



Czy istnieje równowaga w przyrodzie? Fakty i mity

January Weiner (Kraków)

Trzeciego listopada przypada dzień św. Huberta, patrona myśliwych. W tym dniu, można prawie mieć pewność, w którymś programie telewizyjnym wystąpi ktoś w zielonym kapeluszu z piórkim, by z namaszczeniem oznajmić, że to, co lubi robić, to nic innego jak „przywracanie równowagi w przyrodzie”. Zresztą nie tylko na św. Huberta miłośnicy dwururki tak samo pozytywnie uzasadniają uprawianie swojej pasji. Miałoby z tego wynikać, że: (a) istnieje coś takiego jak równowaga w przyrodzie, (b) zachowanie tej równowagi jest stanem pożądanym, (c) z jakiegoś powodu stan równowagi został naruszony (na ogół suponuje się przy tym, że przez człowieka, z wyłączeniem myśliwych), (d) można go przywrócić, podejmując konkretne działania (w tym wypadku – zabijając pewną liczbę kręgowców stałocieplnych, akurat tych gatunków, które uchodzą za przysmak, lub których trzeciorzędowe atrybuty płciowe, np. rogi – za ozdobę). Można by machnąć ręką na ten sposób gloryfikowania atawistycznego hobby i nie zastanawiać się nad jego logicznymi i rzeczowymi przesłankami. Rzecz w tym jednak, że odwołanie do „równowagi w przyrodzie” sięga do idei i wartości głęboko zakorzenionych w naszej kulturze, wynikających z prastarych, archetypicznych wręcz wierzeń i wspieranych strzępami pojęć przenikającymi z domeny nauki.

Często używa się tego zwrotu bez zastanowienia, czysto retorycznie, podobnie jak „stare, dobre czasy”, czy „raj utracony”. O ile jednak te dwa ostatnie wyrażenia nie ukrywają swojego sentymentalno-metafizycznego charakteru, to „równowaga w przyrodzie” albo „równowaga przyrody” brzmi znacznie bardziej obiektywnie, wręcz naukowo, i może być brana na serio. Owszem, nader często ten zwrot jest wypowiedziany z pełnym przekonaniem, że przyroda dąży do stanu równowagi, i to równowagi stabilnej, że istnieją w niej mechanizmy sprzężeń zwrotnych, które automatycznie korygują przypadkowe zmiany rozmaitych parametrów, przywracając stan równowagi – tak jak elektroniczny termostat utrzymuje stałą temperaturę w akwarium.

W nauce nie jest zabronione stawianie nawet najbardziej fantastycznych hipotez, choćby właśnie takiej, można prowadzić rozważania i badania eksperymentalne w celu jej potwierdzenia

lub odrzucenia. Wymaga to jednak zachowania dyscypliny pojęciowej i rygorów metodologicznych, o czym niżej. Jednak „równowaga w przyrodzie” to nie tylko nieprecyzyjny, przednaukowy sposób wyrażenia pojęć, które nauka potrafi lepiej zdefiniować i zanalizować (np. „stan stacjonarny” albo „równowaga dynamiczna”). W wyrażeniu „równowaga przyrody” jest coś więcej, mianowicie implikacja, że istnieją stany przyrody, które są właściwe, odpowiednie, takie, jak być powinny, czyli dobre – i odchylenia od nich, na przykład zmiany spowodowane przez człowieka, czyli stany niepożądane: złe. Słowem, „równowaga w przyrodzie” jest pojęciem naładowanym wartościami.

Przekonanie, że w przyrodzie istnieje równowaga, i że to dobrze, jest stare jak kultura. Korzenie tkwią w wierzeniach religijnych, w których zawsze przewija się wątki o naturze stworzonej w sposób celowy i o przedustanowionej boskiej harmonii. Sformułowane na piśmie można znaleźć już u Herodota, który twierdził, że drapieżniki i ich ofiary pozostają w stanie równowagi, drapieżniki zabijają tylko tyle, by nie przetrzebić zanadto ofiar. W czasach nowożytnych do wzmocnienia tego pojęcia przyczyniło się skądinąd pożyteczne pojęcie „gospodarki przyrody” i russeański mit o idyllicznym żywocie człowieka na łonie natury.

Darwin, który bardzo starannie przestrzegał klarowności używanych pojęć, zwrotu „równowaga w przyrodzie” w ogóle nie stosował, ale jego późniejsi zwolennicy byli już mniej rygorystyczni i na przykład Stephen A. Forbes, jeden z ojców ekologii, pisał dosyć mętnie o równowadze w przyrodzie, jako dobrowolnym porządku, który powstaje dzięki doborowi naturalnemu, działającemu poprzez konkurencję i drapieżnictwo.

Współczesne nauki przyrodnicze tak sformułowanego pojęcia równowagi w przyrodzie w ogóle nie mogą zaakceptować, bo do ich domeny nie należą żadne pojęcia dotyczące wartości. Przyroda nie ma celu, więc też nie ma normy, wyróżnionego stanu, który byłby lepszy niż inne; nie ma „harmonii”, która polegałaby współdziałaniu elementów dla osiągnięcia jakichś integralnych celów czy wyższych wartości. Pojęcia wartościujące odnoszą się tylko do ludzi, dlatego można sensownie pytać o to, jaki

stan przyrody jest dobry dla nas, i czy nie zmienia się właśnie w sposób dla nas niepożądany. Owszem, ale wtedy nie mówimy o „równowadze przyrody”, tylko o stanie naszego środowiska, a to zupełnie inna sprawa. O środowisku człowieka i jego ochronie nie można w ogóle mówić inaczej, niż odwołując się do wartości.

Odkładając na bok sprawę implikowanych wartości, czy jednak na płaszczyźnie czysto naukowej, pojęcie „równowagi w przyrodzie” nie zawiera ziarna prawdy? Czy przyroda nie ma zdolności do utrzymywania stanu równowagi? Aby odpowiedzieć na to pytanie, trzeba je w pierw przetłumaczyć na język nauki.

W domenie nauk ścisłych i przyrodniczych, także w naukowej ekologii, każde pojęcie musi być w pierw precyzyjnie zdefiniowane. Co to jest „przyroda” albo „natura”? Zapewne, każdy, kto używa tego słowa, ma na myśli co innego. Może to być na przykład cały wszechświat, albo ogół organizmów żywych. Z kontekstu wielu wypowiedzi o „równowadze w przyrodzie” można się domyślać, że najczęściej chodzi o przedmiot zainteresowania ekologii, o całą biosferę, zintegrowany system żywych organizmów i elementów środowiska nieożywionego, ale czasem o jakiś inny obiekt.

A co to jest „równowaga”? Równowaga czego z czym? Jaką zmienną, lub jaki zbiór zmiennych obserwujemy? W naukach przyrodniczych często używa się terminu „równowaga” w odniesieniu do różnych desygnatów, co czasem prowadzi do nieporozumień. W języku polskim dodatkowo daje się tu we znaki nieposkromione bogactwo znaczeniowe naszego języka, w którym jedent termin – „równowaga” – oznacza wszystko to, na co np. język angielski potrzebuje kilku słów (*balance, equilibrium, steady-state*) i każde definiuje inaczej. Dlatego tym bardziej obowiązuje nas ścisłość terminologiczna. Zamiast ogólnikowego „równowaga” lepiej byłoby powiedzieć „stan stacjonarny” (*steady state*), czyli sytuacja, w której jednakowe tempa dwóch przeciwstawnych procesów (dwie siły działające w przeciwnych kierunkach) znoszą się, więc stan obiektu się nie zmienia. W języku polskim mówi się jednak często w tym wypadku „równowaga dynamiczna”. Od tego miejsca, przez „równowagę” będziemy rozumieli właśnie równowagę dynamiczną.

Zatem, do jakich znaczeń terminu „równowaga” może się odnosić zwrot „równowaga w przyrodzie”? Spróbujmy przejrzeć po kolei ścisłe znaczenia słowa „równowaga” i zobaczyć, czy któreś z nich pasuje. Zacznijmy od przyrody rozumianej jako globalny ekosystem.

Równowaga termodynamiczna?

Najprecyzyjniejsze pojęcia pochodzą z fizyki. Odnoszą się do całej przyrody nieożywionej i ożywionej. Możemy więc zapytać, czy w przyrodzie panuje równowaga termodynamiczna? Równowaga termodynamiczna – według bardzo uproszczonej definicji, to stan, w którym podstawowe, makroskopowe parametry układu pozostają stałe. Panuje równowaga chemiczna (nie przebiegają reakcje), mechaniczna (nie ma nierównoważonych sił, dzięki którym mogłaby zostać wykonana jakaś praca mechaniczna), termiczna (brak różnicy temperatur, więc nie przepływa też ciepło i nie może wykonać żadnej pracy). Innymi słowy – nie dzieje się nic. Stan trwałej równowagi termodynamicznej układ uzyskuje wtedy, gdy jego energia osiąga minimum, a entropia maksimum. Jest to stan kompletnego wyczerpania wszystkich potencjałów i całkowitej martwoty, dokładne zaprzeczenie biosfery - układu, w którym istnieją potężne potencjały energii, oraz życie, które z energii korzysta by lokalnie zmniejszać entropię. A więc chyba to nie o to chodzi.

Równowaga tempa specjacji i tempa ekstynkcji?

Odkąd istnieje życie na Ziemi, powstają coraz to nowe gatunki, a inne – wymierają. Gdyby oba te procesy: specjacji i ekstynkcji, ustały – mielibyśmy stałą, niezmienną liczbę gatunków. Nie byłaby to równowaga, lecz stagnacja. Takie wyobrażenie panowało, zanim poznano fakty z historii życia na Ziemi i zanim Darwin sformułował swoją teorię. Obecnie niepokoi nas fakt, że na naszych oczach wymierają gatunki – zatem obawiamy się, że zmniejszy się bioróżnorodność planety; mamy powody sądzić, że sami się do tego przyczyniamy. Gdyby tempo wymierania i tempo specjacji były niezerowe, ale jednakowe – mielibyśmy stan równowagi: gatunki by się wymieniały (wymierający gatunek zastępowany byłby od razu przez jakiś nowopowstały), a ich liczba byłaby stała. Trwałaby zatem ewolucja, ale bioróżnorodność byłaby niezmienna. Czy w przyrodzie panuje zatem równowaga specjacji i ekstynkcji, zaburzona jedynie ostatnio przez człowieka?

Nic podobnego! Mamy obecnie przekonujące dane paleontologiczne, z których bardzo jasno wynika, iż tempa procesów specjacji i ekstynkcji nigdy nie były zrównoważone. W ciągu blisko 550 milionów lat eonu fanerozoicznego, dla którego mamy dobre dane paleontologiczne, liczba gatunków stale rośnie; kiedy na Ziemi pojawił się człowiek zastał największą naraz liczbę gatunków, jaka tu kiedykolwiek była. Ale

ten stały, powolny wzrost (średnia przewaga tempa specjacji nad ekstynkcją) przerywany jest okresami przewagi tempa wymierania nad specjacją – czasami w formie gwałtownych załamań. Są to tak zwane wielkie wymierania, katastrofy, w których masowo przepadały liczne gatunki. Na przykład koniec ery paleozoicznej wyznacza katastrofa, w której zginęła większość gatunków wówczas żyjących na Ziemi. Zdecydowana większość gatunków, które kiedykolwiek żyły na Ziemi – wymarła, a mimo to, jest ich obecnie więcej, niż kiedykolwiek przedtem. Dane paleontologiczne wskazują również, że po takich katastrofach różnorodność odbudowuje się w tempie wykładniczym, potrzeba na to „zaledwie” dziesięciu – kilkudziesięciu milionów lat. Nie ma żadnych przesłanek, aby przypuszczać, że w ogóle może istnieć mechanizm regulujący globalnie tempo wymierania i powstawania nowych gatunków. Fakty zatem przeczą hipotezie, że w skali globalnej tempo ekstynkcji i specjacji są w równowadze.

Zrównoważony bilans obiegu węgla?

Życie na Ziemi można przejawia się jako globalny cykl krążenia węgla: od form chemicznie utlenionych (CO_2) do zredukowanych (materia organiczna) i z powrotem. Redukcja węgla – to produkcja biomasy przez organizmy, co obecnie zawdzięczamy prawie wyłącznie fotosyntetyzującym roślinom i sinicom, przy niewielkim udziale bakterii chemoautotrofów. Ponowne utlenienie związków węgla do CO_2 może się odbywać na różne sposoby – ogromną większość biomasy utleniają rozmaite mikroorganizmy i zwierzęta („destruenci”), część ulega spalaniu w naturalnych pożarach lasów i stepów, a reszta – to spalanie biomasy i paliw kopalnych przez człowieka. Ilość dwutlenku węgla w atmosferze rośnie, nie ma wątpliwości, że człowiek ma w tym swój udział. Czy naruszył odwieczną równowagę? Czy tempo produkcji i dekompozycji biomasy (inaczej: tempo redukcji i utleniania związków węgla) przyroda sama utrzymywała w idealnej równowadze, którą dopiero człowiek naruszył?

Nonsens. Z bardzo wiarygodnych danych wynika, że bilans redukcji i utleniania węgla na Ziemi nigdy nie był w równowadze. W skali miliardów lat wydaje się, że średnio rzecz biorąc przeważało tempo produkcji, ale następowały znaczne wahania tego tempa. Na przykład, dwa miliardy lat temu, kiedy pojawiły się masowo fotosyntetyzujące bakterie – przewaga procesów produkcji była tak wielka, że radykalnie zmienił się skład atmosfery i musiało nastąpić masowe wymieranie beztlenowców (te

miałyby zapewne swoje zdanie na temat odwiecznej równowagi w przyrodzie!); ponad trzysta milionów lat temu, w okresie karbońskim, również przeważały procesy redukcji i ogromne ilości materii organicznej odkładały się w mokradłach ówczesnych łądów. Właśnie tym wydarzeniom zawdzięczamy ogromną ilość wolnego tlenu w atmosferze – ubocznego produktu w procesie redukcji związków węgla. Ale zredukowane związki są zagrzebane w osadach Ziemi i w biomasie żywych organizmów. To z tego depozytu obecnie czerpiemy zasoby paliw kopalnych (węgla, ropy i gazu ziemnego). Rzeczywiście – w ten sposób zmieniamy bilans obiegu węgla w biosferze, może to mieć dla nas samych niekorzystne skutki – to zupełnie inna sprawa i nie ma tu miejsca na jej omawianie.

Nie było zatem trwałej równowagi – raz przeważała produkcja, raz dekompozycja. Nie znamy do końca przyczyn tych odchyłeń, pojawiają się w historii biosfery w przypadkowych momentach i powiązane były ze zmianami klimatu: kiedy jakaś nowa strategia życiowa odniosła sukces ewolucyjny, kiedy przypadkiem w Ziemię trafiła asteroida, kiedy wskutek skomplikowanego współdziałania różnych sił grawitacyjnych niewielkie odchylenia orbity Ziemi od regularnego kształtu (co cały czas się dzieje) spowodowały zmianę bilansu promieniowania słonecznego i w następstwie zmianę klimatu.

W bardzo ogólnym sensie możemy mówić o istnieniu fizycznego mechanizmu, który utrzymuje zmiany bilansu węgla w pewnych granicach, mianowicie ograniczenia wynikające z termodynamiki chemicznej. Jeżeli na powierzchni Ziemi nagromadzi się dużo związków zredukowanego węgla, a w atmosferze odpowiednio wzrośnie ciśnienie parcjalne tlenu, to wzrośnie też potencjał redoks i przyspieszeniu ulegną procesy utleniania (nawet gwałtownemu, bo wzrośnie prawdopodobieństwo wybuchnięcia pożarów). Teoretycznie ten mechanizm mógłby doprowadzić do przywrócenia stanu równowagi termodynamicznej, i może kiedyś doprowadzi, ale będzie to oznaczało zanik wszelkich form życia, które czerpią energię dla siebie właśnie z potencjału redoks nierównoważonej termodynamicznie planety.

W tym miejscu nasuwa się dygresja. Zrównoważenie produkcji i dekompozycji (wliczając po stronie dekompozycji również naszą cywilizację) jest naszym cywilizacyjnym marzeniem. Troszcząc się o przyszłość, wielkie nadzieje pokładamy właśnie w „rozwoju zrównoważonym”. Ale to jest pojęcie nieprecyzyjne, a nawet mylące. „Rozwój zrównoważony” to oksymoron, zwrot wewnętrznie sprzeczny, tak jakbyśmy powiedzieli „rozwój stag-

nacyjny”. Tymczasem zasadą naszej cywilizacji jest właśnie rozwój – wszystkiego ma być coraz więcej; dobrobyt jest synonimem wzrostu (a nie stałości) wszystkich wskaźników – zatrzymanie dochodu narodowego stałym poziomem jest synonimem kryzysu. Ale fizyka jest nieubłagana: każdy wzrost, to brak równowagi – żeby wszystko co rośnie, pobiera więcej niż oddaje. Termin „rozwój zrównoważony” zawiera oszukańczą sugestię, że wzrost może być za darmo. Nie może! Lepszy jest odpowiednik angielski – *sustainable development*, czyli rozwój możliwy-do-podtrzymania”, inaczej rozwój, który jeszcze jakiś czas potrwa.

Druga dygresja – to problem zmieniającego się klimatu. Czy kiedykolwiek – na mitologicznie zrównoważonej Ziemi – był stały klimat? Oczywiście, że nie! Mieszkańcy Polski, której cały krajobraz ukształtowany został w epoce lodowcowej, gdyby tylko starannie się rozejrzeli, naocznie przekonaliby się, jak dramatycznie zmienił się tu klimat w ciągu zaledwie kilkunastu tysięcy lat. Ale mamy przecież dane paleoklimatologiczne, które wyraźnie świadczą o mniej głębokich, ale znacznie częstszych zmianach klimatu na Ziemi, mniej głębokich niż zlodowacenia i interglacjały, ale wystarczająco dużych, żeby wpłynąć na zmiany zasięgi gatunków, wymierania, a także zmiany warunków życia ludzi. Ale uwaga! To, że klimat Ziemi nigdy nie był dzięki hipotetycznej „równowadze w przyrodzie” utrzymywany na stałym poziomie, wcale nie znaczy, że mamy zaprzeczać temu, iż obecnie człowiek wpływa na kierunek i tempo zmian klimatu, oraz że może to mieć dla nas daleko idące, niekorzystne skutki. To trochę tak, jak płynąć na pontonie z prądem górskiej rzeki: żeby uniknąć katastrofy, nie wolno ani na chwilę przestać wiosłować - chociaż rzeka i tak płynie jak chce.

Równowaga w lokalnym ekosystemie: stały skład gatunkowy, stała biomasa?

Może niepotrzebnie sięgamy do zjawisk w wielkiej skali przestrzennej i czasowej? Może postulat „równowagi w przyrodzie” ma dotyczyć lokalnych biocenoz i ekosystemów, w skali czasowej jednego albo kilku pokoleń ludzkich – co się da ogarnąć pamięcią i wyobraźnią? Trzeba przyznać, iż hipotezę o równowagowych procesach na poziomie biocenozy i ekosystemu nie tylko poważnie rozważano, ale była to prawie że paradygmatyczna doktryna przez wiele lat rozwoju ekologii. Od co najmniej kilkudziesięciu lat wiadomo jednak, że ten pogląd nie ma podstaw.

W pierwszym etapie rozwoju ekologii przez pewien czas patrzono na ekosystemy, jak na su-

perorganizmy. Proces sukcesji ekologicznej: stopniowego zasiedlania terenu, z następstwem kolejno pojawiających się gatunków, zastępowanych przez inne, stopniowym wzrostem całkowitej bio-masy, wreszcie – pozornym ustaniem zmian i ustabilizowaniem się składu gatunkowego, tempa produkcji i dekompozycji – wszystko to można wydawało się analogią do wzrostu i rozwoju, a następnie okresu dojrzałości osobnika. U każdego organizmu można dostrzec i rozsądnie uzasadnić celowość w budowie i funkcji. Współdziałanie części organizmu podporządkowane jest wspólnemu celowi (przeżyć, wydać potomstwo), wynikającemu z programu, w jaki każdy organizm jest wyposażony. Dlatego każdy organizm wykazuje równowagę a nawet homeostazę. Ale ta analogia jest fałszywa w stosunku do ekosystemu, który żadnego celu nie ma, zatem żadnych zadanych parametrów, a organizmy w jego składzie – faktycznie współdziałają, ale robią to każdy dla swojego egoistycznego celu (przeżyć, wydać potomstwo), a nie dla wspólnego dobra. Ten superorganizmalny sposób myślenia w ekologii dawno odrzucono.

Ale przecież w ekosystemach trwają procesy o mierzalnych tempach: produkcja, dekompozycja, imigracja, emigracja, rozród, śmiertelność, pojawianie się gatunków i znikanie. Tempa mogą być różne, albo jednakowe – wtedy dana zmienna (np. ilość biomasy, różnorodność gatunkowa) pozostaje w równowadze. Ekolodzy od dawna wiedzą, że interakcje międzygatunkowe nie wynikają z troski o wspólne dobro ekosystemu, ale zasadne jest pytanie, czy z interakcji tych nie wynika właśnie ustalanie się równowagi tempa procesów, a może nawet regulacja.

Klasycznym modelem w ekologii jest równanie logistyczne – które przewiduje początkowo przyspieszone tempo wzrostu liczebności populacji, a następnie spowolnienie aż do ustabilizowania stałej liczebności, takiej, by populacja pozostawała w równowadze z jej zasobami (osiągała liczebność odpowiadającą „pojemności siedliska”, co w praktyce oznacza, że tempo rozrodu i śmiertelność populacji też się równoważą. Podstawowe podręczniki ekologii zawsze zamieszczają proste modele Lotki i Volterry, złożone z układów równań różniczkowych, które pokazują, w jaki sposób mogą stabilnie koegzystować dwie konkurujące populacje. Wynika z tego wniosek, potwierdzony też eksperymentalnie, że koegzystować mogą gatunki, których nisze ekologiczne się różnią, a przynajmniej nie pokrywają się za bardzo. Na tej przesłance zbudowano tzw. równowagową teorię zespołu: liczba gatunków, jakie mogą zasiedlić dany obszar, zależy od tego, ile pomieści się w danym

środowisku nisze ekologicznych, czyli sposobów życia, zdobywania pokarmu, schronienia, itp., na tyle rozmaitych, żeby natężenie konkurencji między podobnymi gatunkami było niewielkie, inaczej przetrwa tylko jeden z nich. Jeżeli wszystkie nisze zostaną zajęte – zespół osiągnie stan „nasylenia” i pozostanie w równowadze; jakieś gatunki mogą zostać zamienione przez inne, ale liczba gatunków (zajętych nisze) się nie będzie zmieniała. Co więcej, dane siedlisko, w określonym klimacie, na określonym podłożu, skupi zespół gatunków, które będą akurat do tego środowiska przystosowane, to znaczy zarówno do warunków fizycznych, jak do konkurencji z innymi. Dlatego zespół jest powtarzalny, las mieszany w równych miejscach w Polsce będzie miał te same mniej więcej gatunki roślin, owadów i ptaków. Dzięki tej stałości zespoły można klasyfikować i nadawać im nazwy.

Jednak postęp badań ekologicznych, coraz lepsza znajomość rzeczywistych struktur i procesów zmusiła do rewizji tego stanowiska. Jednym z czynników, które się do tego przyczyniły były na wielką skalę zdarzające się – za sprawą człowieka – zmiany w składzie biocenoz, na przykład spowodowane zawlekaniami gatunków z innych części świata. Okazywało się wtedy, że zespoły wcale nie były nasycone – mogły pomieścić więcej gatunków. O tym, jakie zestaw gatunków w danym miejscu tworzy zespół, w znacznie większej mierze, niż przypuszczano, zależy od tego, jakie akurat gatunki zdolają dotrzeć w to miejsce, a w mniejszym – od tego, jakie interakcje z innymi gatunkami są możliwe.

Z drugiej strony, uważne śledzenie liczebności wielu populacji, przez długi czas pokazało, że prawie żadna z nich nie utrzymuje stałej, ani nawet mało zmiennej liczebności. Wahania liczby osobników są głębokie i chaotyczne, w znacznie większej mierze spowodowane przypadkowymi czynnikami zewnętrznymi. Najbardziej różnorodno zespoły utrzymują się tam, gdzie najczęściej występują rozmaite, niewielkie zaburzenia: takie, które nie pozwalają osiągnąć żadnej populacji liczebności zbliżonej do teoretycznie maksymalnej, ale też nie powodują jej wyćpienia. Niskie zagęszczenia populacji powodują, że mniej nasilone są interakcje konkurencji między podobnymi do siebie gatunkami, w rezultacie koegzystować mogą nawet takie, które zgodnie z teorią i eksperymentami w sztucznych warunkach, powinny się wzajemnie wykluczać. Z drugiej strony, często układ drapieżnika i ofiary okazywał się nader często niestabilny: drapieżniki zbyt intensywnie eksploatowały ofiarę, trzebiąc ich populacje do tego stopnia, że same musiały wyginać.

Jednym ze spektakularnych wyników była opublikowana w 2008 roku eksperymentalna praca nad zespołem planktonu z Morza Bałtyckiego, którego dynamika była w stałych, sztucznych warunkach obserwowana przez prawie 8 lat bez przerwy. Hodowanie całego ekosystemu jest trudne, ale tym razem się udało. Wynik był dość deprymujący – żadna z kilkunastu gatunkowych populacji nie utrzymywała stabilnej liczebności, wahania były bardzo duże i niemożliwe do przewidzenia. Mimo to zespół organizmów planktonowych przetrwał przez wiele sezonów. Staranne zbadanie bardzo bogatej fauny roślinożernych owadów w lesie tropikalnym przyniosło nieoczekiwane odkrycie, że większość z nich nie specjalizuje się w gatunku rośliny żywicielskiej, ich nisze pokarmowe nakładają się w wielkim stopniu, co według równowagowej teorii powinno prowadzić do wyeliminowania gatunków i zmniejszenia różnorodności.

Te obserwacje skłoniły badaczy do poszukiwań innych niż dotąd teorii, które lepiej pozwoliłyby wyjaśniać i przewidywać strukturę i dynamikę wielogatunkowych zespołów – w odróżnieniu od dotychczasowych, nazywa się je teoriami nierównowagowymi (*non-equilibrium theories*). W ich świetle przyjmuje się, że wszystkie zbiorowiska organizmów mają charakter przejściowy; pozory stałości biorą się zwykle stąd, że obserwacje trwają za krótko. Podejście nierównowagowe nie zaprzecza temu, że dany zespół gatunków, w danych warunkach siedliskowych, mógłby w końcu uzyskać stan równowagi, wynikający z sieci interakcji międzygatunkowych. Taki teoretyczny punkt równowagi pewnie istnieje, tylko że dany zespół nie zdąży go osiągnąć, bo ustawiczne przypadkowe fluktuacje warunków powodują, że zespół nie może się dojść do hipotetycznej równowagi. Podejście nierównowagowe jest bardziej realistyczne, niestety również dlatego, że z góry określa swoje ograniczenia.

Wielu badaczy obecnie pilnie śledzi zmiany w rzeczywistych zespołach różnych organizmów, w różnych środowiskach i rejonach geograficznych, podczas gdy inni, pochyleni nad komputerami, starają się stworzyć jak najlepsze modele matematyczne, opisujące te rzeczywistości. Trwają spory i debaty, nie wiadomo jeszcze, jaki ostateczny kształt przybierze teoria bioróżnorodności, ani kiedy będzie gotowa. Czekają na nią niecierpliwie specjaliści praktycy ochrony przyrody, bo skuteczność ich pracy zależy od dobrego rozumienia zasad funkcjonowania przyrody.

Ale w praktyce ochronny przyrody notorycznie przeszkadza mit o bliżej nie określonej, odwiecznej

równowadze w przyrodzie, zaburzonej przez człowieka (ku jego zgubie). Wynika stąd inne przekonanie, że mianowicie przyroda najlepiej funkcjonuje sama, niczego nie należy zmieniać ani regulować, bo każda ingerencja człowieka jest szkodliwa. Jeżeli znowu oddzielić od tego doktrynę aksjologiczną, przypisująca wyższą wartość przyrodzie niż człowiekowi, a skupić się na rzeczywistości przyrodniczej, to takie sformułowanie nie ma sensu: każdy gatunek wpływa na inne gatunki i na swoje środowisko, człowiek – jak każdy inny gatunek – robi to samo. Nie ma żadnego ustalonego stanu przyrody, który należałoby utrzymać dla niego samego. Ochrona przyrody i środowiska jest dla człowieka warunkiem podtrzymania przyzwoitych warunków życia dla obecnych i przyszłych pokoleń, a regulacja parametrów biosfery byłaby pożądana, bo wszelkie zmiany warunków (wszystko jedno, w jakim stopniu spowodowane przez człowieka) są dla niego niekorzystne. Patrząc trzeźwo, można mieć wątpliwości, czy to się może udać: nawet jeżeli taka regulacja parametrów leży fizycznie w zakresie możliwości naszej cywilizacji, to pozostają do rozwiązania problemy społeczne, ekonomiczne, polityczne i psychologiczne. Niczego w tym zakresie nie można osiągnąć bez poświęceń indywidualnych, w imię dobra wspólnego, a to bardzo trudno osiągnąć

w skali osiedla, a cóż dopiero w skali planety. Pozostaje otwarte pytanie, postawione na wstępie: lepiej wiedzieć, czy wierzyć? Lepiej kierować się rozumem, czy emocjami?

Badacze są zgodni, że żadnej ogólnej „równowagi w przyrodzie” nie ma i być nie może. Wszystkie nowoczesne podręczniki ekologii są w tej mierze jednomyślne, klarowne i pełne sugestywnych ilustracji. I mimo to, mit równowagi w przyrodzie ma się doskonale, wielu ludzi woli wierzyć, że przyroda utrzymuje się samoczynnie w równowadze, która jest dla niej dobra, wszystkie organizmy działają dla dobra wspólnego, a tylko człowiek tę równowagę burzy.

Psycholodzy i socjolodzy dobrze wiedzą, że przekonania wpojone przez kulturę mogą utrudnić nauczanie i uczenie się pojęć naukowych, a „równowaga w przyrodzie” jest tego dobitnym przykładem. Dwie badaczki amerykańskie Corinne Zimmerman (psycholog) i Kim Cuddington (ekolog) zrobiły badania ankietowe wśród studentów amerykańskich; wynika z nich nie tylko to, że początkujący mają poglądy takie, jak reszta niewykształconego społeczeństwa, ale nawet po studiach przyrodniczych znaczna ich część trwa przy starych poglądach. Nie jest to konkluzja uspokajająca, ale zachęta do pracy.

Prof. zw. dr. hab. med. Krystyna Obtułowicz jest kierownikiem Zakładu Alergologii Klinicznej i Środowiskowej i Katedry Toksykologii i Chorób Środowiskowych Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie.

W PRZESZŁOŚCI METALE CIĘŻKIE, DZISIAJ OZON, JAKIE ZAGROŻENIA NIESIE PRZYSZŁOŚĆ?

Barbara Godzik (Kraków)



Po II wojnie światowej w krajach socjalistycznych rozwijane były przestarzałe technologie przemysłowe. Lata 70. i pierwsza połowa lat 80. to najwyższe emisje z zakładów przemysłowych i energetyki. Do najbardziej zanieczyszczonych obszarów w Polsce zaliczano wówczas obszar Górnego Śląska i region krakowski. Największe problemy dla środowiska, w związku z istnieniem dużych kombinatów metalurgicznych, stwarzało wysokie obciążenie metalami ciężkimi. Toksyczne metale akumulowane były zarówno przez rośliny uprawne, jak i dziko rosnące. W badaniach stopnia zanieczyszczenia środowiska szeroko stosowane są, obok metod technicznych, metody biologiczne. Wśród wskaźników biologicznych do najczęściej używanych należą mchy i porosty, rzadziej rośliny

wyższe. Systematyczne badania przy użyciu mchów (*Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*) jako wskaźników poziomu metali w środowisku prowadzone od połowy lat 70. w parkach narodowych, jak i całej Polsce wykazały, że poziom metali znacznie obniżył się już w drugiej połowie lat 80. i obecnie nie jest zbyt wysoki. Nadal jednak na tle Europy, Polska i kraje sąsiadujące są bardziej zanieczyszczone niż inne regiony Europy Zachodniej.

Zmiany poziomu kwaśnych zanieczyszczeń środowiska (spowodowanych przez emisje np. dwutlenku siarki) doskonale rejestrują porosty. W wyniku ich obniżenia w wielu regionach Polski dotychczas znacznie obciążonych zarejestrowano powrót wrażliwych na te zanieczyszczenia gatunków porostów, jak np. w Puszczy Niepołomickiej.