

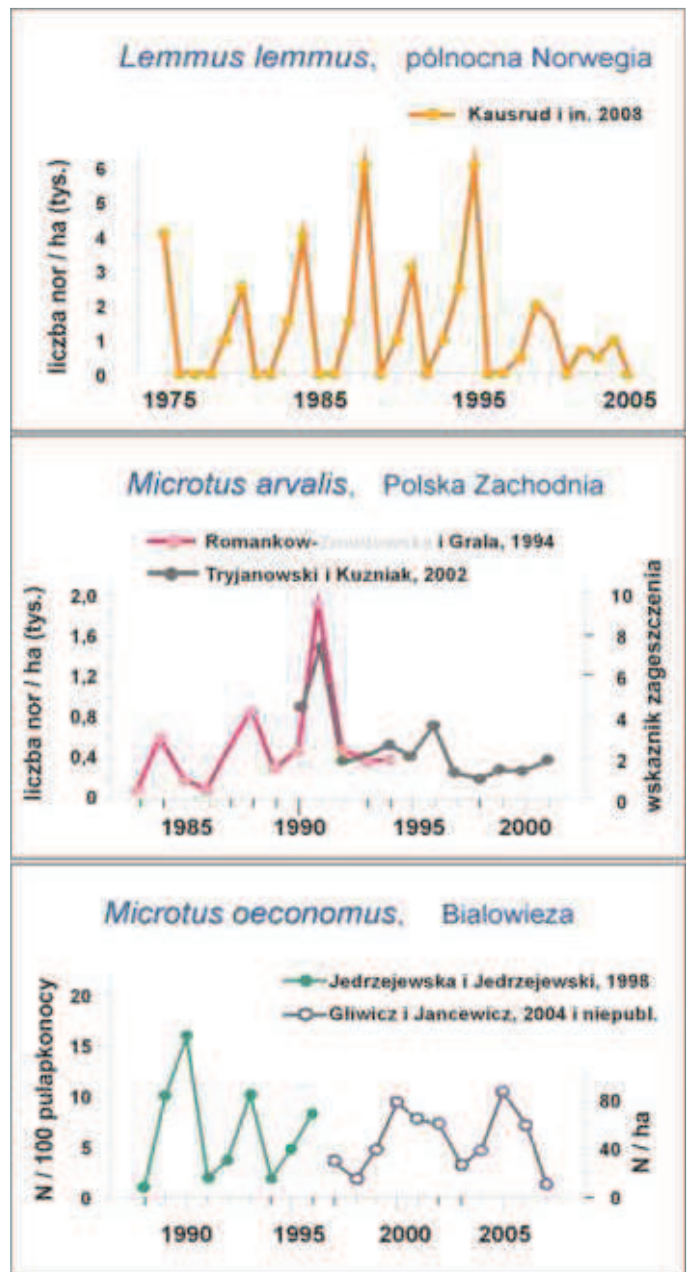
Nieprzewidywane skutki ocieplenia klimatu: śnieg – norniki – bioróżnorodność

Słowa kluczowe: cykle populacyjne, norniki, ocieplenie klimatu, zima, zwierzyna drobna

Key words: climate warming, population cycles, small game, voles, winter

O ociepleniu klimatu, jego przyczynach i nieobojętnych dla człowieka skutkach wiele się ostatnio mówiło i pisało w związku z odbywającą się w grudniu 2009 w Kopenhadze konferencją klimatyczną. W otaczającej to wydarzenie atmosferze dały się słyszeć głosy poddające w wątpliwość prawdziwość danych mających świadczyć o ocieplaniu się klimatu oraz inne, sceptycznie podchodzące do podawanych przyczyn ocieplenia, których główną przyczyną miałby być rozwój techniki i gospodarka ludzka. Nie było też zgody co do zakresu przewidywanych skutków zachodzącego ocieplenia. Ten artykuł jest skromnym wkładem do przemysłu i dyskusji na temat globalnego ocieplania. Nie ustosunkowując się do tego, czy ocieplenie się klimatu na Ziemi ma charakter kierunkowy i trwały, czy też długofalowo-cykliczny, pokazuje, że w okresie ostatnich 50 lat jest ono rzeczywiste. Zwraca też uwagę na realnie występujące skutki tego ocieplenia dla niewielkiej części otaczającej nas przyrody, które na zasadzie efektu śnieżnej kuli, czy też efektu kaskady wywołują znacznie potężniejsze następstwa, mało przez kogo oczekiwane.

Norniki z rodzaju *Microtus* oraz ich bliscy kuzyni – lemingi, to pospolite drobne gryzonie strefy arktycznej i umiarkowanej chłodnej, charakteryzujące się specyficznymi zmianami liczebności. Ich populacje potrafią z roku na rok gwałtownie wzrosnąć, osiągnąć szczytową liczebność nawet tysiąca i więcej osobników na 1 hektar, a następnie w bardzo krótkim czasie przejść spektakularny spadek liczebności i przez rok lub więcej niemal zupełnie zniknąć, a w rzeczywistości przetrwać w zagęszczeniu (choć raczej właściwsze byłoby określenie „w rozrzedzeniu”) 1 gryzonia na kilka hektarów. Na dalekiej północy (powyżej 60° N szerokości) te odznaczające się wysoką amplitudą fluktuacje mają postać regularnego cyklu o 3-4 letniej częstotliwości. W naszej szerokości geograficznej, fluktuacje są mniej regularne, choć w niektórych rejonach i dla niektórych gatunków norników także stwierdza się cykliczny charakter zmiany liczebności.



Rys. 1. Zmiany w dynamice liczebności lemingów(A) i norników (B i C) po 1990 roku. Na wykresach podano jesienne stany populacji w kolejnych latach. Wcześniej regularnie występujące co 3-4 lata „szczyty” liczebności ustąpiły miejsca chaotycznym fluktuacjom.

Prof. dr hab. J. Gliwicz – Muzeum i Instytut Zoologii PAN, Warszawa, Wileza

Wszystko to powinno właściwie być napisane w czasie przeszłym, bowiem na przełomie lat 80. i 90. zaczęto dostrzegać, że cykliczne zmiany liczebności zanikają, a dynamika liczebności lemingów i norników przybiera charakter nieregularnych oscylacji (rys. 1). Pierwsi zauważyli to badacze gryzoni terenów arktycznych [3–5, 9]. Przedstawili oni przekonujące dowody wiążące dostrzeżone zmiany liczebności lemingów i norników z ociepleniem klimatu, a konkretnie z nastaniem cieplejszych zim z dużą wilgotnością powietrza i częstymi odwilżami zmieniającymi strukturę warstwy śniegu tak, że pogarsza ona warunki zimowania tych małych ssaków, spędzających w klimacie dalekiej północy wiele miesięcy w przestrzeniach podśnieżnych.

A przecież od dawna wiadomo, że to przeżywalność gryzoni przez okres zimy, a właściwie jej efekt w postaci ich liczebności wczesną wiosną, ma zasadnicze znaczenie dla liczebnego poziomu populacji w nadchodzącym sezonie letnio-jesiennym. Dzieje się tak z dwóch powodów; po pierwsze dlatego, że to tzw. przezimki czyli norniki urodzone w ubiegłym roku, którym udało się szczęśliwie przeżyć zimę, są gotowe do rozrodu od pierwszych dni wiosny i są najefektywniejszymi reproduktorami napędzającymi cały roczny przyrost populacji, bowiem i one same i ich wiosenne, szybko dojrzewające potomstwo wydają na świat wiele kolejnych miotów. Po drugie dlatego, że mimo swego wysokiego potencjału reprodukcyjnego, norniki nie są w stanie osiągnąć naprawdę wysokiego stanu populacji w ciągu jednego tylko sezonu rozrodczego. „Szczyt” liczebności zwany też masowym pojawem (sięgającym 500–1000 i więcej osobników na hektar) występuje wtedy, gdy po udanym sezonie rozrodczym, wysokoliczebna populacja norników w znacznym procencie przetrwa nadchodzącą zimę i wkroczy wiosną w kolejny sezon reprodukcyjny, który też będzie sprzyjał wydajnemu rozmnażaniu. Dopiero wtedy, na końcu tego drugiego sezonu populacja może osiągnąć swoje wieloletnie maksimum liczebności. Wynika z tego, że – jeśli przez kolejne zimy warunki klimatyczne spowodują wysoką śmiertelność norników, redukując cały letni przyrost – populacja nie będzie w stanie osiągnąć szczytowej liczebności. I to dostatecznie tłumaczy zanik cyklicznie powtarzających się do niedawna szczytów liczebności norników i lemingów w arktycznych i borealnych rejonach północnej Europy.

Stan krajowych populacji norników

A jak to wygląda w naszej strefie klimatycznej, w pasie 49°–54° N szerokości geograficznej, w którym leży Polska? Przetawione tu dane, wnioski i przewidywania są w znacznym stopniu oparte na złożonej właśnie do druku w anglojęzycznym czasopiśmie pracy [2].

W Polsce najdłużej monitorowano stany liczebności nornika zwyczajnego *Microtus arvalis*, mieszkańca terenów rolniczych, zarówno upraw jak i nieużytków. Monitoring pro-

wadził Instytut Ochrony Roślin (IOR) poprzez swoje regionalne stacje rozmieszczone na terenie całego kraju. Jego głównym celem było prognozowanie masowych pojavów tego gatunku, który przy wysokim zagęszczeniu potrafił wyrządzać znaczne szkody w uprawach [12]. Regularny charakter wieloletnich zmian jego liczebności stwierdzano m.in. w zachodniej Polsce [11], gdzie co 3–4 lata występował w bardzo wysokich zagęszczeniach. Ostatni taki masowy pojaw zanotowano w roku 1989/1990, po czym do zakończenia ogólnokrajowego monitoringu w 1992 r. populacja pozostawała na niskim poziomie (rys. 1). Później już tylko lokalnie, m.in. w Dolinie Obry, prowadzono tą samą metodą ocenę zagęszczenia nornika przez kilka następnych lat [13], co pozwoliło na przedłużenie serii danych do 25 lat. Z tych wieloletnich danych jednoznacznie wynika, że na przełomie lat osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia nastąpiła istotna zmiana w obrazie liczebności; cykliczne masowe pojawy zostały zastąpione niskimi, nieregularnymi oscylacjami (rys. 1).

Podobną przemianę zarejestrowano w przebiegu liczebności nornika północnego *Microtus oeconomus*, mieszkańca naturalnych środowisk podmokłych, głównie północnej i wschodniej części kraju. Długa, 23-letnia seria danych o liczebności tego gatunku na turzycowiskach Białowieskiego Parku Narodowego rozpoczyna się w 1986 roku szacunkowymi ocenami jego stanów dwa razy w roku [7], po czym przez ostatnie 12 lat (1997–2008) nasz zespół przeprowadził intensywne badania nad tym gatunkiem w tym samym środowisku zbierając bardziej precyzyjne dane metodą wielokrotnych połowów znakowanych osobników 3–4 razy w roku. Uzyskany obraz wieloletniej dynamiki liczebności jednoznacznie wskazuje, że od połowy lat 90. regularne cykliczne zmiany liczebności ustąpiły miejsca nieregularnym fluktuacjom o znacznie mniejszej amplitudzie (rys. 1).

Czy to skutek cieplejszych zim?

Opierając się na wynikach i sugestiach badaczy skandynawskich testowano więc hipotezę, wg której to zmiana warunków zimowych związana z ociepleniem klimatu miałyby być przyczyną zaniku regularnie pojawiających się uprzednio co 3–4 lata wysokich stanów zagęszczenia norników. Weryfikacja tej hipotezy została oparta na dowodach pośrednich i przebiegała w dwóch etapach. Po pierwsze – przeanalizowano, jak kształtowały się zimą podstawowe czynniki termiczne i warunki śniegowe w ostatnim półwieczu, by na tej podstawie zweryfikować tezę o postępującym ociepleniu się klimatu, szczególnie odczuwalnym w okresie zimowym. Po drugie – zbadano, czy stan wiosenny populacji (rzutujący na możliwość wystąpienia maksymalnego zagęszczenia w sezonie jesiennym) wykazuje ścisły związek przyczynowo-skutkowy z natężeniem któregoś z czynników termiczno-śniegowych, co oznaczałoby, że kierunkowe zmiany tego czynnika (lub czynników)

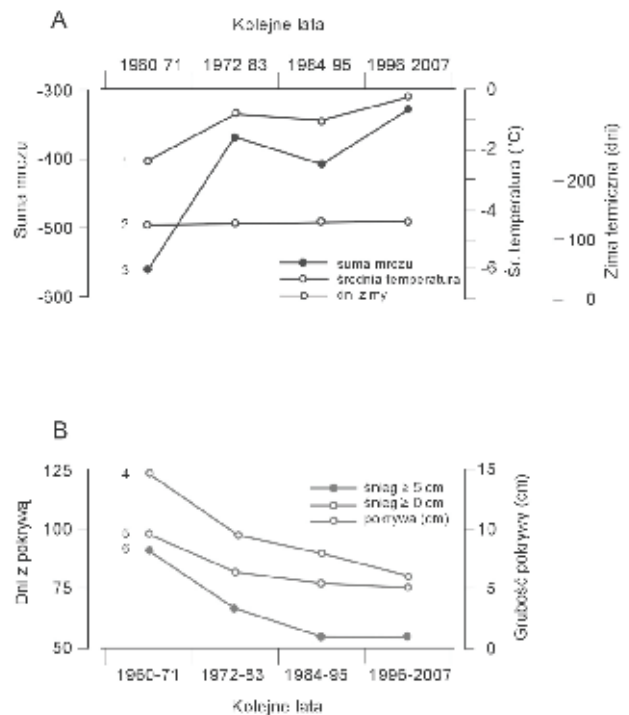
w skali wieloletniej można uznać za przyczynę zaniku cyklicznych zmian liczebności.

Wieloletnie dane klimatyczne udostępnione przez Białowiecki Park Narodowy z lokalnej stacji meteorologicznej pozwoliły przeanalizować warunki zimowe w okresie 1960–2008, czyli dla 48 lat (rys. 2). Za czas zimy przyjęto okres 5 miesięcy (151 dni) od początku listopada do końca marca. Dobowe średnie temperatury i grubość pokrywy śnieżnej posłużyły do obliczenia kilku wskaźników dla każdej zimy, a następnie dla 12-letnich okresów zimowych analizowanego półwiecza. Wskaźniki termiczne (rys. 2a) wykazują stały wzrost w badanym okresie (poza długością zimy termicznej, która dla kolejnych 12-letni jest stała, ale charakteryzuje się dużą zmiennością z roku na rok), a wszystkie wskaźniki warunków śnieżnych (rys. 2b) – stały spadek w kolejnych 12-letniach, potwierdzając istotne stopniowe ocieplanie się klimatu w zimie przez ostatnie pół wieku.

Co więcej, nasze dokładne 12-letnie dane z populacji noronika północnego zamieszkującej turzycowisko w Białowieży po skorelowaniu z rocznymi wskaźnikami zimowymi dla tych samych 12 lat wykazały, że liczba przezimków obecnych w populacji wczesną wiosną była w niemal 70% zdeterminowana warunkami zimowymi (regresja wielokrotna, $R^2 = 69\%$, $p=0.02$), przy czym wykazywała najwyższą dodatnią zależność od długości pokrywy śnieżnej nie mniejszej niż 5 cm; a nieco niższą i ujemną zależność od ostrości zimy i długości jej trwania.

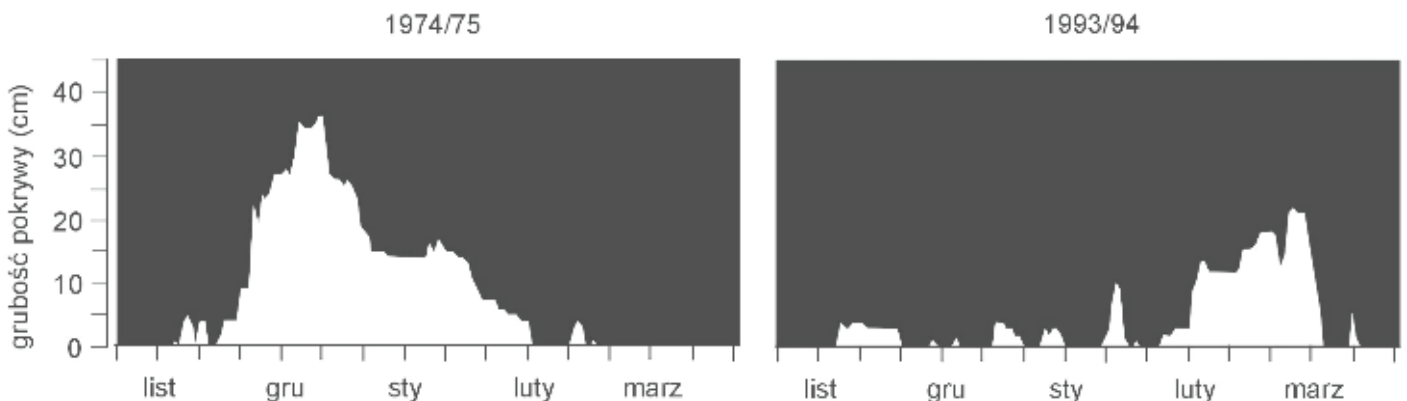
Najistotniejszy związek liczby przezimków z trwałością pokrywy śnieżnej skłonił nas do dalszych poszukiwań w tym kierunku. Sprawdzone więc dodatkowo, jak zmienił się czas najdłuższego nieprzerwanego zalegania pokrywy o grubości nie mniejszej niż 5 cm w okresie ostatnich 30 lat. Okazało się, że czas ten drastycznie się skrócił na przełomie lat osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych; średnio z ponad 2 miesięcy (64 dni) w latach 1974–1989 do nieco tylko ponad 1 miesiąca (37 dni) w latach 1990–2005. Dobrze uzmysławia tę różnicę porównanie „typowego roku” z lat wcześniejszych z „typowym rokiem” lat ostatnich

(rys. 3). Na wykresie tym widać też dokładnie, że niska nieprzerwana trwałość pokrywy śnieżnej oznacza liczne następujące po sobie okresy topnienia i ponownego nakładania się warstwy śniegu, co zawsze łączy się ze zlodzeniem warstwy przygruntowej i ma fatalny wpływ na strukturę



Rys. 2. Termiczne i śnieżne wskaźniki klimatyczne w okresie ostatniego półwiecza jednoznacznie sygnalizują wzrastającą łagodność zimy w kolejnych 12-letnich okresach. Dane ze stacji meteorologicznej Białowieckiego Parku Narodowego.

Wskaźniki termiczne to: średnia temperatura dobowa, „suma mrozu” zdefiniowana jako suma temperatur ujemnych ($\Sigma < 0^\circ\text{C}$) oraz długość zimy termicznej liczonej liczbą dni od pierwszej do ostatniej doby ze średnią temperaturą ujemną. Wskaźniki warunków śnieżnych to: okres zalegania pokrywy śnieżnej (o jakiegokolwiek grubości) i o min. grubości 5 cm oraz średnia grubość pokrywy (w cm).



Rys. 3 Trwałość pokrywy śnieżnej dawniej i dziś (dane z Białowieży). Przedstawione tu dwie zimy są typowe w tym sensie, że dobrze reprezentują średnią grubość i trwałość warstwy śniegu dla dwóch okresów: lewy – dla lat 1974–1989; prawy – dla lat 1990–2005.

przeźrzeni podśnieżnej, na co już wcześniej zwrócili uwagę badacze norwescy Korslund, Steen, Kausrud i wsp. [10, 9]. Właściwie ukształtowana przestrzeń podśnieżna, powstająca pomiędzy powierzchnią gruntu a śnieżną pokrywą, zapewnia nornikom możliwość swobodnego przemieszczania się pod śniegiem, łatwy dostęp do roślin stanowiących ich pokarm oraz dobre napowietrzenie nor. Zbita, zlodowaciała najniższa warstwa śniegu uniemożliwia przetrwanie zwierzętom prowadzącym podśnieżny tryb życia. Z kolei zanik pokrywy oznacza brak schronienia przed drapieżnikami i brak izolacji termicznej przed mroźnym powietrzem. Wszystko to sprawia, że poczynając od lat 90. (w porównaniu z wcześniejszymi) coraz rzadsze są zimy sprzyjające dobrej przeżywalności norników i pozwalające na stopniowy dwusezonowy wzrost populacji umożliwiający co pewien czas osiągnięcie wysokiej liczebności szczytowej.

Przewidywane i dostrzegane konsekwencje

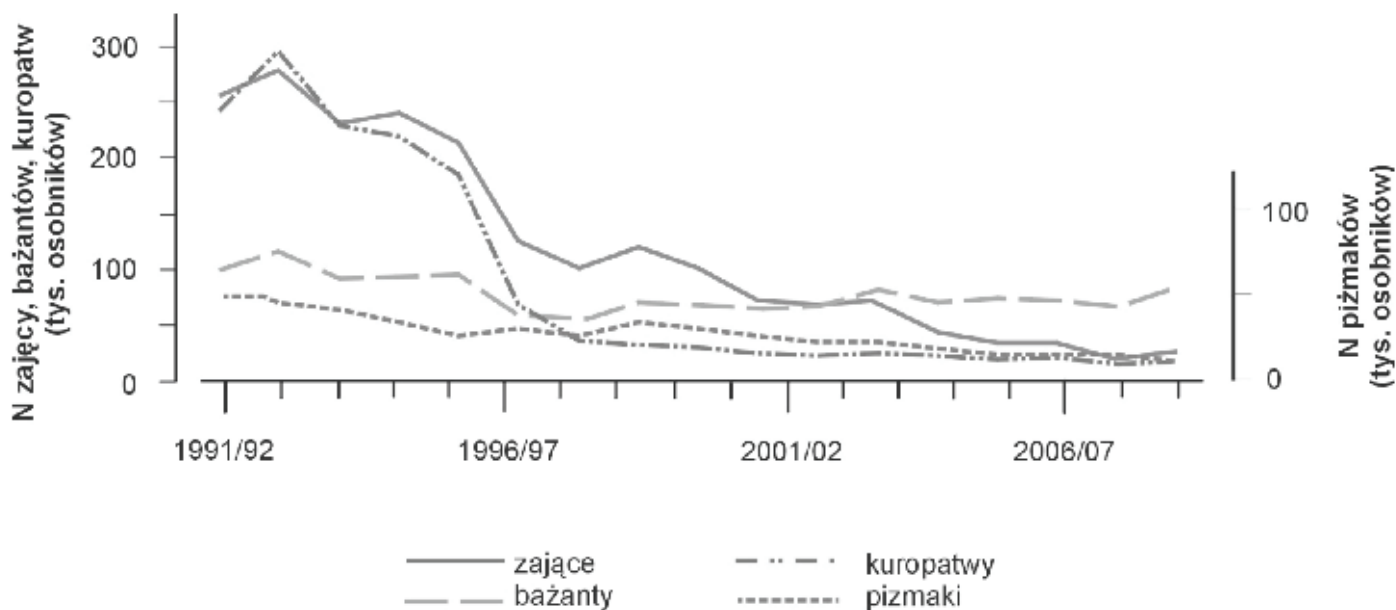
Tak więc okazało się, że także w Polsce zmiany klimatu zimowego sprawiły, że norniki, zarówno zwyczajny, jak i północny, pojawiają się w dużej liczebności coraz rzadziej, a ich populacyjne „szczyty” są coraz niższe. (Należy sądzić, że dotyczy to także nornika burego, *Microtus agrestis*, oraz innych nornikowatych terenów otwartych, nie ma jednak odpowiednich danych dla potwierdzenia tego przypuszczenia). Jak już wspomniano, we wcześniejszym okresie w latach masowego pojawu, występującego dość regularnie co 3–4 lata, norniki często osiągały liczebność ponad 500 osobników na hektar, a zdarzały się też szczyty 700–1000 os./ha. Można się jednak zastanawiać, czy ten zanik wysokich liczebności gryzoni powinien nas niepokoić. Wydawać by się mogło, że szczególnie rolnicy powinni być zadowoleni ze zniknięcia „mysiej plagi”. A jednak obserwowane zmiany liczebności norników mają poważne konsekwencje dla innych gatunków zwierząt, a także dla roślin i obiegu pierwiastków w niektórych ekosystemach.

Potężny „zastrzyk” biomasy norników raz na 3–4 lata stanowił bardzo bogate źródło pokarmu dla wszystkich drapieżnych ptaków i ssaków (a nawet bocianów – [13]), które w latach szczytu liczebności norników wyjątkowo intensywnie się rozmnażały, wyprowadzając dodatkowe lęgi i mioty z liczniejszym niż zwykle potomstwem. I choć potem przez kilka „chudych” lat rozród tych drapieżników był znacznie niższy, były one w stanie utrzymać trwałe populacje na dużych obszarach do następnego szczytu liczebności norników. Teraz, kiedy masowe pojawy norników zanikły, można przewidywać dwa skutki tej zmiany. Po pierwsze, drapieżniki zaczną bardzo intensywnie eksploatować ofiary alternatywne, czyli inne gatunki ptaków i ssaków, które zawsze wchodziły w skład ich diety, ale w niewielkim tylko procencie, jako trudniejsze do upolowania, mniej liczne lub pojawiające się tylko sezonowo. Te inne

potencjalne ofiary nie potrafią się jednak rozmnażać tak szybko jak norniki, toteż przy zwiększonej presji drapieżników ich liczebność zacznie szybko spadać. Po drugie, można się obawiać, że liczebność tych gatunków drapieżników, które są silnie uzależnione od gryzoni, np. niektórych sów, łasic czy gronostajów, również bardzo się obniży, a ich zasięg zmniejszy. Po trzecie wreszcie, przewiduje się, że szczególnie w rejonach arktycznych, gdzie lemingi i norniki są podstawowymi konsumentami zielonej masy roślin, którą następnie w postaci swych odchodów udostępniają innym konsumentom – saprofagom i bakteriom, wiele łańcuchów pokarmowych zaniknie i spowolni się obieg materii. Wszystko to razem jednoznacznie prowadzi do spadku różnorodności biologicznej terenów otwartych, czyli agrocenoz, łąk, torfowisk i tundry; tym większy, im niższe ich dotychczasowe bogactwo gatunkowe.

Ten przewidywany czarny scenariusz znajduje już potwierdzenie. Na Półwyspie Skandynawskim w ostatnim 15-leciu odnotowano znaczny spadek liczebności pardwy górskiej, pardwy mszarnej i zająca bielaka – czyli alternatywnych ofiar drapieżników. Równocześnie stwierdzono zanik populacji pieśca i sowy śnieżnej w niektórych północnych regionach ich niedawnego występowania [5, 6, 9]. W Polsce także obserwuje się spadek liczebności drobnej zwierzyny łownej: zajęcy, bażantów i kuropatw, a także piżmaka (rys. 4). Świadczą o tym dane Polskiego Związku Łowieckiego dotyczące spadku pozyskania tych gatunków w kraju w okresie ostatnich kilkunastu lat [8]. Co prawda istnieje kilka hipotez na temat przyczyn tego spadku, niemniej mamy pośredni dowód na to, że przynajmniej w ostatnim 15-leciu, przyczyną obserwowanego spadku mogą być drapieżniki, które na skutek zaniku regularnych masowych pojawów norników – a szczególnie nornika zwyczajnego współwystępującego z typowymi gatunkami zwierzyny drobnej w agrocenozach – zaczęły intensywnie polować na te alternatywne ofiary. Tym pośrednim dowodem jest istotna statystyczna korelacja pomiędzy stanem tych potencjalnych ofiar a stanem nornika w latach 1990–2005.

Można przypuszczać, że tak jak zanik cyklicznych pojawów nornika zwyczajnego odbił się na obniżeniu liczebności innych mieszkańców terenów rolniczych, podobnie zanik regularnych wysokich stanów nornika północnego – mieszkańca naturalnych terenów podmokłych północno-wschodniej Polski – zagraża bogactwu wielu dzikich gatunków ssaków, ptaków, gadów i płazów na tych terenach. I to właśnie byłby ten kaskadowy efekt ocieplenia klimatu, który poprzez skrócony i wielokrotnie przerywany okres zalegania odpowiednio grubej (by zapewnić schronienie zwierzętom żyjącym pod śniegiem) pokrywy śnieżnej, a przez to przez masową śmiertelność norników w okresie zimy, spowodował zanik regularnie dotychczas występujących „szczytów” populacji norników, ze skutkami w znacznie szerszej skali.



Rys. 4. Spadek zagęszczenia w populacjach zwierzyny drobnej w skali kraju (wg. danych Polskiego Związku Łowieckiego dotyczących wielkości pozyskania). Gatunki te stanowią tzw. alternatywne ofiary wszystkich niemal drapieżników, a ich spadek może być konsekwencją obniżonej po 1990 roku częstości masowych pojawów norników, będących głównym źródłem pokarmu drapieżników.

LITERATURA

- [1] Gliwicz J. Jancewicz E. 2004. Voles in river valleys. In: Essays on Mammals of Białowieża Forest, B. Jędrzejewska & J. M. Wójcik, eds. Pp: 139–148.
- [2] Gliwicz J. Jancewicz E. 2010. Cascade effect of climate warming: snow duration–vole population dynamics–biodiversity (w recenzji).
- [3] Henttonen, H. 2000. Long-term dynamics of the bank vole *Clethrionomys glareolus* at Pallasjärvi, northern Finnish taiga. *Polish Journal of Ecology* 48, Suppl: 87–96.
- [4] Henttonen H., 2008. Long-term patterns in arvicoline rodent dynamics at Pallasjärvi and Kilpisjärvi, northern Finnish Lapland. Abstracts of 11th International Conference “Rodens et Spatium”, Myshkin, Russia. P.10.
- [5] Hörnfeldt, B. 2004. Long-term decline in numbers of cyclic voles in boreal Sweden: analysis and presentation of hypotheses. *Oikos* 107: 376–392.
- [6] Ims, R. A., Henden, J. A., Killengreen, S. T. 2008. Collapsing population cycles. *TREE* 23: 79–86.
- [7] Jędrzejewska B., & Jędrzejewski W. 1998. Predation in vertebrate communities. *Ecological Studies* 135. Springer.
- [8] Kamienniarz, R. & Panek, M. 2008: Zwierzęta łowne w Polsce na przełomie XX I XXI wieku. Stacja Badawcza PZŁ, Czempin.
- [9] Kausrud K. L., Mysterud A, Steen H., Vik J.O, Ostbye E., Cazelles B., Framstad E., Eikeset A. M., Mysterud I., Solhoy T., Stenseth M. Ch. 2008. Linking climate change to lemming cycles. *Nature* 456: 93–97.
- [10] Korslund L. & Steen H., 2006. Small rodent winter survival: snow conditions limit access to food resources. *Journal of Animal Ecology* 75: 156–166.
- [11] Mackin–Rogalska, R. & Nabagło, L. 1990: Geographical variation in cyclic periodicity and synchrony of the common vole, *Microtus arvalis*. *Oikos* 59: 343–348.
- [12] Romankow–Żmudowska A. & Grala B. 1994. Occurance and distribution of the common vole, *Microtus arvalis* (Pallas) in legumes and seed grasses in Poland between 1977 and 1992. *Polish Ecol. Studies* 20: 503–7.
- [13] Tryjanowski P. & Kuźniak S. 2002. Population size and productivity of the white stork *Ciconia ciconia* in relation to common vole *Microtus arvalis* density. *Ardea* 90: 213–7.