

Regeneracja pierwiastków przez zwierzęta wodne i przywracanie ich do obiegu.

Procesy te decydują o objawach trofii jezior, produktywności, także oceanów, gdzie nie ma zew. Źródeł pierwiastków biogenych i wszystko musi pochodzić z samego ekosystemu.

Zwierzęta ograniczają albo udostępniają pierwiastki biogenne w zależności od swojej roli w ekosystemie. Skupimy się na roli ryb i zooplanktonu.

Jeziora strefy umiarkowanej w czasie lata podlegają stratyfikacji, strefy są od siebie izolowane. W epilimnionie realizuje się produkcja pierwotna. Jest on izolowany od głębokiej wody przez termoklinę. Na środku jeziora, jeśli jest rozległe, nie docierają już żadne pierwiastki z brzegu, zwłaszcza jeśli rozwinięty litoral zatrzymuje spływające do jeziora biogeny. Więc w epilimnionie obracana jest pula biogenów zgromadzona tam w czasie wiosennego mieszania się wód.

Biogeny włączane w biomasę glonów, po ich obumarciu opadają na dno i wypadają z obiegu. Więc teoretycznie epilimnion powinien się zubażać w biogeny w czasie lata. Rzeczywiście w czasie wiosennego zakwitnięcia większość pierwiastków biogenych jest włączana w biomasę glonów. Przywracane są do obiegu tylko dzięki aktywności zwierząt.

Można podzielić ich działalność na:

- **efekty bezpośrednie** – zjadanie materii organicznej i wydalanie i defekacja (zwiększanie puli pierwiastków dostępnych, w postaci mineralnej - azot jest np. wydzielany głównie w formie amonowej, a fosfor, fosforanowej), oraz akumulacja w biomasie zwierząt (zmniejszanie puli); w oceanach formy amonowe azotu określa się jako „azot zregenerowany”, ponieważ to zwierzęta są głównym źródłem tej postaci azotu. Natomiast azot azotanowy jest określany jako „nowe pierwiastki biogenne”, bo pochodzące z zewnątrz, albo z nityfikacji.

- **efekty pośrednie** – dotyczą wpływu zwierząt na środowisko fizyczne, albo wpływ na inne zespoły funkcjonujące w ekosystemie, np. mogą eliminować glony, albo zooplankton, albo wpływać na jego strukturę wielkości i skład. A on sam też ma rolę w przywracaniu pierwiastków.

Znaczenie ryb w jeziorach dla pierwiastków biogenych. Długo uważano, że ryby są czynnikiem korzystnym dla stanu troficznego. W sensie, że usuwając je przez połów usuwa się z jeziora nadmiar biogenów akumulowanych w ich biomasie. Uważano, że najlepiej intensywnie zarybiać i potem intensywnie odławiać. Nie jest to całkiem niepoprawne, ale skupia się tylko na efektach bezpośrednich, pomijając pośrednie. Tempo wydzielania fosforu przez organizmy na jednostkę biomasy jest odwrotnie proporcjonalne do ich wielkości. Im zwierzę jest większe tym mniej fosforu wydzielana na gram masy ciała. A więc duże ryby rzeczywiście dość skutecznie akumulują fosfor.

Ale ryby znacząco wpływają na zespoły organizmów wodnych a zwłaszcza bentos i plankton, i wpływ jest ilościowy i jakościowy. Ryby są selektywnymi drapieżnikami i zjadają głównie możliwie duże ofiary. Gdy więc jest presja ryb, to plankton jest zdominowany przez małe gatunki, które skutecznie regenerują fosfor (do obiegu). A więc w jeziorze zdominowanym przez ryby planktonożerne regeneracja fosforu wcale nie zachodzi bardzo wolno, bo drobny plankton regeneruje wydajnie.

Wyniki modelu teoretycznego zakładającego jakie są zmiany zawartości fosforu w jeziorach gdzie są lub nie ma ryb: widać, że w obecności ryb planktonożernych fosforu zostanie o 40% więcej niż bez ryb. Przenosi się to na większą prawie 2x produkcję pierwotną i 2x większą regenerację fosforu przez zooplankton. Jest to pośredni efekt, przez wpływ ryb na strukturę wielkości zooplanktonu. Ponadto drobne wioślarki mniej efektywnie filtrują wodę zjadając fitoplankton – również dlatego jest większa produkcja pierwotna przy małych gatunkach wioślarek. Wiąże się to też z tym, że wzrost produkcji pierwotnej przy małych wioślarkach jest spowodowany głównie przez większe, trudniej filtrowane glony (plankton sieciowy, również kolonijne sinice, co jest niepożądane).

Rola ryb sprowadza się nie tylko do przekształcania struktury zooplanktonu, ponieważ mogą też wpływać w ten sposób na faunę bentosową – eliminując duże gatunki. To jednak akurat osłabia tempo zasilania wody w pierwiastki biogenne pochodzące z dna, bo fauna bentosowa jest

czynnikiem, który stymuluje migrację pierwiastków biogenych z osadów do wody, przez drażnienie i przepłukiwanie osadów. Tam gdzie jest obfita fauna bentosowa tam na ogół jest dużo tlenu w wodzie, a fosfor strąca się na cząstkach zawieszony w warunkach tlenowych. A więc tak naprawdę, gdy fauna bentosowa „burzy” osady denne, to z jednej strony przywraca fosfor do obiegu, ale z drugiej strony w warunkach tlenowych wytrąca się on znowu do osadów. Natlenione osady są mniej wydajnym źródłem fosforu. W przypadku azotu jest inaczej – działalność tej fauny wzbogaca tylko w azot, bo nie wytrąca się on.

Ryby ograniczają biomasę bentosu, więc powinny ograniczać to przywracanie pierwiastków przez faunę bentosową, ale jak się sądzi ryby mogą być poważnym źródłem przywracania pierwiastków z osadów dennych przez turbulencje jakie wywołują przy żerowaniu i przekopywaniu osadów. Ale z drugiej strony, ryby żerując przy dnie wymagają tam warunków tlenowych, a jak wspomniano w takich warunkach fosfor strąca się z powrotem w postaci nierozpuszczalnej do osadów.

Potwierdzono to w eksperymentach, gdzie ryby miały lub nie miały dostępu do osadów w dnie, albo też osad był pozbawiony fauny bentosowej. Okazało się że jeśli ryby nie mają dostępu do osadów lub osady są pozbawione fauny, to ich wpływ na przywracanie fosforu był zanedbywalny. A więc wynika z tego, że ryby wpływają na przywracanie fosforu do obiegu nie tylko przez przekopywanie osadów, co przez zjadanie fauny bentosowej i jej trawienie. Przywracanie fosforu do obiegu przez ryby dzieje się też dzięki ich żerowaniu przy powierzchni wody gdzie opada dużo owadów (pstrągi i słonecznice tak jedzą. A jest tego opadu owadów a także nasion wbrew pozorom bardzo dużo co wynika z badań. Jest to znaczące źródło fosforu dla jeziora), a także gdzie owady siadają aby złożyć jaja do wody. Jest pewna obliczona dopuszczalna dawka fosforu wprowadzanego do jeziora, powyżej której następuje eutrofizacja. Pstrągi zjadając taki opad z powierzchni dostarczają prawie tyle fosforu ile taka dawka wynosi (policzone dla Jeziora Zielonego w Tatrach – jezioro to się eutrofizuje i wygląda na to, że jest to tylko wpływ wprowadzonych tam pstrągów, które są „pułapką” dla biogenów zjadając owady z powierzchni i larwy denne).

W bentosie żyją też larwy owadów, które rozwijają się przy dnie, gromadzą fosfor, a potem jako imago wylatują, „zabierając ze sobą” zgromadzone pierwiastki. Jeśli takie larwy są zjadane przez ryby, to ten fosfor zostaje w zbiorniku.

Ryby eliminują największe organizmy zooplanktonowe, ale też powodują, że dominują widłonogi, które są mniejsze i lepiej uciekają. Bez ryb dominują wioślarki. Organizmy te różnią się między sobą zawartością w biomase głównych pierwiastków biogenych. Dafnia ma bardzo wysoką względną zawartość fosforu, w porównaniu z widłonogami. Małe wioślarki też mają niższą, zbliżoną do widłonogów. Jeśli dafnie dominują, to akumulują dużo fosforu ze zjadanych glonów. Karmione tym samym pokarmem widłonogi będą wydzielać więcej fosforu do otoczenia a mniej zatrzymywać. Dafnia skutecznie regeneruje azot ale nieskutecznie fosfor. Widłonogi skutecznie zatrzymują azot, ale wydzielają fosfor.

Stosunek N:P ma kluczowe znaczenie dla składu fitoplanktonu. Dużo fosforu powoduje zakwit niekorzystnych dla ludzi i zwierząt sinic. Wiążą one N z powietrza więc nie jest on dla nich limitujący. Jest więc metoda rekultywacji bardzo żyznych jezior z zakwitami sinic, że nawozi się azotem. Wtedy zaczynają dominować „zwykłe” glony – zielenice, które są lepsze dla środowiska.

Dafnie są więc korzystne przez to, że wydzielają dużo N do środowiska.

Pośrednie znaczenie ryb polega więc też na tym, że wpływając na skład zooplanktonu wpływają na skład puli uwalnianych przez zooplankton pierwiastków. Duża presja ryb prowadzi do dominacji małych wioślarek które wydajnie przywracają fosfor. A przewaga widłonogów w wyniku presji ryb prowadzi do wzrostu uwalniania fosforu (co jest niekorzystne dla jakości wody).

Przegląd stopnia zaspokojenia zapotrzebowania glonów na P, przez produkty regeneracji tego pierwiastka przez zooplankton. Dla niektórych jezior przekracza 100%. a więc sekrecja przez zwierzęta planktonowe w pełni pokrywa zapotrzebowanie glonów.

Stosunki stechiometryczne pierwiastków w pokarmie są istotne - istotny jest też stosunek C:P. Jeśli pokarm jest bardzo ubogi w fosfor, to przy pewnej progowej wartości, sekrecja P przez zooplankton

ustaje. Istnieje wzór pokazujący, że ilość P wydzielana przez zwierzęta planktonowe jest proporcjonalna do tempa konsumpcji pokarmu, i ilości pokarmu jaka jest zjadana, oaz ta ilość jest pomniejszona, o to co organizmy zasymilują (wbudują w siebie). W praktyce przy stosunku C:P większym od 370 w pokarmie dafnia przestaje wydzielać fosfor do środowiska. Rzadko się to zdarza, bo zwykle jest to około 100. Wynika to z tzw. proporcji (stosunku) Redfielda, wynosi ona w glonach C:N:P 106:16:1. W warunkach naturalnych więc raczej się nie zdarza aby było tak mało fosforu w stosunku do węgla, może się to zdarzać tylko w jeziorach gdzie glony są silnie limitowane przez fosfor. W silnie zeutrofizowanych jeziorach gdzie jest dużo fosforu to dużo też jest go regenerowanego (sprzężenie zwrotne dodatkowo napędzające eutrofizację).

Dla okrzemków wchodzących w skład fitoplanktonu ważny jest też krzem, zarówno dla budowy jak i metabolizmu. Okrzemki limitowane przez krzem sedymentują. Nie są one trawione przez zwierzęta. Zjedzone są wydalane i sedymentują na dno. Silna presja zooplanktonu na fitoplankton okrzemkowy powoduje szybkie ustąpienie okrzemek z epilimnionu. Wiosenny zakwit w jeziorach jest spowodowany głównie przez okrzemki. Są dobrym pokarmem dla zooplanktonu więc są całkowicie zjadane, a pierwiastki, poza krzemem są przywracane do obiegu. Dlatego potem już okrzemki się nie pojawiają. A szkoda, bo są wartościowym składnikiem pokarmu (są tłusciutkie... :>).