

Czy wiesz, że w morzu świeci?

Antonina Gajo

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii
E-mail: tosiaga@wp.pl

Tutor: dr hab. Urszula Janas, prof. UG

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii,
Zakład Ekologii Eksperymentalnej Organizmów Morskich

Słowa kluczowe – *bioluminescencja, biologia morza, oceanologia*

Każdy z nas posiada pewne wyobrażenie o otaczającym go świecie. W swoich głównych założeniach są do siebie bardzo podobne. Słońce i gwiazdy znajdują się nad nami, a pod stopami zwykle możemy znaleźć twarde podłoże. Ziemia daje nam poczucie stałości, a pojęcie światła słonecznego instynktownie łączymy z czasem. Przez wieki to położeniem Słońca określaliśmy porę dnia i ono regulowało rytm naszego życia. Obecnie wciąż jesteśmy od niego zależni, może już nie chodzimy spać z kurami, ale nie da się zaprzeczyć, że funkcjonowanie naszego ciała jest ściśle związane z następowaniem po sobie dnia i nocy.

U najbliższych nam zwierząt, naszych pupili, obserwujemy podobne zależności. Niektóre z nich prowadzą dzienny, a inne nocny tryb życia, ale zawsze światło pełni istotną rolę w ich funkcjonowaniu. Jednak jak by to było, gdyby warunki życia wyglądały zupełnie inaczej? Gdybyśmy unosili się w bezkresnej, chłodnej ciemności, a światło słoneczne byłoby dla nas pojęciem abstrakcyjnym? Brzmi mało przyjemnie? Tak właśnie wygląda codzienność wielu organizmów, żyjących w oceanach. Już 200 metrów pod powierzchnią morza ilość światła jest tak niewielka, że rośliny nie są w stanie przeprowadzać fotosyntezy. Wraz z głębokością ta ilość drastycznie spada, aż do głębokości 1 000 metrów, która jest ostateczną granicą przenikania światła słonecznego. Pamiętajmy, że średnia głębokość oceanów wynosi ok. 4 000 metrów.

Brak światła słonecznego nie wiąże się w tym przypadku z brakiem światła w ogóle. Wiele gatunków dostosowało się do panujących ciemności i włączyło wytwarzanie sygnałów świetlnych do wachlarza swoich podstawowych umiejętności. Zjawisko wytwarzania światła przez organizmy to bioluminescencja. Spotyka się ją u organizmów o różnym stopniu zaawansowania, od prostych bakterii do kręgowców, stojących wysoko na ewolucyjnej drabinie rozwoju. Występuje zarówno u zwierząt lądowych jak i morskich, jednak u tych drugich pojawia się zdecydowanie częściej.

Czy wiesz, że...?

Bioluminescencja nie jest jedynym zjawiskiem związanym ze świeceniem występującym u organizmów. Poza bioluminescencją można wyróżnić **fluorescencję** (generowanie wcześniej pochłoniętego światła), występującą m. in. u gąbek i **iryzację** (ubarwienie wywołane dyfrakcją światła na organizmie) m. in. na rzęskach żebroplawów.

Organizmy wytwarzające światło można podzielić na te, które wytwarzają potrzebne substraty we własnym ciele oraz te, które do produkcji substratów wykorzystują bakterie, głównie z rodzaju

Photobacterium i *Vibrio*, żyjące z nimi w symbiozie (Lin i Meighen, 2009). Większość organizmów reprezentuje pierwszą z tych grup, ale są wyjątki, takie jak jedna z mątw *Euprymna scolopes*, która tuż po wykluciu filtruje wodę przez skrzelę i transportuje bakterie *Vibrio fischeri* do fotoforów, czyli narządów świetlnych, posiadających idealne warunki do ich namnażania. *V. fischeri* stanowi około 0,1% bakterii znajdujących się w środowisku życia mątwy, a żaden inny gatunek bakterii nie jest w stanie dostać się do fotoforów (Koropatnick, 2006). Jeśli mątwka wykluje się w środowisku pozbawionym tego gatunku, narządy świetlne nie zostaną wypełnione do momentu, aż w środowisku pojawią się te bakterie.

Bioluminescencja pełni u organizmów różnorodne funkcje. Można je podzielić na trzy główne kategorie: ofensywna, obronna i komunikacyjna. Z pierwszej kategorii do popkultury przeniknął przykład niektórych ryb z rodzaju żabnicokształtnych, które świecącym narządem zwabiają mniejsze ryby do swojego pyska. Podobną metodę prezentują pewne ośmiornice z rodzaju *Stauroteuthis*. Posiadają przyssawki, które świecąc, kuszą potencjalnie łatwą zdobyczą nieświadome niebezpieczeństwa ryby (Haddock i in., 2010). To tylko jedna z taktyk obronnych przez drapieżniki w głębinach oceanów. Do notowanych zachowań należy oświetlanie terenu, by łatwiej dostrzec ofiarę u węzowatych (Stomiidae) oraz oślepienie, zdezorientowanie ofiary poprzez nagły błysk światła u kałamarnic (Haddock i in., 2010).

Grupa organizmów wykorzystująca świecenie do obrony przed napastnikami jest jeszcze większa. Jeden z mechanizmów obronnych jest przyrównywany do alarmu przeciwwłamaniowego (ang. *burglar alarm*). Występuje u różnych organizmów i polega na przywołaniu, poprzez sygnał świetlny, drapieżnika polującego na zwierzę, będące zagrożeniem dla świecącego organizmu. Doskonałą ilustracją tej zależności jest eksperyment podczas którego zbudowano sztuczną meduzę imitującą na parasolu sygnał *Atolla wyvillei* (Widder, 2011). Na ten „krzyk o pomoc” zareagowała kałamarnica olbrzymia *Architeuthis dux*. Próbowła znaleźć i zjeść drapieżnika atakującego meduzę, którego w rzeczywistości tam nie było. Cała sytuacja została zarejestrowana przez naukowców na filmie. Sposobów na obronę przed przeciwnikami jest cała mnogość. Głębokowodny wieloszczet, *Swima bombiviridis*, wytwarza pęcherzyki, które po odcięciu od reszty ciała zaczynają świecić, tym samym odciągają uwagę agresora (Osborn i in., 2009). A niektóre gatunki małżoraczków i krewetek są w stanie wydzielić świecący płyn, mający za zadanie zamaskować ich ucieczkę (Haddock i in., 2010) (Ryc. 1).

Czy wiesz, że...

Nie tylko zwierzęta świecą. **Bruzdnice** to jednokomórkowe glony, występujące pojedynczo lub w koloniach, posiadające charakterystyczny pancerzyk. Część gatunków bruzdnic posiada zdolność bioluminescencji i może powodować **zakwity**, sprawiające wrażenie jakby to sama woda świeciła przy każdym gwałtowniejszym poruszeniu.



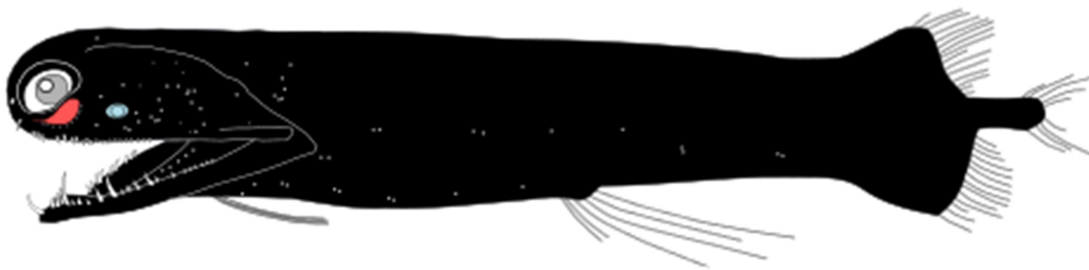
Ryc. 1. Krewetka *Heterocarpus ensifer* wydziela świecąca substancję z otworu gębowego (Herring, 1976) (Wikimedia Commons)

Jednym z najważniejszych celów komunikacji między osobnikami jednego gatunku jest znalezienie partnera, z którym można mieć potomstwo. Zadanie trudne, zwłaszcza dla zwierząt żyjących w przepastnym oceanie na głębokościach skrytych w całkowitych ciemnościach. Bioluminescencję ułatwiającą to zadanie zaobserwowano u ryby z rodziny świetlikowatych (*Myctophidae*), podobnie jak u niektórych gatunków małżoraczków.

Aby wytworzyć światło, potrzebna jest energia. W przypadku bioluminescencji pochodzi ona z procesu utleniania związku chemicznego z grupy lucyferyn. Na podstawie licznosci i różnic między związkami zawartymi w tej grupie oszacowano, że zjawisko bioluminescencji wyewoluowało niezależnie na czterdzieści sposobów (Poupin in., 1999). Taka powtarzalność zdecydowanie wskazuje na brak przypadkowości w ewolucji bioluminescencji, potwierdzając, że nie jest to jednorazowy przypadek, ale zjawisko bardzo korzystne, w szczególności dla organizmów morskich. Niektóre z organizmów dodatkowo wykorzystują lucyferazę, enzym znacznie przyspieszający przebieg reakcji. Warto zaznaczyć, że bioluminescencji nie towarzyszy wydzielanie ciepła, więc proces jest bezpieczny dla organizmu.

Światło wytwarzane przez organizmy morskie różni się od wydzielanego przez żarówki. Przede wszystkim nie jest światłem białym. Trzeba też pamiętać, że woda jako ośrodek znacząco różni się od powietrza. Jest gęstsza, bardziej „wypełniona cząsteczkami”, które są przeszkodą dla fotonów tworzących światło. Wśród organizmów przeważają te świecące na niebiesko i zielono (długość fali ok. 470 nm) (Haddock i in., 2010), ponieważ krótkie fale, tworzące światło zielone i niebieskie, propagują na największe odległości. Nie są przy tym zaabsorbowane przez cząsteczki wody (jak światło czerwone) lub rozproszone (jak światło fioletowe). To właśnie niebieskozielone światło jest najbardziej praktyczne i przydatne dla organizmów oceanicznych. Światło czerwone, złożone z najdłuższych fal jest praktycznie niewidoczne dla zwierząt głębinowych, ponieważ szybko zostaje pochłonięta przez masy wody. Czerwone obiekty są w głębinach równie niewidoczne, co czarne, ponieważ nie ma tam tych fal światła, które mogłyby się od nich odbić. Zwierzęta wykorzystują to i zamiast czarnego barwnika w skórze posiadają czerwony, który jest równie skuteczny jako kamuflaż, a jego wytworzenie wymaga mniej energii.

Większość ryb głębinowych utraciła umiejętność odbierania światła o dłuższej fali (światło pomarańczowe i czerwone). Nie posiadają one receptorów zdolnych do wykrycia światła czerwonego, w związku z tym wytwarzanie takiego światła również straciło znaczenie (Douglas i in., 1998). Od tej reguły istnieją wyjątki. Między innymi ryby z rodziny węzorowatych (Stomiidae), które posiadają pod okiem niewielki narząd świetlny generujący czerwone światło (Ryc. 2). Fale świetlne są tak długie, że znajduje się na granicy podczerwieni (ok. 705 nm) i świecenie może być trudno zauważalne nawet dla człowieka. Pomimo bliskiej propagacji fali świetlnej, czerwone światło daje przewagę tym głębokowodnym rybom nad swoimi ofiarami. Ryba oświetla ofiarę tylko przez siebie widocznym światłem, przez co ta staje się łatwym łupem. Aby móc opanować taką umiejętność u węzorowatych musiał wyewoluować mechanizm dostrzegania światła o wyższych długościach fali. Różne rodzaje ryb z tej rodziny poradziły sobie w różny sposób. Najprostszym sposobem zdaje się być ten istniejący u ryb z rodzaju *Aristostomias*, które posiadają dodatkowe 3 barwniki w receptorach na siatkówce oka, zdolne zaabsorbować światło o czerwonej barwie (Douglas i in., 1998). Inny, bardziej skomplikowany sposób istnieje u ryb z rodzaju *Malacosteus*, które posiadają w receptorach tylko 2 z 3 barwników występujących u ich krewnych. Jednak to nie wszystko, ponieważ, aby ryba jeszcze lepiej widziała czerwone światło, w części jej receptorów znajdują się substancje światłoczułe, które po zaabsorbowaniu fotonu przekazują energię do pobliskiego barwnika.



Ryc. 2. *Malacosteus niger* z zaznaczonymi fotoforami: czerwonymi pod okiem oraz niebieskim (Wikipedia Commons, Filip Em, bazując na rysunkach pracy Kenleya z 2007)

Choć dla niektórych może się to wydawać zaskakujące, to aby znaleźć przykłady bioluminescencji nie trzeba szukać daleko w tropikalnych wodach. W wodach przybrzeżnych szwedzkiej wyspy Olandii już w roku 1997 obserwowano zakwity świecących glonów. Na polskich wodach zakwity zostały zaobserwowane w latach 2001, 2003, 2005 i 2012. Powodem w tego zjawiska był zakwit bruzdnic, głównie *Alexandrium ostenfeldii*. Przyczyny pojawienia się tego gatunku bruzdnic w bałtyckich wodach nie są pewne. Najprawdopodobniej zostały mimowolnie przyniesione przez ludzi (np. w wodach balastowych statków) lub dostały się wraz z wlewami z Morza Północnego (Skóra, 2005). Poza tym, w Morzu Bałtyckim można spotkać żebroplawa *Mnemiopsis leidyi*, który również nie jest na tych terenach gatunkiem rodzimym. Wykazuje on zdolność do bioluminescencji (Freeman i in., 1972) (Ryc. 3).



Ryc. 3. Żebroplaw *Mnemiopsis leidyi*, na zdjęciu dobrze widoczne jest zjawisko iryzacji na rżęskach. Ten gatunek wykazuje również zdolność do bioluminescencji, która przejawia się jako krótkie błyski niebieskiego światła widoczne w ciemności, po napotkaniu przeszkody (Freeman i in., 1972)
(EricksonSmith na Flickr CC BY-NC 2.0)

Zjawisko bioluminescencji znalazło praktyczne zastosowanie w medycynie i biologii molekularnej (Bednarek i in., 2017). Obrazowanie bioluminescencyjne (BLI) jest metodą pozwalającą oznaczać komórki macierzyste, monitorować zakażenia wirusowe, grzybicze, pasożytnicze i bakteryjne, obserwować interakcje między cząsteczkami białek oraz procesy tworzenia się nowotworów. Polega ona na włączeniu do materiału genetycznego komórki genu kodującego lucyferinę, dzięki czemu komórki są w stanie, przy spełnionych określonych warunkach, emitować

światło. Ta metoda zyskała sporą popularność, ponieważ wyróżnia ją dokładność, bezpieczeństwo (nie jest toksyczna dla środowiska) oraz niskie koszty wykonywania.

Co ciekawe, naukowcom już w latach osiemdziesiątych dwudziestego wieku, po wyizolowaniu materiału genetycznego ze świetlika, udało się stworzyć świecąca, choć tylko przez określony czas, sadzonkę tytoniu (Callaway, 2013). Przez ostatnie trzydzieści lat genetyka znacząco się rozwinęła. W 2013 roku grupa biotechnologów z USA zainspirowała się eksperymentem sprzed trzydziestu lat i aby zebrać pieniądze na jego realizację, utworzyła projekt na platformie internetowej Kickstarter (Evans, 2017). Autorzy mieli nadzieję stworzyć stale świecące rośliny. Jednym z haseł reklamowych pojawiającym się na filmiku promującym było sugestywne pytanie: „Co by było, gdyby można było zastąpić latarnie uliczne świecącymi drzewami?”. Potrzebowali 65 000 dolarów na badania, ubierali wielokrotnie więcej, bo aż 484 000 dolarów od ludzi zainteresowanych projektem. Jedną z nagród za finansowe wsparcie projektu miały być nasiona świecącej odmiany rzodkiewnika. Projekt zdecydowanie przerósł twórców. Badania pochłonęły zebrane fundusze, a wraz z zainteresowaniem mediów pojawiła się krytyka ze strony środowisk sprzeciwiających się inżynierii genetycznej. Wyhodowane rośliny ledwo świeciły, a sama platforma Kickstarter zabroniła twórcom rozsyłania obiecanych nasion, ze względu na możliwość zakłócenia równowagi w środowisku. Ten projekt upadł, ale idea pozostała. Pomysł podchwycili między innymi naukowcy z MIT (Trafton, 2017). Kto wie, może dziwaczne marzenie korzystania z żywych organizmów jako lamp kiedyś się spełni.

Świat nie jest zawsze taki, jaki na pierwszy rzut oka nam się wydaje. Żyjemy, rozkoszując się ciepłem i blaskiem słonecznego światła, a ciemność kojarzymy z niebezpieczeństwem. Nigdy nie wiadomo, co może się w niej ukrywać i czy przypadkiem nie zostaniemy zaatakowani. Nic w tym dziwnego, że głębiny oceanów mogą nam się wydawać skrajnie nieprzychylne do zamieszkania przez jakiegokolwiek formy życia. Jednak ta ciemność nie jest aż tak ponura, jak niektórym mogłoby się zdawać. To dzięki niej możemy zaobserwować pulsujący w tylko sobie znanym rytmie nieustanny taniec. Blask oznaczający intencje stworzenia nowego życia i ten mający na celu jakieś życie zakończyć. Całość łączy się w olśniewający pokaz fajerwerków, który inspiruje i fascynuje wielu ludzi, w tym także i mnie.

Literatura

- Bednarek I., Pajor K., Sypniewski D., 2017, Bioluminescencja jako narzędzie w biologii molekularnej. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej (online)*, 71, 1033–1049.
- Callaway E., 2013, Nature, *Glowing plants spark debate* [online] <https://www.nature.com/news/glowing-plants-spark-debate-1.13131> [dostęp: 10.12.2017]
- Douglas R. H., Partridge J. C., Marshall N. J. 1998, *The eyes of Deep-Sea Fish I: Lens Pigmentation, Tapeta and Visual Pigments* Department Optometry and Visual Science, City University, London, U.K.
- Evans A., 2017, Kickstarter, *Glowing Plants: Natural Lightning with no Electricity* [online] <https://www.kickstarter.com/projects/antonyevans/glowing-plants-natural-lighting-with-no-electricit> [dostęp: 01.12.2017]
- Freeman G., Reynolds G., 1973, The development of bioluminescence in the ctenophore *Mnemiopsis leidyi*. *Developmental Biology*, 31, 1, 61–100.
- Haddock S. H.D., Moline M. A., Case J. F 2010, Bioluminescence in the Sea, *Annual Review of Marine Science*: 443–493

- Herring P. J., 1976, Bioluminescence in decapods Crustacea, *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 56, 4, 1029–1047
- Herring P. J. (red.), 1978, *Bioluminescence in action*, London New York Academic Press.
- Koropatnick T., 2006, Microbial Life Educational Resources, *The Squid-Vibrio Symbiosis* [online]
<https://serc.carleton.edu/microbelife/topics/marinesymbiosis/squid-vibrio/index.html> [dostęp: 18.11.2017]
- Lin L., Meighen E., 2009, *Bacterial Bioluminescence* [online]
<http://photobiology.info/Lin.html> [dostęp: 10.12.2017]
- Osborn, K. J., Haddock S. H. D., Pleijel F., Madin L. P., Rouse G. W., 2009, Deep-sea, swimming worms with luminescent “bombs”. *Science* 325: 964–964.
- Poupin, J., Cussatlegras A.S., Geistdoerfer P. 1999, *Plancton marin bioluminescent. Rapport scientifique du Laboratoire d'Océanographie de l'École Navale LOEN*, Brest, France
- Skóra K., 2005, Stacja Morska Instytutu Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego, *Zatoka znowu świeci* [online]
<http://www.hel.univ.gda.pl/aktu/2005/lumine05.htm> [dostęp: 10.01.2018]
- Trafton A., 2017, MIT News, *Engineers create plants that glow* [online]
<http://news.mit.edu/2017/engineers-create-nanobionic-plants-that-glow-1213> [dostęp: 12.02.2018]
- Widder E., TED, 2011, *How we found the giant squid*, [online]
https://www.ted.com/talks/edith_widder_how_we_found_the_giant_squid/transcript [dostęp: 15.11.2017]

Krótką notką o autorze: *Studentka Oceanografii na specjalności biologicznej. To właśnie zjawisko bioluminescencji zachwyciło ją na tyle, że wybrała właśnie ten kierunek studiów. Ze wszystkich morskich zwierząt najbardziej interesują ją te, o mało przyjemnym wyglądzie.*