne stężenia, przy których zachowana jest równowaga ekologiczna procesów autotroficznych i heterotroficznych, tj. zachowane są wartości pH_{100} uznane za normatywne [3].

Równanie wielokrotnej korelacji (3) można rozwiązać względem stężenia biogenów dla normatywnego stanu troficznego i znanych wartości głębokości, szybkości i temperatury. Przy wyborze normatywnej wartości wskaźnika przyjęto, że obecnie Newska Warga jest zbiornikiem typu mezotroficznego. Średnia wartość wskaźnika dla stanu mezotroficznego $pH_{100} = 7,7$; graniczna wartość między stanami mezotroficznymi i eutroficznymi $pH_{100} = 8,0$, a dolny przedział ufności tej wartości $pH_{100} = 7,85$ wg równania (3).

Ekologicznie dopuszczalnymi stężeniami biogenów są te stężenia, przy przekroczeniu których było możliwe przejście w stan eutroficzny. Za EDS należy przyjąć stężenia odpowiadające wartości $pH_{100} = 7,85$, podobnie jak przy normatywnej wartości $pH_{100} = 8,0$ powstaje ryzyko trafienia na poziom eutroficzny.

Wartości EDS fosforu dla różnych rejonów Newskiej Wargi były zróżnicowane. Różnice te odpowiadają niejednorodności warunków eutrofizacji. Strefa tranzytowa może posiadać największe wartości EDS — 0,075 g/m³. Mniejsze EDS jest w rejonie północnego

Tabela 1

Wartości współczynników korelacji dla różnych czynników abiotycznych

Czynniki abiotyczne	Współczynniki korelacji
Głębokość	−0,8
Szybkość	−0,8
Stężenie P_{min}	0,8
Stężenie N_{min}	0,7
Temperatura	0,7

brzegu — 0,02 g/m³, zaś w południowej części akwenu — 0,01 g/m³. Średnie EDS fosforu obliczone dla zbiornika wodnego wynosiło 0,06 g/m³.

Znaczne różnice wielkości EDS dla różnych części akwenu potwierdzają konieczność opracowania regionalnych, zaś dla dużych zbiorników także lokalnych normatywów. W ten sposób wykorzystanie EDS fosforu wyznaczonego dla Newy w całości, przy określaniu granicznie dopuszczalnych zrzutów do południowej części akwenu doprowadziłoby do eutrofizacji zbiornika wodnego.

Podsumowanie

Opracowany ilościowy wskaźnik poziomu trofizmu może być wykorzystany do oceny kryterium równowagi ekologicznej autotroficznych i heterotroficznych procesów w zbiornikach wodnych, a także do oceny rezerwy ekologicznej tych zbiorników.

Wskaźnik ten posiada szereg zalet: jest mało pracochłonny w porównaniu z tradycyjnymi charakterystykami hydrobiologicznymi; odzwierciedla reakcję całego ekosystemu, a nie tylko jego oddzielnych ogniw; można go łatwo określić w zbiorniku wodnym wg przyjętej metody analitycznej w korelacji z innymi danymi z obserwacji. Otwiera to perspektywę automatycznej kontroli ekologicznego stanu ekosystemu, pozwala uprościć modele matematyczne ekosystemów zbiorników wodnych, nie obniżając liczby rozpatrywanych podsystemów.

Wykorzystanie wskaźnika pH₁₀₀ umożliwia zautomatyzowanie monitoringu stanu ekologicznego zbiorników wodnych. Wskaźnik ten daje możliwość badania roli czynników abiotycznych i określania ich pierwszeństwa przy formułowaniu stanu troficznego określonego zbiornika wodnego.

Bezspornie, składniki eutrofizmu znacznie różnią się w poszczególnych zbiornikach wodnych, a także na obszarze dużych zbiorników wodnych. Taka sytuacja wymusza konieczność opracowania regionalnych i lokalnych normatywów.

Bazując na wskaźniku pH₁₀₀ opracowano metodę oceny EDS, która określa dopuszczalne dla ekosystemu stężenie fosforu w ściekach oraz jego dopuszczalny ładunek odprowadzany z oczyszczalni ścieków. Ocenę taką wykonano dla Leningradu. Podany sposób można wykorzystać także do oceny ekologicznie dopuszczalnych obciążeń dowolnych wskaźników zanieczyszczeń przy zapewnieniu równowagi ekologicznej w konkretnych warunkach terenowo-wodnych.

LITERATURA

1. E. V. NIEWIEROWA: Obsnovaniye i razrabotka ekologicheskikh norm biogennykh veshchestv dla Nievskoj guby. Praca doktorska, Leningrad 1988.
2. Praca zbiorowa: Nievskaja guba. Gidrobiologicheskije issledovaniya. Nauka, Leningrad 1987.
3. S. V. JAKOWLEW, M. I. ALEKSEJEW, B. G. MISZUKOW, L. I. CWIETKOWA, G. I. KOPINA: Normirovaniye sbrosa zagriaznjajuszczich veshchestw v wodnyje obiekty. Vodnosnabzhenije i sanitarnaja tiechnika, 1989, nr 10.

EUTROPHICATION IN WATER RESERVOIR OF LOW MINERALIZATION

Presented are methods for assessing the course of the eutrophication process in water reservoirs according to the concentrations of nutrients and organic substances. It has been found that in reservoirs of various eutrophication levels the relation between pH and oxygen saturation can be

approximated by a linear function. On the basis of quantitative analysis the contribution of abiotic factors to the state of eutrophication has been determined, and the methods of evaluating the ecologically admissible concentrations of nutrients for various parts of the reservoir have been developed. The trophicity factor established in this paper can be adopted as an ecological equilibrium criterion for auto- or heterotrophic processes in the reservoir.