

Wytwarzanych płócien nie barwiono, lecz niekiedy przetykano błękitnymi nitkami. Takie ozdobne szaty liturgiczne podkreślały majestat i dostojęstwo najwyższego kapłana.

Ustawiczny wzrost zapotrzebowania, który dokonał się we wczesnym średniowieczu w Europie, wpłynął na podaż i jakość wyrobów z lnu. W XV stuleciu największą wartość osiągnęły tkaniny holenderskie z Brabancji, a w następnym wieku rozpoczęto ich wyrób w Szwajcarii (Sankt Gallen i Zurych). Niezłą renomę zyskały też płótna francuskie z Ronen w Normandii. Z kolei w środkowowschodniej i północnej Europie obserwujemy od XVI stulecia nasilenie kultuwacji i przeróbki lnu w gospodarstwach wiejskich. Bardzo widoczna była samowystarczalność wieśniaków w zakresie odzieży i bielizny. Lniarstwo rozwinęło się szczególnie na obszarze Saksonii,

Dolnego Śląska, Małopolski, Warmii, Litwy i Białorusi. Należy dodać, że w drugiej połowie wymienionego okresu z ziem polskich i litewskich wzrósł poważnie eksport lnu z portów bałtyckich do Flandrii, Anglii i Szkocji, a lądem na zachód przez Wielkopolskę. W Polsce powierzchnia uprawy lnu zwiększyła się najbardziej w połowie XVIII i na początku XIX wieku, a w latach dwudziestych tego okresu uległa gwałtownemu zmniejszeniu na skutek wzrastającej preponderancji bawełny.

W 2007 roku najwięcej włókna lnianego wyprodukowały Chiny – 290 458 t, drugie miejsce zajęła Francja – 95 000 t, trzecie Rosja – 47 490 t, a czwarte Białoruś – 38 828 t. Natomiast w zbiorze nasion dominuje Kanada – 633 500 t, po niej kroczą Chiny – 480 000 t, Indie – 167 900 t, Stany Zjednoczone – 149 953 t.

Dr Roman Karczmarczyk jest emerytowanym nauczycielem. E-mail: mularm@biol.uni.wroc.pl

ŚWIATŁO NIE ZAWSZE PROWADZI DO CELU – KILKA SŁÓW O WPŁYWIE SZTUCZNEGO OŚWIETLENIA NA PRZYRODĘ

Maria Urbańska, Henryk Gierszał (Poznań)

Zwierzęta i rośliny żyją według rytmu opierającego się na 24-godzinny cykl. Jest to cecha dziedziczna i zapisana w genach każdego z gatunków. W biologii od dawna opisuje się wpływ naturalnego światła na zachowania i regulacje procesów życiowych organizmów. Próbuujemy również od niedawna odpowiedzieć na pytanie o konsekwencje obecności w naturze światła generowanego przez człowieka.

Nie posiadamy jeszcze na tyle dokładnych danych, aby we wszystkich obserwowanych przypadkach móc określić znaczenie tego problemu, jednak światło zaczęto zaliczać do kolejnego rodzaju zanieczyszczeń, wyraźnie wpływającego na zachowania organizmów. Nie jest to wprawdzie zanieczyszczenie wpływające toksycznie na organizmy, ale często wprowadzające je w błąd – przekazujące mylne informacje. W 1985 roku Verheijen zaproponował termin 'fotozanieczyszczenie' do określania „sztucznego światła mającego niekorzystny wpływ na dziką przyrodę”.

Wszystkie elementy spektrum elektromagnetycznego (ryc. 3) mają znaczenie dla prawidłowego funkcjonowania biosfery. W przypadku nocnej, sztucznej iluminacji istotne jest światło widzialne oraz podczerwień. Pierwsza frakcja jest niezbędna dla oczu, procesu fotosyntezy oraz prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin. Podczerwień odbieramy jako ciepło

i chociaż nie jest przez nas widziana, to jest tak samo ważna odpowiadając za temperaturę na Ziemi. Fale od 760 do 1,000,000 nm pochłaniane są przez tzw. gazy cieplarniane i w związku ze zwiększoną w ostatnich latach ich ilością w atmosferze odpowiedzialne są także za efekt globalnego ocieplenia.

Skala zanieczyszczeń światłem

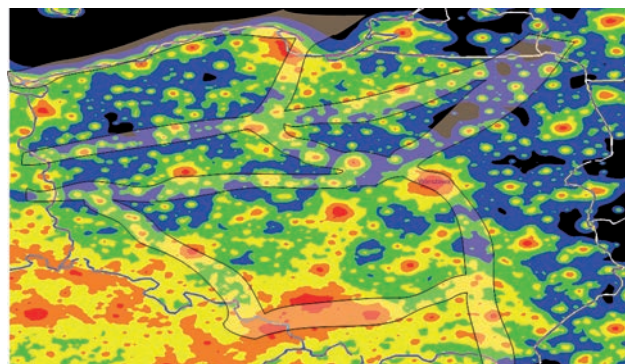
Wydaje nam się, że to nic nie znaczy – kilka lamp na ulicy – ale spoglądając z kosmosu na skąpaną w nocy część Ziemi można zobaczyć mnóstwo błyszczących plam sztucznego światła wskazujących miejsca naszej bytności. Blask, który widoczny jest z orbity okołoziemskiej, bije z wielu miejsc współczesnej cywilizacji powodując, że jest to już problem globalny. Pierwszy atlas świata oświetlonego sztucznym światłem powstał w 2001 roku i wyraźnie pokazał, że świetlne zanieczyszczenie obecne jest na wszystkich zamieszkałych kontynentach (por. ryc. 2 dla Polski). W myśl norm określających świetlne zanieczyszczenie astronomiczne ponad 18% powierzchni lądów na Ziemi wystawionych na nocne iluminacje jest zanieczyszczonych światłem. Największe jasne obszary widoczne z kosmosu to Europa, Ameryka Północna oraz Japonia. Ocenia się, że jedynie 40% ludności Stanów Zjednoczonych żyje na obszarach

na tyle ciemnych nocą, aby ludzkie oko mogło przejść z widzenia czopkami do widzenia pręcikami, z których pierwsze odpowiedzialne są za widzenie barw przy dobrym oświetleniu, natomiast drugie odpowiadają za widzenie nocne.

W Europie 99% obywateli Unii Europejskiej mieszka na obszarach, które są zanieczyszczone światłem. 90% ludzi żyje w permanentnym sztucznym blasku księżycowym. Dla ok. 2/3 mieszkańców UE noc tak naprawdę nigdy nie nadchodzi. Połowa obywateli UE straciło możliwość obserwowania Drogi Mlecznej. Z kolei około 1/6 mieszkańców nie może obserwować nocnego nieba, bo ich wzrok nie jest w stanie zaadaptować się w wyniku panującej jasności. O poziomie zanieczyszczeń świetlnych niech także świadczy fakt, że ostatnie badania naukowe w obserwatorium astronomicznym Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, położonym na obszarze jednej z dzielnic miasta, realizowano w 1986 r. obserwując Kometę Halleya. Od tamtego czasu nie prowadzi się żadnych obserwacji poza dydaktycznymi. W 1975 roku 20 cm teleskop Zeissa pozwalał uzyskać obraz nieba w odległości 10,5^m wielkości gwiazdowych (rejestracja odbywała się jeszcze przy pomocy klisz fotograficznych); dziś przy zapalonych światłach na Stadionie Lecha (oddalonym o niecałe 1,5 km od obserwatorium), wewnątrz pomieszczenia z teleskopem można czytać w nocy gazetę.

Wszyscy wiemy, jak światło wpływa na aktywne w nocy owady, które przemieszczając się kierują się informacją świetlną. Przywabiane światłem owady giną masowo przy wszystkich źródłach światła, jednak

zaczynamy się nad tym zastanawiać dopiero wtedy, gdy ich ciała brudzą i uszkadzają lampy (ryc. 1). Z punktu widzenia ekologii skala działania tego zjawiska nie jest znana – nie wiemy w jakim stopniu mylne podążanie do sztucznych źródeł światła wpływa na rozmieszczenie i liczebności populacji owadów. Szacuje się, że jedna uliczna lampa może spowodować śmierć 150 owadów w ciągu jednej nocy, a dla całego miasta – np. Zurich – śmiertelność latających owadów wywołaną przez nocne oświetlanie ulic realizowane za pomocą 50 000 lamp ocenia się na ponad milion osobników. Jednak ta miejscowa jasność to nie wszystko. Wpływ skumulowanych światel ma dużo większą skalę – dziesięciotysięczne skupisko ludzi rozjaśnia otoczenie w promieniu 20 km, a milionowe na odległość 120 km (por. na ryc. 2 okolice Warszawy).



Ryc. 2 Szlaki migracji ptaków przez Polskę na tle jasności nocnego nieba widzianej z poziomu morza (kolory odpowiadają proporcji między naturalną a sztuczną jasnością nocnego nieba — czarny: < 0,11, niebieski: 0,11-0,33, zielony: 0,33-1, żółty: 1-3, pomarańczowy: 3-9, czerwony >9 [opracowanie własne; mapa jasności nieba — <http://www.lightpollution.it/dmsp/artbri.html>].



Ryc. 1. Zanieczyszczona owadami lampa zewnętrzna. Fot. M. Urbańska.

Wpływ zanieczyszczeń świetlnych na środowisko

Światło wykorzystywane jest przez ludzi nie tylko w celu wyłapywania organizmów niepożądanych, ale również może pomagać w połowach ryb i ośmiornic. W tym przypadku z jednej strony możemy obawiać się bardzo szybkiego doprowadzenia do przeeksplotowania populacji, z drugiej dane o specyficznych reakcjach organizmów na intensywność i barwę światła daje szansę ochrony zasobów. Użycie odpowiedniego światła może zredukować liczbę wpadających do sieci gatunków nie będących celem połowów.

Jak wykazują badania spore kłopoty ze światłem mają żółwie morskie. Zauważono, że młode, które rodzą się z jaj złożonych przez samice na oświetlonych sztucznym światłem plażach, albo na takich, z których widać lunę światła z głębi lądu, mają trudności z orientacją i zamiast w stronę morza kierują się w kierunku przeciwnym. Zwiększa to śmiertelność głównie w wyniku większej presji drapieżników –

szczególnie krabów i ptaków, giniecia młodych pod kołami samochodów lub wysychania, kiedy dostają się w oddalone od wody obszary. Szacuje się, że tylko na wybrzeżach Florydy śmierć młodych żółwi związana ze złym odczytywaniem informacji świetlnych dotyczy jednego miliona osobników rocznie. Większy wpływ na te błędy żółwi mają światła odległe niż znajdujące się w pobliżu.

Dość dobrze również udokumentowane są kłopoty z nadmiarem światła u niektórych gatunków ptaków. Najczęściej przypadki rozbijania się ptaków, które kierują się w nocy na sztuczne światła, ma miejsce w okresach, gdy księżyc świeci bardzo słabo albo, kiedy pojawiają się gęste chmury. Latarnie morskie, platformy wiertnicze, oświetlone łodzie, światła lotnisk – wskazywane są jako potencjalne zagrożenia przede wszystkim dla gatunków wędrownych. Szacuje się, że rocznie 100 milionów ptaków należących do ponad 450 gatunków wędrujących przez Amerykę Północną ginie w kolizjach z oświetlonymi budowłami. Czasami całe stada rozbijają się o świecące powierzchnie. W 1954 roku w Stanach Zjednoczonych w bazie lotnictwa Warner Robins w Georgii rozbiło się 50 000 ptaków podążających za snopami światła, a w 1981 roku w Ontario koło Kingston zanotowano jednorazowe rozbicie się 10 000 ptaków o oświetlone kominy fabryki. Obserwuje się również problemy ptaków z utrzymaniem właściwego kursu wędrówki. Zamiast określać kierunek wędrówki za pomocą księżyca i gwiazd kierują się prosto w snop rzuconego światła. Obszary świetlne stanowią dla ptaków istne pułapki. Kiedy ptak wlatuje w oświetloną nocą przestrzeń nie ma ochoty wrócić w ciemność i często kontynuuje lot tylko w jasnej przestrzeni tracąc siły i stając się łatwym łupem dla drapieżników.

Analizując mapę Polski na ryc. 2 można zaobserwować, że najważniejsze trasy migracji ptaków wiodą nie bezpośrednio z północy na południe, ale przede wszystkim wzdłuż zbiorników wodnych (wybrzeże Bałtyku, doliny rzeczne oraz pasy jezior na pojezierzach). Dzięki temu ptaki mają szansę na odpoczynek, łatwe zdobycie pokarmu i zwiększone bezpieczeństwo. Na tych trasach lub w ich pobliżu znajdują się aglomeracje miejskie pełniące swoistą rolę nawigacyjnych latarni morskich. Przykładem może być Trójmiasto, na którego światła mogą kierować się ptaki lecące z północy przez Bałtyk, na rozwidleniu tras znajdują się np. Warszawa oraz Bydgoszcz i Toruń, natomiast ptaki podążające na zachód natrafiają na iluminację Poznania.

Kolejną możliwą reakcją organizmów na sztuczne światło może być zmiana rytmów i zachowań. Jest to zjawisko dobrze udokumentowane w laboratoriach

i często wykorzystywane przez nas do regulowania i zwiększania wydajności zwierząt hodowlanych np. u kur nieśnych; jednak w przypadku dzikich gatunków jak dotąd nie jesteśmy w stanie oszacować realnego wpływu światła na ich zachowania. Wiadomo, że wiele zwierząt – salamandry, żaby, węże, pustynne gryzonie, owocożerne nietoperze czy borsuki, aby uniknąć drapieżników ograniczają swoją aktywność podczas pełni księżyca. W przypadku niezakłóconego naszym oświetleniem środowiska zdarza się to sporadycznie i zwierzęta mogą ukryć się bez szkody dla swojej kondycji. Kiedy jednak każda noc jest jasna wpływa to negatywnie na zdrowotność i kondycję zwierząt, co zmniejsza szanse przeżycia zimowej hibernacji oraz utrudnione staje się odnalezienie partnera w okresie rozrodczym. Badacze z Virginii stwierdzili, że płazy żyjące w środowisku sztucznie oświetlonym pozostają w ukryciu o godzinę dłużej niż występujące w środowisku o naturalnych warunkach świetlnych. Badania nad północnoamerykańskimi salamandrami *Plethodon cinereus*, które są aktywne podczas wilgotnych bądź deszczowych nocy wykazały, że po oświetleniu ich środowiska sztucznym światłem (w tym przypadku jedynie o natężeniu 0,01 lx, czyli o jasności Księżyca w pełni) ograniczają znacząco swoją aktywność i pozostają w swoich kryjówkach. Podobne zachowania zostały zarejestrowane u łososia pacyficznego – nerki (*Oncorhynchus nerka*) badanej w rzekach Washingtonu, która przerywa wędrówkę w dół rzeki i chowa się w pasie przybrzeżnym o spokojnym prądzie wody, kiedy natężenie światła przekracza 0,1 lx (i to zarówno bezpośredniego snopu światła jak i świetlnej poświaty). Poza spowalnianiem wędrówki, nerka narażona jest wtedy na ataki drapieżników – występujących tam kilku gatunków z rodziny głowaczowatych (*Cottidae*) – który to czynnik okazał się istotnym powodem zmniejszania liczebności łososi.

Płazy nawołujące się w porze godowej zaprzestają tej aktywności kiedy pojawia się oświetlenie nocne, co może skutkować zmniejszoną reprodukcją. Zauważono również, że płazy mają problemy z lokalizacją i złapaniem swoich ofiar kiedy noc rozświetlona jest sztucznym oświetleniem, gdyż nie są w stanie szybko dostosować oczu do jasności – szacuje się, że proces ten może trwać nawet godziny.

Jednak reakcja na dodatkowe światło u płazów może być diametralnie różna. Kijanki ropuch szarych mają tendencję przeobrażenia symultanicznego co skutkuje masową emigracją właśnie przeobrażonych, małych ropuch ze środowiska wodnego do lądowego. W Wielkiej Brytanii przeprowadzono badania podczas takiego okresu polegające na oświetleniu sztucznym

światłem jedynie niektórych obszarów za pomocą lamp ulicznych. Okazało się, że ropuchy gromadzą się liczniej w snopach światła niż w naturalnie ciemnym środowisku. Wprawdzie takie zachowanie kieruje ropuchy do łatwo widzialnego źródła pokarmu, ale również może powodować zwiększoną śmiertelność, zarówno w wyniku działalności drapieżników, jak i jeżdżących zazwyczaj w takich miejscach pojazdów.

Kiedy nocą pojawia się oświetlenie, zwiększa się presja drapieżników. Te o dziennej aktywności wydłużają swój czas polowań i penetrują swój rewir również w ciągu nocy, szybko ucząc się w którym miejscu mogą liczyć na większy sukces pokarmowy. Obserwuje się zmiany zachowań u drapieżników nocnych – np. sów, które wykorzystują blask lamp do czatowania na swoje ofiary, natomiast dzienne drapieżniki np. pustułki, spotyka się polujące po zapadnięciu zmroku wzdłuż oświetlonych ulic.

W tym miejscu warto wspomnieć o nietoperzach, u których zauważa się podobnie jak u wcześniej wspomnianych drapieżników podążanie za swoimi ofiarami do świateł ulicznych. Stwierdzono, że kiedy jedne gatunki (m.in. borowce czy karliki) krążą wokół ulicznych świetlówek oraz lamp metalohalogenkowych, inne o wolniejszym locie i szerokich skrzydłach (np. nocki: *Branta*, *Natterera*, *Bechstaina*, rudy, wąsatek oraz mopki i podkowce) ich unikają. Uważa się, że głównym ewolucyjnym powodem przystosowania się nietoperzy do nocnej aktywności jest chęć uniknięcia drapieżników, stąd konsekwencją rozświetlenia ciemności może być ich zwiększona śmiertelność wynikająca z presji drapieżników. Światła przywabiające owady powodują ponadto, że nietoperze zmieniają miejsca zdobywania pokarmu; prowadzi to do zmian w ekosystemie, bo odciąga nietoperze od ich naturalnych siedlisk; w efekcie nietoperze lecą na większe odległości i zmieniają dietę, co zaburza równowagę między nietoperzami i owadami. Dla nietoperzy bardzo kłopotliwe są światła stawiane wzdłuż granicy lasu, rzeki czy pasa krzewów. Tak umiejscowione oświetlenie często staje się barierą zmniejszającą częstotliwość penetrowania obszaru za światłem, a dla niektórych gatunków wręcz uniemożliwiająca loty na nowe tereny.

Kłopot z komunikacją zauważa się wśród owadów. Przykładu dostarczają świetliki, które pod osłoną nocy wysyłanym przez nie kodem świetlnym wabią się nawzajem. Kiedy oświetlamy noc, zasięg tej sygnalizacji zmniejsza się oraz „oszukuje” poszukujących się.

Zmienna długość trwania dnia i nocy dla wielu organizmów jest ważnym sygnałem warunkującym zmiany zachowań. Zauważono, że sztuczne światło

zakłóca precyzję ich trwania, co w konsekwencji modyfikuje zachowania zwierząt. Wrażliwość na zmianę cyklu dobowego w efekcie sztucznego oświetlenia obserwuje się praktycznie u wszystkich grup zwierząt.

Stwierdzono, że rudziki amerykańskie, żyjące w środowisku doświetlonym przez człowieka, rozpoczynają rano śpiewy godowe nawet o 100 minut wcześniej niż osobniki z siedlisk o naturalnym rytmie dnia i nocy. Możliwe skutki takiego zachowania to zwiększone wydatki energetyczne, zwiększone ryzyko ze strony drapieżników czy coroczne wcześniejsze rozpoczynanie karmienia młodych, które niekoniecznie musi być optymalnie powiązane z rozwojem owadów stanowiących ich główny pokarm.

Kiedy za pomocą sztucznego światła przedłużono dzień do 16 godzin jeleniom wirginijskim (*Odocoileus virginianus*) rykowisko rozpoczęły o dwa tygodnie wcześniej, a z końcem zimy ważyły średnio o 9 kg więcej.

Opisanym dobrze zjawiskiem są fototaksje dobowe u organizmów wodnych, które polegają na pionowym przemieszczaniu się w zależności od obecności światła. Obserwowane zakłócenia wywołane świetlnym zanieczyszczeniem nie tylko wpływają na zmiany zachowania drobnych skorupiaków czy ryb, ale dezorganizują całe łańcuchy pokarmowe. Powstające na drodze ewolucji powiązania między organizmami związane są z pojawianiem się drapieżników w miejscach, gdzie mogą się spodziewać swoich ofiar oraz z kamuflowaniem się ofiar tak, aby nie były widoczne dla drapieżników.

Wiele owadów może lokalnie bądź sezonowo pojawić się w zwiększonych zagęszczeniach i wykazywać wtedy duży potencjał reprodukcyjny. Przy takim modelu populacji zwiększenie śmiertelności wywołane zanieczyszczeniem świetlnym może mieć znaczący wpływ na ich liczebność. Zwiększona śmiertelność w tym czasie może wpłynąć na stabilność populacji oraz wybór środowisk, które mogą generować jakość i sposób agregacji. Owady przy sztucznym oświetleniu często wpadają w fiksację poruszania się, ponadto światło może odciągać je od naturalnych siedlisk lub też stanowić barierę w migracji. Kolejną konsekwencją takich zakłóceń są problemy drapieżników zależnych od owadów, które mogą cierpieć głód z powodu braku spodziewanego pokarmu bądź trudności z jego lokalizacją. Podobne kłopoty mogą dotknąć gatunki zamieszkujące specyficzne nisze ekologiczne. Przykładem mogą być organizmy zapylające rośliny kwitnące nocą. Poza ograniczaniem liczebności czy w przypadku gatunków rzadkich zaniku całych populacji można spodziewać się zmian ewolucyjnych obejmujących wzorce zachowań, od których

mogą zależeć inne organizmy. Oczywiście te zakłócenia działają w obie strony. Królowa nocy (*Selenicereus grandiflorus*) – kaktus o olbrzymich, białych kwiatach, które otwarte są w pełni jedynie przez dwie godziny podczas jednej nocy, jak i inne rośliny najczęściej o białych, pachnących kwiatach szczególnie atrakcyjnych dla aktywnych nocą zapylaczy mogą mieć mniejsze szanse na odwiedziny kończące się zapyleniem. Nie w pełni rozwinięte płatki kielicha są mniej atrakcyjne oraz mogą uniemożliwić dostanie się owadów do środka.

Ekologiczne konsekwencje stosowania sztucznego światła dopiero są szacowane, ale dane uzyskane z obserwacji najlepiej poznanych i najbardziej spektakularnych przykładów opisane wcześniej – ptaków i żółwi, sugerują, że czynnika tego nie można bagatelizować.

Zupełnie inny problem pojawia się u morskiego ptaka nawałnika dużego (*Oceanodroma leucorhoa*), którego głównym pożywieniem jest zdobywany w pasie przybrzeżnym bioluminescentny plankton, przez co łatwo może zostać oszukany przez obecne na morzu oświetlenie. Latarnie morskie, platformy wiertnicze czy stawiane przez rybaków lampy przywabiające kałamarnice na powierzchnię – są atrakcyjne dla niego, jak i dla młodych petreli wulkanicznych (*Pterodroma barau*). Wykonany model populacji dla tego hawajskiego gatunku wskazuje, że obecność sztucznego światła w pobliżu kolonii ma istotny wpływ na wzrost śmiertelności podlotów i przyczynia się znacząco do zaniku populacji tego gatunku. Również ten gatunek żeruje na świecącym pokarmie, stąd kierunek pierwszego lotu młodych ptaków w celu dostania się nad morze wyznaczany jest przez blask światła. Obserwatorzy i badacze tego zjawiska określają, że co roku z powodu sztucznego światła ginie 20% świeżoopierzonych ptaków. Nie zawsze możemy określić jak duży wpływ na populacje ma nadmiar światła, ale z pewnością może być to czynnik zagrażający istnieniu mało licznych populacji.

Naturalne światło, do którego na drodze ewolucji przyzwyczały się organizmy żywe, widziane jest jako jasność, która w jakimś miejscu charakteryzuje się większą intensywnością (np. kiedy świeci Księżyc). Sztuczne światło produkowane jest przez źródła o mniejszej intensywności, ale okazują się one jaśniejsze ze względu na odległość jaka je dzieli od obserwatora.

Ilość emitowanego światła jest istotna, ale okazuje się, że znaczenie ma również jego polaryzacja. Zjawisko liniowej polaryzacji promieniowania polega na układaniu się jego fal w jednej płaszczyźnie zamiast w wielu, jak ma to miejsce w przypadku typowej emisji, np. promieniowania słonecznego czy

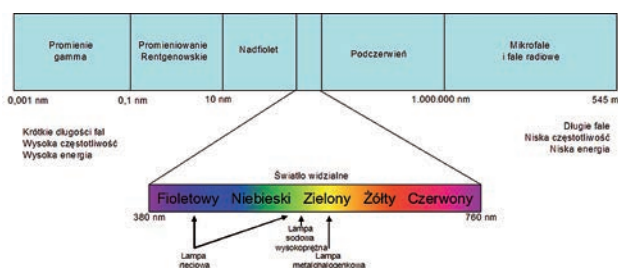
z żarówki. Ze zjawiskiem tym mamy np. do czynienia, gdy światło zostanie odbite od ciemnych i płaskich powierzchni (m.in. szyby lub mokrej jezdni). W środowisku naturalnym najważniejszym źródłem światła spolaryzowanego jest jego odbicie od wody. Jednak w środowisku antropogenicznym dużo intensywniej działają powierzchnie samochodów, okien czy asfaltu; przypominające bardziej powierzchnię wody, niż sama woda; dlatego powierzchnie te wabią niektóre zwierzęta, stanowiąc dla nich śmiertelną pułapkę. Dotyczy to głównie owadów, których rozmnażanie związane jest ze środowiskiem wodnym. Poszukują one zbiorników wodnych, aby tam złożyć jaja, a trafiają na ruchliwą ulicę. Naukowcy szacują, że kłopoty z lokalizacją „prawdziwej wody” mogą dotyczyć wiele gatunków owadów. Jak zauważono, wraz z nimi na niebezpieczeństwo narażone są ptaki owadożerne, podążające za swoim pokarmem. W przyrodzie jedna zmiana pociąga za sobą łańcuszek kolejnych – tak jest i tym razem, gdyż zmniejszenie liczby owadów w naturalnych zbiornikach wodnych na skutek ich oszukiwania przez fałszywe powierzchnie polaryzujące światło, może spowodować zmniejszenie zasobów pokarmowych dla niektórych gatunków ryb i płazów.

Światło jest wyjątkowo ważnym czynnikiem dla prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin. Promieniowanie elektromagnetyczne działa na florę na trzy sposoby: jakością (długość fal lub kolor), intensywnością (jasność) i czasem trwania w ciągu 24 godzinnego okresu (fotoperiod), przy czym u roślin nie ma istotnego znaczenia czy światło na nie działające pochodzi od Słońca czy od sztucznego źródła do czasu, gdy długość fal, intensywność i czas trwania są odpowiednie. Właściwa długość fal jest potrzebna do procesu fotosyntezy, który jest prowadzony kiedy obecne jest widzialne światło niebieskie (400 – 450 nm) i czerwone (625 – 700 nm). Natomiast widzialny czerwony (625 – 760 nm) oraz część fal podczerwonych (760 – 850 nm) wywołuje u roślin zjawisko fotoperiodyzmu. Aby uruchomione zostały przemiany fotosyntetyczne, intensywność światła musi być znaczna i szacowana jest na wartości od 200 do 1000 mikroajnsztajnow na 1 m² na sekundę (Ajnsztajn – jednostka energii świetlnej mówiąca o liczebności fotonów). Reakcja rośliny o charakterze fotoperiodyzmu jest możliwa już przy wartościach od 0,06 do 3 μE/m²/s. Stąd sztuczne światło nie tyle wpływa na proces fotosyntezy (zwykła 100 W żarówka oświetlająca roślinę z odległości 5 metrów dostarcza 5 μE/m²/s), co może zakłócać wzrost i rozwój roślin o tzw. krótkim dniu wpływając na zmianę czasu kwitnienia oraz poprzez pobudzanie ich do wzrostu, uniemożliwiając przygotowanie się do spoczynku zimowego. Badając

drzewa zauważono, że młode osobniki charakteryzujące się większą żywotnością i tendencją do dłuższego wzrostu są wrażliwsze niż drzewa dorosłe. Do bardzo wrażliwych drzew należą m.in. klon zwyczajny (*Acer platanoides*), brzoza brodawkowata (*Betula pendula*), katalpa zwyczajna (*Catalpa bignonioides*) czy wiąz syberyjski (*Ulmus pumila*).

Redukcja zanieczyszczeń świetlnych

Czy możemy zapobiec albo chociaż zminimalizować skutki działania oświetlenia na świat żywych organizmów? Najprostszym sposobem byłoby oczywiście wyłączenie światła. Jednak wszyscy zdajemy sobie sprawę, że jest to niemożliwe. Na świecie – również w Polsce – powstają ruchy społeczne domagające się wyłączenia nocnych iluminacji. Szacuje się, że ponad jedna trzecia zapalanych przez nas światła jest niepotrzebna. Międzynarodowe Stowarzyszenie Dark-Sky szacuje, że zbędne oświetlenie rocznie kosztuje 1,5 miliarda dolarów, a do atmosfery trafia 12 milionów ton dwutlenku węgla. Gaszenie tego, co już raz zostało zapalone przychodzi nam z trudnością, dlatego za podstawę skutecznej ochrony przed zanieczyszczeniem świetlnym uważa się minimalizację bezpośredniej emisji światła latarni nad horyzontem poprzez odpowiedni wybór i projekty oświetlenia.



Ryc. 3. Widmo elektromagnetyczne z wyróżnionym pasmem światła widzialnego (zaznaczono dominujące składniki widmowe) (wg Chaney 2002 – zmodyfikowane).

Odwołując się znowu do badań nad żółtami morskimi należy zwrócić również uwagę na długość fal emitowanego światła. Nie wszystkie bowiem barwy światła są równie dobrze widziane i atrakcyjne dla zwierząt. Niestety w tym względzie pojawiają się różnice gatunkowe, np. u przebadanych czterech gatunków żółwi morskich stwierdzono, że przy obecnych różnicach wszystkie wykazują chęć podążania za światłem o krótkich długościach fal (od 350 nm do 500 nm, czyli od ultrafioletu do zieleni); jednak większości gatunków równie atrakcyjne wydają się jeszcze fale długości aż do 600 nm. Dopiero po przekroczeniu tych długości fali promieniowania widzialnego chęć podążania ku światłu maleje. Tylko w przypadku jednego gatunku – kareta (*Caretta*

carreta) – zaobserwowano, że długości fal między 550 a 600 nm działają wręcz odstraszańco. Owady natomiast są szczególnie wrażliwe na kolor niebieski oraz ultrafiolet; ultrafiolet bardziej przyciąga niż niebieski, a niebieski bardziej niż żółty. Ta niejednorodność w preferencjach świetlnych utrudnia podejmowanie prostych zadań ochroniarskich polegających na zastosowaniu żarówek o odpowiednim rodzaju światła (lub stosownym filtrze) dla wszystkich gatunków.

Z drugiej strony, dla ochrony skierowanej na konkretny gatunek wystarczy często rozpoznanie dokładnego terminu, w którym nadmiar światła albo jego konkretny rodzaj szkodzi, powodując zwiększenie śmiertelności bądź zmiany zachowań. Wtedy proponuje się okresowe zrezygnowanie z iluminacji, co zwykle daje najlepsze rezultaty. Światła ozdabiające Centrum Hancock w Chicago już od lat 90. są gaszone wiosną i latem, aby nie dopuścić do śmierci około 1500 ptaków, które rocznie ginęły zmylone sztucznym oświetleniem i rozbijały się o szklane powierzchnie tego budynku.

Kolejnym proponowanym sposobem redukcji negatywnego wpływu fotozanieczyszczeń jest zmniejszanie liczby źródeł światła oraz jego natężenia i polaryzacji poprzez stosowanie odpowiednich osłon. Takie rozwiązania stosuje się już dziś w miastach, lecz w celu ograniczenia oświetlenia, które mogłoby przeszkadzać mieszkańcom, a nie ze względu na zwierzęta. Na ryc. 4 pokazano przykład wprowadzenia takiego oświetlenia ulicznego w sąsiedztwie obserwatorium astronomicznego Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. W stosunku do zdjęć (a) na fotografiach (b) widać, że rozjaśnienie wokół lampy jest mniejsze, co prowadzi do ograniczenia oświetlanego obszaru (cień zaczyna się dużo wcześniej).

W przypadkach, kiedy znamy dokładnie źródło światła, które zakłóca zachowania organizmów – tak jak jest to u wspomnianych żółwi morskich – można stosować ekrany, które zasłaniają to oświetlenie z głębi lądu. Jednak tego rodzaju zabiegi mogą przeszkadzać innym organizmom, np. zacieniać rośliny, a ponadto zmieniają krajobraz. Zatem ich instalacja wymaga wykonania zawczasu analizy oddziaływania na środowisko, a w konsekwencji otrzymania licznych pozwoleń.

Badania na temat fotobiologii dowiodły, że obecne w nocy światło bogate w niebieskie składniki widmowe może prowadzić do zmian cyklu dobowego u zwierząt. Czasem wystarczy jedynie zmienić widmo światła, aby rozwiązać problem. Śmiertelność na lotniskach wśród ptaków wędrownych zmniejszyła się, gdy zamieniono w ceilometrach (instrument meteorologiczny do mierzenia dolnej podstawy chmur)



(1) normalny klosz bez osłony (2) klosz z osłoną redukującą emisję światła do otoczenia

Ryc. 4. Możliwości ograniczenia emisji światła do otoczenia poprzez dobór klosza lampy ulicznej, który rozjaśnia przede wszystkim oświetlaną ulicę ($F = 3,2$; $T = 1/8$ s). Fot. H. Gierszal.

ultrafiolet na białe światło. Niestety ptaki mają bardzo szerokie możliwości widzenia widma, większe niż człowiek, stąd niemożliwe jest wybranie takiego rodzaju światła, które byłoby widziane przez nas, a niezauważalne dla ptaków. Inaczej jest u żółwi. Dla nich mało atrakcyjne są żółto-czerwone długości światła, dzięki czemu można zastosować odpowiednie dla nas nisko ciśnieniowe żarówki sodowe, których światło nie jest atrakcyjne dla żółwi. Zastosowanie lamp żarowych, które mają za zadanie redukcję niebieskiego widma, daje dobre rezultaty, gdy chcemy zmniejszyć atrakcyjność lamp dla owadów. Zarówno żarówki sodowe, jak i lampy żarowe przywabiają tylko kilka gatunków insektów w wyraźny sposób redukując śmiertelność wśród tej grupy organizmów.

Prosta sztuczka związana z czujnikami ruchu podłączonymi do źródeł światła również może okazać się pomocna przy redukowaniu skutków tego zanieczyszczenia. Ponadto okazuje się, że mrugające światło dla żółwi jest dużo mniej atrakcyjne, dlatego w Australii do zaznaczenia plaż, na których znajdują się złoża żółwich jaj stosuje się mrugające lampy. Wiedza ta pozwoliła również zmniejszyć śmiertelność migrujących ptaków. Zastępowanie powoli pulsujących światel stosowanych na wieżach czy mostach lampami stroboskopowymi przyniosło oczekiwany skutek. Podobne wyniki uzyskano, kiedy w latarniach morskich obrotowy snop zastąpiono światłem mrugającym.

Poparte obserwacjami i badaniami propagowane działania dodatkowo mogą generować oszczędności w zużyciu energii, gdyż zarówno lampy sodowe, jak i światło mrugające czy zastosowanie czujników ruchu są rozwiązaniami oszczędnymi. Zwraca się również uwagę, że niektóre zastosowane rozwiązania (np. lampy sodowe) mogą również polepszać widoczność przy obserwacjach astronomicznych. Stąd warto, aby projektanci oświetlenia zarówno ze względu na bezpieczeństwo zwierząt i ludzi, jak i dla oszczędności zwrócili uwagę na wyniki badań biologów.

Problematyką zanieczyszczeń światłem zajmuje się coraz więcej instytucji. Ich listę można znaleźć m.in. na stronie internetowej www.savethenight.eu.

Autorzy dziękują Panu dr. Henrykowi Kuźmińskiemu za dane dotyczące Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza.

Maria Urbańska, Zakład Zoologii, Instytut Zoologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu.

Henryk Gierszal, Zakład Informatyki Stosowanej, Wydział Fizyki, Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu.

KAROL LINNEUSZ I JEGO WROCŁAWSKI POMNIK

Roman Karczmarchuk (Wrocław)

Deus creavit, Linnaeus disposuit.

Podpis pod portretem Linneusza (1792)

Karol Linneusz przyszedł na świat 23 maja 1707 roku w szwedzkiej miejscowości Råshult, w parafii Stenbrohult, leżącej 110 km na północny wschód od Lund, gdzie jego ojciec Nils Ingemarsson był pastorem. Antenaci późniejszego luminarza otrzymali swe rodowe nazwisko od ogromnej lipy rosnącej przed ich domem. Utrwaliło się ono w wersji łacińskiej – Linnaeus, i francuskiej – Linné. Karol już we wczesnej młodości wykazywał zainteresowania przyrodnicze,

a skąd pochodziły, wyjaśnia w swojej książce „Własnoręczne notatki o sobie samym”, wydanej przez Afzeliusa w 1823 roku: „Ogród mego ojca już w niemowlęctwie zapalił mój umysł nienaganną miłością do roślin”. Lata szkolne w pobliskim miasteczku Växjö jeszcze bardziej ugruntowały ukierunkowanie młodzieńca, lecz zaniedbywał się z takich przedmiotów, jak retoryka, greka, język hebrajski i teologia. Spędził więc na niczym marzenia rodziców o szatach liturgicznych dla syna i zwyciężyła tendencja oddania go na naukę do szewca. Los jego byłby przesądzony, gdyby nie inicjatywa nauczyciela, doktora Jana