Wpływ klimatu i pogody na biologię sów w kontekście książki Ghosts of the Night autorstwa Chrisa Sperringa

AUTOR

Fundacja Dobre Państwo

STRESZCZENIE / ABSTRACT

Artykuł analizuje złożone zależności między warunkami atmosferycznymi a biologią sów, rozróżniając wpływ długofalowego klimatu od doraźnej pogody. Autor podkreśla rolę endotermii i termoregulacji, wskazując na kluczowe znaczenie upierzenia w ograniczaniu strat energii. Tekst wprowadza pojęcia niszy klimatycznej, fundamentalnej oraz realizowanej, wyjaśniając, że przetrwanie gatunków takich jak płomykówka czy puszczyk zależy nie tylko od tolerancji termicznej, ale także od dostępności pokarmu i struktury siedliska. Wskazano, że zmiany meteorologiczne oddziałują na sowy zarówno bezpośrednio (fizjologia), jak i pośrednio poprzez modyfikację sieci troficznych, co determinuje sukces reprodukcyjny i rozmieszczenie geograficzne populacji.

The article analyzes the complex dependencies between atmospheric conditions and owl biology, distinguishing the influence of long-term climate from immediate weather. The author emphasizes the role of endothermy and thermoregulation, pointing to the crucial importance of plumage in limiting energy loss. The text introduces the concepts of climatic niche—fundamental and realized—explaining that the survival of species such as the tawny owl or eagle owl depends not only on thermal tolerance but also on food availability and habitat structure. It is indicated that meteorological changes affect owls both directly (physiology) and indirectly by modifying trophic webs, which determines reproductive success and the geographical distribution of populations.

Artykuł analizuje złożoną, nieliniową relację między warunkami klimatycznymi a biologią sów, dowodząc, że ich przetrwanie nie zależy od pojedynczych parametrów

pogodowych, lecz od wielopoziomowych interakcji w ekosystemie. Autor stawia tezę, że wpływ klimatu przejawia się dwojako: bezpośrednio, poprzez fizjologiczne wyzwania termoregulacyjne i właściwości upierzenia, oraz pośrednio, poprzez destabilizację sieci troficznych – przede wszystkim dostępności gryzoni. Tekst rzuca nowe światło na zjawiska takie jak niedopasowanie fenologiczne (phenological mismatch) czy wpływ ekstremów hydrologicznych (powodzi i susz), które mogą prowadzić do czasowej rezygnacji ptaków z rozrodu w celu ochrony własnej kondycji fizjologicznej. Analiza przypadków płomykówek, puszczyków i uszatek pokazuje, że lokalny mikroklimat oraz struktura krajobrazu pełnią rolę kluczowych buforów, które mogą łagodzić globalne trendy ocieplenia. W konsekwencji sukces reprodukcyjny i stabilność populacji sów są wypadkową odporności całego siedliska oraz zdolności gatunków do elastycznego reagowania na dynamicznie zmieniające się środowisko antropogeniczne.

SŁOWA KLUCZOWE

biologia sów | wpływ klimatu na ptaki | termoregulacja u sów | Ghosts of the Night Chris Sperring | nisza klimatyczna | izolacyjna rola upierzenia | hydrofobowość piór | bilans energetyczny ptaków | ekologia krajobrazu | zarządzanie adaptacyjne siedliskami | nieliniowość odpowiedzi ekologicznych | sukces reprodukcyjny płomykówki | biofizyczne modele wymiany ciepła | interakcje troficzne sów

Wielopoziomowy wpływ klimatu na sowy

Klimat i pogoda w życiu sów – fizjologia termoregulacji, hydrologia krajobrazu, ekstremalne zjawiska atmosferyczne, fenologia reprodukcji i ekologiczne konsekwencje współczesnej zmiany klimatu

Klimat stanowi jeden z podstawowych wymiarów środowiska selekcyjnego, w którym ukształtowała się biologiczna różnorodność sów, podczas gdy pogoda wyznacza bezpośrednie warunki ich codziennego funkcjonowania. Rozróżnienie tych dwóch kategorii jest kluczowe, ponieważ chwilowy spadek temperatury, intensywny deszcz czy kilkudniowa susza oddziałują na organizm w innej skali czasowej niż wieloletnia zmiana rozkładu temperatur, sezonowości opadów i częstotliwości zjawisk ekstremalnych.

Sowy, podobnie jak inne ptaki, są organizmami endotermicznymi. Ich prawidłowe funkcjonowanie wymaga utrzymywania stałej temperatury wewnętrznej dzięki procesom metabolicznym, izolacyjnym i behawioralnym. Zdolność ta nie oznacza jednak niezależności od zewnętrznych warunków środowiskowych.

Mrozy, opady deszczu, susze i fale upałów mogą bowiem wpływać na zapotrzebowanie energetyczne, efektywność polowania, przeżywalność potomstwa oraz sezonową dostępność pokarmu. Złożoność tych zależności wynika z faktu, że pogoda oddziałuje nie tylko na same sowy, ale również na roślinność, drobne ssaki, bezkręgowce i inne organizmy współtworzące ich sieci troficzne. W konsekwencji zmiana jednego parametru meteorologicznego może uruchomić kilka odmiennych, a niekiedy przeciwstawnych procesów ekologicznych, których ostateczny rezultat zależy od lokalnej struktury siedliska i biologicznych właściwości danego gatunku.

Z punktu widzenia biologii ewolucyjnej szczególne znaczenie ma pojęcie niszy klimatycznej, rozumianej jako część wielowymiarowej przestrzeni warunków środowiskowych, w której organizm może przeżyć i się rozmnażać. Nie jest ona tożsama z prostym zakresem temperatur, gdyż obejmuje również wilgotność, charakterystykę opadów, sezonowość, dostępność pokarmu oraz interakcje biotyczne. Gatunek może posiadać fizjologiczne możliwości przetrwania określonej temperatury, a jednocześnie nie być zdolny do trwałego funkcjonowania w danym regionie z powodu braku odpowiednich ofiar lub stanowisk lęgowych. Dlatego geograficzne rozmieszczenie sów nie odzwierciedla wyłącznie ich tolerancji termicznej. Płomykówka zwyczajna (Tyto alba) występuje na rozległych obszarach świata, lecz w północnej części swojego zasięgu może podlegać szczególnie dotkliwym konsekwencjom długotrwałych mrozów i intensywnych opadów.

Puszczyk zwyczajny (Strix aluco) wykorzystuje odmienne warunki środowiskowe, a jego względnie szeroka dieta może ograniczać zależność od jednej kategorii zasobów. Uszatka błotna (Asio flammeus) z kolei wykazuje znaczną mobilność, co pozwala jej przemieszczać się między regionami o różnej dostępności gryzoni. Nie oznacza to jednak, że któraś z tych strategii zapewnia uniwersalnie większą odporność klimatyczną – każda wiąże się z innym zestawem kosztów i możliwości.

Przydatną ramę teoretyczną stanowi koncepcja niszy fundamentalnej i realizowanej, rozwijana w ekologii między innymi przez George'a Evelyna Hutchinsona. Nisza fundamentalna opisuje zakres warunków, w których organizm mógłby potencjalnie funkcjonować przy określonych założeniach dotyczących czynników ograniczających; nisza realizowana uwzględnia natomiast rzeczywiste warunki współistnienia z konkurentami, drapieżnikami, ofiarami i pozostałymi elementami środowiska. W odniesieniu do sów oznacza to, że sama fizjologiczna zdolność znoszenia mrozów nie gwarantuje utrzymania populacji, jeśli pokrywa śnieżna lub okresowe oblodzenie

uniemożliwiają zdobywanie pokarmu. Analogicznie wysokie temperatury mogą nie przekraczać bezpośrednich granic tolerancji dorosłych osobników, lecz pogorszyć sukces reprodukcyjny poprzez ograniczenie dostępności gryzoni lub przegrzewanie stanowisk lęgowych.

Oddziaływanie klimatu ma zatem zarówno charakter bezpośredni, wynikający z fizjologicznych ograniczeń organizmu, jak i pośredni, zależny od struktury całego ekosystemu. Rozróżnienie tych mechanizmów jest podstawowym warunkiem właściwego wyjaśniania zmian liczebności populacji i prognozowania ich przyszłego rozmieszczenia.

Mechanizmy termoregulacji i izolacyjna rola upierzenia

Fizjologicznym fundamentem termoregulacji sów jest bilans pomiędzy produkcją ciepła metabolicznego a jego wymianą z otoczeniem. Organizmy endotermiczne utrzymują temperaturę ciała głównie dzięki energii uwalnianej w procesach metabolicznych, z której część służy do wykonywania pracy biologicznej, a pozostała rozprasza się jako ciepło. W niskich temperaturach kluczowe staje się ograniczanie strat energii poprzez izolację upierzenia, zmianę postawy oraz wybór osłoniętych miejsc odpoczynku. Gdy temperatura otoczenia spada poniżej granicy termoneutralności, wzrasta konieczność zwiększenia produkcji ciepła. Proces ten generuje dodatkowe koszty metaboliczne, które ptak musi pokryć poprzez intensywniejsze pozyskiwanie pokarmu lub wykorzystanie zgromadzonych rezerw. Ponieważ zakres temperatur termoneutralnych, skala strat cieplnych i metody ich regulacji różnią się w zależności od gatunku i osobnika, nie istnieje jedna temperatura powietrza, poniżej której wszystkie sowy doświadczałyby identycznego stresu termicznego.

Ważnym elementem tego procesu jest mechanizm izolacyjny upierzenia. Jego skuteczność wynika nie tylko z ilości piór, lecz także z ich ułożenia i zdolności do zatrzymywania warstw powietrza o ograniczonej wymianie z otoczeniem. Ze względu na niskie przewodnictwo cieplne powietrza, odpowiednia struktura upierzenia istotnie ogranicza konwekcję i przewodzenie ciepła. Sowa odpoczywająca w chłodzie może zwiększać objętość warstwy izolacyjnej poprzez unoszenie piór, a przy silnym wietrze wybierać miejsca chroniące przed wymianą powietrza między upierzeniem a środowiskiem. Nie eliminuje to jednak całkowicie strat energetycznych, gdyż efektywność izolacji zależy również od wilgotności, ruchu powietrza i kondycji samych piór. Pióra sów pełnią równocześnie kilka funkcji biologicznych: izolują, chronią mechanicznie, umożliwiają lot oraz odpowiadają za ograniczanie hałasu aerodynamicznego. Właściwości korzystne dla jednej z tych funkcji mogą w określonych warunkach wpływać na efektywność pozostałych.

Badania Davida McCafferty'ego, Johna Moncrieffa i Iaina Taylora dostarczyły szczegółowych danych na temat właściwości izolacyjnych upierzenia płomykówki. W artykule z 1997 roku opublikowanym w Journal of Thermal Biology pod tytułem "The effect of wind speed and wetting on thermal resistance of the barn owl (Tyto alba). II: Coat resistance" autorzy zastosowali model pomiaru przepływu ciepła przez warstwę upierzenia w kontrolowanych warunkach tunelu aerodynamicznego. W badanej próbie przeciętny opór cieplny upierzenia wynosił 398 sekund na metr, natomiast po zwilżeniu spadł do 374 sekund na metr, co w zastosowanym układzie pomiarowym oznacza obniżenie o około sześć procent. Jednocześnie stwierdzono spadek oporu cieplnego wraz ze wzrostem prędkości wiatru w zakresie od zera do siedmiu metrów na sekundę.

Schronienie jako kluczowy zasób energetyczny

Autorzy rozpoznali mechanizmy wymiany ciepła, wskazując na istotne znaczenie przewodzenia przez elementy piór oraz transportu energii przez powietrze uwięzione w warstwie izolacyjnej. Wyniki potwierdzają, że wiatr i wilgoć wpływają na właściwości cieplne upierzenia, lecz zarazem nie upoważniają do przyjęcia, że każde zamoczenie piór prowadzi natychmiast do całkowitej utraty izolacyjności. Szczególnie interesujące jest to, że skuteczność termoregulacji zależy również od zachowań ograniczających ekspozycję na niekorzystne warunki atmosferyczne. W badaniu opublikowanym w 2001 roku w Journal of Thermal Biology pod tytułem „How much energy do barn owls (Tyto alba) save by roosting?”, przeanalizowano mikroklimat różnych stanowisk odpoczynku płomykówek w południowo-zachodniej Szkocji. Wykorzystując model biofizyczny oparty na pomiarach z okresu od kwietnia 1991 do marca 1992 roku, autorzy porównali warunki panujące wewnątrz budynku, w skrzynce lęgowej, w świerku oraz na otwartej przestrzeni. Temperatura powietrza w osłoniętym budynku była przeciętnie o 1,4°C wyższa niż temperatura otoczenia, natomiast skrzynka lęgowa zapewniała różnicę około 0,8°C.

Ważniejszą rolę odgrywała jednak pełna osłona przed wiatrem i opadami, która redukowała konieczność metabolicznej produkcji ciepła. Oszacowane strumienie wytwarzania ciepła wynosiły przeciętnie około 67,9 W/m² dla ptaka odpoczywającego w budynku, 68,1 W/m² w skrzynce, 75,5 W/m² w świerku i 84,2 W/m² na otwartej przestrzeni. Wyniki dowodzą, że wybór odpowiedniego stanowiska odpoczynku ma duże znaczenie energetyczne nawet wtedy, gdy różnica temperatury powietrza pozostaje niewielka.

Zależność ta prowadzi do istotnego wniosku z zakresu ekologii zachowania: schronienie jest zasobem biologicznym nie tylko dlatego, że chroni przed drapieżnikami, lecz również dlatego, że bezpośrednio wpływa na zapotrzebowanie energetyczne organizmu. Młoda płomykówka

odpoczywająca podczas jesiennej dyspersji na odsłoniętej gałęzi może potrzebować więcej energii do utrzymania temperatury ciała niż osobnik przebywający w osłoniętym budynku. Różnica ta staje się kluczowa podczas wielodniowych opadów i silnego wiatru, gdy warunki polowania się pogarszają, a koszty fizjologiczne rosną. Powstaje wówczas niekorzystne sprzężenie zwrotne: ptak potrzebuje więcej pożywienia, mając jednocześnie mniejsze możliwości jego zdobycia. W warunkach skrajnych prowadzi to do eksploatacji rezerw energetycznych, utraty masy ciała i dalszego spadku sprawności łowieckiej. Mechanizm ten jest szczególnie istotny w pierwszym roku życia, gdy brak doświadczenia dodatkowo utrudnia wyszukiwanie ofiar.

Współczesne badania nad bilansem energetycznym ptaków wskazują ponadto, że termoregulacji nie można sprowadzać wyłącznie do ilości piór izolacyjnych. Kluczowe są także zmiany ukrwienia powierzchni ciała, dobór postawy, ograniczanie odsłoniętej powierzchni kończyn, aktywność mięśniowa oraz wykorzystywanie miejsc o odpowiednim mikroklimacie. W chłodnych warunkach organizm może zwiększać produkcję ciepła poprzez drżenie mięśni i ograniczać jego utratę dzięki reakcjom naczyniowym. U ptaków wymiana ciepła z otoczeniem zachodzi poprzez promieniowanie, przewodzenie, konwekcję i parowanie. Udział tych procesów zależy od temperatury, prędkości wiatru, wilgotności oraz właściwości powierzchni organizmu. Z tego powodu dwie noce o identycznej temperaturze powietrza mogą stanowić odmienne wyzwanie fizjologiczne, jeśli różnią się natężeniem wiatru, wilgotnością lub dostępnością osłoniętych miejsc odpoczynku.

Wpływ opadów na sowy to złożona interakcja fizjologii i akustyki

Właśnie taka wieloczynnikowość uzasadnia stosowanie biofizycznych modeli wymiany ciepła zamiast wyciągania wniosków ekologicznych z prostych średnich temperatur meteorologicznych. Szczególnej uwagi wymaga kwestia związku pomiędzy specjalizacją aerodynamiczną sów a właściwościami ich upierzenia podczas opadów deszczu. Autor książki przedstawia hipotezę, według której bardzo miękkie pióra sów, wyposażone w odpowiednio ukształtowane chorągiewki i struktury ograniczające hałas aerodynamiczny, wykazują zmniejszoną odporność na zamakanie. W najbardziej radykalnej formie twierdzenie to prowadzi do obrazowania upierzenia sów jako struktury niemal całkowicie pozbawionej właściwości hydrofobowych, która podczas intensywnego deszczu błyskawicznie nasiąka wodą, uniemożliwiając tym samym skuteczne loty łowieckie.

Współczesna wiedza wymaga jednak precyzyjniejszego rozróżnienia. Specjalizacje ograniczające hałas lotu — obejmujące między innymi grzebieniaste struktury na krawędziach lotek, odpowiednią podatność mechaniczno-strukturalną piór oraz właściwości ich powierzchni — są dobrze

udokumentowane. Nie wynika z tego jednak automatycznie, że upierzenie wszystkich sów reaguje na wodę identycznie ani że istnieje prosty, niezmienny kompromis ewolucyjny między bezgłośnym lotem a utratą wodoodporności. Badania właściwości hydrofobowych piór wskazują, że ich zwilżalność zależy od topografii powierzchni, ułożenia promyków, chemicznych właściwości keratyny i obecności wydzielin pielęgnacyjnych; wzajemne znaczenie tych czynników pozostaje złożone. W badaniu opublikowanym w 2024 roku w Data in Brief, dotyczącym przepuszczalności aerodynamicznej skrzydeł sów i innych ptaków, porównano 39 preparatów reprezentujących sześć gatunków — trzy gatunki sów oraz trzy gatunki ptaków niewykazujących analogicznie wyspecjalizowanego cichego lotu.

Wykorzystano aparat pozwalający mierzyć statyczny opór przepływu powietrza przez fragmenty skrzydeł, zgodnie z procedurą opartą na normie ISO 9053. Uzyskane dane potwierdziły znaczenie miękkiej i przepuszczalnej struktury upierzenia jako jednej z właściwości ograniczających hałas aerodynamiczny. Jednocześnie badanie nie było bezpośrednim eksperymentem dotyczącym odporności wszystkich piór na nasiąkanie wodą, zatem nie może samo w sobie dowodzić zmniejszonej hydrofobowości całego upierzenia. Właściwa interpretacja wymaga więc odróżnienia przepuszczalności powietrza i strukturalnej podatności piór od powierzchniowej zwilżalności oraz rzeczywistego tempa przenikania wody do warstwy izolacyjnej. Z punktu widzenia biofizyki są to właściwości powiązane, lecz nieidentyczne, a ich znaczenie zmienia się zależnie od rodzaju opadu, czasu ekspozycji i aktualnego stanu upierzenia. Właśnie dlatego wpływ deszczu na sowy należy analizować jako złożony proces obejmujący przynajmniej trzy mechanizmy.

Pierwszy dotyczy zmian właściwości termicznych i mechanicznych upierzenia podczas zwilżania, co może zwiększać koszt utrzymywania temperatury ciała i wpływać na aerodynamikę lotu. Drugi obejmuje bezpośredni wpływ opadów i wiatru na mobilność, wyszukiwanie zdobyczy oraz precyzję manewrów łowieckich. Trzeci odnosi się do zmian aktywności samych ofiar, których zachowanie ulega modyfikacji podczas intensywnego deszczu. W przypadku płomykówki kluczowe może być zwiększenie poziomu dźwięków tła, powstających wskutek uderzeń kropli w roślinność i grunt, co utrudnia wyodrębnianie słabych sygnałów akustycznych wytwarzanych przez przemieszczające się gryzonie.

Sama biologiczna wiarygodność tego mechanizmu nie pozwala jednak przypisać wszystkim epizodom opadowym jednakowego wpływu na skuteczność lokalizacji ofiar. Intensywność zakłócenia zależy od charakterystyki akustycznej środowiska, rodzaju roślinności, częstotliwości dźwięków i czasu trwania opadów. British Trust for Ornithology wskazuje, że deszczowa i śnieżna pogoda może ograniczać możliwości polowania płomykówek, a w konsekwencji wpływać na ich kondycję fizjologiczną, przeżywalność i sukces reprodukcyjny. W raporcie badawczym BTO

dotyczącym reprodukcji płomykówki i warunków pogodowych przeanalizowano zależności między temperaturą, opadami, pokrywą śnieżną a parametrami lęgów. Autorzy raportu wskazali, że niekorzystna pogoda zimowa może skutkować późniejszym rozpoczęciem składania jaj, mniejszą ich liczbą i ograniczoną przeżywalnością piskląt, choć nie wszystkie badania populacyjne wykazały równie silne związki między tymi zmiennymi. W części analiz wpływ pokrywy śnieżnej na produktywność pozostawał wyraźny, podczas gdy inne dane nie potwierdzały istotnej zależności. Zróżnicowanie to pokazuje, że wpływ pogody jest modyfikowany przez lokalne warunki środowiskowe, w tym strukturę krajobrazu i dostępność alternatywnych źródeł pokarmu.

Należy pamiętać, że warunki zimowe mogą oddziaływać na późniejszą reprodukcję zarówno poprzez śmierć części osobników, jak i pogorszenie kondycji ptaków, które przeżyły, lecz nie posiadają zasobów umożliwiających przystąpienie do lęgu. Zależność tę szczególnie wyraźnie ujawniła wyjątkowo trudna zima oraz chłodna wiosna 2013 roku w Wielkiej Brytanii. Po kilku sezonach silnych mrozów i intensywnych opadów płomykówki doświadczyły kolejnego pogorszenia warunków polowania, a marzec 2013 roku należał do najzimniejszych w brytyjskiej historii pomiarów meteorologicznych. W raporcie 2013 Devon Barn Owl Survey wskazano, że temperatura wiosny była o około 1,7°C niższa od średniej długoterminowej, a marcowe ochłodzenie zbiegło się z dalszymi opadami śniegu. British Trust for Ornithology odnotował w marcu wzrost liczby zgłoszeń martwych płomykówek o 280 procent względem poziomu odniesienia.

Spadek liczby lęgów nie zawsze oznacza śmierć populacji

W krajowym zestawieniu przygotowanym przez Barn Owl Trust stwierdzono, że zajętość stanowisk lęgowych była o około 70 procent niższa od wartości odniesienia, choć spadki regionalne pozostawały znacznie zróżnicowane. Dane te dokumentują poważny kryzys reprodukcyjny, jednak nie należy utożsamiać liczby martwych ptaków zgłoszonych do instytucji monitorującej z bezpośrednim oszacowaniem śmiertelności całej populacji. Podobnie spadek liczby aktywnych lęgów nie stanowi samodzielnego dowodu proporcjonalnego spadku liczby wszystkich żyjących osobników, gdyż część par mogła po prostu odstąpić od rozrodu. Z perspektywy demografii populacji kluczowe staje się zatem rozdzielenie przeżywalności dorosłych osobników, przeżywalności młodych i prawdopodobieństwa podjęcia reprodukcji.

Kryzys pogodowy może prowadzić do zwiększonej śmiertelności przede wszystkim ptaków o mniejszych rezerwach energetycznych, w tym części osobników młodocianych. Jednocześnie dorosłe płomykówki, które przetrwały trudny okres, mogą ograniczać inwestycję reprodukcyjną,

jeżeli ich kondycja nie pozwala na produkcję jaj i późniejsze wychowywanie potomstwa. W takim przypadku spadek liczby lęgów jest rezultatem dwóch odmiennych mechanizmów: rzeczywistego zmniejszenia liczby potencjalnych rodziców oraz mniejszego prawdopodobieństwa rozpoczęcia lęgu przez osobniki nadal żyjące. Ich rozróżnienie wymaga danych z obrączkowania, powtórnych obserwacji i badań kondycji, a nie wyłącznie liczenia zajętych skrzynek. Oba te mechanizmy mogą prowadzić do zupełnie odmiennych perspektyw odbudowy populacji.

Jeśli większość dorosłych ptaków przeżywa trudny sezon, lecz czasowo rezygnuje z rozrodu, poprawa warunków pokarmowych może przynieść szybki wzrost liczby lęgów. Jeśli natomiast dochodzi do masowej utraty osobników dorosłych, odtwarzanie populacji wymaga dodatkowo skutecznej rekrutacji i osiedlania się młodych. Dane z kolejnego sezonu potwierdzają znaczenie tego rozróżnienia.

Według Barn Owl Trust rok 2014 okazał się wyjątkowo korzystny dla brytyjskich płomykówek, mimo że poprzedzająca go zima 2013/2014 była niezwykle mokra i burzliwa. Organizacja wskazała, że stosunkowo łagodna temperatura zimy, korzystna wiosna i wysoka dostępność drobnych ssaków umożliwiły znaczną poprawę sukcesu reprodukcyjnego. Wśród stanowisk monitorowanych przez 25 grup terenowych zajętość gniazd była o około 16 procent wyższa od wieloletniej średniej, a przeciętna liczebność młodych o około 35 procent wyższa.

Przykład ten podważa prosty model, zgodnie z którym intensywne opady zimowe zawsze muszą prowadzić do ogólnokrajowego załamania reprodukcji. Negatywne konsekwencje były szczególnie silne tam, gdzie dochodziło do długotrwałego zalania żerowisk; w innych regionach stosunkowo łagodna pogoda i wysoka liczebność gryzoni umożliwiały skuteczny rozród. W rezultacie ten sam sezon meteorologiczny mógł tworzyć warunki korzystne dla części populacji i bardzo niekorzystne dla innych, zależnie od lokalnej hydrologii oraz struktury siedlisk. Zagadnienie to prowadzi bezpośrednio do problemu oddziaływania powodzi na ekologię krajobrazu. Autor książki szczegółowo opisuje konsekwencje długotrwałego zalewania Somerset Levels, gdzie zimowe powodzie mogły prowadzić do utraty siedlisk trawiastych, ograniczenia populacji norników i pogorszenia dostępności pokarmu dla płomykówek.

Szczególny nacisk położono na możliwość zatapiania systemów nor i powierzchniowych korytarzy wykorzystywanych przez drobne ssaki, a także na późniejsze ograniczenie wzrostu roślinności wskutek niekorzystnych warunków wiosennych. Mechanizm ekologiczny jest wiarygodny, ponieważ długotrwałe zalanie może ograniczać dostępność tlenu w glebie, zmieniać właściwości warstwy roślinnej, przemieszczać organizmy i powodować utratę odpowiednich schronień. Jednak twierdzenia dotyczące niemal całkowitego wyginięcia norników na całym zalanym obszarze i jednoznacznego odtworzenia tego procesu na podstawie wypluwek wymagają ostrożności.

Brak określonych szczątków w materiale pokarmowym może wynikać również ze zmiany sposobu korzystania z żerowisk, selekcji innych ofiar albo ograniczenia liczby badanych próbek. Właściwe rozpoznanie skali zmian wymaga niezależnych danych o zagęszczeniu gryzoni przed zalaniem i po nim. Wątek Somerset Levels posiada zarazem bardzo ważną dokumentację terenową.

Wpływ powodzi i suszy na sowy poprzez destabilizację bazy pokarmowej

W raporcie State of the UK Barn Owl Population 2019 przywołano opinię Chrisa Sperringa, który ocenił, że powodzie na tym obszarze przyczyniły się do spadku aktywności lęgowej płomykówek o około 50-60 procent w 2013 roku. Liczbę tę należy jednak interpretować jako szacunek terenowy dotyczący aktywności lęgowej, a nie jako bezpośrednio zweryfikowany spadek liczebności całej populacji.

W materiałach Barn Owl Trust z początku 2014 roku opisano rozległe zalanie łąk i rowów, których trawiaste obrzeża pełniły istotną funkcję siedliskową dla gryzoni. Długotrwałe podtopienia utrzymywały się tam przez wiele miesięcy, ograniczając powierzchnię żerowisk dostępnych dla sów. Jednocześnie dokumentowano obecność rozmnażających się norników na terenach, które nie zostały zalane w podobnym stopniu, co dodatkowo wskazuje na przestrzenną nierównomierność skutków powodzi. Przykład ten pokazuje, że ekologiczne następstwa ekstremalnego zjawiska hydrologicznego nie powinny być oceniane wyłącznie przez całkowitą wielkość opadów, lecz również przez czas utrzymywania się wody, ukształtowanie terenu, właściwości gleby i dostępność wyżej położonych refugiów dla małych ssaków. Kluczowe jest tutaj odróżnienie krótkotrwałego podtopienia od długotrwałej zmiany funkcjonalności siedliska.

Norniki i inne niewielkie ssaki mogą reagować na wzrost poziomu wody, przemieszczając się do suchszych fragmentów krajobrazu, wykorzystując wyniesione struktury roślinności lub zmieniając swoją aktywność. Możliwość takiej reakcji zależy jednak od tempa narastania wody i przestrzennej dostępności obszarów ucieczki. W krajobrazie silnie przekształconym przez rowy melioracyjne, drogi i inną infrastrukturę drożność połączeń pomiędzy terenami zalewanymi a wyżej położonymi refugium może być ograniczona. W konsekwencji podobna wysokość zalania może prowadzić do odmiennych następstw w zależności od stopnia przestrzennej fragmentacji siedlisk. Możliwe jest również lokalne koncentrowanie się gryzoni na suchych fragmentach terenu, co może przejściowo zwiększać ich dostępność dla niektórych drapieżników, zanim nastąpią późniejsze zmiany liczebności populacji. Nie istnieje więc jedna, bezwarunkowa zależność, zgodnie z którą każde zalanie musi natychmiast ograniczać liczbę ofiar dostępnych wszystkim sowom.

Analiza hydrologicznych konsekwencji powodzi wymaga uwzględnienia procesów zachodzących w roślinności. Długotrwałe utrzymywanie się wody wpływa na strukturę zespołów roślinnych, dostępność tlenu w strefie korzeniowej, akumulację materii organicznej i możliwość regeneracji poszczególnych gatunków po ustąpieniu zalania. Wysokiej jakości siedlisko gryzoni związanych z trawami wymaga bowiem nie tylko określonego składu gatunkowego roślin, lecz również odpowiedniej struktury ich dolnych warstw i nagromadzenia martwej materii roślinnej.

Jeśli powódź niszczy tę strukturę albo prowadzi do długotrwałego ograniczenia wzrostu traw, skutki dla drobnych ssaków mogą utrzymywać się długo po wycofaniu wody. Z kolei regeneracja roślinności umożliwia odbudowę populacji gryzoni, choć jej tempo zależy od warunków cieplnych, wilgotności gleby i obecności organizmów zdolnych do ponownego zasiedlania obszaru.

Powódź jest zatem nie tylko krótkotrwałym zagrożeniem dla zwierząt, lecz zaburzeniem ekologicznym, którego następstwa mogą rozwijać się przez kilka sezonów. Odmienny mechanizm zagrożenia tworzy susza, której oddziaływanie na sowy może być szczególnie silne w krajobrazach trawiastych zależnych od sezonowego wzrostu roślinności. W przeciwieństwie do powodzi, gdzie głównym problemem jest bezpośrednie zalanie stanowisk i utrata powierzchni żerowisk, długotrwały deficyt wody prowadzi przede wszystkim do ograniczenia produkcji pierwotnej, pogorszenia kondycji roślin i zmiany struktury osłony wykorzystywanej przez drobne ssaki. Należy pamiętać, że norniki związane z gęstą roślinnością wykorzystują ją równocześnie jako źródło pożywienia, materiał do budowy schronień i ochronę przed drapieżnikami.

Ograniczenie wilgotności gleby i zahamowanie wzrostu traw oddziałuje na populacje gryzoni poprzez kilka odmiennych mechanizmów. Pogorszenie jakości pokarmu może zmniejszać ich rozrodczość i przeżywalność, natomiast osłabienie warstwy roślinnej zwiększa ekspozycję na ataki drapieżników. Nie oznacza to jednak, że wszystkie gryzonie doświadczają identycznego deficytu wody ani że śmierć z odwodnienia zawsze stanowi podstawowy mechanizm spadku ich liczebności. Kluczowe znaczenie ma tutaj bilans energetyczny, jakość roślinności i przestrzenna dostępność odpowiednich mikrośrodowisk.

Lokalne siedliska modyfikują wpływ ekstremalnych temperatur

Rok 2025 przyniósł szczególnie istotny przykład takiej zależności. Brytyjski Met Office potwierdził, że lato tego roku było najcieplejszym w historii krajowych pomiarów, a analiza atrybucyjna wykazała, iż prawdopodobieństwo wystąpienia tak wysokich temperatur znacząco wzrosło wskutek

antropogenicznej zmiany klimatu. Oszacowano, że w hipotetycznym świecie bez wpływu człowieka podobnie gorące lato zdarzyłoby się średnio raz na 340 lat; obecnie zaś zjawisko to występuje przeciętnie raz na pięć lat. Warto jednak zaznaczyć, że dane te są wynikiem analizy probabilistycznej temperatur letnich, a nie dowodem na to, iż każda lokalna susza czy wszystkie niekorzystne rezultaty reprodukcyjne płomykówek w tym sezonie były wywołane wyłącznie działalnością człowieka. Kluczowe jest bowiem oddzielenie atrybucji ekstremalnego zjawiska meteorologicznego od atrybucji jego konkretnych następstw ekologicznych, gdyż te ostatnie zależą również od rodzaju gleby, roślinności, sposobu gospodarowania krajobrazem oraz lokalnej dynamiki populacji gryzoni.

Raport State of the UK Barn Owl Population 2025, opracowany przez Barn Owl Trust, wskazał na wyjątkowo słabe rezultaty lęgowe płomykówek, które powiązano z wiosenną i letnią suszą. Organizacja oparła swoje wnioski na kontroli 6102 potencjalnych stanowisk lęgowych, zaznaczając przy tym, że szczegółowe porównania wieloletnie przeprowadzono na mniejszej próbie obiektów o spójnej dokumentacji. W analizie zbiorczej zajętość stanowisk lęgowych była o około 25 procent niższa od średniej z ubiegłych lat, a przeciętna liczba potomstwa w udanych lęgach spadła o około 11 procent.

W wielu regionach środkowej części południowej Anglii spadki zajętości przekroczyły 60 procent. Jednocześnie nie wszystkie obszary ucierpiały w tym samym stopniu: w części Yorkshire, Northumberland i Irlandii Północnej odnotowano znacznie lepsze wyniki. W East Yorkshire wysoka dostępność norników pozwoliła utrzymać dobrą kondycję piskląt, a na niektórych stanowiskach podjęto nawet drugie lęgi. Takie rozbieżności regionalne dowodzą, że wpływ suszy na sowy zależy silnie od lokalnych właściwości siedlisk, a nie tylko od ogólnokrajowych średnich temperatury i opadów. Szczególnie dramatyczną sytuację udokumentowano na Salisbury Plain oraz w południowej części hrabstwa Wiltshire.

W zestawieniu regionalnym przygotowanym przez The Salisbury Plain Raptor and Owl Ringing Group liczba stanowisk z lęgami spadła z wieloletniej wartości odniesienia (około 136) do zaledwie 14 w 2025 roku, co według autorów oznacza spadek zajętości o około 95 procent. W zachodnich i centralnych sektorach Salisbury Plain Training Area odnotowano dziewięć par, które pomyślnie wyprowadziły łącznie dziewiętnaście młodych.

Mechanizmy przetrwania i rola struktury krajobrazu w okresach niedoboru

Badacze terenowi wskazali, że niedobór pokarmu uniemożliwiał wielu samicom osiągnięcie kondycji niezbędnej do podjęcia reprodukcji, a zimna i sucha wiosna ograniczała wzrost traw oraz późniejszą rozrodczość norników. W materiałach źródłowych pojawiła się informacja o spadku liczby udanych lęgów ze 144 do zaledwie czterech, jednak nie udało się potwierdzić tych danych w oficjalnym zestawieniu za 2025 rok.

Dostępny raport wskazuje na 14 stanowisk lęgowych w szerszej analizie regionalnej oraz dziewięć udanych lęgów w określonej części poligonu – to właśnie te wartości należy uznać za właściwie udokumentowane. Z ekologicznego punktu widzenia interesujące jest, że wyjątkowo niekorzystny sezon lęgowy nie musi oznaczać całkowitego zaniku dorosłej populacji. Autor raportu z 2025 roku zwrócił uwagę na przypadki stanowisk, w których obserwowano dorosłe płomykówki, mimo braku podejmowanych lęgów.

Wskazuje to na możliwość funkcjonowania mechanizmu ograniczania inwestycji reprodukcyjnej w warunkach niewystarczającej dostępności pokarmu. Zgodnie z teorią historii życia utrzymywanie zdolności do przeżycia i reprodukcji w przyszłych sezonach może, w określonych okolicznościach, wiązać się z rezygnacją z aktualnego lęgu. Nie oznacza to jednak, że decyzja ta została poprzedzona świadomym przewidywaniem przyszłych warunków środowiskowych. Może ona wynikać z mechanizmów fizjologicznych, w których niski poziom rezerw energetycznych i nieodpowiedni stan hormonalny ograniczają gotowość organizmu do produkcji jaj. Taki mechanizm może umożliwiać stosunkowo szybką poprawę wyników reprodukcyjnych po odbudowie bazy pokarmowej, o ile wystarczająca część dorosłych ptaków przetrwała niekorzystny okres.

Ważne jest również to, że susza może prowadzić do odmiennych następstw w zależności od struktury użytkowania gruntów. Krajobraz złożony niemal wyłącznie z intensywnie uprawianych pól może wykazywać większą podatność na utratę odpowiednich mikrośrodowisk drobnych ssaków niż teren zawierający trwałe pasy roślinności, miedze, zadrzewienia i obszary o bardziej stabilnej wilgotności. Nie oznacza to jednak, że wszystkie niekoszone łąki są odporne na długotrwały deficyt opadów lub że każdy element infrastruktury rolniczej pogarsza możliwości przetrwania gryzoni. Kluczowe pozostają właściwości gleby: jej zdolność retencji wody, głębokość systemów korzeniowych i struktura powierzchniowa roślinności.

W warunkach ekstremalnego niedoboru wilgoci większa różnorodność mikrośrodowisk może zapewnić części organizmów możliwość przetrwania, choć skuteczność tego mechanizmu zależy od

przestrzennej skali suszy. Właściwe zarządzanie żerowiskami sów powinno więc obejmować nie tylko ochronę odpowiedniej powierzchni terenów trawiastych, ale również utrzymywanie funkcjonalnej różnorodności krajobrazu oraz zdolności siedlisk do zachowywania wilgotności.

Wpływ fal upałów na pisklęta zależy od mikroklimatu gniazda

Odmienną postać obciążenia klimatycznego stanowią fale upałów, których wpływ może być szczególnie silny na etapie inkubacji i rozwoju piskląt. Dorosły ptak dysponuje możliwością zmiany miejsca odpoczynku, ograniczenia aktywności w najgorętszej porze dnia i odpowiedniego dostosowania zachowania do warunków środowiskowych. Rozwijający się zarodek pozostaje natomiast uzależniony od mikroklimatu jaja i zachowania inkubującego rodzica, a pisklęta przez długi okres nie mogą samodzielnie opuścić stanowiska lęgowego.

zwiększanie temperatury otoczenia może prowadzić do wzrostu konieczności odprowadzania ciepła przez parowanie, a więc również do zwiększonej utraty wody. U ptaków podstawowe znaczenie mają między innymi odparowywanie wody przez drogi oddechowe i odpowiednie zachowania termoregulacyjne. Nie istnieje jednak jedna temperatura powietrza odpowiadająca nieuchronnemu wystąpieniu udaru cieplnego u wszystkich piskląt, ponieważ ryzyko zależy od wieku, kondycji, wilgotności, długości ekspozycji i możliwości utrzymywania prawidłowego bilansu wodnego. W notatce źródłowej przedstawiono twierdzenie, że po przekroczeniu 35°C wewnątrz skrzynki lęgowej pisklęta doświadczają nieodwracalnego przegrzania i odwodnienia. Tak sformułowana granica jest jednak nadmiernym uproszczeniem. W rzeczywistości krytyczny stan fizjologiczny zależy od czasu ekspozycji, temperatury ciała, możliwości utraty ciepła, wieku pisklęcia i wielu innych parametrów.

Badanie Mottiego Chartera i Gabe'a Rozmana opublikowane w 2022 roku w Animals porównało rezultaty rozrodu płomykówek korzystających ze skrzynek zamontowanych na drzewach oraz na słupach w miejscach zacienionych i nasłonecznionych. Autorzy wykazali, że stanowiska na słupach eksponowanych na słońce były istotnie cieplejsze od stanowisk zacienionych, a skutki takiego zróżnicowania zależały od terminu rozpoczęcia reprodukcji. Na początku sezonu płomykówki korzystające z cieplejszych skrzynek mogły osiągać korzystne wyniki, natomiast w późniejszej części sezonu przewaga przesuwała się w stronę stanowisk na drzewach, zapewniających skuteczniejszą ochronę przed wysoką temperaturą.

Autorzy wskazali również, że zakres komfortu termicznego rozwijających się piskląt może kończyć się w pobliżu temperatury 31°C, ale wartość ta nie jest tożsama z bezwzględną granicą

śmiertelności. Wynik ten posiada ważne znaczenie dla rozumienia kosztów adaptacji do zmieniających się warunków termicznych. Cieplejsze stanowisko lęgowe może w okresie chłodnym ograniczać koszty utrzymywania odpowiedniej temperatury jaj i piskląt, a zatem przynosić bezpośrednią korzyść energetyczną. Jednak ta sama konstrukcja podczas fali upałów może stać się miejscem zwiększonego ryzyka przegrzania.

Nie istnieje więc jedna uniwersalnie najlepsza temperatura gniazda, niezależna od etapu sezonu i właściwości rozwijających się organizmów. Z perspektywy ekologii rozwoju szczególne znaczenie posiada możliwość zmieniania optymalnego mikroklimatu wraz z wiekiem potomstwa. Zarodek w początkowej fazie inkubacji, pisklę wymagające intensywnego ogrzewania i młody osobnik posiadający rozwinięte upierzenie wykazują odmienne potrzeby fizjologiczne. Właściwe projektowanie stanowisk antropogenicznych wymaga więc uwzględnienia zmienności temperatur w całym okresie użytkowania gniazda, a nie jedynie średniej temperatury w momencie jego instalacji. w przyszłych warunkach klimatycznych zwiększenie możliwości ochrony przed przegrzewaniem może mieć znaczenie nawet na obszarach, gdzie tradycyjnym problemem pozostawała przede wszystkim zbyt niska temperatura. Wielka Brytania i znaczna część Europy Środkowej doświadczały przez dziesięciolecia sezonowych ograniczeń związanych z zimnem i wilgocią, ale coraz częstsze epizody wysokiej temperatury mogą zmieniać bilans korzyści wynikających z określonych konstrukcji lęgowych.

Nie oznacza to, że wszystkie skrzynki powinny być umieszczane wyłącznie w miejscach maksymalnie zacienionych, ponieważ w chłodniejszym klimacie ograniczenie nasłonecznienia może prowadzić do wzrostu kosztów termoregulacji. Właściwe rozwiązania powinny być dostosowane do lokalnych warunków, obejmujących temperaturę, ekspozycję, materiał konstrukcyjny i dostępność naturalnych kryjówek. Szczególnie wartościowe pozostają stanowiska, których mikroklimat wykazuje relatywnie niewielką amplitudę zmian, umożliwiając ograniczanie zarówno nadmiernego ochłodzenia, jak i przegrzania. Nie zawsze jednak stabilność temperatury jest jedynym kryterium sukcesu, ponieważ znaczenie mają również wilgotność, wentylacja i bezpieczeństwo przed drapieżnikami. Ważnego materiału porównawczego dostarczyło badanie Steffena Kämpfera, Eliasa Engela i Thomasa Fartmanna opublikowane w 2022 roku w Journal of Ornithology pod tytułem Weather conditions determine reproductive success of a ground-nesting bird of prey in natural dune grasslands. Autorzy przeanalizowali sukces reprodukcyjny uszatki błotnej na wyspie Spiekeroog należącej do archipelagu Wysp Wschodniofryzyjskich na Morzu Północnym.

Badania obejmowały 34 gniazda, a szczególnej analizie poddano przeżywalność piskląt i młodych po opuszczeniu bezpośredniego stanowiska lęgowego. Średnia liczba wyklutych młodych wynosiła około 5,6 na gniazdo, a prawdopodobieństwo przetrwania samego gniazda było bardzo wysokie, co

autorzy wiązali między innymi z brakiem części ssaków drapieżnych, takich jak lis rudy, i ograniczoną presją antropogeniczną.

Mikroklimat gniazda i zmienne środowiskowe determinują przeżywalność młodych

Przeżywalność młodych po wykluciu wykazywała jednak znaczne zróżnicowanie między sezonami, a warunki atmosferyczne były jednym z kluczowych czynników wyjaśniających te różnice. Szczególnie niekorzystny wpływ odnotowano w przypadku maksymalnych prędkości wiatru oraz czasu nasłonecznienia.

Właściwa interpretacja tych wyników wymaga odróżnienia bezpieczeństwa stanowiska lęgowego od bezpieczeństwa rozwijającego się potomstwa. Nawet jeśli gniazdo jest skutecznie chronione przed drapieżnymi ssakami i działalnością człowieka, młode wciąż są narażone na zagrożenia wynikające z silnego wiatru i intensywnej ekspozycji na słońce. Ma to szczególne znaczenie w przypadku uszatki błotnej, która zakłada gniazda na ziemi – tam mikroklimat zależy od lokalnej struktury traw, właściwości podłoża i ekspozycji na wiatr. Drobne różnice w wysokości roślinności mogą zatem prowadzić do odmiennych warunków termicznych i wilgotnościowych, co bezpośrednio wpływa na przeżywalność młodych. Wskazuje to, że skutki pogody nie mogą być oceniane wyłącznie na podstawie średniej temperatury powietrza mierzonej przez standardową stację meteorologiczną. Z perspektywy rozwijającego się pisklęcia kluczowy jest bezpośredni mikroklimat gniazda, którego parametry mogą istotnie odbiegać od wartości uśrednionych dla całego regionu.

Jeszcze bardziej złożone zależności występują w północnych ekosystemach leśnych, gdzie dynamika populacji sów pozostaje silnie powiązana z wieloletnimi cyklami drobnych ssaków, pokrywą śnieżną i sezonowym przebiegiem temperatur. Szczególnie wartościowych danych dostarczyły badania nad włochatką (Aegolius funereus), prowadzone w zachodniej Finlandii przez zespół Erkki Korpimäkiego. W pracy z 2020 roku opublikowanej w „Scientific Reports” pod tytułem „Interactive influences of fluctuations of main food resources and climate change on long-term population decline of Tengmalm's owls in the boreal forest”, autorzy przeanalizowali dane z lat 1973–2018, koncentrując się na relacjach między dostępnością norników, temperaturą i opadami a sukcesem reprodukcyjnym gatunku. Stwierdzono długoterminowy spadek liczebności par lęgowych oraz mniejszą liczbę młodych opuszczających gniazda, czemu towarzyszyło opóźnianie terminów składania jaj. Zagęszczenie par lęgowych było negatywnie skorelowane z temperaturą zimową, podczas gdy liczba młodych wykazywała dodatni związek z wyższą temperaturą i opadami

wiosennymi. Z kolei większa głębokość pokrywy śnieżnej pod koniec zimy wiązała się z późniejszym rozpoczynaniem lęgów.

Przewaga zależności troficznych nad bezpośrednim wpływem klimatu

Badanie wykazało, że poszczególne komponenty warunków pogodowych mogą oddziaływać w sposób przeciwstawny na różne parametry demograficzne tego samego gatunku. Szczególnie istotny jest wniosek autorów, według którego korzystne skutki cieplejszej i wilgotniejszej wiosny nie rekompensowały długoterminowego pogorszenia dostępności pokarmu i spadku produkcji potomstwa. W badanej populacji odnotowano bowiem zmiany w charakterystyce cykli liczebności norników, których amplituda i przebieg stanowiły kluczowy element warunków reprodukcyjnych włochatek.

W konsekwencji wpływ ocieplenia klimatu nie daje się sprowadzić do prostego wzrostu przeżywalności wynikającego z ograniczenia zimowego chłodu. Wyższa temperatura zimą mogła współwystępować z niekorzystnymi zmianami w strukturze zasobów troficznych, a bezpośrednie korzyści fizjologiczne mogły być niewystarczające wobec utraty sezonowej obfitości gryzoni. Stanowi to ważny przykład nieliniowości reakcji ekologicznych – sytuację, w której pozornie korzystna zmiana jednego parametru środowiskowego prowadzi do niekorzystnego rezultatu populacyjnego poprzez oddziaływanie na inne elementy ekosystemu. Precyzyjne prognozowanie wymaga zatem rozpoznania całej sekwencji zależności: od klimatu i roślinności, przez gryzonie, aż po reprodukcję drapieżnika.

Podobne zjawisko opisano w wieloletnich badaniach puszczyka zwyczajnego prowadzonych w Kielder Forest w północnej Anglii. W artykule z 2015 roku pt. „Dampening prey cycle overrides the impact of climate change on predator population dynamics: a long-term demographic study on tawny owls" przeanalizowano 27-letni szereg danych dotyczących przeżywalności i reprodukcji puszczyków oraz liczebności nornika burego. Autorzy wykorzystali również zimowy indeks oscylacji północnoatlantyckiej (winter North Atlantic Oscillation – wNAO), obrazujący szerokoskalowe warunki cyrkulacji atmosferycznej wpływające na pogodę w Europie. Wykazano, że przeżywalność dorosłych i młodych puszczyków była dodatnio skorelowana z jesienną liczebnością norników, podczas gdy bezpośredni wpływ wskaźnika wNAO na te parametry pozostawał niewielki. Prawdopodobieństwo przystąpienia do lęgu oraz liczba młodych były natomiast wyższe w latach większej dostępności gryzoni wiosną oraz przy ujemnych wartościach zimowego NAO, co w analizowanym regionie wiązało się z chłodniejszymi i bardziej suchymi zimami. Kluczowe okazało

się jednak to, że zmiany amplitudy cykli populacyjnych norników miały dla dynamiki puszczyków większe znaczenie niż bezpośrednie oddziaływanie parametrów klimatycznych. Przypadek Kielder Forest pogłębia zatem rozumienie pośrednich konsekwencji zmian klimatu.

W tradycyjnych modelach biogeograficznych ocieplenie przedstawia się głównie jako przesuwanie granic zasięgu gatunków w odpowiedzi na wzrost temperatur. Tymczasem nawet jeśli organizm pozostaje w granicach swojej tolerancji fizjologicznej, jego populacja może ulegać zmianom wskutek zaburzeń na niższych poziomach troficznych. Jeśli zmniejsza się amplituda cykli liczebności norników, maleje znaczenie sezonów wyjątkowo wysokiej dostępności pokarmu, które wcześniej pozwalały sowom wychowywać liczne potomstwa. Jednocześnie zmiana struktury cykli może wpływać na przeżywalność gryzoni w okresach ich niskiej liczebności oraz na intensywność konkurencji między drapieżnikami. Ostateczny rezultat nie musi być jednoznacznie negatywny dla wszystkich konsumentów – niektóre gatunki mogą zyskać dzięki większej stabilności zasobów, podczas gdy inne tracą szansę na intensywne rozmnażanie podczas okresowych szczytów populacyjnych. Właściwe wyjaśnienie tych procesów wymaga więc odróżnienia średniej liczebności ofiar od wariancji i czasowej struktury ich dostępności.

Niedopasowanie fenologiczne i wzrost konkurencji międzygatunkowej

Klimatyczne oddziaływania na biologię sów mają również istotny wymiar fenologiczny, dotyczący terminów sezonowych zdarzeń w cyklu życiowym organizmów. Fenologia obejmuje między innymi początek aktywności reprodukcyjnej, termin składania jaj i pojawiania się młodych, rozwój roślinności oraz sezonowe zmiany w aktywności owadów i drobnych ssaków.

Zmiany temperatury i opadów mogą wpływać na każdy z tych procesów, jednak nie muszą przesuwać ich w tym samym kierunku ani z jednakową prędkością. W efekcie może dochodzić do zaburzeń synchronizacji między reprodukcją drapieżników a okresami wysokiej dostępności ich ofiar. Zjawisko to określa się terminem phenological mismatch, czyli niedopasowania fenologicznego. Istotne jest przy tym, że samo wcześniejsze rozpoczynanie lęgów nie dowodzi jeszcze powstawania takiego niedopasowania. Konieczne jest wykazanie, że terminy wysokiego zapotrzebowania energetycznego potomstwa i największej dostępności pokarmu rzeczywiście przesuwają się względem siebie w sposób rzutujący na sukces reprodukcyjny.

W odniesieniu do sów niedopasowanie fenologiczne może przyjmować różne postacie, zależnie od strategii pokarmowej gatunku. U płomykówki kluczowa może być relacja między terminem

rozpoczęcia lęgu a sezonowym wzrostem liczebności gryzoni trawiastych. U puszczyka ważną rolę mogą odgrywać zmiany dostępności drobnych ssaków leśnych, powiązane z wcześniejszymi latami nasiennymi drzew, natomiast u pójdźki znaczenie może mieć sezonowa aktywność bezkręgowców. Zmiana warunków termicznych może przyspieszać rozwój jednych organizmów, jednocześnie ograniczając reprodukcję innych wskutek deficytu wilgotności lub zmian struktury siedlisk.

Z tego względu nie można założyć, że cieplejsza wiosna zawsze prowadzi do wcześniejszego i skuteczniejszego rozrodu wszystkich gatunków sów. Ostateczny rezultat zależy od synchronizacji kilku procesów biologicznych, których regulacja opiera się na odmiennych sygnałach środowiskowych: długości dnia, temperaturze, dostępności pożywienia oraz stanie fizjologicznym rodziców.

Szczególnie interesującego przykładu dostarczyło badanie opublikowane w 2026 roku w czasopiśmie „Ibis" pod tytułem The potential for climate change to intensify nest-site competition between two sympatric owl species. Autorzy przeanalizowali długoterminowe dane dotyczące płomykówki i puszczyka zwyczajnego współwystępujących w południowych Węgrzech. W latach 1993–2019 termin rozpoczęcia reprodukcji płomykówki przesunął się średnio o około dwa tygodnie ku wcześniejszym datom, co było związane ze zmianami temperatury; u puszczyka nie stwierdzono analogicznego trendu.

W rezultacie sezony lęgowe obu gatunków zaczęły bardziej na siebie nachodzić, co mogło zwiększać prawdopodobieństwo konkurencji o odpowiednie stanowiska. Szczególnie istotne okazały się przypadki sekwencyjnego wykorzystywania tej samej skrzynki lęgowej przez oba gatunki w jednym sezonie. Płomykówki przystępujące do rozrodu po puszczykach rozpoczynały lęg o ponad cztery tygodnie później, co w takich warunkach bardzo ograniczało możliwość wyprowadzenia drugiego lęgu.

Autorzy badania wskazali zatem, że zmiana fenologii może oddziaływać nie tylko na synchronizację z dostępnością pokarmu, ale również na intensywność konkurencji międzygatunkowej. Zależność ta ma szczególne znaczenie dla teorii współistnienia ekologicznego, ponieważ pokazuje, że czas może pełnić funkcję zasobu podlegającego konkurencji podobnie jak przestrzeń i pokarm. Dwa gatunki korzystające z tej samej konstrukcji lęgowej mogą ograniczać bezpośrednie konflikty, jeśli ich okresy reprodukcji przypadają na odrębne części roku. Jednak zmiana temperatur może prowadzić do przesunięcia terminów składania jaj i zwiększenia czasowego nakładania się potrzeb, co skutkuje silniejszą konkurencją o ograniczoną liczbę stanowisk.

Nie jest przy tym konieczne, aby jeden gatunek bezpośrednio atakował drugi. Wystarczy, że wcześniejsze zajęcie skrzynki ograniczy dostępność miejsca w terminie korzystnym dla rozpoczęcia

lęgu przez konkurenta. Zjawisko to przypomina konkurencję eksploatacyjną, lecz dotyczy zasobu przestrzennego wykorzystywanego w określonym przedziale czasu.

Wpływ lat nasiennych drzew na sukces lęgowy sów

Wpływ wcześniejszego rozpoczęcia rozrodu może zależeć od całkowitej długości sezonu lęgowego. U gatunku zdolnego do wyprowadzania kolejnych lęgów opóźnienie pierwszego może prowadzić do utraty możliwości podjęcia następnego, a tym samym do zmniejszenia rocznego sukcesu reprodukcyjnego, nawet jeśli pierwszy lęg zakończy się powodzeniem. Autor książki przywołuje także hipotezę dotyczącą związku pomiędzy suszą, masowym owocowaniem drzew liściastych i nietypowymi zimowymi lęgami puszczyków. Szczególną rolę przypisano dębom i bukom, których lata obfitego wytwarzania nasion mogą zwiększać zasoby pokarmowe drobnych ssaków leśnych, a w konsekwencji poprawiać warunki reprodukcyjne sów. Podstawowy mechanizm troficzny jest dobrze uzasadniony, ponieważ produkcja żołędzi i bukwi wpływa na przeżywalność i rozrodczość gryzoni, stanowiących z kolei kluczowy zasób dla puszczyków.

Nie jest jednak prawidłowe przedstawianie masowego owocowania jako uniwersalnej reakcji drzew na pojedynczy epizod suszy. Masting to złożony proces reprodukcyjny, którego przebieg zależy od wcześniejszych warunków pogodowych, akumulacji zasobów, synchronizacji kwitnienia oraz innych mechanizmów fizjologicznych. Wpływ stresu wodnego przybiera odmienne postacie w zależności od gatunku drzewa i lokalnych uwarunkowań; nie można zatem automatycznie przyjąć, że każde ekstremalnie suche lato skutkuje obfitą produkcją nasion w kolejnym sezonie. Badania Petera Sundego i współpracowników prowadzone w duńskim lesie Gribskov potwierdzają jednak znaczenie lat nasiennych buka dla demografii puszczyków. W analizowanym okresie obfite owocowanie buków stwierdzano między innymi w latach 1998, 2000 i 2002, a następujące po nich sezony reprodukcyjne charakteryzowały się wyższą dostępnością drobnych ssaków i intensywniejszą aktywnością lęgową. W latach tych od 90 do 100 procent monitorowanych par podejmowało reprodukcję, a lęgi obejmowały zwykle od czterech do sześciu jaj. W pozostałych latach odsetek par przystępujących do lęgów wynosił od 20 do 60 procent, a lęgi były przeciętnie mniejsze. Dodatkowo w okresach wysokiej dostępności pokarmu reprodukcja rozpoczynała się średnio o miesiąc wcześniej. Wyniki te pokazują, że zmiany w zasobach roślinnych mogą przenosić się na kolejne poziomy sieci troficznej z opóźnieniem obejmującym przynajmniej jeden sezon.

Zjawiska te nie upoważniają do uznania grudniowych i styczniowych lęgów puszczyków za typową albo bezpośrednio przewidywalną konsekwencję masowego owocowania buków. Kluczowe znaczenie nabiera tutaj pojęcie opóźnionego efektu klimatycznego, określanego jako carry-over

effect. Odnosi się ono do sytuacji, w której warunki środowiskowe z jednego okresu życia organizmu wpływają na jego stan fizjologiczny lub sukces reprodukcyjny w czasie późniejszym. W przypadku sów może to obejmować wpływ trudnej zimy na kondycję dorosłych ptaków podczas wiosennego składania jaj, a także wpływ wcześniejszej dostępności nasion drzew na liczebność gryzoni w następnym sezonie. Oba mechanizmy nie są jednak identyczne.

Pierwszy dotyczy konsekwencji warunków środowiskowych dla stanu konkretnego organizmu, drugi zaś przenoszenia efektów przez kolejne poziomy sieci troficznej. Ich rozróżnienie jest kluczowe przy analizie danych wieloletnich, gdyż korelacja pomiędzy pogodą w jednym roku a sukcesem reprodukcyjnym w roku następnym może wynikać z kilku alternatywnych procesów. Właściwe ustalenie mechanizmu wymaga uwzględnienia stanu osobników, dostępności ofiar oraz warunków środowiskowych występujących pomiędzy analizowanymi momentami.

Ekologiczny wymiar suszy determinuje dostępność pokarmu

W ujęciu klimatologicznym kluczowe jest to, że przyszłe warunki środowiskowe Wielkiej Brytanii mogą charakteryzować się jednoczesnym wzrostem zagrożenia letnimi suszami i nasileniem epizodów intensywnych opadów. Met Office wskazuje, że prognozy dla Zjednoczonego Królestwa przewidują przeciętnie bardziej wilgotne zimy i suche lata, jednak to przestrzenny oraz czasowy rozkład opadów ma decydujące znaczenie dla oceny ryzyka hydrologicznego. Modele wysokiej rozdzielczości sugerują możliwość występowania większej liczby suchych dni letnich, przerywanych gwałtowniejszymi opadami.

Oznacza to, że wzrost całkowitej ilości deszczu w krótkim czasie nie musi skutecznie uzupełnić zasobów wody glebowej, zwłaszcza gdy opady powodują szybki spływ powierzchniowy. Jednocześnie wyższa temperatura zwiększa potencjalne parowanie, którego skala zależy od wilgotności i dostępności wody w glebie. Z perspektywy ekologii sów szczególnie niekorzystne mogą być układy, w których okresy intensywnych opadów i lokalnych powodzi są przedzielone długotrwałymi deficytami wilgotności, co ogranicza produktywność roślinności. Należy rozróżnić suszę meteorologiczną, rolniczą, hydrologiczną i ekologiczną, gdyż każda z tych kategorii opisuje inny aspekt niedoboru wody. Susza meteorologiczna odnosi się do braku opadów względem przyjętego poziomu odniesienia, natomiast susza rolnicza dotyczy deficytu wilgotności wpływającego na funkcjonowanie roślinności i upraw.

Susza hydrologiczna obejmuje ograniczenie zasobów wód powierzchniowych i podziemnych, a ekologiczna – konsekwencje niedoboru wody dla organizmów oraz procesów ekosystemowych. Z punktu widzenia norników i sów szczególnego znaczenia nabiera właśnie wymiar ekologiczny, ponieważ ich reakcja zależy od rzeczywistych zmian jakości siedlisk i dostępności pożywienia. Nie każda anomalia opadowa automatycznie zmniejsza liczebność gryzoni, podobnie jak ten sam deficyt wilgotności może wywoływać odmienne skutki w zależności od tego, czy gleba jest piaszczysta, gliniasta czy organiczna. Dlatego prognozowanie skutków klimatycznych powinno opierać się na bilansie wodnym gleby, strukturze roślinności i biologicznych reakcjach organizmów, a nie wyłącznie na sumach opadów. Zagadnienie to ma istotny wymiar metodologiczny związany z atrybucją klimatyczną.

Stwierdzenie, że określony sezon był wyjątkowo suchy i że płomykówki osiągnęły w nim niski sukces reprodukcyjny, dostarcza przesłanki do rozważania związku przyczynowego, lecz nie stanowi jeszcze pełnego dowodu. Konieczne jest ustalenie, czy susza rzeczywiście ograniczyła wzrost roślinności, w jakim stopniu wpłynęła na liczebność gryzoni oraz czy mniejsza dostępność pokarmu wystarcza do wyjaśnienia obserwowanego spadku reprodukcji.

Wielopoziomowa przyczynowość i pamięć ekologiczna w analizie wpływu klimatu

Przypisanie zwiększonego prawdopodobieństwa wystąpienia suszy antropogenicznej zmianie klimatu wymaga odrębnej analizy meteorologicznej i klimatologicznej, opartej na obserwacjach oraz porównaniu odpowiednich scenariuszy modelowych. Rzetelna narracja naukowa powinna zatem rozpoznawać kilka poziomów przyczynowości, zamiast łączyć je jednym skrótem wyjaśniającym. Antropogeniczne ocieplenie może zwiększać prawdopodobieństwo wystąpienia konkretnego ekstremum, które następnie oddziałuje na warunki siedliskowe, a te z kolei wpływają na populacje ofiar i reprodukcję drapieżników.

Każde przejście między tymi poziomami wymaga odpowiednio dobranych danych. Wartościowe jest w tym kontekście modelowanie wielopoziomowe, które pozwala oddzielić bezpośrednie od pośrednich zależności pomiędzy zmiennymi środowiskowymi a parametrami demograficznymi. Modele równań strukturalnych (structural equation models) umożliwiają testowanie hipotetycznych ścieżek: temperatura wpływa na produktywność roślinności, ta na zagęszczenie gryzoni, a w konsekwencji na sukces reprodukcyjny sów. Sama zgodność modelu z danymi nie gwarantuje jednak jednoznacznego rozpoznania kierunku przyczynowości, zwłaszcza gdy istnieją niezmierzone zmienne oddziałujące na kilka procesów jednocześnie.

Z tego względu kluczowe staje się łączenie długich szeregów obserwacyjnych z eksperymentami terenowymi, analizami telemetrycznymi oraz niezależnymi danymi dotyczącymi roślinności i liczebności małych ssaków. Takie podejście pozwala na zastępowania ogólnych twierdzeń o szkodliwości zmiany klimatu bardziej szczegółową wiedzą dotyczącą mechanizmów, poprzez które określone gatunki reagują na konkretne przekształcenia środowiska. Współczesne modele ekologiczne muszą uwzględniać także zdarzenia złożone (compound events), obejmujące jednoczesne wystąpienie kilku czynników ekstremalnych lub sekwencje zdarzeń, których łączny efekt jest szczególnie dotkliwy.

Przykładem może być długotrwałe zalanie łąk zimą, po którym następuje chłodna wiosna ograniczająca regenerację roślinności, a następnie suchy okres letni hamujący odbudowę populacji gryzoni. Każdy z tych procesów oddziałuje na ekosystem inaczej, lecz ich sekwencyjność drastycznie skraca czas dostępny na regenerację. Kluczowa jest tutaj pamięć ekologiczna, rozumiana jako utrzymywanie się konsekwencji wcześniejszych zaburzeń w strukturze populacji i siedlisk.

Niewielka populacja gryzoni po zimowym zalaniu może nie osiągnąć wysokiej liczebności wiosną – nawet przy względnie korzystnych warunkach – ponieważ tempo odbudowy ograniczają liczba osobników zdolnych do reprodukcji. W konsekwencji sukces lęgowy sów zależy nie tylko od pogody w aktualnym sezonie, lecz również od zdarzeń sprzed wielu miesięcy. To właśnie dlatego fundamentalne staje się pojęcie odporności i zdolności regeneracyjnej ekosystemów, rozwijane w ekologii systemowej między innymi przez Crawforda Stanleya Hollinga.

Odporność ekologiczna i rola refugiów klimatycznych

Odporność, określana w różnych kontekstach jako resistance, dotyczy zdolności do ograniczania zmian wywoływanych przez zaburzenie, natomiast resilience opisuje możliwość utrzymania funkcjonalności lub odbudowy po wystąpieniu silnej presji. Pojęć tych nie należy utożsamiać; system może bowiem doświadczać znacznych krótkoterminowych wstrząsów, a mimo to zachować wysoką zdolność do późniejszej regeneracji.

W przypadku płomykówki słaby sezon reprodukcyjny może zostać częściowo skompensowany przez wysoką rozrodczość w kolejnych, korzystniejszych latach – pod warunkiem utrzymania odpowiednich żerowisk i wystarczającej liczby dorosłych osobników. Jednak seryjne występowanie niekorzystnych sezonów może spowolnić tempo odbudowy, szczególnie gdy prowadzi to do utraty populacji źródłowych i zwiększenia izolacji stanowisk. Z tego względu odporność ekologiczną należy analizować w skali wielu pokoleń, a nie jedynie przez pryzmat zdolności pojedynczego osobnika do przetrwania konkretnego epizodu pogodowego. W wymiarze przestrzennym kluczowe

znaczenie mają refugia klimatyczne – obszary zapewniające względnie korzystne warunki mimo negatywnych zmian zachodzących w otaczającym krajobrazie.

Dla drobnych ssaków mogą to być fragmenty trawiaste lepiej utrzymujące wilgotność, osłonięte doliny lub obszary o specyficznej strukturze gleby. Dla sów istotne mogą być miejsca odpoczynku chroniące przed wiatrem i opadami, a także żerowiska, w których dostępność pokarmu pozostaje stabilna podczas suszy lub intensywnych mrozów. Refugium nie musi być obszarem o ekstremalnie niskiej czy wysokiej temperaturze; jest raczej przestrzenią, w której kombinacja warunków środowiskowych łagodzi najgorsze skutki danego zaburzenia. Z punktu widzenia ochrony przyrody kluczowe staje się zatem rozpoznawanie lokalnej różnorodności mikroklimatycznej, zamiast skupiania się wyłącznie na zabezpieczaniu największych i najbardziej jednolitych powierzchni siedliskowych. Szczególne znaczenie ma również międzynarodowy wymiar ochrony gatunków mobilnych, takich jak uszatka błotna.

Jeżeli osobniki przemieszczają się między Skandynawią, Wyspami Brytyjskimi a kontynentalną Europą, ich sukces życiowy zależy od sekwencji warunków środowiskowych panujących na wielu obszarach. Regionalna susza może wymusić opuszczenie jednego żerowiska, podczas gdy korzystniejsza sytuacja w innym kraju umożliwi dalsze funkcjonowanie i reprodukcję. Jeśli jednak ekstremalne zdarzenia obejmują równocześnie wiele regionów, korzyści z mobilności zostają ograniczone. W takiej sytuacji kluczowa staje się synchronizacja przestrzenna zaburzeń – możliwość kompensowania lokalnych strat poprzez imigrację zależy bowiem od tego, czy odpowiednie populacje źródłowe wciąż są w stanie produkować potomstwo.

Wielopoziomowa zależność sów od klimatu i struktury siedlisk

Z ekologicznego punktu widzenia zmiana klimatu może oddziaływać na trwałość populacji nie tylko poprzez degradację lokalnych siedlisk, ale także przez zwiększanie współzmienności ich warunków środowiskowych. W przypadku uszatki błotnej kluczowe znaczenie mają skutki przekształcania wrzosowisk, torfowisk i innych otwartych przestrzeni, których rozmieszczenie zmienia się pod wpływem klimatu oraz sposobu użytkowania gruntów. Badania British Trust for Ornithology nad wrażliwością tego gatunku wykazały, że jego brytyjski zasięg jest ściśle powiązany z udziałem siedlisk półnaturalnych, temperaturą, opadami, wysokością terenu i nachyleniem stoków, a także lesistością, dostępnością norników oraz obecnością drapieżników.

Autorzy analizy wykorzystali uogólnione modele addytywne (GAM), które pozwalają na rozpoznawanie nieliniowych zależności między zmiennymi środowiskowymi a rozmieszczeniem organizmów. Istotne jest, że niekorzystne zmiany w zasięgu gatunku mogą wynikać zarówno z bezpośrednich warunków meteorologicznych, jak i z przekształceń krajobrazu wywołanych gospodarką leśną czy zarządzaniem wrzosowiskami. Nie należy zatem przypisywać spadku liczebności uszatki błotnej wyłącznie zmianie klimatu, jeśli równocześnie zachodzą głębokie przemiany siedliskowe. W perspektywie europejskiej kluczowa staje się kwestia odmiennych reakcji populacji w różnych częściach zasięgu gatunku.

W regionach północnych ocieplenie może zmniejszyć liczbę dni z ekstremalnie niską temperaturą, lecz jednocześnie wpłynąć na właściwości pokrywy śnieżnej i dynamikę gryzoni. W Europie środkowej decydujące mogą okazać się zmiany sezonowej wilgotności oraz częstsze fale upałów, natomiast w rejonach śródziemnomorskich – ograniczenie zasobów wodnych i zmiana struktury roślinności. Nie istnieje więc jedno, jednorodne oddziaływanie klimatu na wszystkie populacje płomykówki, puszczyka czy pójdźki. Rzetelne badania powinny opierać się na porównaniach geograficznych, uwzględniających lokalne warunki oraz historyczne przystosowania poszczególnych grup.

Interesujące są różnice między reakcjami gatunków o dużej elastyczności pokarmowej a tymi silniej zależnymi od konkretnych ofiar. Prowadzi to do konieczności rozróżnienia adaptacji ewolucyjnej od plastyczności fenotypowej i przemieszczenia przestrzennego. Adaptacja ewolucyjna wymaga dziedzicznych zmian w populacji zachodzących między pokoleniami, podczas gdy plastyczność fenotypowa pozwala pojedynczemu organizmowi modyfikować zachowanie i fizjologię w odpowiedzi na środowisko. Sowa może zmieniać miejsca odpoczynku, pory polowań czy menu bez zmian genetycznych. Z kolei migracja do innego regionu umożliwia wykorzystanie korzystniejszych warunków bez bezpośredniej zmiany biologicznych granic tolerancji organizmu. Procesy te mogą zachodzić równocześnie, choć mają odmienne ograniczenia.

Plastyczność może okazać się niewystarczająca przy gwałtownych zmianach środowiska, dyspersja bywa ograniczona fragmentacją krajobrazu, a adaptacja ewolucyjna zależy od zmienności genetycznej, siły doboru i tempa wymiany pokoleń. Dlatego fakt, że gatunek przetrwał dawne wahania klimatu, nie gwarantuje, iż poradzi sobie z tempem współczesnych przemian. W praktyce ochrony przyrody niezbędne jest łączenie walki z globalnym ociepleniem z lokalnymi działaniami adaptacyjnymi. Redukcja emisji gazów cieplarnianych to podstawowy instrument ograniczania intensywności zmian, jednak nie zastępuje on potrzeby aktywnego zarządzania siedliskami.

Dla brytyjskich sów kluczowe może być zachowanie nieintensywnie użytkowanych terenów trawiastych, zwiększanie różnorodności strukturalnej krajobrazu, ochrona odpowiednich refugiów

hydrologicznych oraz zapewnienie miejsc odpoczynku chroniących przed wiatrem i opadami. W kwestii sztucznych budek lęgowych istotna pozostaje izolacja termiczna, wentylacja i orientacja względem słońca.

Jednocześnie nie każde działanie zwiększające retencję wody jest bezwarunkowo korzystne dla wszystkich gatunków, gdyż ich potrzeby siedliskowe mogą być rozbieżne. Właściwe zarządzanie wymaga zrozumienia lokalnych procesów hydrologicznych i ich wpływu na całą wspólnotę biologiczną. Szczególną wartość ma tu monitoring umożliwiający porównania między sezonami i regionami. Dane o zajętości stanowisk, liczbie jaj, przeżywalności piskląt, kondycji ptaków i dostępności ofiar powinny być zestawiane z danymi meteorologicznymi i charakterystyką siedlisk. Taka integracja pozwala odróżnić wpływ pogody od innych czynników, takich jak zmiany w użytkowaniu gruntów, toksyny czy infrastruktura.

Ważna jest również kontrola intensywności samego monitoringu – liczba wykrytych lęgów zależy bowiem od liczby sprawdzanych stanowisk i prawdopodobieństwa detekcji ptaków. W przypadku nocnych drapieżników problem ten jest szczególnie istotny, gdyż tradycyjne obserwacje dzienne mogą nie oddawać w pełni rzeczywistej aktywności populacji.

Nieliniowość i wielopoziomowa przyczynowość zmian klimatycznych

Dlatego długoterminowe programy powinny opierać się na ujednoliconych procedurach, które pozwolą porównywać dane mimo zmieniających się warunków terenowych i technologii badawczych. Z punktu widzenia filozofii nauki klimat stanowi szczególnie interesujący przykład problemu wielopoziomowej przyczynowości.

Zmiana temperatury wpływa bowiem nie tylko na procesy fizjologiczne pojedynczego organizmu, ale równocześnie modyfikuje produktywność roślinności, liczebność gryzoni i intensywność konkurencji między drapieżnikami. W efekcie ten sam czynnik środowiskowy może wywoływać przeciwstawne reakcje na różnych poziomach organizacji biologicznej. Cieplejsza zima może ograniczać bezpośrednie koszty termoregulacji sowy, lecz jednocześnie zmieniać strukturę pokrywy śnieżnej i warunki przeżywania drobnych ssaków.

Intensywniejsze opady mogą zwiększać wilgotność niezbędną do wzrostu traw, jednak przy nadmiernym nasileniu prowadzą do długotrwałego zalewania żerowisk. Z kolei wzrost temperatury wiosennej może przyspieszać rozpoczęcie lęgów, ale jednocześnie zwiększać ryzyko późniejszego niedopasowania reprodukcji do sezonowej dostępności pokarmu.

Właśnie dlatego właściwe wyjaśnienie tych zjawisk wymaga rezygnacji z jednowymiarowych ocen czynników klimatycznych jako zawsze korzystnych lub zawsze szkodliwych. Z perspektywy teorii systemów złożonych szczególnego znaczenia nabiera nieliniowość odpowiedzi ekologicznych. Niewielkie zmiany temperatury mogą przez długi czas nie prowadzić do wyraźnych zmian liczebności sów, o ile organizmy dysponują odpowiednią plastycznością zachowania i dostępnością zasobów alternatywnych. Jednak po przekroczeniu określonych granic fizjologicznych lub ekologicznych może nastąpić gwałtowne pogorszenie warunków przeżywania i reprodukcji. Dotyczy to między innymi sytuacji, w których wysuszenie roślinności prowadzi do utraty osłony gryzoni, a długotrwałe oblodzenie ogranicza dostępność ofiar przez wiele kolejnych dni. Nie oznacza to istnienia jednego uniwersalnego progu klimatycznego, po którego przekroczeniu wszystkie populacje sów ulegają załamaniu – poszczególne gatunki i regiony różnią się zasobami, właściwościami siedlisk i mechanizmami kompensacyjnymi. Sama możliwość występowania progów i sprzężeń zwrotnych wskazuje jednak na ograniczenia prognoz opartych wyłącznie na liniowym ekstrapolowaniu historycznych trendów demograficznych.

Autor odwołuje się w tym kontekście do koncepcji zarządzania adaptacyjnego, której podstawowym założeniem jest traktowanie działań ochronnych jako procesu uczenia się na podstawie obserwowanych rezultatów. Wobec niepewności dotyczącej przyszłego klimatu nie jest możliwe zaprojektowanie jednego, niezmiennego zestawu rozwiązań odpowiednich dla wszystkich kolejnych dekad.

Dynamiczne zarządzanie siedliskami a zróżnicowane trajektorie populacyjne sów

Skuteczniejsze może okazać się tworzenie systemów monitoringu, które pozwolą rozpoznawać zmiany jakości siedlisk, a następnie odpowiednio modyfikować sposób zarządzania roślinnością, gospodarką wodną i stanowiskami lęgowymi. Kluczowa jest przy tym możliwość porównywania efektów różnych rozwiązań na odpowiednio dobranych obszarach kontrolnych.

Jeśli określony sposób utrzymywania terenów trawiastych sprzyja odbudowie populacji norników i zwiększa sukces reprodukcyjny płomykówek, można go rozszerzyć na inne siedliska o podobnych właściwościach. Jeśli natomiast prowadzi do nieprzewidzianego wzrostu zagrożeń lub pogorszenia kondycji innych organizmów, powinien zostać zmodyfikowany. Ochrona przyrody nie jest zatem realizacją jednorazowego projektu, lecz systematycznym stosowaniem wiedzy naukowej w warunkach zmieniającej się rzeczywistości.

Rozważania te prowadzą do kluczowej konkluzji dotyczącej ekologicznych konsekwencji współczesnej zmiany klimatu dla sów. Ich przyszłość nie zależy wyłącznie od tego, czy średnia temperatura powietrza wzrośnie o określoną liczbę stopni. Zasadnicze znaczenie będą miały zmiany sezonowego rozkładu opadów, długość okresów niekorzystnej pogody, występowanie ekstremalnych zdarzeń hydrologicznych, produktywność roślinności oraz dynamika populacji drobnych ssaków. Równie istotne pozostaną możliwości wykorzystywania odpowiednich stanowisk odpoczynku, dostępność miejsc lęgowych o korzystnym mikroklimacie oraz zdolność do przemieszczania się między regionami o odmiennej jakości środowiskowej.

Poszczególne gatunki mogą reagować na te procesy w różny sposób, zależnie od wielkości ciała, strategii zdobywania pokarmu, mobilności i zdolności do regulowania terminów reprodukcji. Nie istnieje więc jeden scenariusz klimatycznej przyszłości całego rzędu sów, lecz zespół odmiennych, częściowo współzależnych trajektorii populacyjnych. Z naukowego punktu widzenia szczególnie doniosłe jest to, że badania sów umożliwiają obserwację procesów łączących klimat z funkcjonowaniem całych sieci ekologicznych.

Płomykówka może reagować na suszę ograniczeniem reprodukcji – mechanizm ten prowadzi od deficytu wody, przez zmiany w roślinności i liczebności gryzoni, aż po pogorszenie kondycji samicy. Puszczyk może doświadczać zmian sukcesu lęgowego związanych z charakterystyką wieloletnich cykli norników, których przebieg zależy od współdziałania wielu czynników biotycznych i klimatycznych. Włochatka może wykazywać opóźnienie terminu lęgów związane z pokrywą śnieżną, a jej długoterminowa liczebność może maleć mimo korzystnych zmian niektórych parametrów wiosennej pogody. Uszatka błotna natomiast może reagować na zmiany środowiskowe przemieszczaniem się między regionami, choć jej sukces reprodukcyjny na konkretnym stanowisku pozostaje szczególnie wrażliwy na wiatr i silne nasłonecznienie.

Odporność sów zależy od całościowego zarządzania krajobrazem

Każdy z tych przypadków reprezentuje odmienny mechanizm powiązania klimatu z procesami biologicznymi, a ich właściwe porównanie wymaga zastosowania odpowiednich metod badawczych. aksjologicznej badania klimatycznej wrażliwości sów prowadzą do konieczności uwzględnienia odpowiedzialności człowieka za przekształcanie warunków funkcjonowania innych organizmów. Współczesna działalność gospodarcza oddziałuje bowiem nie tylko na klimat globalny, ale także na lokalną hydrologię, strukturę roślinności i rozmieszczenie infrastruktury.

W rezultacie ograniczenia biologiczne sów mogą być wzmacniane lub łagodzone przez konkretne decyzje społeczne i administracyjne. Kluczowe jest tu rozróżnienie pomiędzy naturalną zmiennością środowiskową a dodatkowymi zagrożeniami wynikającymi z działalności człowieka. Choć susze, powodzie czy surowe zimy są wpisane w historię ekosystemów, to zmiana ich prawdopodobieństwa, intensywności i zasięgu przestrzennego może wynikać z antropogenicznego przekształcania klimatu.

Dlatego ochrona sów wymaga nie tylko bezpośrednich działań gatunkowych, ale i uczestnictwa w szerszej polityce ograniczania degradacji środowiska. Szczególne znaczenie nabiera odpowiedzialność za utrzymywanie różnorodności funkcjonalnej krajobrazu. Ekosystem z rozległymi, zróżnicowanymi strukturalnie terenami trawistymi, odpowiednimi zadrzewieniami, bezpiecznymi miejscami odpoczynku i sprawną hydrologią zapewnia więcej możliwości przetrwania podczas ekstremalnych zdarzeń pogodowych. Nie oznacza to całkowitej odporności na zmiany klimatu, lecz może ograniczać ryzyko jednoczesnego załamania wszystkich lokalnych zasobów. Równie ważne jest zachowanie przestrzennej łączności siedlisk, umożliwiającej młodym sowom przemieszczanie się między obszarami o odmiennej jakości środowiskowej. Odporność ekosystemu nie wynika bowiem wyłącznie z właściwości pojedynczych gatunków, lecz z organizacji całej przestrzeni biologicznej. Drapieżnik może posiadać znakomite zdolności adaptacyjne, ale jego przyszłość jest ograniczona dostępnością zasobów i możliwością ich wykorzystania.

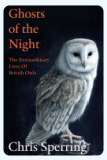
Ostatecznie klimat i pogoda nie są jedynie zewnętrznym tłem biologii sów, lecz aktywnie kształtują niemal wszystkie procesy ich życia. Temperatura oddziałuje na metabolizm i termoregulację, wilgotność wpływa na upierzenie i funkcjonowanie siedlisk, opady zmieniają skuteczność polowania oraz dostępność zdobyczy, a sezonowość wyznacza czas reprodukcji. Długoterminowe zmiany klimatyczne mogą z kolei wpływać na rozmieszczenie gatunków, strukturę konkurencji i zdolność populacji do odtwarzania się po ekstremalnych zaburzeniach. Biologii sów nie da się zatem w pełni wyjaśnić bez uwzględnienia atmosferycznych i hydrologicznych właściwości środowiska oraz ich przemian. W tych zależnościach ujawnia się istota życia biologicznego: organizm pozostaje nieustannie związany ze środowiskiem, którego cechy współokreślają granice jego możliwości fizjologicznych, behawioralnych i reprodukcyjnych.

Rozważania te prowadzą do kolejnego zagadnienia, wykraczającego poza bezpośredni wpływ pogody. Współczesne sowy funkcjonują w krajobrazach, gdzie naturalne procesy atmosferyczne nakładają się na skutki rozwoju infrastruktury transportowej, intensyfikacji rolnictwa, urbanizacji, chemizacji środowiska i zanikania miejsc rozrodu. W takich warunkach kluczowe staje się rozpoznanie skumulowanego oddziaływania różnych kategorii zagrożeń, których łączne konsekwencje mogą być silniejsze niż suma procesów analizowanych osobno.

Płomykówka osłabiona niedoborem pokarmu może być bardziej narażona na kolizję drogową, pisklę w przegrzanej skrzynce może doświadczać kosztów związanych z rzadszym karmieniem, a młoda sowa poszukująca terytorium może natrafiać na krajobraz pozbawiony schronień. Rozpoznanie tych zależności wymaga przejścia od analizy pojedynczych czynników do całościowej ekologii antropogenicznej presji.

> W świecie, w którym średnia temperatura staje się jedynie statystycznym tłem, prawdziwa walka o przetrwanie sów rozgrywa się w mikroskali – między wilgotnością gleby a strukturą piór. Czy w obliczu przyspieszających zmian klimatycznych plastyczność behawioralna tych ptaków zdoła nadążyć za tempem degradacji ich ekologicznych refugiów? Ostatecznie sowa nie jest jedynie obserwatorem pogody, lecz żywym zapisem kondycji całego krajobrazu, w którym każda kropla deszczu i każdy stopień Celsjusza mogą stać się albo zasobem, albo wyrokiem.

Inspiracje

[1] 

"Ghosts of the Night" Chris Sperring

HarperCollins UK | ISBN: 9780008659219

Chris Sperring MBE jest brytyjskim przyrodnikiem, obrońcą dzikiej przyrody i prezenterem programów przyrodniczych. Od 1991 roku pełni funkcję Conservation Officer w Hawk and Owl Trust, poświęcając ponad trzy dekady ochronie, zarządzaniu siedliskami i badaniom terenowym rodzimych ptaków drapieżnych i sów brytyjskich, ze szczególnym uwzględnieniem południowo-zachodniej Anglii. Jako płodny pedagog i popularyzator nauki, Sperring regularnie uczestniczył w programach telewizyjnych i radiowych o tematyce przyrodniczej, prowadząc odcinki programu „Living World" w BBC Radio 4 oraz występując w popularnych audycjach, takich jak „Spring Watch" i „Autumn Watch". W 2001 roku został mianowany Kawalerem Orderu Imperium Brytyjskiego (MBE) w uznaniu jego rozległych zasług dla ochrony przyrody i dzikiej przyrody w Wielkiej Brytanii.

Chris Sperring *MBE is a British naturalist, wildlife conservationist, and natural history broadcaster. Since 1991, he has served as a Conservation Officer for the Hawk and Owl Trust, dedicating more than three decades to the protection, habitat management, and field research of native raptors and British owls, with a particular focus on the South West of England. A prolific educator and science communicator, Sperring has contributed regularly to natural history television and radio programming, presenting episodes of BBC Radio 4's Living World and appearing on popular broadcasts such as Springwatch and Autumnwatch. In 2001, he was appointed a Member of the Order of the British Empire (MBE) in recognition of his extensive services to nature conservation and wildlife protection across the United Kingdom.*

Hawk and Owl Trust

Literatura uzupełniająca

Książki

Książki autorów przywoływanych i literatura pokrewna:

[1] **"Statusrapport fra den nationale overvågning af ulv (Canis lupus) i Danmark. 2. kvartal 2022"**

Peter Sunde

[2] **"The ecological theater and the evolutionary play / G. Evelyn Hutchinson. - 1965"**
George Evelyn Hutchinson

[3] **"Sympathelic regulation of body temperature in birds"**
Seppo Saarela
1980

[4] **"Sympathetic Regulation of Body Temperature in Birds"**
Seppo Saarela
1980 | ISBN: 9789514208799



[5] **"The Impact of Weather on the Behavior and Ecology of Birds"**
Stuart Peter Sharp, Mark C. Mainwaring, Andreas Nord
2021 | Frontiers Media SA | ISBN: 9782889718696

Artykuły naukowe

Prace autorów przywoływanych w tekście:

[1] **"An Introduction to Population Ecology"**
Donald R. Strong, George Evelyn Hutchinson
1979 | Journal of Biogeography | DOI: 10.2307/3038052
Źródło

[2] **"A Theoretical Ecological Model of Size Distributions Among Species of Animals"**
George Evelyn Hutchinson, Robert H. MacArthur
1959 | The American Naturalist | DOI: 10.1086/282063
Źródło

[3] **"Limnological Studies in Connecticut. VII. A Critical Examination of the Supposed Relationship between Phytoplakton Periodicity and Chemical Changes in Lake Waters"**
George Evelyn Hutchinson
1944 | Ecology | DOI: 10.2307/1930759
Źródło

[4] **"How much energy do barn owls (Tyto alba) save by roosting?"**
Dominic J. McCafferty, John B. Moncrieff, Iain R. Taylor
2001 | Journal of Thermal Biology | DOI: 10.1016/s0306-4565(00)00042-5
Źródło

[5] **"Winter microclimate of field voles (Microtus agrestis) in SW Scotland"**

D.J. McCafferty, J.B. Moncrieff, I.R. Taylor

2003 | Journal of Thermal Biology | DOI: 10.1016/s0306-4565(03)00024-x

Źródło

[6] **"The interaction of divalent cations with pectic substances and their influence on acid-induced cell wall loosening"**

Mark Tepfer, Iain E. P. Taylor

1981 | Canadian Journal of Botany | DOI: 10.1139/b81-208

Źródło

[7] **"Investigation of the physical structure of the primary plant cell wall by proton magnetic resonance"**

Alex L. MacKay, Julia C. Wallace, Ken Sasaki, Iain E. P. Taylor

1988 | Biochemistry | DOI: 10.1021/bi00405a011

Źródło

[8] **"Use of Chemical Fractionation and Proton Nuclear Magnetic Resonance to Probe the Physical Structure of the Primary Plant Cell Wall"**

Iain E. P. Taylor, Julia C. Wallace, Alex L. MacKay, Frank Volke

1990 | PLANT PHYSIOLOGY | DOI: 10.1104/pp.94.1.174

Źródło

[9] **"Specific Labeling of Cell Wall Polysaccharides with myo-[2-3H] Inositol during Germination and Growth of Phaseolus vulgaris L. 1"**

Ken Sasaki, Iain E. P. Taylor

1984 | Plant and Cell Physiology | DOI: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a076815

Źródło

[10] **"Nest-Box use by the Barn OwlTyto albain a Biological Pest Control Program in the Beit She'an Valley, Israel"**

Kobi Meyrom, Yoav Motro, Yossi Leshem, Shaul Aviel, Ido Izhaki, Motti Charter

2009 | Ardea | DOI: 10.5253/078.097.0410

Źródło

[11] "Nest box design for the study of diurnal raptors and owls is still an overlooked point in ecological, evolutionary and conservation studies: a review"

Marcel M. Lambrechts, Karen L. Wiebe, Peter Sunde, Tapio Solonen, Fabrizio Sergio, Motti Charter

2011 | Journal für Ornithologie | DOI: 10.1007/s10336-011-0720-3

Źródło

[12] "Nest-site competition between invasive and native cavity nesting birds and its implication for conservation"

Motti Charter, Ido Izhaki, Yitzchak Ben Mocha, Salit Kark

2016 | Journal of Environmental Management | DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.06.021

Źródło

[13] "Does Nest Box Location and Orientation Affect Occupation Rate and Breeding Success of Barn OwlsTyto albain a Semi-Arid Environment?"

Motti Charter, Kobi Meyrom, Yossi Leshem, Shaul Aviel, Ido Izhaki

2010 | Acta Ornithologica | DOI: 10.3161/000164510x516164

Źródło

[14] "Land-use intensity determines grassland Orthoptera assemblage composition across a moisture gradient"

Florian Fumy, Steffen Kämpfer, Thomas Fartmann

2021 | Agriculture Ecosystems & Environment | DOI: 10.1016/j.agee.2021.107424

Źródło

[15] "Behavioral responses to offshore windfarms during migration of a declining shorebird species revealed by GPS-telemetry"

Philipp Schwemmer, Moritz Mercker, Karena Haecker, Helmut Kruckenberg, Steffen Kämpfer

2023 | Journal of Environmental Management | DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.118131

Źródło

[16] "Landscape-scale effects of Christmas-tree plantations in an intensively used low-mountain landscape – Applying breeding bird assemblages as indicators"

Thomas Fartmann, Steffen Kämpfer, Jonas Brüggeshemke, Marvin Juchem, F. Klauer

2018 | Ecological Indicators | DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.07.006

Źródło

[17] "Different environmental conditions in lowlands and uplands highlight challenges for butterfly conservation in Central Europe"

Franz Löffler, Christoph Grüneberg, Marco Drung, Felix Maximilian Freienstein, Felix Helbing, Steffen Kämpfer

2023 | Biological Conservation | DOI: 10.1016/j.biocon.2023.110034

Źródło

[18] "Weather conditions determine reproductive success of a ground-nesting bird of prey in natural dune grasslands"

Steffen Kämpfer, Elias Engel, Thomas Fartmann

2022 | Journal für Ornithologie | DOI: 10.1007/s10336-022-01999-w

Źródło

[19] "The Secret Life of Archives: Sally Siddons, Sir Thomas Lawrence, and The Material of Memory"

Laura Engel

2014 | ABO: Interactive Journal for Women in the Arts, 1640-1830 | DOI: 10.5038/2157-7129.4.1.1

Źródło

[20] "Alien predators are more dangerous than native predators to prey populations"

Pälvi Salo, Erkki Korpimäki, Peter Bruce Banks, Mikael Nordström, Chris R. Dickman

2007 | Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences | DOI: 10.1098/rspb.2006.0444

Źródło

[21] "SMALL-RODENT DYNAMICS AND PREDATION"

Ilkka Hanski, Heikki A. Henttonen, Erkki Korpimäki, Lauri Oksanen, Peter Turchin

2001 | Ecology | DOI: 10.1890/0012-9658(2001)082[1505:srdap]2.0.co;2

Źródło

[22] "Population oscillations of boreal rodents: regulation by mustelid predators leads to chaos"

Ilkka Hanski, Peter Turchin, Erkki Korpimäki, Heikki A. Henttonen

1993 | Nature | DOI: 10.1038/364232a0

Źródło

[23] "Numerical and Functional Responses of Kestrels, Short-Eared Owls, and Long-Eared Owls to Vole Densities"

Erkki Korpimäki, Kai Norrdahl

1991 | Ecology | DOI: 10.2307/1940584

Źródło

[24] "Diet composition of a generalist predator does not indicate its population impact on prey: a response to Pagh et al. (2025)"

Peter Sunde, Sari Holopainen, Morten Elmeros, Heidi Krüger, Malin Aronsson

2026 | European Journal of Wildlife Research | DOI: 10.1007/s10344-026-02065-z

Źródło

[25] "It counts who counts: an experimental evaluation of the importance of observer effects on spotlight count estimates"

Peter Sunde, Lonnie Jessen

2013 | European Journal of Wildlife Research | DOI: 10.1007/s10344-013-0717-8

Źródło

[26] "Occurrence of rats and their impacts on colonial waterbirds in a Danish fjord"

Thomas Bregnballe, Peter Sunde, Kevin Kuhlmann Clausen

2022 | Ornis Fennica | DOI: 10.51812/of.120259

Źródło

[27] "Resilience and Stability of Ecological Systems"

Crawford S. Holling

1973 | Princeton University Press eBooks | DOI: 10.2307/jj.41003648.6

Źródło

[28] "Resilience, Adaptability and Transformability in Social-ecological Systems"

Brian Walker, Crawford S. Holling, Stephen R. Carpenter, Ann P. Kinzig

2004 | Ecology and Society | DOI: 10.5751/es-00650-090205

Źródło

[29] "Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems"

Crawford S. Holling

2001 | Ecosystems | DOI: 10.1007/s10021-001-0101-5

Źródło

[30] **"Regime Shifts, Resilience, and Biodiversity in Ecosystem Management"**

Carl Folke, Steve R. Carpenter, Brian Walker, Marten Scheffer, Thomas Elmqvist, Crawford S. Holling

2004 | Princeton University Press eBooks | DOI: 10.2307/jj.41003648.9

Źródło

Treść tworzy Fundacja Dobre Państwo.
Redaguje i publikuje APA ONE, autorski system redakcyjny Fundacji oparty na AI.
APA ONE Publishing System
Fundacja Dobre Państwo © 2026
Article ID: ef69294f-0dc8-476f-bfca-7aff16d4ea2e