

Wpływ niektórych antropogenicznych zmian środowiskowych na zachowanie się zwierząt

Tadeusz Kaleta

z Katedry Genetyki i Ogólnej Hodowli Zwierząt Wydziału Nauk o Zwierzętach SGGW w Warszawie

Jeden z klasyków ekologii, Barry Commoner, zauważył kiedyś, że nie ma czegoś takiego, jak obiad za darmo. Ten ironiczny komentarz nadaje się również doskonale do opisu sytuacji, gdy otaczająca człowieka przyroda jest nie tylko przez niego eksploatowana, ale także niejako wtórnie narażona na rozmaite zmiany sprokrowane przez ludzi. Dziś widać wyraźnie, że przekształcanie środowiska przez człowieka jest dla dziko żyjących zwierząt niemałym wyzwaniem. W odpowiedzi na antropogeniczne zmiany zwierzęta te wykazują

często bardzo wyraźny stres, co wskazuje na osiągnięcie przez nie granic możliwości adaptacyjnej (1). W efekcie, oprócz toksycznego wpływu na organizm, nierzadko wymuszona zostaje także zmiana utrwalonego przez wieki sposobu życia i funkcjonowania zwierzęcia.

Tematycznie ten artykuł sytuuje się na granicy ekologii, fizjologii, etologii i medycyny weterynaryjnej. Jest to krótki i z pewnością wielce niekompletny przegląd biologicznych aspektów wpływu na zwierzęta rozmaitych czynników związanych z dzia-

The effect of some anthropogenic environmental changes on animal behavior.

Kaleta T. • Division of Animal Breeding and Ethology, Department of Genetics and Animal Breeding, Faculty of Animal Science, Warsaw Agricultural University.

The aim of this article was to present current opinions on the effect of man-made pollutants on animal behavior. The role of chemical pollutants mimicking hormonal activity (endocrine disruptive chemicals, EDC) and of the noise, light and electromagnetic field (EMF) was discussed. Whereas the effect of EMF on wildlife is only hypothetical the other pollutants were proved to worsen significantly life quality. They change animal behavior acting often as stressors through basic sensory and endocrine channels. By means of the pollutants affecting hormones (e.g. melatonin), virtually all types of behavior can be changed. Their harmful effect on reproductive behavior was well documented. It was stressed that EDC may also change general level of animals activity.

Keywords: endocrine disruptive chemicals, noise, light, pollutants.

łałnością ludzką, określaną tu jako „zanieczyszczenia”. Zmieniający się w ich wyniku behawior zwierząt pozostaje w centrum tych rozważań i może być traktowany jako swoisty wskaźnik ich adaptacji i dobrostanu. Wydaje się, że w literaturze krajowej nie ma zbyt wielu tego typu ujęć.

Zanieczyszczenia chemiczne

Oddziaływanie związków chemicznych antropogenicznych na organizmy żywe jest przedmiotem badań od wielu lat i ma ogromną literaturę. Toteż w swoim przeglądzie skoncentruję się jedynie na takich zanieczyszczeniach, które ingerują w gospodarkę hormonalną organizmu (endocrine disruptive chemicals – EDC).

Spośród takich właśnie środków chemicznych stosowanych w rolnictwie, przemysle i w gospodarstwach domowych około 100 związków, jak się wydaje, może wywierać wpływ na zachowanie się zwierząt. Do grupy tej należą dobrze znany pestycyd – DDT, metale ciężkie oraz substancje znane pod zbiorową nazwą polichlorowanych bifenyli (PCB). Wiele innych stosowanych przez człowieka związków chemicznych uznaje się także za potencjalnie nieoptymalne dla organizmów zwierząt i ich zachowania się (2).

Substancje typu EDC zaburzają gospodarkę hormonalną zwierząt w sposób zamierzony (preparaty zwalczające szkodniki) bądź czynią to w ramach swoistych „działań ubocznych”. Zwierzęta stykają się z tymi substancjami w każdym typie środowiska i ulegają skażeniu nimi we wszelki możliwy sposób (także przez skórę, skrzelą oraz w łożysku i wewnątrz jaja). Kolejną ważną cechą związków typu EDC jest ich kumulowanie się w organizmie, a także w obrębie łańcuchów troficznych. Na przykład w Arktyce w ciałach ryb obserwuje się stosunkowo niewielkie nasilenie skażenia, większe – u pożerających je fok, a największe w organizmie żywiącego się fokami niedźwiedzia polarnego (*Ursus martimus*). EDC utrzymują się w organizmach zwierząt bardzo długo, a metale wręcz w ogóle się nie rozkładają (3).

Dobrze znanym działaniem związków EDC jest naśladownictwo działania estrogenów, ale zasada ta może dotyczyć także innych hormonów, np. tarczycy lub przysadki. Związki te wpływają na układ hormonalny zwierzęcia na wiele sposobów, między innymi na syntezę hormonu, sekrecję, transport w organizmie, rozpoznawanie receptorów itd. Warto podkreślić, że jest dość nieoczekiwany wpływ dioksyn, które, jak się okazuje, uaktywniają geny odpowiedzialne za reakcję na działanie estrogenów (4).

Substancje, które zaburzają działanie układu hormonalnego mogą warunkować zachowanie zwierzęcia w bezpośred-

ni sposób, ale są to w stanie czynić także pośrednio, poprzez modyfikację metabolizmu.

Wpływ EDC na zachowanie się zwierząt stwierdzono po raz pierwszy w latach siedemdziesiątych XX wieku. U mewy zachodniej (*Larus occidentalis*) w Kalifornii zaobserwowano początkowo większą niż zwykle średnią liczbę jaj w gnieździe. Okazało się, że w populacji tej jest stosunkowo mało samców, a część par tych ptaków tworzą wyłącznie samice, które wspólnie gniazdują. Stwierdzono później, że przyczyną tego stanu rzeczy jest feminizacja części embrionów samczych mewy zachodniej, co przypisano wpływowi DDT (3).

Następnie opisano przypadek zaburzeń w fizjologii rozrodu u zagrożonych wyginięciem pum z Florydy (*Felis concolor*). U samców tego podgatunku wykryto taki sam poziom estrogenów, jak u samicy. Bardzo znamienity był też przypadek niektórych białogł (*Delphinapterus leucas*) z rzeki św. Wawrzyńca. Walenie te okazały się hermafrodytami z dodatkowo patologicznie zmienionymi gruczołami tarczycy. W rezultacie białogł często odnajdowano martwe. W obydwu wyżej wymienionych przypadkach środowisko zwierząt było skażone DDT i PCB (5).

Wpływ związków EDC modyfikujących zachowanie się zwierząt jest bardzo różnorodny i obserwowany u rozmaitych gatunków. Jak wspomniano poprzednio, wyraźne zmiany mogą następować w behawiorze rozrodczym. Na przykład u niektórych ptaków skrócona zostaje faza zalotów i gniazdowania, u innych – zmniejsza się wielkość gniazda i obniża jakość jego budowy. Spośród ssaków, u myszy wydłuża się cykl płciowy, a u szczurów zaburzeniu ulega zachowanie seksualne. Częstymi zmianami u różnych grup zwierząt jest demaskulinizacja samców, a tym samym oczywiście także utrata przez nie typowych dla płci zachowań rozrodczych.

Ponieważ związki EDC działają na hormony tarczycy, teoretycznie można było się spodziewać także zmian poziomu aktywności zwierząt. I rzeczywiście, hipoteza ta została zweryfikowana pozytywnie. Na przykład pod wpływem pestycydów naśladujących działanie hormonów u niektórych gatunków żab skraca się ich czas aktywności fizycznej, a w przypadku szpaka (*Saturnus vulgaris*) o 50% skraca się śpiew, żerowanie i inne formy behawioru. U szczura pod wpływem tych samych substancji zmniejsza się poziom motywacji do wykonywania rozmaitych czynności i generalnie zmienia się też poziom eksploracji, choć tu obserwowany jest czasem także jej wzrost (5).

Inne zachowania, takie jak: terytorialne, łowieckie i antydrapieżnicze, mające ogromny wpływ na przeżycie osobni-

ka w naturalnym środowisku, także mogą ulegać zakłóceniu wskutek kontaktu choćby z metalami ciężkimi, działającymi jak EDC. W przypadku zachowań łowieckich, np. maleje zdolność do chwytania zdobyczy (u niektórych ryb), a w antydrapieżniczych – zmniejsza się obawa zwierzęcia, np. myszy domowej (*Mus musculus*) i jego zdolność do odczytywania śladów pozostawionych przez drapieżnika (3).

Jak wynika z obserwacji, związki EDC powodują upośledzenie wyższych czynności nerwowych, tzw. kognitywnych (uczenia się, pamięci i uwagi) u ptaków, gryzoni, owcy (*Ovis aries*) i małp. Można to stwierdzić w rutynowych, prowadzonych na tych zwierzętach testach uczenia się i pamięci. W tym przypadku wpływ następuje prawdopodobnie bezpośrednio na układ nerwowy poprzez kanały wapniowe w neuronach. Upośledzenia czynności kognitywnych mogą pojawiać się już w fazie prenatalnej (5).

Dźwięk

Każde korzystające ze słuchu zwierzę żyje w typowej dla siebie „niszy akustycznej”. Pod tym pojęciem rozumie się tolerowany zakres dźwięków, umożliwiający sprawne funkcjonowanie (zdobywanie pożywienia, odnajdywanie partnerów seksualnych, ochrona przed drapieżnikami itd.). Zbyt silne dźwięki mogą po prostu działać jako stresory i to nawet letalnie. Udowodniły to badania laboratoryjne, które w przypadku gryzoni i naczelnych przyjęły górną granicę akceptowalności dźwięków jako 85 dB. Powyżej tego poziomu może nastąpić utrata słuchu i inne niebezpieczne zaburzenia. Badania na rezusach (*Macaca mulatta*) pokazały, że miesięczna stała ekspozycja tych zwierząt na dźwięk o średniej głośności 85 dB spowodowała permanentne podwyższenie ciśnienia krwi o 30%. Interesujące wyniki uzyskano także w eksperymentach na myszy domowej, którą przez 8 godzin dziennie poddawano dźwiękowi o głośności pracującej kosiarki ogrodniczej (82–85 dB). Myszy te okazały się bardziej podatne na choroby, gorzej rozwiązywały zadania wymagające pamięci, a u ciężarnych samic obserwowano resorpcję embrionów w 40–100% (6).

Także u zwierząt w środowisku naturalnym stworzone przez człowieka dźwięki mogą nie tylko wywołać typową, fizjologiczną reakcję stresu, ale także na kilka sposobów zmieniają zachowanie się.

Badania wpływu hałasu na dziko żyjące zwierzęta datują się od lat 70. ubiegłego stulecia i prowadzone były głównie na kontynencie amerykańskim. Znamienne okazały się już pierwsze obserwacje w USA (Minnesota) reakcji jeleni wirginijskich (*Odocoileus virginianus*) na mo-

torowe pojazdy śnieżne (7). Okazało się, że zwierzęta te unikały miejsc, w których znajdowały się ślady owych pojazdów i powiększały swoje tereny aktywności (home range), co świadczy o unikaniu źródła stresu. W innej pracy dotyczącej występowania pospolitego gryzonia – bawelniaka (*Sigmodon hispidus*) w okolicy jednego z lotnisk na Florydzie stwierdzono, że gęstość występowania tego zwierzęcia bezpośrednio przy lotnisku jest znacząco niższa niż w dalszej od niego odległości (2,5 osobnika/akr w stosunku do 10,3 osobnika/akr). Badania ujawniły także, iż bawelniaki żyjące bliżej lotniska są bardziej bojaźliwe i wykazują mniejszą tendencję do zachowań społecznych (8).

Właśnie wpływ hałasów tworzonych przez lotnictwo na zwierzęta dzięki był przez lata stałym przedmiotem badań w Ameryce Północnej. Tak np. stwierdzono, że helikoptery przelatujące nad Alaską powodowały długotrwałą i często paniczną ucieczkę karibu (*Rangifer tarandus*). Reakcja ta szczególnie nasilała się, gdy helikopter przelatował na wysokości niższej niż 60 m nad ziemią oraz gdy zwierzęta były w stanie aktywności fizycznej, tzn. nie odpoczywały (9). Z kolei karibu żyjące na Labradorze wykazywały wrażliwość na częste, niskie przeloty myśliwców wojskowych. Zwierzęta nieruchomiały, a następnie panicznie uciekały. Ta reakcja była silnie utrwalona i okazała się niepodatna na habituację.

Hipotetycznymi konsekwencjami reakcji na stres zdaniem badaczy mogły być w tym wypadku u matek zmniejszenie laktacji, a u młodych osobników obniżenie wydzielania hormonów tarczycy (10). Odgłosy helikoptera zaburzały także zachowanie owcy kanadyjskiej (*Ovis canadensis nelsoni*) w USA, w rejonie Wielkiego Kanionu. Zaobserwowano, że znacznie zmniejszała się efektywność żerowania tych zwierząt, w szczególności zimą (11).

Prowadzono także badania dotyczące wpływu hałasu na zachowanie się ptaków, zwłaszcza gniazdujących w okolicy wody. Zarówno dźwięki wydawane przez samoloty, jak i łodzie motorowe powodowały u badanych gatunków niepokój, ucieczkę z miejsc gniazdowania i zaburzenia rozrodu. W jednej z takich prac zaobserwowano, że wykluwanie się z jaj w koloniach rybitwy czarnogrzbiętej (*Sterna fuscata*) zmniejszyło się aż o 99%, gdy nisko przelatujące nad Florydą samoloty naddźwiękowe powodowały swoiste buczenie (8).

Jak się okazuje, hałas może działać na zwierzęta dzikie w bardziej subtelny sposób. Na przykład poprzez zagłuszenie sygnałów ważnych dla przeżycia zwierzęcia. Szczuruskoczek (*Dipodomys agilis*), gryzoń żyjący na plażach Kalifornii, ma w środowisku naturalnym wroga w postaci grze-

chotnika (*Crotalus cerastes*). Normalnie potrafi on usłyszeć zbliżającego się węża w na tyle bezpiecznej odległości, że ma czas na ucieczkę. Jednak hałas wydawany przez specjalne pojazdy poruszające się na piasku praktycznie ogłusza szczuruskoczkę, i to na kilka dni. W tym czasie gryzoń staje się bardziej narażony na skuteczny atak ze strony grzechotnika (12).

Choć brak na ten temat systematycznych badań, wiele wskazuje na to, że także żyjące w głębi oceanu zwierzęta mogą napotykać analogiczne problemy. Na obszarach oceanów ludzie prowadzą wiele działań, które wiążą się z generowaniem hałasu, jak choćby wiercenie w dnie morskim, pewne techniki połowu ryb czy używanie okrętów podwodnych. Niektóre zwierzęta morskie posługują się sonarem (delfiny), inne (pewne wieloryby) porozumiewają się na znacznych odległościach za pomocą dźwięków o niskiej częstotliwości (tzw. infradźwiękami). Zarówno sonar, jak i komunikacja infradźwiękowa mogą teoretycznie zostać zakłócone przez wymienione urządzenia. Skutkiem może być dezorientacja zwierząt, utrata słuchu, a w konsekwencji śmierć (13).

Światło

Rola niepożądanego światła, jako źródła zaburzeń fizjologicznych i behawioralnych u organizmów żywych została dostrzeżona stosunkowo niedawno. Do naukowego obiegu wprowadzone zostało pojęcie „zanieczyszczenia światłem” (light pollution). Źródłem takiego będącego w nadmiarze światła jest oczywiście przede wszystkim środowisko miejskie, z jego oświetleniem ulic i neonami, a także lotniska, bazy wojskowe i wszelkiego typu wysokie i oświetlone budynki. Światło zanieczyszczające środowisko pada nie tylko na pożądaną obiekt, ale też obejmuje jego sąsiedztwo. Jest ono często ostre, oślepiające bądź utrudniające widzenie. Jednym z charakterystycznych elementów zanieczyszczenia światłem w mieście jest swiste jarzenie się nieba (sky glow). Jest ono wywołane przez cząstki zanieczyszczeń i inne duże molekuly znajdujące się w stracie nad miastem, które rozpraszają płynące z dołu światło.

Pozostawanie przez organizm w środowisku zanieczyszczonym światłem można porównać do efektu przedłużania dnia. Podstawową konsekwencją fizjologiczną staje się w tym wypadku zaburzenie wydzielania melatoniny, hormonu o działaniu m.in. antyoksydacyjnym i antykancerogennym (14). Dlatego zakłócenie to może mieć ważne konsekwencje zdrowotne. W doświadczeniu, gdzie szczury laboratoryjne (*Rattus norvegicus*) były ekspozowane na stałe oświetlenie, następowała

supresja wydzielania melatoniny i szybszy rozwój przeszczepionych im ludzkich komórek rakowych (15). Fakt ten znajduje potwierdzenie i w medycynie ludzkiej, czego dowodem jest stwierdzenie większej podatności na raka piersi u kobiet pracujących na nocną zmianę (14).

Dla omawianego tu tematu zasadnicze są jednak zmiany zachowania powstałe przy zaburzeniu naturalnego rytmu dzień–noc. Na sympozjum w Los Angeles w 2002 r. po raz pierwszy szeroko omawiano takie teoretyczne i stwierdzone już empirycznie konsekwencje sztucznego oświetlenia dla różnych grup zwierząt (16). Ogólnie powiedzieć można, że używanie światła w nocy może wprowadzić poważne perturbacje do aktywności zwierzęcia, zakłócając fizjologiczny mechanizm rytmów biologicznych. U ssaków jest on regulowany z jednej strony wydzielaną w nocy melatoniną, z drugiej – padającymi na siatkówkę oka fotonami światła dnia. W sytuacji zaburzenia biorytmu zwierzęta zmuszone są do przeorientowania swojej aktywności i do zmiany licznych zachowań, takich jak: orientacyjne, pokarmowe, rozrodcze czy antydrapieżnicze.

Wpływ zanieczyszczenia światłem na behavior spotykamy już w kręgowców. Jak wiadomo, światło wprowadzone przez człowieka w warunkach ciemności powoduje u wiele owadów reakcję zbliżania się. Wywołane jest to specyficzną reakcją orientacyjną - fototaksją dodatnią. W przypadku świetlików (rodzina *Lampyridae*), wpływ sztucznego światła może być poważniejszy. Owady te posługują się w komunikacji w okresie rozrodu sygnałami wizualnymi – rozbłyskami. Sztuczne tło światła jest więc w stanie przynajmniej teoretycznie poważnie zagrozić rozrodowi tych zwierząt. Wśród kręgowców dobrym przykładem stwierdzonych zmian zachowań pod wpływem sztucznego oświetlenia są płazy ogoniaste-salamandry. W życiu gatunków amerykańskich znaczną rolę odgrywa wzrok, który pozwala zwierzęciu przede wszystkim sprawnie polować. Jak zaobserwowano, nadmierne oświetlenie znacząco wpływa na zmianę zachowania się salamander: uaktywniają się wówczas później, mogą zdobyć więcej pokarmu, ale też bardziej są narażone na ataki drapieżników. U gatunków terytorialnych obserwuje się nasilenie wizualnych sygnałów komunikacyjnych kierowanych do innych osobników. Przy okazji zauważono także, że sprawność mechanizmu orientacji salamander przy migracji z jednego stawu do drugiego zależy od jakości światła (16).

Zwierzęta, na które sztuczne światło wywiera dramatyczny wpływ są niektóre żółwie morskie, np. gatunki rozmnażające się na plażach Florydy, jak kareta (*Ca-*

retta caretta), żółw zielony (*Chylonia Midas*) czy żółw skórzasty (*Dermochelys coriacea*). Normalnie u gatunków tych samice składają jaja w wykopanych w piasku jamkach, a młode po wylęgu podążają w kierunku morza. Kiedy jednak w okolicy plaży kwitnie przemysł rozrywkowy i pojawiają się jaskrawo rozświetlone dyskoteki, bary itd., cykl ten ulega zaburzeniu. Zaobserwowano, że samice żółwi często czują obawę przed wyjściem na zanieczyszczoną światłem plażę, a jeśli nawet dojdzie do wylęgu młodych, to są dezorientowane. Zamiast w kierunku morza, podążają w głąb lądu. U żółwi morskich występuje bardzo silna „wierność miejscu” (*site fidelity*). W kolejnych okresach rozrodu samice powracają stale na te same plaże. Problem zanieczyszczenia światłem ma więc tu ścisły związek z ochroną żółwi morskich (16).

Stosunkowo mało jeszcze wiadomo na temat wpływu sztucznego światła na zachowanie się dziko żyjących ssaków, choć i tu można spodziewać się znacznych zmian w ich aktywności ogólnej, rozrodzie czy w zdobywaniu pokarmu. Wydaje się, że zanieczyszczenie światłem nabiera szczególnego znaczenia w sytuacji, gdy występuje ono łącznie z różnego typu barierami antropogenicznymi, jak drogi szybkiego ruchu, ogrodzenia, budynki itd. W sytuacji, gdy habitat zwierzęcia jest pokawałkowany, przechodzenie z jednej części do drugiej może się wiązać ze znacznymi problemami. P. Beier, który obserwował wędrówki młodych pum w środowisku antropogenicznie zmienionym, zauważył, że te peregrynację młodych kotów można porównać do udziału w grze komputerowej typu „role playing”. Tak jak w niej trzeba pokonać wiele przeszkód, by dotrzeć do celu. Jedną z takich barier znacznie opóźniających przemieszczanie się pum okazało się sztuczne światło (17).

Najczęściej opisany i najbardziej dramatyczny w skutkach jest chyba wpływ sztucznego światła z różnego typu wysokich budynków (np. wieże telewizyjne) na migrujące ptaki. Grupowe przemieszczanie się tych zwierząt często ma miejsce w nocy, a wiele z nich leci na tyle nisko, że stworzone przez ludzi przeszkody mogą być dla ptaków realnymi zagrożeniami. W USA i Kanadzie znanych jest wiele udokumentowanych przypadków tragicznych w skutkach ich kolizji ze ścianami budowli lub (na skutek dezorientacji) z ziemią. Jak się szacuje, w centrum Toronto, w którym królują rozświetlane nocą wieżowce ginie co roku ok. 1800 ptaków. W 1998 r. w jednorazowym przypadku kolizji z wieżą transmisyjną w Syracuse (Kansas) zginęło aż 10 tys. osobników gatunku poświerka zwyczajna (*Calcarius lapponicus*). Podobny wypadek w 1965 r. związany z wieżą telewizyjną w Eau Claire (USA) pochłonął życie

7 tys. ptaków należących do 55 gatunków. Praktycznie co roku notuje się podobne incydenty, w których ginie przynajmniej po kilkaset osobników (18). Jak się wydaje, można tu mówić o dwóch czynnikach sprawczych. Po pierwsze, ptaki są dezorientowane, bo silnie działające na nie bodźce świetlne (jarzenie się nieba) zakłócają orientację według gwiazd. Po drugie, zwierzęta te mogą być dezorientowane, ponieważ rozświetlone okna wieżowców w ciemności lądu przypominają prześwity między drzewami i gałęziami, przez które normalnie przelatują w czasie nocnych migracji.

Wysoce niekompletna jest wiedza dotycząca wpływu sztucznego światła na organizmy morskie. W prowadzonych eksperymentach, gdzie stosowano włoki pelagiczne i denne wyposażane w światła o natężeniu 70W, zaobserwowano znacząco większy odłów ryb pelagicznych. Na 79 złowionych gatunków jedynie u jednego stwierdzono niższe odłowy z użyciem światła niż bez niego. Pocięszające jest natomiast to, że choć światło u ryb głębinowych powoduje czasowy efekt przeładowania zmysłu (są to organizmy przystosowane do mroku), to ten skutek ekspozycji na sztuczne światło mija po kilku godzinach lub dniach spędzonych w ciemności (19).

Pole elektromagnetyczne

Środowisko naturalne Ziemi dysponuje własnymi polami elektrycznym i magnetycznym. Przede wszystkim bytujące na Ziemi zwierzęta i rośliny żyją jakby w polu kondensatorowym. W kondensatorze tym jedną okładkę stanowi powierzchnia naszej planety, drugą – jonosfera, a powietrze jest dielektrykiem. Takie naturalne pole elektryczne, może teoretycznie wywierać różnorodny wpływ na życie i zachowanie się żywych organizmów. Ponadto Ziemia, dzięki poruszaniu się płynnej masy w jej rdzeniu, tworzy pole magnetyczne. Jego wpływ na zachowanie się zwierząt jest dobrze znany. Od wielu już lat wiadomo, że pole magnetyczne ułatwia orientację i nawigację u różnych gatunków (ptaki, żółwie morskie), które przemieszczają się na dłuższych lub krótszych dystansach, np. w trakcie sezonowych migracji (20). Nie jest zatem błędne założenie, że sztuczna modyfikacja pola magnetycznego mogłaby zakłócić owe zachowania.

Zarówno pole elektryczne, jak i magnetyczne mogą ulegać naturalnym zmianom. W pierwszym przypadku są to efekty związane np. z wylądowaniami atmosferycznymi w trakcie burz, w drugim – wpływ wiatru słonecznego na pole magnetyczne (Tomczyk – informacja ustna).

Różnorodne efekty elektryczne (a tym samym, według twierdzenia Oersteda,

i magnetyczne) mogą generować także organizmy żywe. Na przykład w środowisku wodnym reakcja ucieczki rekina lub płaszczki (ruch) wiąże się z powstaniem pola elektrycznego o natężeniu mikrowolta/cm (21). Rekiny, które dzięki odbiorowi takich właśnie sygnałów pochodzących od innych ryb mają zdolność lokalizacji zdobyczy, wyposażone są w specjalne receptory (tzw. ampuły Lorenziniego) uczulone na odbiór bodźców elektrycznych o częstotliwości 10 Hz. Ponadto dobrze znane „ryby elektryczne” z Afryki i Ameryki Południowej dzięki zmodyfikowanym mięśniom lub komórkom nerwowym tworzą własne pole elektryczne, emitując sygnały o częstotliwości kilkuset herców (22).

Można sądzić, że wrażliwość nawet na słabe bodźce elektryczne jest w świecie zwierzęcym szerzej rozpowszechniona, niż się powszechnie sądzi. Dlatego bardzo ważne, choć do tej pory nie doceniane, może okazać się zanieczyszczenie środowiska przez człowieka choćby słabymi sygnałami elektrycznymi.

W ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat ryzyko kontaktu ludzi i zwierząt z polami elektrycznymi i magnetycznymi pochodzenia antropogenicznego znacząco wzrosło. Człowiek wprowadził bowiem do środowiska wiele urządzeń emitujących fale elektromagnetyczne. Należą do nich zarówno elementy sieci przesyłowych energii elektrycznej, jak i rozmaite urządzenia elektryczne gospodarstwa domowego (jak kuchenki mikrofalowe) oraz wszechobecne komputery i telefony komórkowe. Ewentualny wpływ tych urządzeń na zdrowie ludzi jest przedmiotem gorących debat w świecie naukowym. Niektóre badania wskazują, że stałe przebywanie w okolicy pola elektrycznego i magnetycznego (związanych np. z liniami przesyłowymi energii) powodują u ludzi depresję i skłonności samobójcze (23). W badaniach mających zweryfikować te stwierdzenia jako modeli chętnie używa się zwierząt. Niektóre z tych studiów zostaną zrelacjonowane dalej.

Dzięki badaniom ekspozycji przedstawicieli niektórych gatunków na pola elektryczne zostały ustalone wartości progowe detekcji bodźców elektrycznych u tych zwierząt. I tak, przy częstotliwości 60 Hz szczury odpowiadały na pole o natężeniu 4–10 kV/m, podczas gdy dla świni domowej i ptaków wartości te wynosiły 25–5 kV/m (24). Niezwykle trudno znaleźć w literaturze analogiczne dane dotyczące pola magnetycznego.

Okazało się, że w nocy pole elektromagnetyczne działa na szczury podobnie jak światło – blokuje wydzielanie melatoniny. Ujawniły to doświadczenia, w trakcie których zwierzęta poddane były reżimowi ekspozycji 60 na 60 sekund (działanie fal elek-

tromagnetycznych i przerwa) na pole o częstotliwości 60 Hz (25). Wynik tego badania jest znamieny, zważywszy na wpływ, jaki ma melatonina na kształtowanie nastroju, a więc i na całe zachowanie się.

Pole elektryczne (częstotliwość 60 Hz i natężenie 30 kV/m) stosowane przez 7 dni, 12 godzin na dobę, wywołało wyraźną zmianę w zachowaniu się pawianów (*Papio spp.*) badanych na stacji doświadczalnej w Teksasie. Zwierzęta te zaczęły wykazywać reakcje zbliżone do stresowej: skłonność do pasywności w relacjach społecznych, widoczne napięcie, występowanie zachowań stereotypowych. Zaskakujące, że wymieniony behavior małp nie pojawił się, gdy do pola elektrycznego dodano komponentę magnetyczną o natężeniu 500 mGs (26).

W doświadczeniach na gryzoniach najbardziej wartościowe wydaje się określenie długofalowego wpływu pola elektrycznego na zwierzęta. W tym celu użyto pola elektrycznego jak wyżej oraz pola magnetycznego o częstotliwości 60 Hz i natężeniu 1 Gs. Testowane szczury podlegały temu wpływowi już w łonie matki i 8 dni po urodzeniu. Następnie badano ich zdolność uczenia się w procedurze warunkowania. Zdolność uczenia się szczurów eksponowanych znacząco malała i efekt ten utrzymywał się przez ok. 1/3 długości ich życia (27). Inne badania nie potwierdziły jednak negatywnego wpływu pola elektromagnetycznego na zdolności kognitywne.

W literaturze brak danych na temat wpływu zanieczyszczenia elektromagnetycznego na zwierzęta dzikie. Analizując problem „zwierzęta a elektryczność” zasadniczo koncentrowano się na wypadkach porażenia ptaków przez linie wysokiego napięcia. Dopiero staranne obserwacje zachowania się wolno żyjących zwierząt w okolicy urządzeń emitujących pole elektromagnetyczne może dać pełną odpowiedź na pytanie o stopień zagrożenia, jakie one przedstawiają dla dzikiej przyrody.

Podsumowanie

W dzisiejszym coraz bardziej zmienianym przez człowieka świecie to w dużej mierze przyroda płaci kosztą tych zmian (czyli za

„obiad” w rozumieniu Commonera). Jeśli chodzi o zwierzęta, oprócz polowania i odłowów żywych osobników, poddawane są one różnym innym naciskom selekcyjnym sprokurowanym przez ludzi, często niezamierzonym lub słabo jeszcze przez nas rozpoznany. Niektóre z nich próbowałem krótko scharakteryzować. Czynniki antropogeniczne wymuszają adaptację, ale jednocześnie mogą zakłócać ważne dla przeżycia mechanizmy biologiczne (np. związane z postrzeganiem zmysłowym). W rezultacie tych oddziaływań wiele rodzajów zachowania się zwierząt może ulec modyfikacji.

Zagadnienie to jednak nie ma tak jednostronnie pesymistycznego wydźwięku, jak można by się spodziewać. Doskonale wiadomo, że część gatunków zwierząt mimo wszystko adaptuje się w środowisku ludzkim bardzo dobrze. Zjawisko synantropizacji (umiejętność życia obok człowieka) i synurbizacji (umiejętność życia w środowisku miejskim) odnieść można do stosunkowo pokaźnej liczby gatunków zwierząt. Czy stanowią one forpcztę fauny przyszłości? O tym zadecyduje najpewniej człowiek i sposób, w jaki będzie gospodarował Ziemią.

Piśmiennictwo

- Romero L. M., Wikelski M.: Severe effects of low-level oil contamination on wildlife predicted by corticosterone-stress response: preliminary data and research agenda. *Spill Science & Technology Bulletin* 2002, 7, 309–313.
- Crisp T. M., Clegg E. D., Cooper R. L., Wood W. P., Anderson D. G., Baetcke K. P., Hoffman J. L., Morrow M. S., Rodier D. J., Schaeffer J. E., Touart L. W., Zeeman M. G., Patel Y. M.: Environmental endocrine disruption: an effect assessment and analysis. *Environmental Health Perspectives* 1998, 106, 11–56.
- Clofelter E. D., Bell A. M., Levering K. R.: The role of animal behaviour in the study of endocrine-disruptive mechanisms. *Animal Behaviour* 2004, 68, 665–676.
- Brosens J. J., Parker M. G.: Gene expression: oestrogen receptor hijacked. *Nature* 2003, 423, 487–488.
- Zala S. M., Penn D. J.: Abnormal behaviours induced by chemical pollution: a review of evidence and new challenges. *Animal Behaviour* 2004, 68, 649–664.
- Cornman D.: Effects of noise on wildlife. {www.nature-sounds.org/conservENW.html}
- Dorrance M.: Effects of snowmobiles on white-tailed deer. *J. Wildl. Managem.* 1975, 39, 563–569.
- Kavaler L.: *Noise: The new menace*. The John Day Company, New York., 1975.
- Calef G.: The reaction of barren ground caribou to aircraft. *Arctic* 1976, 29, 210–212.
- Harrington F., Veitch A.: Short-term impact of low level jet fighter training on caribou in Labrador. *Arctic*. 1991, 44, 318–327.

- Berger J.: Conflict in national parks: a case study of helicopters and bighorn sheep time budget at Great Canyon. *Biological Conservation* 1991, 56, 317–328.
- Immel R.: Those peculiar people are listening. *Smithsonian* 1995, 26, 151–160.
- Cousteau J.M.: They are playing our song-too loudly. {www.enr.com/features/1999/07/072192/cousteau_4441.asp}
- Pauley S. M.: Lighting for the human circadian clock: recent research indicates that lighting has become a public health issue. *Medical Hypotheses* 2004, 63, 588–596.
- Blask D. E., Sauer L. A., Dauchy R. T.: Melatonin as a chronobiotic /anticancer agent; cellular, biochemical and molecular mechanism of action and their implications for circadian-based cancer therapy. *Current Topical Medical Chemistry* 2002, 2, 113–132.
- Rich C., Longcore T (edit.): *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Los Angeles, 2002, Abstracts, 1–8.
- Beier P.: Dispersal of juvenile cougars in fragmented habitats. *Journal Wildl. Managem.* 1995, 59, 228–237.
- Trapp J. L.: Bird kills at towers and other human-made structures. An annotated partial bibliography (1960–1998). {www.fws.gov/migratorybirds/issues/tower.html}
- Kochener R. E.: Effects of artificial light on deep sea organism. Recommendations for ongoing use of artificial light on deep sea submersibles. Technical Report for the Monterey Bay National Marine Sanctuary Research. {http://bonita.mbnms.nos.noaa.gov/research/techreports/trkochevar.htm}
- Kirschvink J. L., Gould J. L.: Biogenic magnetite as a basis for magnetic field detection in animals. *Biosystems* 1981, 13, 181–201.
- Adley W. R., Bawin S. M.: Brain interaction with weak electrical and magnetic fields. *Neurosciences Research Program Bulletin* 1977, 15, 1–129.
- Hughes H. C.: *Sensory Exotica. A World Beyond Human Experience*. A Bradford Book, The MIT Press, Cambridge Mass., London, 1999, s. 241–243.
- Henshaw D. L.: Does our electricity distribution system pose a serious risk to public health? *Medical Hypotheses* 2002, 59, 39–51.
- Anderson L. E.: Biological effects of extremely low frequency electromagnetic fields: in vivo studies. W: *Proceedings of the Scientific Workshop on the Health Effects of Electric and Magnetic Fields on Workers*. Public Health Service, NIOSH, Cincinnati, 1991, s. 45–89.
- Wilson B., Sasser L. B., Morris J. E., Anderson L. E.: Comparison of intermittent and continuous 60-Hz magnetic field exposure effects on pineal gland function in the rat (meeting abstract). *Annual Review of Research on Biological Effects of 50 and 60 Hz Electric and Magnetic Fields*. Denver, 1990, 27.
- Rogers W. R., Orr J. L., Coelho A. M. Jr., Lucas J. H., Cory W. E., Reiter R. J., Smith H. D.: Summary of nonhuman primates studies of 60-Hz electric and magnetic fields (Meeting abstract). *Annual Review of Research on Biological Effects of Electric and Magnetic Fields from the Generation, Delivery and Use of Electricity Meeting*. San Diego, 1992, s. 25.
- Salzinger K., Freimark S., McCullough M., Phillips D., Birnbaum L.: Altered operant behavior of adult rats after perinatal exposure to 60-Hz electromagnetic field. *Bioelectromagnetics* 1990, 11, 105–116.

Prof. dr hab. T. Kaleta, Katedra Genetyki i Ogólnej Hodowli Zwierząt, Wydział Nauk o Zwierzętach SGGW, ul. Ciszewskiego 8, 02-786 Warszawa