

**Steinberg C. E. W., Wright R. F. (red.) 1994 –  
Acidification of freshwater ecosystems. Implications  
for the future – John Wiley and Sons,  
Chichester, New York, Brisbane, ss. 404.  
[ISBN 0-471-94206-5]**

Zauważalny wzrost kwasowości wód jezior i strumieni oraz wód glebowych i gruntowych notowany był już w latach 20. na obszarze południowej Norwegii. Jednakże rozpoznanie przyczyn tego zjawiska (zanieczyszczenie atmosfery i kwaśne deszcze), a także zapoczątkowanie intensywnych badań nad zmianami struktury i funkcjonowania zagrożonych ekosystemów wodnych datuje się od lat 60. Całe to zjawisko ze wszystkimi jego skutkami ekologicznymi, ekonomicznymi, a nawet politycznymi i społecznymi przyjęto nazywać acydyfikacją wód. Choć nie jest to zjawisko globalne, czyli tak powszechne jak eutrofizacja wód, to jednak zachodzi w skali regionalnej, a nawet kontynentalnej wszędzie tam, gdzie przeważają wody i gleby słabo alkaliczne, o niskiej zdolności buforowej z uwagi na substrat geologiczny lub warunki hydrologiczne. Są to głównie północna Europa (Skandynawia) i Ameryka oraz liczne obszary górskie i podgórskie, a także torfowiska występujące na obu tych kontynentach.

Liczba wszelkiego typu publikacji, a stąd obfitość, różnorodność i wszechstronność nagromadzonej wiedzy ekologicznej na temat acydyfikacji jest ogromna. Dotyczy zarówno procesów geochemicznych, krajobrazowych (np. transport metali), krążenia materii i pierwiastków biogennych w ekosystemach wodnych, jak też biologii i ekotoksykologii organizmów wodnych (w tym szczególnie ryb). Badania prowadzi się na różnych poziomach: osobniczym (biotesty) i populacyjnym, biocenotycznym i ekosystemowym, eksperymentując w odgradzeniach *in situ*, w mikrokosmosach, na całych jeziorach (np. jeziora kanadyjskie nr 223 i 302 w Ontario), a nawet na fragmentach krajobrazu (zlewni). Dysponuje się seriami badań wieloletnich (np. j. Gårdsjön w Szwecji, j. Hovvatn w Norwegii), tj. jezior stale eksponowanych na kwaśne deszcze. Rozpoznana jest skuteczność różnych zabiegów przeciwdziałających, np. wapnowania gleby, wód zlewniowych, strumieni i jezior. Zabiegi te stosuje się w wielu krajach niejako na skalę przemysłową. Siłą napędzającą koniunkturę tego typu badań (zarówno podstawowych, jak i stosowanych) są oczywiste problemy ekonomiczne rybactwa i gospodarki wodnej krajów dotkniętych acydyfikacją, którym towarzyszy często presja społeczna oraz polityczne i międzynarodowe implikacje.

Powstaje jednak pytanie, co dalej z samym zjawiskiem acydyfikacji wobec powszechnego ograniczania zanieczyszczeń atmosfery (a zatem i kwaśnych deszczy), czy też wobec nowych zagrożeń, jak globalne zmiany klimatyczne? Jakie nowe wyzwania i problemy stoją przed ekologami – badaczami tego zjawiska?

Tym problemom poświęcono międzynarodowe spotkanie w Berlinie (27 IX–2 X 1992 r.), stanowiące kolejną tzw. konferencję w Dahlem (*Dahlem Konferenzen*).

Kilka słów o tych szczególnych spotkaniach. Nazwa ich pochodzi od nazwy dzielnicy w Berlinie bogatej w różne centra naukowe i artystyczne. Zapoczątkowane w 1974 r. z inicjatywy niemieckich organizacji promocji badań naukowych (*Stifterverband für Deutsche*

*Wissenschaft*) odbywają się zawsze w Berlinie i każdorazowo gromadzą niewielką, kilkudziesięcioosobową grupę starannie dobranych badaczy z różnych dziedzin i o różnej orientacji i doświadczeniu. Obecnie (od 1990 r.) *Dahlem Konferenzen* stanowią część aktywności Wolnego Uniwersytetu w Berlinie. Istotą tych spotkań jest swobodna dyskusja pomiędzy badaczami różnych specjalności na określony temat i wybrany problem. Celem jej nie jest rozwiązanie zagadnienia i ustalenie wspólnego wniosku, ale raczej wskazanie luk w wiedzy, nowych kierunków myślenia i priorytetów badawczych. Jak pisze dr Jennifer Altman, dyrektor *Dahlem Konferenzen*: uczestnicy są proszeni, aby mówili raczej o tym, czego nie wiedzą, niż prezentowali to, co wiedzą!

Formuła organizacyjna *Dahlem Konferenzen* jest bardzo efektywna i zapewnia dużą skuteczność „burzy mózgów” jaką są te międzynarodowe spotkania. Wybrane zjawisko czy problem główny danej konferencji dzieli się na cztery kluczowe tematy („*key-questions*”), każdy jest dyskutowany przez grupę ok. 12 specjalistów dobranych z różnych dyscyplin wiedzy (np. geograf, biolog, toksykolog itp.). Nie ma wygłaszanych referatów, doniesień i innych form prezentacji indywidualnej na samym spotkaniu. Podstawowe referaty typu „*review papers*” czy też „*state-of-art*” w danym szczegółowym temacie powiązany z problemem ogólnym są rozsyłane uczestnikom przed spotkaniem, zaś niektórzy z nich (ale nie autorzy!) są proszeni o zreferowanie ich na spotkaniu. Każda z grup dyskusyjnych przedstawia, poprzez swego sprawozdawcę, obszerny raport, w którym omawia idee, opinie, kontrowersje, jakie wynikły w dyskusji, jak też wskazuje problemy i kierunki dalszych badań. Referaty wprowadzające oraz referaty sprawozdawcze są publikowane w formie książkowej (m.in. posiadają indeks rzeczowy) jako kolejne *Dahlem Workshop Reports*. Omawiana książka jest takim raportem nr 14.

A oto jak sformułowano owe cztery najważniejsze pytania, czyli tematy konferencji poświęconej acydyfikacji wód śródlądowych: 1. Czy możemy odróżnić acydyfikację naturalną od antropogennej? 2. Jaki jest synergiczny efekt oddziaływania niskiego pH i innych czynników zanieczyszczenia (metale śladowe, zanieczyszczenia organiczne)? 3. Jak daleko idą zmiany w strukturze biotycznej ekosystemu pod wpływem acydyfikacji, czy organizmy mogą modyfikować skutki tego procesu? 4. Czy chemiczne i biologiczne zmiany w ekosystemach wodnych są odwracalne? (Jest to chyba najważniejsze pytanie dla przyszłości badań nad acydyfikacją!)

W konferencji wzięło udział 42 badaczy głównie z Niemiec, Skandynawii, Kanady i USA. W omawianej publikacji znajduje się 20 oryginalnych referatów tematycznych (z reguły krótkich) oraz cztery referaty sprawozdawcze, syntetyczne (niekiedy bardzo długie). Poziom redakcyjny, szczególnie referatów sprawozdawczych, jest różny. Niektóre robią wrażenie nieco chaotyczne (mnóstwo rozdziałów i rozdziałików). Całość publikacji jest przede wszystkim dobrą syntezą wiedzy ekologicznej na temat skutków acydyfikacji wód, a nie źródłem szczególnych, nowych pomysłów badawczych na przyszłość. Jest to jednak lektura interesująca i w zasadzie spełnia oczekiwania czytelnika sławnych *Dahlem Workshop Reports*.

A oto niektóre bardziej interesujące idee, myśli i stwierdzenia. Naturalna acydyfikacja – w wyniku spływu związków kwasotwórczych ze zlewni przy naturalnie słabej alkaliczności wód jeziora – jest procesem bardzo powolnym. Badania paleolimnologiczne jezior o niskiej

alkaliczności, a obecnie silnie zakwaszonych, wykazały, że to właśnie kwaśny opad, czyli antropogenna acydyfikacja jest odpowiedzialna za gwałtowny spadek pH notowany od początków obecnego stulecia. Długotrwały proces powolnej, naturalnej acydyfikacji poprzedzającej te zmiany doprowadził jedynie do spadku pH o jednostkę w ciągu kilkuset–tysiąca lat (R. W. Battarbee, D. F. Charles, USA). Badania paleolimnologiczne (rekonstrukcja pH za pomocą analizy okrzemek w osadach, łącznie z datowaniem pierwiastkami promieniotwórczymi) są obecnie niezbędne dla oceny tempa i przyczyn naturalnej i antropogennej acydyfikacji oraz ewentualnej rekultywacji jezior po eliminacji źródeł zakwaszenia.

W acydyfikacji wód biorą udział zarówno tlenki siarki, jak i tlenki azotu. Drogi dostawy każdego z nich oraz przemiany w ekosystemie wodnym są różne. Te pierwsze oddziałują relatywnie silniej oraz bardziej chronicznie. Ale również spływ azotanów ze zlewni może stanowić ważny czynnik w zakwaszaniu wód, działający epizodycznie (związany np. z ulewnymi opadami i okresami wiosennych wezbrań). Związki azotu w glebie zależnie od zasobów N organicznego i intensywności nitryfikacji ( $\text{NH}_4 \rightarrow \text{NO}_3 + 2\text{H}^+$ ) i wymywania mogą być źródłem zakwaszenia, kiedy to wraz z tlenkami azotu wymywane są również jony wodoru. Analiza danych wieloletnich wskazuje, że acydyfikacja „azotowa” zaczyna odgrywać coraz większą rolę, choć wszystkie wyobrażenia o tym zjawisku, jak i modele opierają się głównie na acydyfikacji „siarkowej”. Konieczne są zatem modele prognostyczne, włączające różne scenariusze dostawy N i S oraz procesy ich retencji i uwalniania, zarówno w ekosystemie wodnym, jak i w otoczeniu lądowym (H. Miegroet, USA).

Istnieje ścisły związek pomiędzy acydyfikacją gleb leśnych a spływem związków kwasotwórczych do wód (K. H. Feger, Niemcy). W wyniku intensywnej gospodarki leśnej (szczególnie monokultur szpilkowych) następuje wzmocnienie tempa zakwaszenia gleby (niezależnie od kwaśnego opadu) i uwalnianie zarówno silnych związków kwasotwórczych (tlenki siarki i azotu), jak i słabych (kwasy organiczne). Istnieje potrzeba oceny zależności pomiędzy różnymi praktykami leśnymi, strukturą i sukcesją lasu a kwasotwórczym oddziaływaniem lasu na wody śródlądowe (R. W. B. Harriman, Anglia, G. E. Likens, USA).

Bardzo słabo poznane są źródła i dostawa kwasów organicznych oraz ich przemiany w ekosystemie, a odgrywają one ważną rolę w utrzymaniu relacji pomiędzy kwasowością a alkalicznością wód (H. F. Hemond, USA). Antropogenna acydyfikacja zmienia bezpośrednio tempo transportu, przemian oraz stężenia jonów takich metali, jak Al, Mn, Be, Cd, Zn, a pośrednio, poprzez połączenia z wysokomolekularną materią organiczną, również Cu, Hg i Pb (J. Vesely, Czechy). Z obu powyższych referatów (i innych) wynika, że zasoby i źródła związków organicznych w ekosystemie wodnym oddziałują szczególnie na skutki acydyfikacji.

Z uwagi na synergiczne oddziaływanie na biota związków kwasotwórczych, materii organicznej i toksycznych jonów metali, ekstrapolowanie wyników testowych badań laboratoryjnych i budowanie na ich podstawie modeli prognostycznych jest metodologicznie niesłuszne (J. M. Gun, N. Belzile, Kanada). A w takie właśnie modele obfituje literatura z tego zakresu. Jest to problem oczywisty dla ekologów, ale trudny do rozwiązania: wszelkie obniżenie pH wód jeziora nie działa w izolacji od innych substancji, czynników, procesów.

Mimo badań wielu biota kwaśnych jezior, nasze rozpoznanie skutków acydyfikacji dla różnorodności struktury biotycznej, oddziaływań drapieżniczych i konkurencyjnych dalekie jest od możliwości ich przewidywania. Często obserwujemy trwałe wypadanie gatunków wrażliwych i (lub) zastępowanie ich przez bardziej tolerancyjne. Szczególnie silnie na sieci troficznej odbija się „wypadanie” szczytowych drapieżników (ryb). Acydyfikacja powodować może odmienne zmiany w pelagialu i litoralu. Produktywność pelagialu nie wykazuje istotnych zmian, zaś produkcja litoralu może silnie się obniżyć w wyniku „głodu węglowego” związanego z niskim pH (poniżej 5,0), które też z kolei obniża oddychanie osadów dennych. Ogólnie, zakwaszenie wód jeziornych powoduje „rozerwanie” krążenia azotu i węgla w ekosystemie oraz zmiany w różnorodności biologicznej w kierunku taksonów tolerujących niskie pH (np. nitkowate zielenice, *Sphagnum*). Powoduje to z kolei zmianę struktury „kaskadowej”, dostarczając nowych schronień i siedlisk dla fauny pokarmowej ryb (D. W. Schindler, Kanada). Analizę mechanizmów fizjologicznych (B. O. Rosseland, M. Staurnes, Norwegia), jak i genetycznych skutków oddziaływania niskiego pH wód (A. Hartman, Niemcy) należy szerzej uwzględniać w badaniach acydyfikacji, która winna przecież działać jako czynnik doboru naturalnego.

Czy redukcja tlenków siarki i azotu w atmosferze doprowadzi do pełnej regeneracji (*recovery*) jezior kwaśnych i zakwaszonych? Wyniki dotychczasowych badań wskazują, że nasza zdolność przewidywania wszelkich konsekwencji biologicznych tego procesu jest ograniczona (M. Haus, Niemcy). Okres ten jest zbyt krótki i za mało jest badań na całych ekosystemach. Na razie skutecznie wspomagamy regenerację jezior i strumieni wapnowaniem ich wód oraz gleb w zlewni. Zabieg ten musi być okresowo powtarzany, ale jest ekologicznie skuteczny. Przynajmniej tak wynika z zestawienia wielu przykładów skandynawskich. Następuje odtworzenie fauny bezkręgowców, wracają drapieżniki, co stwarza warunki do wykształcenia się „normalnej” struktury troficznej (G. G. Raddum, A. Fjellheim, Norwegia); odbudowuje się też pogłowie ryb (B. J. Cosby, USA, A. J. Bulger, R. F. Wright, Norwegia).

Ostateczny wniosek przedstawiony przez sprawozdawcę grupy 4. (N. Dise, Norwegia) brzmi: zmiany czynników abiotycznych w ekosystemach wodnych są odwracalne, gdy kwaśny opad zostaje eliminowany; z chwilą polepszenia się warunków środowiskowych struktura biotyczna i funkcjonowanie ekosystemu zmiernają w kierunku pełnej regeneracji, choć proces ten może odbywać się w różnym tempie.

Jednakże redaktorzy tomu (we wprowadzeniu) przyznają, że wiele pytań nie doczekało się odpowiedzi, np. problem regeneracji wód zakwaszonych w warunkach zmian klimatycznych, zmian cykli hydrologicznych na dużych obszarach, wysycenia gleb nawozami, zwiększenia częstotliwości katastrof (np. ulewnych deszczy).

Wbrew pozorom brzmi to dla ekologów bardzo obiecująco, gdyż oznacza, że będą dalej potrzebni!

**Anna Hillbricht-Ilkowska**