

## January Weiner

Instytut Nauk o Środowisku  
Uniwersytet Jagielloński  
january.weiner@uj.edu.pl

# Kto się boi ekologii molekularnej?

## Tło

W burzliwej dekadzie 1980-90, na łamach żywo w owym czasie redagowanego biuletynu „Wiadomości ekologiczne”, toczyły się ciekawe dyskusje ekologów, spowodowane niepewnością, czy wiedzą, co robią. Zastanawiano się, na przykład, czy językiem ekologii jest (powinna być?) matematyka, i jaka miała by być ekologia po roku 1990 (Dyskusja 1989). Owe debaty, oprócz swoich przejawów papierowych, miały również znacznie głębszy nurt rozmów i sporów dziennych i nocnych, wspomaganych jedynymi dostępnymi wówczas napojami energetycznymi. Te dysputy skłaniały do pytań fundamentalnych – co to nauka, co ekologia, a nawet – czy coś takiego w ogóle istnieje (Weiner 1991). Patrząc z perspektywy minionego ćwierćwiecza widzę, że chociaż

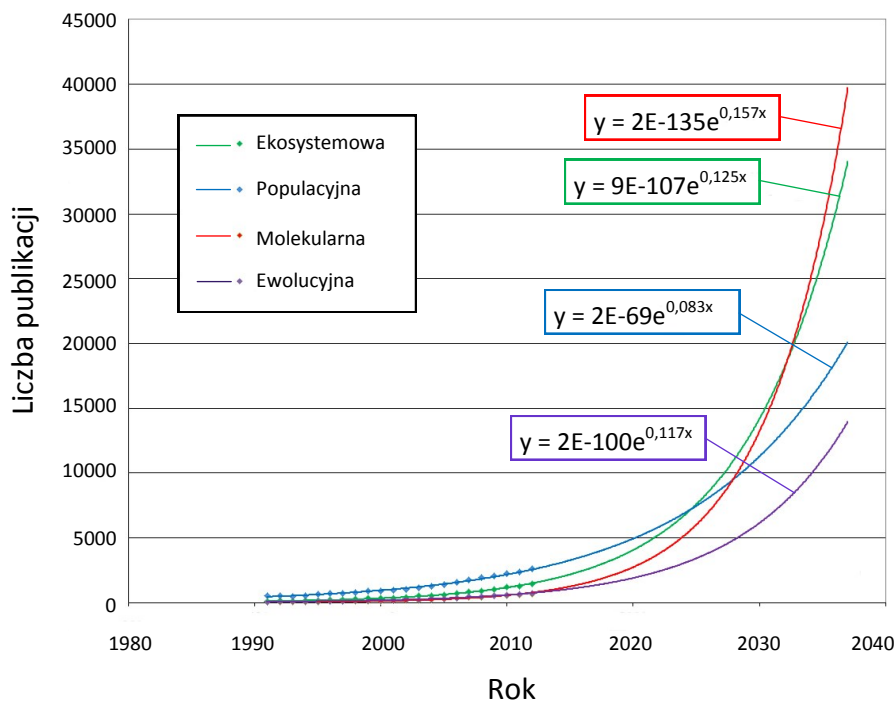
na pytanie „co to jest ekologia?” nie znaleziono odpowiedzi, nie był to czas stracony. Dla wielu, wówczas jeszcze młodych ekologów, dyskusje te były pomocą w podejmowaniu ważnych życiowych decyzji. Może warto sprowokować znowu taką wymianę myśli. Zmieniło się środowisko zewnętrzne – inna jest organizacja nauki, inne mamy obyczaje, inny styl polemik. Medialna „narracja” (modne słowo, zdaje się pochodzi z niem. *Narr*) uczy, że najlepszy sposób sprowokowania zażartej dyskusji, to dopuszczenie do głosu kogoś, kto nie ma pojęcia o sprawach, o których się autorytatywnie wypowiada. No to napisałem ten artykuł o ekologii molekularnej.

## Pojaw masowy

W Ileż jest różnych ekologii! Jest ekologia populacyjna i ekologia globalna, ekologia ewolucyjna, i ekologia ekosystemów; ekologia glonów i ekologia człowieka. Była kiedyś aut-ekologia (ekologia motoryzacji?) i syn-ekologia (dlaczego syn a nie córka?); usługowa przeglądarka internetowa podsuwa jeszcze gin-ekologię. Od kilkunastu lat coraz głośniej jest o „ekologii molekularnej”. Prawie wszystkie instytuty zajmujące się ekologią mają już rozbudowane laboratoria molekularne. Najzdolniejsi absolwenci wybierają studia doktoranckie w zespołach zajmujących się ekologią molekularną. Na hasło „*molecular ecology*” *Science Citation Index* wyrzuci 5618 wyników. To wciąż mniej niż dla „*population ecology*” (30169), „*ecosystem ecology*” (13408) czy nawet „*evolutionary ecology*” (7062), ale liczba publikacji z takim tematem rośnie wykładniczo. Nic dziwnego, bo liczba wszystkich publikacji ze wszystkich dziedzin rośnie wykładniczo, ale jednak eksponenty się różnią.

Policzone dla lat 1991-2012 (bez 2013, bo dane dla ostatniego roku są zwykle zaniżone) współczynniki regresji eksponencjalnej wynoszą ok. 0,157 dla ekologii molekularnej, 0,125 dla ekologii ekosystemów, 0,117 dla ekologii ewolucyjnej i 0,083 dla ekologii populacyjnej. Zatem – ekologia molekularna ma największe przyspieszenie (a populacyjna – najmniejsze). Gdyby tak miało być dalej (uwaga! nieuprawniona ekstrapolacja!), to do r. 2037 ekologia molekularna przegoniła by wszystkie pozostałe. (Ryc. 1). Praca wre. Flagowe czasopismo *Molecular Ecology* wypuszcza po dwa zeszyty miesięcznie, ponad 4000 str. rocznie.

Co to za fenomen? Skąd ta popularność? Czy ekologia molekularna zajmuje się ekologią molekuł, tak jak ekologia populacyjna populacjami, a ekologia borsuków – borsukami? Oczywiście, nie: chodzi o warsztat: „molekularna” posługuje się metodami zapożyczonymi z biologii molekularnej. Jednak dziedziny nauki nie deli-



Ryc. 1. Ekspozycyjny wzrost liczby publikacji, wykrywanych przez Science Citation Index w tematyce ekologii ekosystemowej, populacyjnej, molekularnej i ewolucyjnej; linie regresji ekstrapolowane do r. 2037.

mituje warsztat badawczy, ani nawet obiekt. To, co konstytuuje odrębność dziedziny, to specyficzny dla niej hierarchiczny system teoretyczny. W ten sposób z kontinuum nauk przyrodniczych można wyodrębnić biologię, z jej głównym paradygmatem jakim jest teoria ewolucji, i ogólnymi teoriami niższej rangi, w tym teorią dziedziczenia i biochemii molekularnej. Ekologia (jakakolwiek) nie ma własnego szkieletu teoretycznego w obrębie tego systemu – może jedynie pretendować do kategorii programu badawczego biologii (*sensu* Lakatos; Weiner 1991). Nie jest to kwalifikacja deprecjonująca: ekologia jest programem badawczym o fundamentalnym znaczeniu, bo swoją produkcją wspiera zarówno teoretyczną biologię ewolucyjną jak i ważne dziedziny stosowane. Zapewne, wielu ekologów nie zgodzi się z taką kwalifikacją ekologii, widziałem na własne oczy urzędowe pismo wystosowane przez Centralną Komisję ds. Tytułów i Stopni Naukowych, które orzekło, że zgodnie z obowiązującym prawem, ekologia nie jest biologią (ale to osobny temat). Ja jednak pozostanę przy swoim. Ekologia nie stwarza nowych pojęć, nowych zrębów teoretycznych, bada problemy ogólnobiologiczne, ograniczając badania do wybranych przejawów życia na Ziemi – interakcji między organizmami w wielogatunkowych zespołach. Posługuje się przy tym różnymi metodami, wybiera bardzo rozmaite obiekty, realne i abstrakcyjne. Sytuacje, którymi ten program badawczy szczególnie się interesuje, i które odróżniają go od innych, to interakcje organizmów w wielogatunkowych zgrupowa-

niach (nazywanych przez ekologów np. biocenozami, albo ekosystemami).

Ponieważ nauki przyrodnicze stanowią kontinuum, pomiędzy dziedzinami i programami badawczymi, a nawet obiektami, jest ciągłość, to na kresach ekologii – na pograniczu z innymi dziedzinami – pojawiają się specyficzne pod-programy badawcze, dla zdefiniowania których słowo ekologia nie jest w ogóle potrzebne. Jest tam ekologia (biologia) behawioralna, ekologia fizjologiczna (fizjologia środowiskowa, bioenergetyka), genetyka populacyjna, ekologia (biologia) ewolucyjna, (eko) toksykologia, i wiele innych. W centrum pozostaje ekologia populacji, zespołu (biocenozy) i ekosystemu. Paradoxs polega na tym, że dziedziny marginalne dla ekologii często charakteryzują się znacznym rygorem metodologicznym (co m.in. zawdzięczają mniejszej skali przestrzennej i czasowej badanych obiektów, na ogół dobrze wyodrębnionych z kontinuum rzeczywistości), korzystają z wyrafinowanych metod laboratoryjnych, łatwo poddają się formalizacji matematycznej, a publikacje trafiają do czasopism o większej sile przebicia, jednym słowem – dla ambitnych badaczy są bardziej atrakcyjne, niż badania obiektów emblematycznych dla ekologii, ale nieznośnie skomplikowanych, wyodrębnionych z reszty świata przez arbitralne i niejasne definicje, o skali przestrzenno-czasowej nie dającej się opanować w nie tylko w ciągu jednego doktoratu, ale nawet przedłużanego dwukrotnie zespołowego grantu.

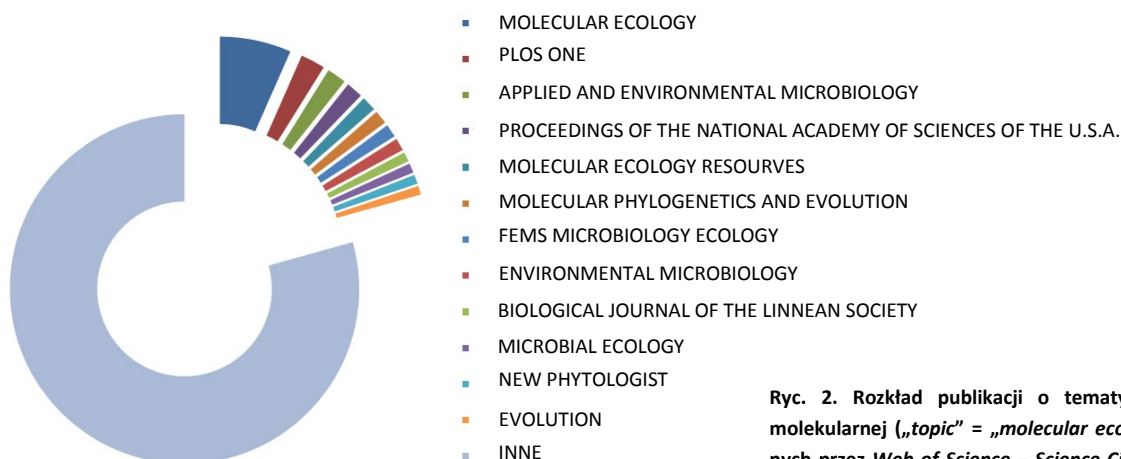
Ekologię – właśnie jako program badawczy biologii – stworzył nie kto inny, jak sam Karol Darwin, przy oka-

zji zbierania materiałów opisowych i eksperymentalnych dla wsparcia swojej teorii (Weiner 2009). Nie widział jednak potrzeby, żeby ten wynalazek patentować – traktował ów program badawczy jako coś oczywistego w dociekaniach nad naturą życia i jego ewolucji. Ekologię jako odrębną dziedzinę, z osobną nazwą zaczerpniętą z greki, wymyślił Haeckel<sup>1</sup>, ale Darwin się z jego słotwórczej manii naigrawał<sup>2</sup>.

Patrząc nieuzbrojonym okiem laika na to, czym właściwie jest ekologia molekularna, dochodzę do wniosku, że podobnie jak ekologia (*sensu stricto*), ekologia molekularna jest programem badawczym biologii (głównie ewolucyjnej), jeszcze bardziej niespójnym niż ekologia. Miejskami oba te programy się stykają, ale w znacznej większości biegają osobno; słowo „ekologia” (z przymiotnikiem „molekularna”) jest wygodne dla określenia rozmaitych tematów badań, luźno powiązanych wspólnym warsztatem, właśnie dlatego, że jego sens jest rozmyty w każdym kontekście.

O separacji obu tych nurtów świadczą różnice w sposobie publikowania. Okazuje się bowiem, że prace, które kwalifikują się do „ekologii molekularnej” – poza dwoma flagowymi czasopismami z ekologią w tytule (*Molecular Ecology*, *Molecular Ecology Resources*) prawie wcale w czasopismach *par excellence* ekologicznych się nie pojawiają, rozproszone są natomiast w wielkiej liczbie czasopism multidyscyplinarnych, ogólnobiologicznych, a także ewolucyjnych (Ryc. 2). Pobeżny przegląd ostatnich roczników najbardziej wpływowych czasopism ściśle ekologicznych: *Ecology Letters*, *Oikos* czy *Ecology* świadczy, że udział prac, które można by zaliczyć do działu „molecular ecology” stanowi w nich zaledwie ułamek procenta.

Atrakcyjność „ekologii molekularnej” wśród adeptów biologii tłumaczy się niekiedy jej większą siłą przebicia (spodziewana liczbą cytowań). Wiele lat temu przekonywał mnie o tym pewien światowej sławy uczyony, zajmujący się interakcjami zwierzę/roślina, który



Ryc. 2. Rozkład publikacji o tematyce ekologiczno-molekularnej („topic” = „molecular ecology”) wykrywanych przez *Web of Science – Science Citation Index*, pomiędzy różne czasopisma.

<sup>1</sup> „Unter Oecologie verstehen wir die gesammte Wissenschaft von den Beziehungen des Organismus zur umgebenden Aussenwelt, wohin wir im weiteren Sinne alle „Existenz-Bedingungen“ rechnen können. Diese sind theils organischer, theils anorganischer Natur; sowohl diese als jene sind, wie wir vorher gezeigt haben, von der grössten Bedeutung für die Form der Organismen, weil sie dieselbe zwingen, sich ihnen anzupassen.“ – Ernst Haeckel 1866: *Generelle Morphologie der Organismen. Allgemeine Grundzüge der organischen Formen-Wissenschaft, mechanisch begründet durch die von Charles Darwin reformirte Descendenz-Theorie*. Berlin, 1866; Bd. 2, S. 286. <http://www.biodiversitylibrary.org/item/52177#page/454/mode/1up>.

W tłumaczeniu (JW): „Przez ekologię rozumiemy całą wiedzę o związkach organizmu z otaczającym środowiskiem zewnętrznym, do czego, w szerszym sensie, możemy zaliczyć wszystkie „warunki bytowe”. Te zaś są po części natury organicznej, po części nieorganicznej; są także tymi, które, jak już poprzednio wykazaliśmy, mają wielkie znaczenie dla formy organizmów, ponieważ zmuszają je do tego, aby się do nich przystosowały.”

<sup>2</sup> W liście do Huxleya z dn. 22. grudnia 1866 Darwin pisał: „My dear Huxley, | I suppose that you have received Häckels book some time ago, as I have done. [...] — I have been able to read a page or two here & there, & have been interested & instructed by parts. But my vague impression is that too much space is given to methodical details, & I can find hardly any facts or detailed new views. The number of new words, to a man like myself weak in his Greek, is something dreadful. He seems to have a passion for defining, I daresay very well, & for coining new words. [...] Ever my dear Huxley | Your sincere friend | Ch. Darwin.”

<http://www.darwinproject.ac.uk/darwinletters/calendar/entry-5315.html>

właśnie z tego powodu przerzucił się wyłącznie na metody molekularne. Kiedy nieśmiało oponowałem, że przecież chodzi o dociekanie prawdy, i że nie każdy temat warto badać akurat metodami molekularnymi, odrzekł: „robisz coś ważnego? chcesz, żeby ludzie się o tym dowiedzieli? no to zobacz jaki *impact factor* ma *Ecology*, a jaki *Molecular Ecology*”. Ale mój rozmówca po zmianie warsztatu nadal publikuje w najlepszych czasopismach, znacznie wyżej notowanych niż to, które

wymienił. Albowiem publikacje z zakresu ekologii molekularnej lepiej się rozchodzą, jeżeli trafią do czasopism nieekologicznych. Według aktualnego rankingu IF w *Journal Citation Report* w kategorii „*ecology*” czasopismo *Molecular Ecology* zajmuje dopiero dziesiąte miejsce (IF = 6,275), *Molecular Ecology Resources* – siódme (7,432), daleko za przeglądowymi i multidyscyplinarnymi, nie mówiąc o rekordowym *Ecology Letters* (IF = 17,949; Tabela 1).

Tabela 1. Siła przebicia (IF) i czas półtrwania cytowań dwudziestu najwyżej notowanych czasopism ekologicznych (źródło: *Journal Citation Report, Web of Knowledge*, kategoria „*Ecology*”).

	Czasopismo	IF	Czas półtrwania cytowań
1	ECOL LETT	17,949	6,1
2	TRENDS ECOL EVOL	15,389	8,9
3	ANNU REV ECOL EVOL S	10,375	>10,0
4	ISME J	8,951	2,8
5	ECOL MONOGR	8,085	>10,0
6	FRONT ECOL ENVIRON	7,615	5,1
7	MOL ECOL RESOUR	7,432	3
8	GLOBAL ECOL BIOGEOGR	7,223	5,6
9	GLOBAL CHANGE BIOL	6,910	5,7
10	MOL ECOL	6,275	6,6

	Czasopismo	IF	Czas półtrwania cytowań
11	DIVERS DISTRIB	6,122	4,6
12	METHODS ECOL EVOL	5,924	2
13	P ROY SOC B-BIOL SCI	5,683	8,4
14	J ECOL	5,431	>10,0
15	ECOLOGY	5,175	>10,0
16	ECOGRAPHY	5,124	6,3
17	EVOLUTION	4,864	>10,0
18	J BIOGEOGR	4,863	6,8
19	FUNCT ECOL	4,861	8,1
20	J ANIM ECOL	4,841	>10,0

### Mimikra batesjańska?

Co ekologia ma z ekologii molekularnej? Czym się ten wielowątkowy program badawczy naprawdę zajmuje? Co ma wspólnego z ekologią, a co z biologią molekularną? A raczej odwrotnie: czym różni się od jednej i od drugiej? Gdzie naprawdę ekologia molekularna wnosi coś nowego i ważnego do ekologii, gdzie stanowi tylko podręczną skrzynkę narzędziową, a gdzie w ogóle z ekologią nie ma nic wspólnego? A może to mimikra batesjańska – ekologia udaje naukę ścisłą (przymiotnik „molekularny” to cecha aposematyczna!), albo odwrotnie, biologia molekularna udaje ekologię (tylko po co?).

Biorąc pod uwagę różnorodność zagadnień, którymi zajmują się ekolodzy molekularni, próba odpowiedzi na te pytania nie byłaby łatwa, zwłaszcza dla laika, gdyby

nie to, że flagowe czasopismo – *Molecular Ecology* – niedawno samo opublikowało „*Road map paper*” (Andrew i in. 2013), aby zdefiniować czym się właściwie zajmuje. Innym miarodajnym źródłem informacji jest standardowy podręcznik (Freeland 2008, Freeland Kirk i Petersen 2011). Skorzystałem też z materiałów do kursu „*Molecular ecology*” udostępnionych na witrynie internetowej Instytutu Nauk o Środowisku UJ przez dr hab. Wiesława Babikę (INS.EKO-6;

[http://www.eko.uj.edu.pl/molecol/index.php?option=com\\_content&view=article&id=105&Itemid=101](http://www.eko.uj.edu.pl/molecol/index.php?option=com_content&view=article&id=105&Itemid=101)).

Przeglądnięcie tych publikacji, a dodatkowo kilku roczników *Molecular Ecology* i stron internetowych in-

stytucji z „*molecular ecology*” w nazwie, upewnia o jednym: metody molekularne, a właściwie powstanie genetyki molekularnej wraz z jej arsenalem metod, zrewolucjonizowało genetykę populacyjną. Nie ma już innej, tylko molekularna. To, co łączy wszystkie tematy badawcze w obrębie „ekologii molekularnej” to warsztat (w szerokim pojęciu tego słowa: techniki laboratoryjne i podejście do rozwiązywania problemów, system pojęć i metody obliczeniowe), w zasadzie identyczny z warszta-tem genetyki molekularnej. Upraszczając, można by nawet powiedzieć, że „ekologia molekularna” jest po prostu genetyką molekularną, a różnica polega wyłącznie na tym, że zajmuje się organizmami „dzikimi”, pochodzącymi z natury, a nie tylko laboratoryjnymi, jak *E. coli*, *C. elegans*, *A. thaliana*, *D. melanogaster* i *R. norvegicus*. Wybitni „ekolodzy molekularni”, których o to pytałem, wcale nie kryją, że naprawdę czują się genetykami, a nie ekologami.

Nowe narzędzia otworzyły dostęp do badania organizmów naprawdę ważnych dla funkcjonowania biosfery (i dla teorii biologicznych), a dawniej niedocenianych: mikroorganizmów i mikroskopijnych bezkręgowców, detronizując zaś ssaki, ptaki i rośliny naczyniowe (podręczniki ekologii powinny mieć nowe wydania). Można zaryzykować twierdzenie, że jeden z głównych nurtów ekologii molekularnej – molekularna genetyka populacyjna – zajmuje miejsce genetyki populacyjnej uprawianej tradycyjnymi metodami, a wynikająca z bibliometrii prognoza, że „ekologia molekularna” wkrótce wyprzedzi „ekologię populacyjną” pod względem liczby publikacji i cytowań (Ryc. 1) znajduje tu uzasadnienie.

Rzutuje to niewątpliwie na rozwój ekologii populacyjnej i tej części ekologicznych podstaw ochrony przyrody, które z ekologią i genetyką populacyjną mają bezpośredni związek (*conservation genetics*), to znaczy przede wszystkim ochrony gatunkowej pojedynczych,

## Tereny i metody

Ogromną siłą metod genetyki molekularnej jest możliwość ich uniwersalnego stosowania do identyfikacji organizmów, przy czym materiał do badań można zdobywać sposobami nie tylko nie zabijającymi, ale w ogóle nieinwazyjnymi (wystarczy próbka odchodów, odrobina sierści czy piór, itd.). Można w ten sposób ustalać przynależność taksonomiczną, identyfikować gatunki i płeć osobników (ważne, gdy zawodzą metody oparte o morfologię, jak choćby w przypadku gatunków kryptycznych, osobników młodocianych, larw, itd.),

skrajnie zagrożonych gatunków, których populacje już są w genetycznych tarapatach. Takie *case studies*, jak ochrona żubra czy geparda, zawdzięczają dużo molekularnym metodom, z drugiej strony istnienie zagrożonych populacji, zwłaszcza spektakularnych gatunków, daje pole do popisu „konserwatywnym genetykom molekularnym” (no i szanse na zdobycie grantu), ale nie miejmy złudzeń: rzadko badania te mają jakiegokolwiek praktyczne znaczenie. Owszem, molekularna identyfikacja szczątków organicznych może pomóc w zwalczaniu handlu chronionymi gatunkami (na czubku góry lodowej), pomiar zmienności, stopnia inbrodu i heterozygotyczności czy ocena żywotności ułatwią gospodarowanie zagrożonymi populacjami, ale po przeciwnej stronie mamy zorganizowane gangi kłusowników, stosujące broń maszynową, cyjanek i helikoptery dla pozyskania np. ciosów słoń i rogów nosorożców, na które obywatele wschodniej Azji wydają więcej pieniędzy, niż odpowiednie fundacje na badania naukowe (niestety, nawet wynalezienie viagry nie zaspokoilo tego popytu). W minionym roku w Afryce Zachodniej podobno skłusowano w ten sposób 32 000 słoń leśnych (prawie 100 dziennie), a w Afryce Południowej ponad tysiąc białych nosorożców (<http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-25781746>). Naszym żubrom to chyba nie grozi, ale w większości wypadków gatunki są zagrożone nie z powodu niedostatecznej wiedzy o ich genetyce, tylko z powodu niszczenia siedlisk, a zatem skutek naszej nieopamowanej predylekcji do postępu, dobrobytu, sportów zimowych itp., z czym liczą się politycy i leśnicy. Rozwiązywanie problemów o szerszym zasięgu – ochrona różnorodności, ochrona siedlisk itd., musi się wciąż opierać na innego typu badaniach, i zapewne ważniejsze byłyby tu odkrycia w dziedzinie socjologii (a niechby i molekularnej!) niż jakiegokolwiek nauki biologicznej.

można ustalić zasięg osobników klonalnych (niektóre rośliny, grzyby).

Dzięki temu metody genetyki molekularnej mogą być wykorzystywane w rozmaitych działach ekologii (*sensu stricto*), jako czysto służebne, a bardzo skuteczne techniki badawcze. Z punktu widzenia korzyści dla ekologii (*sensu stricto*) wymienić tu można weryfikację list gatunków składających się na zespół, ustalenie składu diety, dzięki czemu można ustalać (a przynajmniej częściowo weryfikować) powiązania sieci troficznych.

Dla wielu projektów ekologicznych przydatność metod molekularnych do identyfikacji badanych organizmów jest nie do przecenienia, ale samo wykorzystanie tych technik trudno nazwać „ekologią molekularną”, badania, które je stosują należą do innych dobrze określonych działów (np. ekologii populacji, zespołów czy ekosystemów). Wydaje się jednak, że postęp w ekologii dzięki zastosowaniu tych metod dopiero nastąpi. Na razie w badaniu sieci troficznych nowe horyzonty otwiera (a może tylko uchyla do nich dostęp?) inny wytrych – izotopy stabilne węgla i azotu.

Już dziś jednak można stwierdzić, że metody molekularne dokonały rewolucyjnego postępu w ekologii mikroorganizmów. Szczególne znaczenie ma możliwość wykrywania i identyfikowania mikroorganizmów w środowiskach, gdzie dawniej nie były w ogóle wykrywane (albo w ogóle nie były jeszcze znane nauce), zarówno w ekosystemach wodnych jak lądowych (w glebie). W tej dziedzinie metody molekularne (w szczególności badanie rybosomalnego RNA) okazały się niezastąpione i można postawić tezę, że innej niż molekularna ekologii mikroorganizmów już nie będzie.

Biolodzy różnych specjalności (nie tylko mikrobiolodzy) wiele sobie obiecują po uniwersalnej technice rozpoznawania gatunków za pomocą „kodu kreskowego DNA” (ang. *DNA barcoding*). Metoda ta w założeniu powinna posłużyć do błyskawicznego, mało kosztownego a wysoce wiarygodnego identyfikowania gatunków, których oznaczania zwykle wymaga wielkiego nakładu pracy specjalistów-taksonomów. W przypadku mikroorganizmów (bakterii i grzybów) i mikroskopijnych bezkręgowców (np. nicieni) metoda ta miałyby umożliwić spo-

## Upwelling

Główny nurt (i to wznoszący) aktywności obejmowanych wspólną nazwą „ekologia molekularna”, to badania z zakresu biologii ewolucyjnej. Zaryzykuję twierdzenie, że genetyczno-molekularne badania, zaliczane obok innych do „ekologii molekularnej” stanowią najważniejszy obecnie, spójny program badawczy biologii ewolucyjnej, umożliwiając eksperymentalne badanie mechanizmów ewolucji. Składają się na niego węższe pod-programy, niektóre dają się podciągnąć do kategorii „ekologia ewolucyjna” – głównie dzięki rozmytemu znaczeniu słowa „ekologia” i temu, że zajmują się organizmami z natury, a nie z laboratorium. Wymienić tu należy genomikę populacyjną, badająca powstawanie adaptacji, a przede wszystkim rozbudowany i różnorod-

ny program badań behawioru i strategii życiowych, na rozmaitych organizmach (wciąż jednak z uprzywilejowaną pozycją kręgowców). Właśnie w tym nurcie badań zaliczanych do „ekologii molekularnej” należy się spodziewać najważniejszych i najtrwalszych osiągnięć, które z ekologią *sensu stricto* niewiele będą miały do czynienia.

Pod względem ilości produkowanych przyczynków poczesne miejsce zajmują badania filogeograficzne. Tematyka ta przeżywa prawdziwy renesans, po pierwszym okresie świetności sprzed kilkudziesięciu lat, kiedy to biogeografowie, posługując się innymi metodami, zidentyfikowali refugia i szlaki rekolonizacji kontynentów przez rozmaite organizmy, po ustąpieniu lodowców

rządzenie list gatunków na podstawie analizy szczypty gleby lub osadu dennego. Już obecnie opracowano standardowe techniki do identyfikowania wybranych grup organizmów w ten sposób. Jednak do pełnego sukcesu jeszcze daleko. Pamiętać trzeba, że dla opracowania standardowych procedur dla każdej grupy taksonomicznej trzeba najpierw dysponować danymi genetycznymi o tysiącach poprawnie przez taksonomów zidentyfikowanych gatunków. Prędzej czy później kod kreskowy DNA będzie rutynowo używany w wielu dziedzinach, nie tylko ekologii, ale np. rolnictwie, leśnictwie, ochronie roślin, kryminalistyce i wielu innych. Ekolodzy zespołów i bioróżnorodności już zacierają ręce: pokonają w ten sposób straszliwe *impedimentum taxonomicum* – opóźnienie wszystkich badań wskutek pracochłonności oznaczeń taksonomicznych. Zawdzięczać to będą pracy wielu badaczy – genetyków molekularnych i taksonomów, ale z dziedziną lub programem badawczym „ekologia molekularna” nie ma i nie będzie to miało nic wspólnego.

Molekularna identyfikacja genotypów potrzebna jest również przy genetycznej modyfikacji organizmów (GMO). Kiedy te organizmy wydostają się z laboratorium, zaczyna się oczywiście „ekologia”, zarówno w sensie ścisłym (bo GMO wchodzi w interakcję z resztą biosfery), jak i przenośnym – bo nieuchronnie wywołują „ekologiczne” protesty. Z tego powodu zastosowanie genetyki molekularnej w badaniach terenowych nad GMO również kwalifikuje się do „ekologii molekularnej”. A tak naprawdę, chodzi tu o agronomię i socjologię.

Molekularna identyfikacja genotypów potrzebna jest również przy genetycznej modyfikacji organizmów (GMO). Kiedy te organizmy wydostają się z laboratorium, zaczyna się oczywiście „ekologia”, zarówno w sensie ścisłym (bo GMO wchodzi w interakcję z resztą biosfery), jak i przenośnym – bo nieuchronnie wywołują „ekologiczne” protesty. Z tego powodu zastosowanie genetyki molekularnej w badaniach terenowych nad GMO również kwalifikuje się do „ekologii molekularnej”. A tak naprawdę, chodzi tu o agronomię i socjologię.



w okresie plejstocenijskich oscylacji klimatycznych. Entuzjastyczny powrót do tej tematyki spowodowany był, po pierwsze, możliwością zastosowania nowych, znakomitych narzędzi molekularnych, dzięki którym można badać zmienność i podobieństwo genetyczne naturalnych populacji, oraz palącą potrzebą prognozowania zmian biotycznych na skutek współcześnie obserwowanych

zmian klimatu. Ciekawe byłoby się dowiedzieć, jakie z tego wynikają syntezy: na ile badania te zrewidowały dawniejsze ustalenia, jakie testowalne i umocnione hipotezy dotyczące zmian globalnych z nich wynikają; w gąszczu opublikowanych przyczynków ja sam tej nici Ariadny nie potrafię znaleźć (ale też wskutek wady wzroku zwanej dyletantyzmem, słabo widzę).

### Survival of the fittest

Jak przy rozwoju każdego nowego podejścia (programu) badawczego – z chwilą rozwinięcia metod dostępnych każdemu, kogo na to stać, po przetarciu drogi przez prawdziwych nowatorów, zaraz się pojawia masa epigonów, którzy swoimi przyczynkami ciuflają punkty IF (zjawisko w tej epoce powszechne, plaga dotykająca nie tylko polskich badaczy), sypiąc na stos kolejne dane, z których za pomocą takiej czy innej metaanalizy jacyś nieliczni nowatorzy kolejnej generacji wycią-

gną może istotne wnioski, popychające naukę do przodu, ale większość tego dorobku (mimo wysokiego summarycznego IF!) przepadnie w otchłani wypełnionej danymi. Przy wyborze tematyki przyczynkarskiej, zwłaszcza przy staraniach o grant, „aposematyczne przymiotniki” (wszystko jedno, czy cechy mimikry müllerowskiej czy batesjańskiej), też nie są bez znaczenia.

### Wnioski

1. Ogólny wniosek z tych rozważań jest taki, że chociaż nie ma „ekologii molekularnej” to nie ma też obecnie żadnej ekologii bez metod molekularnych.

2. „Ekologia molekularna” to szeroki program badawczy biologii, obejmujący wiele nurtów, których jedyną wspólną cechą jest zastosowanie metod genetyki molekularnej do organizmów dzikich (nie tylko laboratoryjnych).

3. W obrębie „ekologii molekularnej” najbardziej spójne programy badawcze dotyczą biologii ewolucyjnej, w tym: genetyki populacyjnej, behawioru, ewolucji historii życiowych, filogenezy itd. Swoistym programem badawczym w obrębie „ekologii molekularnej”, o cha-

rakterze usprawiedliwiającym jej nazwę, jest szeroko pojęta ekologia mikroorganizmów (w warunkach naturalnych), która obecnie nie może być już inna, niż molekularna.

4. Znaczna część aktywności badawczej w obrębie „ekologii molekularnej” polega na wykorzystaniu technicznych możliwości genetyki molekularnej w rozmaitych dziedzinach biologii (m.in. ekologii, ochrony gatunkowej, biogeografii, taksonomii itd.) i ma charakter wybitnie przyczynkarski; dziedziny te nie mogą się już obejść bez zastosowania metod molekularnych, ale nie tworzą przez to autonomicznej dyscypliny nauki.

### Literatura cytowana

Andrew R.L., Bernatchez L., Bonin A., Buerkle C.A., Carstens B.C., Emerson B.C., Garant D., Giraud T., Kane N.C., Rogers S.M., Slate J., Smith H., Sork V.L., Stone G.N., Vines T.H., Waits L., Widmer A., Rieseberg L.H. 2013. A road map for molecular ecology. *Molecular Ecology* 22: 2605-2626.

Diskusja. 1989. Jaka powinna być ekologia polska po 1990 roku? *Wiadomości Ekologiczne* 35: 251-294.

Freeland J.R. 2008. *Ekologia Molekularna*. PWN.

Freeland J.R., Kirk H., Petersen S. 2011. *Molecular Ecology* (2nd ed.). Wiley.

Weiner J., 1991. Ekologii nie ma! (głos w dyskusji). *Wiadomości Ekologiczne* 37: 220-222.

Weiner J. 2009. Po co dziś czytać Darwina? (Przedmowa; w: K. Darwin, „O powstawaniu gatunków drogą doboru naturalnego”). Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego. IX-XXV.