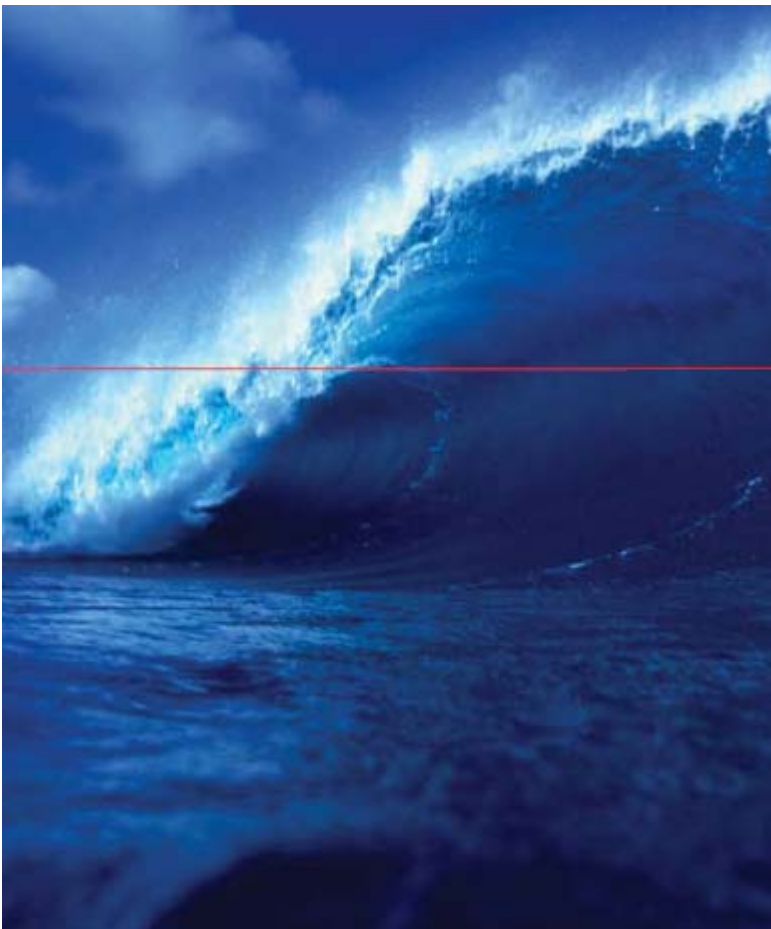


ROZDZIAŁ 2

Planeta Oceanu

NASZ WODNY ŚWIAT

Ten rozdział jest oparty na podręczniku nauk morskich dla szkół wyższych „Life on an Ocean Planet” napisanym i opracowanym przez Current Publishing, firmy partnerskiej PADI. Więcej informacji o podręczniku „Life on an Ocean Planet” i Current Publishing można znaleźć na stronie <http://www.currentpublishingcorp.com/>



SPIS TREŚCI

Planeta Oceanu	1
Fizyczne właściwości światowych oceanów.	4
Baseny oceaniczne	5
Własności topologiczne basenów oceanicznych	6
Podstawowe strefy oceanu i życia morskiego	7
Temperatura	9
Zasolenie	11
Gęstość	13
pH - Kwasowość i Zasadowość	14
Rozpuszczone związki chemiczne nie będące solami	15
Cechy wybrzeża	22
Tam i z powrotem	31
Ekologia, Ekosystem a Nurkowanie	43
Ekologia	43
Ekosystemy na otwartym morzu	46
Szelf Kontynentalny	51
Ekosystemy przybrzeżne	53
Pasma pływów strefy przybrzeżnej - Intertidal zone	59
Ekosystemy listownic i wodorostów morskich	60
Ekosystemy rafy koralowej	62
Ekosystemy polarne	63
Ekosystemy głębinowe	67
Ekosystemy wód słodkich	69

WSTĘP

Mimo że mówimy o światowych oceanach w liczbie mnogiej, w rzeczywistości jest tylko jeden ocean, ponieważ ostatecznie cała woda na Ziemi łączy się ze sobą. Mimo rozdzielenia i ograniczenia przez ląd wszystkie systemy wodne, słodkiej i słonej wody, łączą się ze sobą. Nieważne gdzie znajdziesz system wodny, woda to woda.

Dzięki cyklowi hydrologicznemu ciągłego parowania, skraplania i opadów atmosferycznych po jakimś czasie każda molekula wody okrąży wszystkie oceany, morza, zatoki, rzeki, jeziora i potoki, przynajmniej w teorii.



Ziemia jest planetą oceanu. To zdjęcie NASA (National Aeronautic and Space Administration) pokazuje, że ocean zajmuje na naszej planecie znacznie więcej miejsca niż ląd

Woda, która dziś jest w oceanie jutro może być w rzece; może też być częścią kostki lodu w zimnym napoju albo płatkami śniegu spadającego na Arktykę. Jej droga powrotna do oceanu może zająć tysiące lat.

Może się wydawać, że słodka woda jest znaczącą częścią ziemskiej hydrosfery, ale tak nie jest. Tylko około trzech procent wody stanowi woda słodka. Trzy czwarte z niej jest zamrożone w polarnych czapach lodowych. Kolejne 20 procent to wody gruntowe. Ta niewielka część, która zostaje, zasila liczne rzeki, strumienie i jeziora na świecie. Ta relatywnie mała ilość jest niewiarygodnie ważna dla życia.

Oceany z jednej strony mają olbrzymi wpływ na światową pogodę i klimat, z drugiej są źródłem wielu naturalnych zasobów - oceany są niezbędne do życia. Chociaż ludzkość eksplorowała morza od tysięcy lat, to oglądaliśmy głównie ich powierzchnię. Wciąż jest do zbadania więcej niż myślimy. Żeby zobrazować jak mało do tej pory zobaczyliśmy, posłużmy się przykładem: gdyby ta strona była oceanami, to co ludzkie oczy widziały byłoby wielkości kropki na końcu tego zdania.

Cykl wodny

W porównaniu to całkowitej objętości i masy Ziemi, zewnętrzna otoczka, w której znajdujemy życie, jest jak cienki papier owinięty dookoła jajka. Mimo to, wszystkie organizmy na Ziemi otrzymują wszystko to co im potrzeba z zasobów w tej warstwie, z wyjątkiem energii pochodzącej ze światła słonecznego.

Procesy biologiczne szybko wyczerpałyby wodę, tlen i inne ważne do życia elementy, gdyby użyły ich tylko raz. Potrzebne zasoby trwają i wspierają życie, gdyż nieustannie krążą pomiędzy powietrzem, lądem, wodą i organizmami. Woda podróżuje w „cyklu hydrologicznym”, zmieniając swoją formę, gdy organizmy pobierają ją, gdy paruje, gdy skrapla się i gdy przepływa. Podczas tego cyklu, w wyniku parowania, ciepło pochodzące od Słońca zmienia wodę z mórz, jezior i strumieni w parę wodną. Również transpiracja roślin uwalnia z nich wodę w postaci pary.

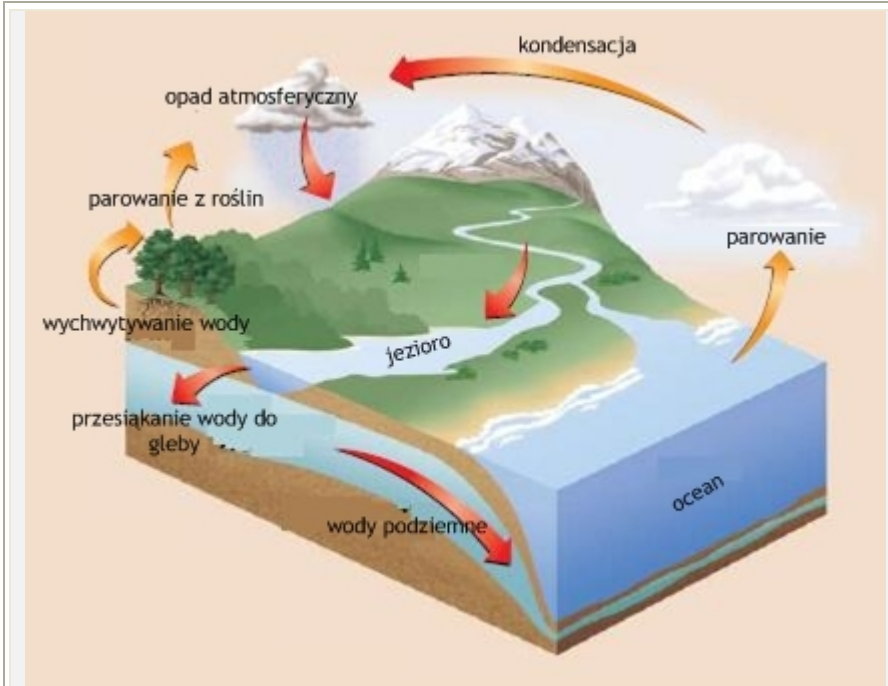
Para wodna, która unosi się w atmosferze, ulega w końcu skropleniu i spada jako opad (deszcz, śnieg). Następnie wpływa do strumieni i rzek, zbierając po drodze minerały i związki chemiczne, zanosząc je do oceanów. Organizmy konsumują część wody, zwracając ją później przy oddychaniu, wydalaniu, albo w konsekwencji śmierci i rozkładu. Stąd, woda wraca do morza, rzeki, i znowu do atmosfery

W rozdziale pierwszym dowiedzieliście się, co popycha nas do eksploracji podwodnego świata - głównie nasze pragnienie odkrywania. Nie tak jak na lądzie, pod wodą można dotrzeć do miejsc, których wcześniej nikt, albo prawie nikt nie widział. Dzięki sprzętowi nurkowemu i innym technologiom możemy badać podwodne królestwo dla rekreacji, pracy lub nauki, czy też dla ich dowolnych kombinacji.

W tym rozdziale poznasz w szczegółach to, co wiemy o podwodnej części (słodkiej i słonej) naszej planety oceanu. Obejrzymy różnorodność środowisk, które wytworzyły się w wodach. Zobaczysz, że organizmy morskie żyjące w podobnych warunkach mają podobny styl życia. Zaskakujące jest, jak bardzo różne organizmy mogą mieć wiele wspólnych cech tylko dlatego, że żyją w tym samym typie środowiska.

W tym rozdziale nauczysz się o pionowym ruchu powodowanym przez fale i o przyptywach a także jak prądy, fale i przyptywy wpływają na to, gdzie i kiedy możesz nurkować. Czy wiesz, że nawet gigantyczne, potężne lotniskowce muszą ugiąć się przed przyptykami, a czasem nawet przed falami? Dowiesz się, że

nie tylko wiatr powoduje fale i dlatego „fala pływowa” poprawnie nazywa się „tsunami”.



Obieg wody w przyrodzie

Zagłębimy też do wodnej ekologii, która bada kręte procesy łączące organizmy ze sobą i ze środowiskiem. Zobaczysz, że każde środowisko posiada system przepływu energii i materii przenoszonych przez organizmy w nim żyjące, ale prawie żaden ekosystem nie znajduje się w całkowitej izolacji. Każda część wodnego środowiska oddziałuje z innymi częściami, a także ze środowiskiem na lądzie. Od lasów wodorostów, do raf koralowych, każde środowisko przedstawia unikalne własności, które kształtują wiele cech ich rodzimych gatunków. Różnorodność organizmów wykształciła wiele udanych, czasem dramatycznych, adaptacji, odzwierciedlających naturę

gęstego, ciekłego środowiska, w którym żyją.

Fizyczne właściwości światowych oceanów.

Światowe oceany pokrywają w przybliżeniu 71 procent powierzchni Ziemi, ze średnią głębokością 3800 metrów/12.500 stóp. Woda pokrywa około 80 procent południowej półkuli i 61 procent półkuli północnej.

Pomimo faktu, że 84 procent dna morskiego znajduje się na głębokościach poniżej 1825 metrów/6000 stóp, większość naszej wiedzy o królestwie podwodnym jest ograniczona do głębokości mniejszych niż 90 metrów/300 stóp. Biorąc pod uwagę, że większość nurków rzadko zapuszcza się poniżej 30 metrów/100 stóp, nasza stosunkowo duża ignorancja o ziemskim środowisku podwodnym nie jest zaskakująca.

Mimo, że wciąż więcej jest do poznania, niż do opowiadania, dowiedzieliśmy się całkiem sporo o fizycznych właściwościach ziemskiego środowiska wodnego, oraz o tym jak te własności fizyczne i wynikające z nich procesy są niezbędne do życia - nie tylko w każdym wodnym zbiorniku, ale w całej biosferze (zamieszkałej części Ziemi).

Odpowiedzialne oddziaływanie z życiem wodnym

Jako nurkowie, jesteśmy uprzywilejowani, ponieważ mamy możliwość oddziaływać na życie wodne. Z tym przywilejem wiąże się odpowiedzialność - zminimalizowanie zakłócenia i zniszczenia podwodnego ekosystemu. Pomogą w tym następujące wskazówki

Najlepsze jest oddziaływanie pasywne. Oddziaływanie pasywne oznacza, że prawie nie zakłócasz normalnego życia podwodnego. W ogólności, oznacza to pływanie, oglądanie, robienie zdjęć i filmowanie w taki sposób, żeby nie przestraszyć lub w inny sposób przeszkodzić

Uważaj na przypadkowe szkody. Bądź świadom, że aktywność, która wydaje się niegroźna, może być jednak szkodliwy. Korale i inne organizmy mogą być bardzo kruche i przez celowy, czy przypadkowy dotyk można je łatwo uszkodzić, więc uważaj czego dotykasz i zabezpiecz zwisające przyrządy i akcesoria. Karmienie podwodnych organizmów może wydawać się pozytywnym działaniem, ale w wielu środowiskach może zaburzyć normalne zachowania i równowagę ekologiczną.

Jeżeli polujesz, bądź konserwatywny. Przestrzegaj wszystkich reguł gry i nie bierz więcej, niż naprawdę potrzebujesz. Pamiętaj, to organizmy, które zostawisz, stworzą potomstwo w przyszłości.

Baseny oceaniczne

Skąd pochodzą wszystkie oceany? Zgodnie z obecnie panującym poglądem w geologii, cztery i pół miliarda lat temu Ziemia była strefą ciągłych wybuchów wulkanów. Gazy pomieszane z parą wodną eksplodowały z wulkanów w atmosferę. Lawa spływała z wulkanów, kształtując łądy i nierówne powierzchnie pokrywające Ziemię. Kiedy Ziemia stygła, para wodna skraplała się i spadała jako deszcz wypełniając najniższe położone baseny na powierzchni Ziemi. Tak powstały oceany. Mniejsze zbiorniki wodne, które istnieją dzisiaj (jeziora, stawy, rzeki, itd.), powstały znacznie później jako wynik opadów, erozji i ruchów górotwórczych. Te same procesy zmieniły kształt oceanów w cztery główne baseny, które istnieją dzisiaj: Atlantyk, Pacyfik, Ocean Indyjski i Arktyczny. Od strony bieguna południowego widać, że te główne baseny tworzą jeden połączony system oceaniczny.

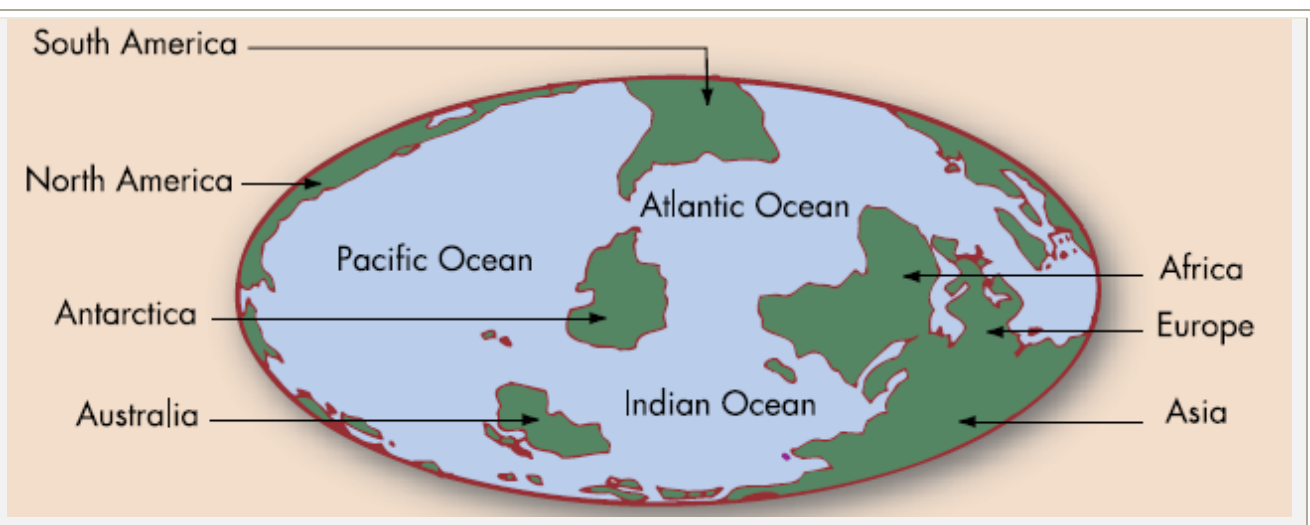
Ocean	Area x10 ⁶ km ² /mile ²	Average Volume x10 ⁶ km ³ /mile ³	Maximum Depth m/ft	Depth m/ft
Pacific	165.2/63.8	707.6/169.8	4282/13,917	11,022/35,822
Atlantic	82.4/31.8	323.6/77.7	3926/12,760	9200/29,900
Indian	73.4/28.3	291.0/69.8	3963/12,880	7460/24,245
Arctic	14.1/5.4	17.0/4.1	1205/3916	4300/13,975
Caribbean	4.3/1.7	9.6/2.3	2216/7202	7202/23,400
Mediterranean	3.0/1.2	4.2/1	1429/4644	4600/14,950
Other	18.7/7.2	17.3/4.2		

Porównanie wielkości oceanów i największych mórz

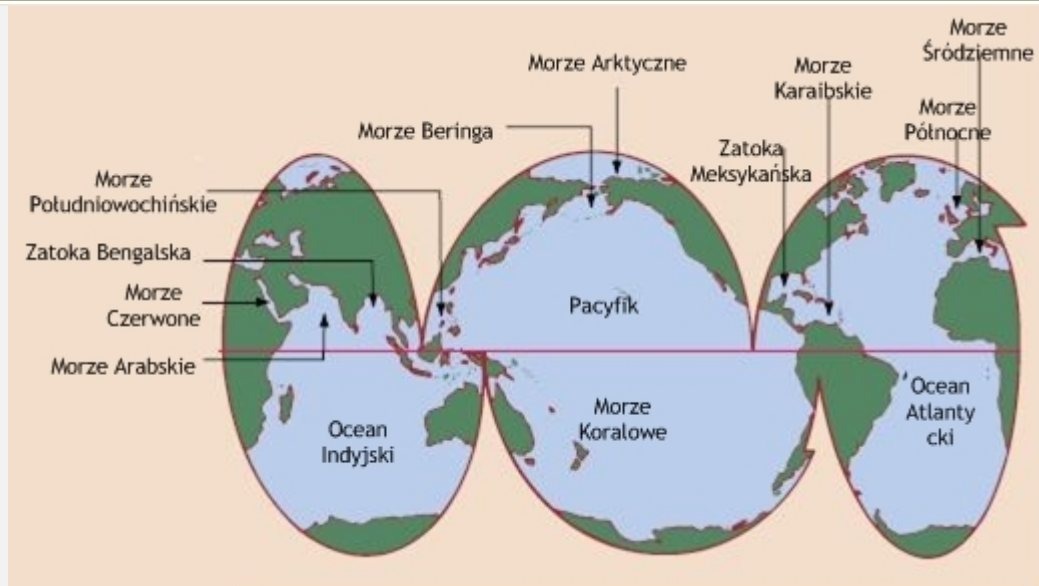
Ocean Południowy (Antarktyczny), który otacza Antarktydę, posiada trzy duże odnogi rozszerzające się na północ. Te trzy oceaniczne rozszerzenia, częściowo oddzielone przez bariery kontynentalne, to oceany Atlantycki, Spokojny i Indyjski. Inne mniejsze oceany i morza, takie jak Ocean Arktyczny i Morze Śródziemne, wychodzą z granic większych basenów oceanicznych. Połączenia pomiędzy głównymi basenami oceanów pozwalają na wymianę wody morskiej, roślin i zwierząt. Podobnie, rzeki i ich ujścia łączą baseny oceanów i ich rozszerzenia ze śródlądowymi zbiornikami słodkiej wody.

Widok rzutu Ziemi od strony równika pokazuje połączenia pomiędzy morzami i oceanami, a także fakt, że Oceany Spokojny, Atlantycki i Indyjski pokrywają większość Ziemi.

Widok od strony równika na światowe oceany. Zauważcie, że Ocean Spokojny jest największy.



Przeгляд oceanów na Ziemi



Mapa oceanów i największych mórz.

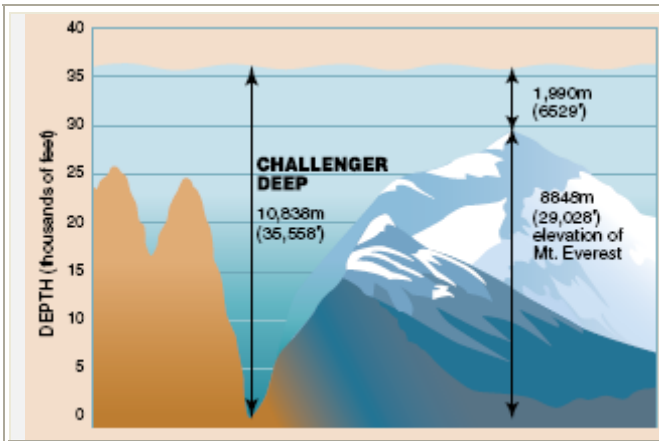
Własności topologiczne basenów oceanicznych

Dno oceanu, od brzegu aż do największej głębi, posiada zróżnicowaną i urozmaiconą rzeźbę topograficzną (więcej o tym powiemy później). Szelf kontynentalny jest podwodnym przedłużeniem platformy kontynentalnej. Gdyby poziom morza obniżył się tylko o 5 procent jego średniej głębokości, szelf wydostałby się na powierzchnię. Niektórzy naukowcy twierdzą, że całkiem niedawno, 10 tys. do 15 tys. lat temu, duża część obecnego szelfu kontynentalnego była częścią lądu. W tamtych czasach, zlodowacenie spowodowało zamrożenie dużej części oceanu, obniżając poziom morza i odsłaniając szelf kontynentalny.

Szerokość szelfu kontynentalnego jest bardzo zmienna, od kilku do kilkuset kilometrów w głąb morza. Jego całkowita powierzchnia to około osiem procent całkowitej powierzchni dna morskiego. Dzięki dużej penetracji promieni słonecznych w głąb tych relatywnie płytkich wód, wiele najbardziej cennych i delikatnych ekosystemów świata mieści się właśnie w tej przestrzeni.

Krawędź szelfu kontynentalnego załamuje się pod dużym kątem na głębokości około 110-190 metrów/350-600 stóp, rozpoczynając stok kontynentalny. Stok opada do głębokości rzędu 2800-3700 metrów/9000-12000 stóp, aż do miejsca, gdzie zaczyna się największa podwodna powierzchnia - równina abisalna. Podwodne łańcuchy górskie, nazywane grzbietami oceanicznymi, zajmują około 30 procent dna basenów oceanicznych. Aktywność wulkaniczna wzdłuż tych łańcuchów uformowała szczyty podwodne i wiele wysp: najwyższe szczyty przebiły powierzchnię oceanów i utworzyły wyspy takie jak Islandia, czy Wyspa Wniebowstąpienia.

Rowy oceaniczne wcinają się w najgłębsze partie oceanu. Zazwyczaj umiejscowione na brzegach basenów, rowy oceaniczne są najczęściej spotykane na Oceanie Spokojnym. Najgłębsze znane miejsce we wszystkich oceanach to Głębina Challenger w Rowie Mariańskim. 10 838-metrowa (35558 stóp) głębina jest tak wielka, że zmieściłby się w niej Mt. Everest i wciąż byłoby nad nim około 1990 metrów (6529 stóp) wody. Światowe oceany zawierają ponad 1,18 bilionów kilometrów sześciennych (285 milionów mil sześciennych) wody.



Porównanie Głębzi Challenger i Mt. Everest. Głębza Challenger jest tak głęboka, że zmieściłby się w niej Mt. Everest i wciąż byłoby nad nim około 1990 metrów (6529 stóp) wody. Jedyną jak do tej pory wizytą w Głębzi Challenger miała miejsce w 1960 roku. Żadna obecnie używana jednostka podwodna nie mogłaby osiągnąć dna Głębzi Challenger

Podstawowe strefy oceanu i życia morskiego

Jedną z zadziwiających cech Ziemi jest różnorodność środowisk i życia. Biolodzy sądzą, że po uformowaniu się atmosfery, oceanów i życia, organizmy żywe zmieniały się w procesach, które trwają do dziś. Nierównomierne nasłonecznienie stworzyło regiony o różnych względnych temperaturach i wilgotnościach. Warunki w nich są nieustannie zmieniane przez różnorakie procesy fizyczne. Naukowcy sądzą, że owe procesy wyjaśniają różnorodność istniejących dziś na Ziemi środowisk oraz żyjących w nich organizmów. Ponieważ charakterystyka danego środowiska determinuje adaptacje organizmów, które muszą w nim żyć, zacznijmy od przyjrzenia się podstawowym środowiskom w oceanie oraz typom organizmów tam żyjących.

Metody klasyfikacji środowiska

Jak można sklasyfikować środowiska morskie? Wyobraź sobie, że spacerujesz po parku. Twoim zadaniem jest podzielić park na obszary do dalszego zbadania. Jak się za to weźmiesz? Możesz zaobserwować, że w części parku są trawniki, drzewa, albo inne rośliny. W innych miejscach parku są budynki, brukowane alejki i huśtawki dla dzieci. Może cię to doprowadzić do stworzenia podziału na „strefę naturalną” i na „strefę zagospodarowaną”. Zauważasz, że park ma zewnętrzne części blisko otaczających go ulic. Z kolei wewnętrzna jego część leży daleko od jakiegokolwiek ruchu samochodowego. Dzielisz więc park na „strefę zewnętrzną” i na „strefę wewnętrzną”.

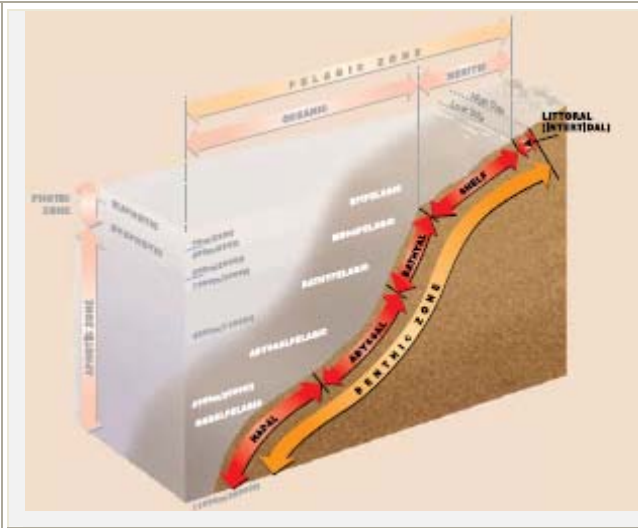
Z drugiej strony, możesz być zainteresowany tym, jak w parku egzystują organizmy żywe. Zauważasz ptaki, owady, psy, drzewa i ludzi. Bazując na tej obserwacji, możesz sklasyfikować formy życia jako „tubylcze”, które tam zamieszkują, oraz „gości”, którzy przychodzą od czasu do czasu z wizytą, ale nie zostają na dłużej. Możesz też sklasyfikować je na takie, które latają i na takie, które latać nie potrafią. Żadna z tych metod nie jest ani dobra, ani zła. Wszystkie są słusznymi metodami podziału parku. W czasie dalszych badań parku, może się zdarzyć, że będziesz używał więcej niż tylko jednej z nich, w zależności od tego, czym będziesz się akurat zajmował. Analizując wpływ hałasu, najprawdopodobniej użyjesz podziału na strefy „zewnętrzne” i „wewnętrzne”. Przy testowaniu, w jaki sposób ludzie używają parku, przydatny będzie podział na strefy „naturalne” i „zagospodarowane”.

Jako nurek, stajesz przed takim samym problemem, kiedy analizujesz oceany i ich mieszkańców. Morza mogą być podzielone na różne regiony, w zależności od ich fizycznych właściwości. Części oceanów mogą być sklasyfikowane na różne strefy albo regiony, w zależności od oświetlenia, głębokości, temperatury, gęstości (o tych własnościach jeszcze powiemy później), szerokości geograficznej i odległości od brzegu oraz od kombinacji wszystkich tych własności. Przyjrzyjmy się teraz podstawowym klasyfikacjom opartym na odległości od brzegu i na głębokości.

Położenie

Najbardziej podstawowym podziałem oceanu, opartym na położeniu, jest podział na toń wodną i dno. Toń wodna jest zwana *pelagialem*, a część denną *bentalem*. Każda z nich ma podstrefy.

Pelagial jest podzielony w poziomie na dwie strefy: *nerytyczną* (płytkomorską) i *oceaniczną*. Strefa *nerytyczna* obejmuje obszar wody pomiędzy dolną granicą odpływu a brzegiem szelfu kontynentalnego. Strefa *oceaniczna* to otwarta toń wodna poza krawędzią szelfu. Strefa ta jest podzielona w pionie na dalsze podstrefy: epipelagial, mezopelagial, batypelagial, abisopelagial i hadopelagial.



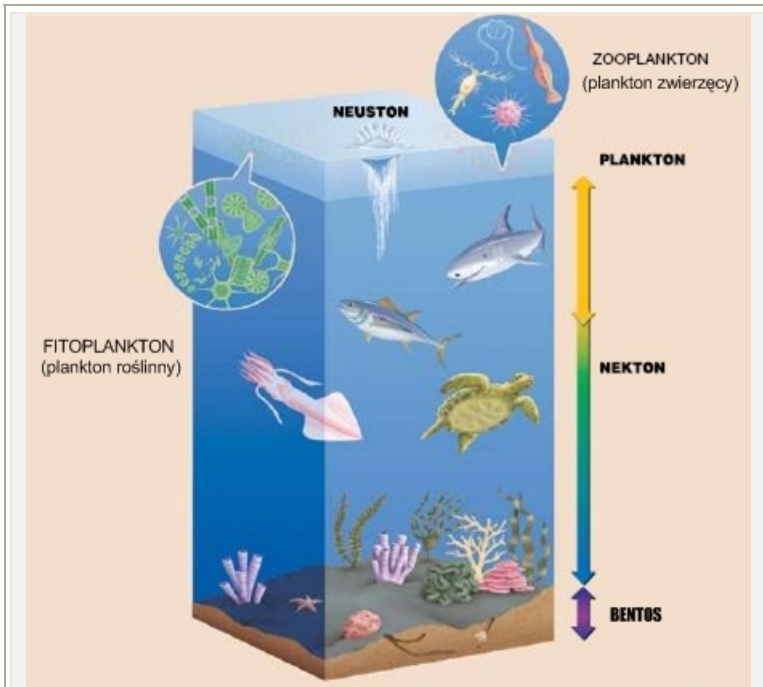
Pelagial jest podzielony zarówno wzdłuż pionowej, jak i poziomej osi. W poziomie dzieli się na strefę nerytyczną i strefę oceaniczną, oddzielone od siebie krawędzią szelfu kontynentalnego. Strefa nerytyczna rozciąga się od krawędzi szelfu do brzoza. Wzdłuż osi pionowej pelagial jest podzielony zależnie od głębokości. Głębokość, do której dociera światło słoneczne, definiuje górne warstwy, epipelagial i mezopelagial. Głębsze strefy są w wiecznej ciemności i zawierają wody poniżej ~1000 metrów (3280 stóp).

Epipelagial to górna warstwa wody, którą bez przeszkód penetruje światło słoneczne. Poniżej leży mezopelagial, gdzie światło wprawdzie jeszcze dochodzi, ale nie na tyle, by mogły rozwinąć się wszelkie formy życia. Strefy niżej, to kolejno batypelagial, abisopelagial i hadopelagial. Batypelagial to głęboka toń otwartego oceanu. Abisopelagial to jeszcze głębsze wody w rowach oceanicznych. Hadopelagial to najgłębsza woda na dnie rowów oceanicznych.

Strefa bentalu jest podzielona zależnie od głębokości. Zaczynając od brzoza i kierując się w stronę otwartego oceanu, pierwszą strefą jest *supralitoral* (strefa odprysków). Ta strefa jest obmywana przez wodę, ale nie pozostaje w zanurzeniu. Następnie leży *litoral*, który jest obszarem dna pomiędzy górną granicą przyprływu a dolną odpływu, tak że czasem jest zanurzony, a czasem jest nad wodą.

Poniżej litoral znajduje się szelf kontynentalny. Obszar ten jest podzielony na *sublitoral*, czyli dno oceanu blisko brzoza, oraz *zewnętrzny sublitoral*, czyli dno oceanu przy krawędzi szelfu kontynentalnego. *Batial* to dno oceanu wzdłuż stoku kontynentalnego, aż do jego głębokiego podnóża. Dno głębokiego otwartego oceanu to *abisal*. Strefa najgłębsza, poniżej 6000 metrów (19685 stóp), to *hadal*. *Batial*, *abisal* i *hadal* popularnie są określane jedną nazwą, the deep sea floor.

Organizmy żywe



Klasyfikacja ze względu na styl życia dzieli organizmy żywe na trzy główne grupy. Plankton to życie dryfujące (obejmując także neuston, który żyje na powierzchni), nekton żyje w toni wodnej, a bentos obejmuje organizmy żyjące w lub na dnie morza

większość życia.

Nekton jest tym, co prawdopodobnie widzisz przed oczami, gdy myślisz o życiu morskim. Nekton to organizmy, które potrafią pływać, od małych bezkręgowców do dużych waleni. Większość morskich drapieżników jest nektonem. Gros nektonu to kręgowce (zwierzęta z wewnętrznym szkieletem i kręgosłupem), jak ryby i walenie, ale istnieją w nim też bezkręgowce (zwierzęta bez wewnętrznego szkieletu i kręgosłupa), jak na przykład kałamarnice.

Bentos to organizmy, które żyją albo na dnie albo wewnątrz dna. Bentos może się poruszać, albo być organizmem osiadłym. Organizmy osiadłe są przymocowane do dna, jak ukwiały, wąsonogi (np. pąkle) i gorgonie.

Klasyfikacja ta ma podgrupy. Ważną podgrupą planktonu jest neuston. Neuston to plankton, który pływa po powierzchni. Ciekawym jego przykładem jest żeglarz portugalski (bąbelnica, żywłoga, aretuza), który unosi się na powierzchni dzięki specjalnemu gazowi, pozwalając popychać się wiatrom i polować za pomocą jadowitych żądłacych macek.

Bentos jest podzielony na epifaunę, epiflorę i infaunę. Epifauna to zwierzęta, takie jak kraby, które żyją na dnie morskim. Epiflora to rośliny, jak wodorosty, żyjące na dnie morskim. Infauna zaś to organizmy, które żyją częściowo albo całkowicie zakopane w dnie. Można tu wymienić niektóre gatunki małży, dolarki piaskowe (ang. sand dollar), wieloszczety osiadłe (ang. tubeworm) i piórka morskie (ang. sea pen). Większość infauny to albo zbieracze, albo filtratorzy. Zbieracze żywią się detrytusem (rozdrobnionymi szczątkami organicznymi i nieorganicznymi) opadającym na dno. Filtratorzy natomiast filtrują drobne cząstki (głównie plankton) zawieszony w wodzie.

Temperatura

Woda ma bardzo wysoką pojemność cieplną, co oznacza, że może zmagazynować więcej ciepła niż większość zwykłych substancji (szerzej o tym w rozdziale 4). Cecha ta daje Ziemi dużą inercję cieplną, czyli zdolność do przeciwstawienia się zmianom temperatur. Dzięki wysokiej pojemności cieplnej temperatura oceanu prawie nie zmienia się, nawet gdy straci on albo zyska dużą ilość ciepła. Dlatego zmiany temperatur w morzach są raczej stopniowe, powolne. Dla porównania, temperatura na lądzie może zmienić się aż o 20°C (68°F) w ciągu dnia w niektórych strefach klimatycznych.

Ponieważ Słońce dostarcza Ziemi kolosalną ilość energii, inercja cieplna oceanów jest bardzo ważna dla życia zarówno na lądzie jak i w wodzie. Około połowa tej energii przedostaje się przez atmosferę, a ocean absorbuje większość z tego co przeszło. Przez konwekcję, parowanie i promieniowanie, ciepło wraca do atmosfery i jest wypromieniowane z powrotem w przestrzeń. Promieniowanie słoneczne i

W dalszym ciągu tego rozdziału przeczytasz o kilku z tysięcy różnych specyficznych organizmów żyjących w słodko- i słonowodnych środowiskach. Dowiesz się szybko, że życie wodne jest niewiarygodnie różnorodne. Mogłoby być trudno omawiać oddzielnie każdy z setki tysięcy gatunków.

Dlatego właśnie naukowcy grupują i dzielą organizmy żywe według ich fizycznych charakterystyk. Czasem jednak ten typ klasyfikacji nie jest odpowiedni. Jako nurek zauważysz, że często cechy konkretnego organizmu są mniej ważne, niż to jak i gdzie organizm żyje. Bardzo różne organizmy egzystują w tym samym środowisku i mają podobne strategie przetrwania. Dla takiego przypadku, naukowcy sklasyfikowali życie wodne na trzy style życia: plankton, nekton i bentos.

Plankton jest grupą roślin (fitoplankton) i zwierząt (zooplankton), które biernie unoszą się w prądach oceanu. Plankton w większości jest bardzo mały albo mikroskopijny i może płynąć jedynie z prądem i falami. Plankton znajduje się pośród najważniejszych organizmów na Ziemi. Bez niego zginęłaby

wewnętrzne źródła ciepła Ziemi nieustannie równoważą ciepło wypromieniowane z Ziemi. Proces ten utrzymuje Ziemię w równowadze termicznej, co oznacza, że chłodzi się ona w przybliżeniu w takim samym tempie, jak się grzeje. Przez cały czas Ziemia ani nie grzeje się znacznie, ani nie chłodzi.

Z dnia na dzień i przez cały rok woda morska działa jak globalny termostat, zapobiegając huśtawce globalnej temperatury, którą spowodowałyby nierówne ogrzewanie słoneczne różnych części globu. Woda morska absorbuje ciepło w ciągu dnia i przez lato, żeby następnie oddać je w atmosferę w nocy i w zimie. Podobnie lodowe czapy polarne absorbują ciepło topiąc się w ciągu dnia i oddają je ponownie marznąc w nocy. Różnice temperatur pomiędzy nocą a dniem oraz między latem a zimą byłyby znacznie większe bez równowagi termicznej zapewnianej przez oceany. Bez inercji termicznej zapewnianej przez oceany wiele, być może większość, organizmów na Ziemi nie przetrwałoby drastycznej huśtawki temperatur, która wystąpiłaby pomiędzy nocą a dniem.

Dla każdego gatunku istnieje zakres warunków, w których może on żyć. Zakres ten, między innymi, obejmuje temperaturę, zasolenie i intensywność światła. Niektóre gatunki tolerują szeroki przedział warunków zewnętrznych, mogą więc żyć w wielu różnych miejscach. Inne akceptują jedynie wąski zakres tych warunków i są bardziej ograniczone, jeżeli chodzi o wybór miejsca do życia. Organizm może mieć duży przedział tolerancji na jeden czynnik (np. temperaturę), a wąski na inny (np. zasolenie).

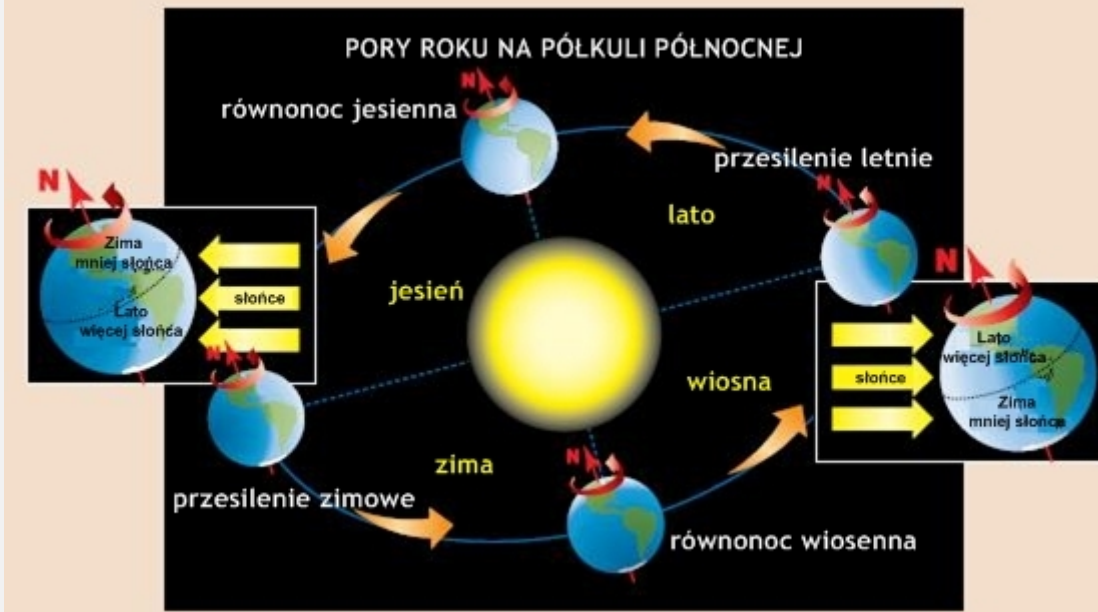
Przedziały tolerancji wpływają na siebie wzajemnie. Na przykład, roztwory tolerują szeroki zakres temperatur, ale jeżeli żyją blisko limitu tego zakresu, są bardziej czułe na zmiany innych czynników środowiskowych, jak np. zasolenia. Zakres tolerancji organizmu żywego częściowo określa wspólnotę ekologiczną, w której może żyć.

Nierównomierne nasłonecznienie a pory roku

Powodem istnienia pór roku jest przechył o $23,5^\circ$ osi obrotu Ziemi względem płaszczyzny jej orbity wokół Słońca. W pobliżu letniego przesilenia dni są długie i półkula północna otrzymuje najwięcej światła słonecznego w ciągu roku. Powyżej arktycznego koła podbiegunowego Słońce nie zachodzi przez kilka miesięcy i jego światło dochodzi do Ziemi 24 godziny na dobę każdego dnia. Z kolei blisko przesilenia zimowego na półkuli północnej dni są krótkie, a półkula dostaje najmniej światła w ciągu roku. Powyżej arktycznego koła podbiegunowego Słońce w ogóle nie wschodzi przez kilka miesięcy. Na półkuli południowej pory roku występują dokładnie na odwrót, ponieważ dół osi obrotu Ziemi przybliży się ku Słońcu wtedy, gdy góra osi się od niego oddala

Rozkład życia morskiego jest blisko związany z geograficznymi różnicami temperatur wody. Dzieje się tak dlatego, że większość zwierząt i roślin nie ma mechanizmu kontroli swojej wewnętrznej temperatury. Organizmy takie, nazywane zimnokrwistymi (zmiennocieplnymi), mają wewnętrzną temperaturę równą temperaturze otoczenia. W skutek tego, mogą one egzystować tylko w dość wąskim przedziale temperatury. Tylko ptaki, ssaki i kilka pelagialnych (żyjących na otwartym oceanie) ryb, jak tuńczyk, może regulować temperaturę swojego ciała (do pewnej wartości). Takie organizmy nazywamy ciepłokrwistymi (stałocieplnymi). Zdolność do regulowania temperatury swojego ciała daje tym organizmom znacznie większe możliwości przemieszczania się pomiędzy strefami klimatycznymi.

Zmiana temperatury może w różny sposób wpływać na organizmy wodne. Po pierwsze, wpływa na wewnętrzny metabolizm (wzrost komórek, zużycie tlenu, tętno i inne procesy fizjologiczne). Temperatura otoczenia reguluje metabolizm organizmów zmiennocieplnych. Zazwyczaj dla takich organizmów z każdym wzrostem temperatury o 10°C (50°F) szybkość metabolizmu wzrasta dwu, trzykrotnie. Jasno więc widać, że zmiany temperatury wody związane z porami roku głęboko wpływają na organizmy wodne. Zdolność gatunków zimnokrwistych do tolerancji fluktuacji temperatury może być kluczowa do ich przetrwania. Wiele organizmów wodnych wykorzystuje sezonowe zmiany temperatur, aby wypuścić nasienie i ikrę do wody. Gatunki pospolite na północno-zachodnich brzegach Pacyfiku, takie jak omutki, używają tego środowiskowego sygnału, aby zapewnić jednoczesne złożenie ikry przez wszystkie matki w całym obszarze w tym samym czasie.



Pory roku na półkuli północnej. Pory roku są skutkiem nachylenia osi obrotu Ziemi względem płaszczyzny jej orbity wokół Słońca

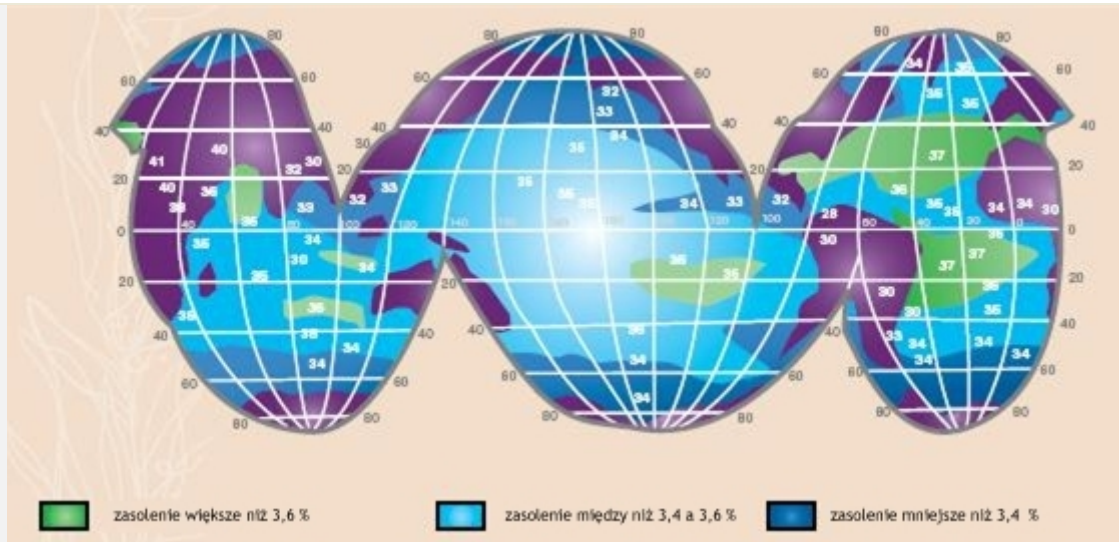
Zmiana temperatury wpływa na Ciebie jako nurka w takim samym stopniu, jak wpływa na organizmy wodne. Dlatego musisz zwracać uwagę na temperaturę wody i właściwą izolację. Jakość izolacji zależy od temperatury wody, a temperatura wody zależy od tego gdzie jesteś, jaka jest pora roku i w pewnym stopniu od tego, jaka jest pogoda. Możesz doświadczyć temperatur zmieniających się od -2°C (28°F) w regionach okołobiegunowych do ponad 30° (85°F) w tropikach, a nawet jeszcze wyższych w niektórych geotermalnych źródłach. W danym regionie, temperatura wody w ciągu roku waha się, ale zazwyczaj nie więcej niż $8^{\circ}\text{-}11^{\circ}\text{C}$ ($15^{\circ}\text{-}20^{\circ}\text{F}$). Twoje doświadczenie prawdopodobnie nauczy Cię, że w klimacie umiarkowanym, w czasie chłodnych pór roku, preferowany jest suchy skafander, ale w czasie pór ciepłych bardziej odpowiedni jest skafander mokry.

Zasolenie

Kolejnym czynnikiem wpływającym na wodne królestwo jest skład chemiczny wody. Badacze morza sądzą, że woda morska jest zakumulowanym produktem mieszania się przez miliony lat cząsteczek pochodzących z powietrza, skał i gleby z wodą deszczową. Jednym z powodów, dla którego woda słodka jest rzeczywiście słodka, jest fakt, że akumuluje się w głąb lądu pod wpływem opadów atmosferycznych (prawie czysta woda) i, poza kilkoma przypadkami, w skali geologicznej nie ma czasu, żeby zostać słoną.

Rozpuszczone składniki stanowią około 3,5 procenta wody morskiej. Pozostałe 96,5 procenta to czysta woda. W światowych oceanach można znaleźć śladowe ilości wszystkich naturalnie występujących substancji. Generalnie dzielą się one na trzy kategorie: substancje nieorganiczne (zazwyczaj nazywane solami i składnikami pokarmowymi), rozpuszczone gazy i substancje organiczne (zazwyczaj pochodzące od żywych organizmów). W ostatnich latach pojawiła się czwarta kategoria: organiczne i syntetyczne substancje takie jak DDT i inne zanieczyszczenia, które mogą mieć niszczycielski efekt na życie morskie.

Zasolenie odnosi się do chlorku sodu (NaCl) rozpuszczonego w wodzie, wraz z innymi solami, włączając chlorek potasu (KCl). Zasolenie obejmuje całkowitą ilość lub koncentrację wszystkich rozpuszczonych nieorganicznych ciał stałych, albo bardziej precyzyjnie, jonów. Wchodzi w to chlorek sodu i wszystko inne powszechnie zwane rozpuszczonymi solami. Zasolenie wyrażamy w promilach, ponieważ nawet bardzo małe jego zmiany są znaczące. Znak ‰ oznacza „promil”, czyli „części na tysiąc”, więc 35‰ oznacza 35 części na tysiąc. (Żeby przeliczyć promile na procenty, trzeba podzielić przez 10, więc $35‰=3.5\%$) średnie zasolenie oceanów wynosi 35‰, czyli 3.5%.



Globalne zasolenie. Globalne zasolenie oceanów może różnić się znacząco w zależności od regionu. Regiony tropikalne zazwyczaj są bardziej zasolone niż obszary umiarkowane

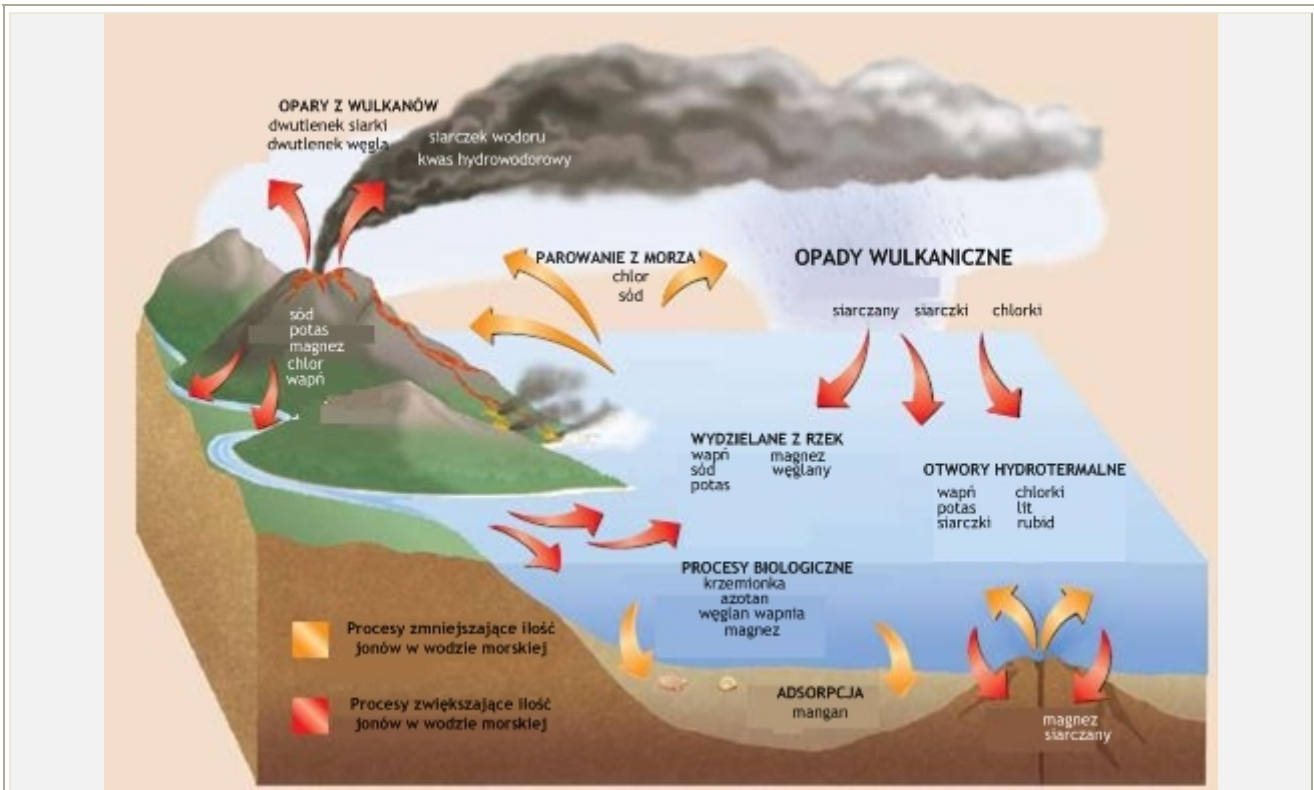
Ogólnie rzecz biorąc, większa część zasolenia wody zmienia się bardzo mało, aczkolwiek w określonych regionach potrafi się ona bardzo zmieniać: od bliskiej zera przy wylotach rzek do 40‰ w zamkniętych, jałowych regionach takich jak Morze Czerwone. Proporcje poszczególnych rozpuszczonych soli w wodzie morskiej nie zmieniają się, zmienia się tylko względna ilość wody. Zasolenie zmienia się, gdy woda słodka wpada do oceanu, np. z rzek lub w postaci deszczu albo, gdy woda paruje. Na przykład, woda słonawa powstaje w wyniku mieszania się wody słodkiej i słonej w ujściach rzek. Woda słonawa ma zasolenie od 0.6‰ do 30‰. Solanka, czyli woda nasycona, albo prawie nasycona rozpuszczoną solą, powstaje albo w obszarach o dużym parowaniu i małym dopływie wody słodkiej, albo w miejscach gdzie wysad solny rozpuszcza się na dnie morza, co jest powszechne w Zatoce Meksykańskiej. Tak jak temperatura, wielkość albo zmiana zasolenia może drastycznie wpłynąć na przetrwanie organizmu. Zmiana zasolenia wpływa na wewnętrzną równowagę chemiczną morskich roślin i zwierząt.

Wszystkie morskie rośliny, bezkręgowce i większość ryb posiada płyny ustrojowe o zasoleniu w przybliżeniu równym zasoleniu wody, w której żyją. Zapewnia to równowagę chemiczną pomiędzy ich wewnętrznymi płynami i środowiskiem zewnętrznym. Większość roślin i zwierząt nie posiada mechanizmu pozwalającego na regulowanie ich wewnętrznej równowagi chemicznej w wypadku dużej zmiany zasolenia otoczenia, ale istnieje kilka, które to potrafią. Najlepszym być może przykładem ryby, która posiada osmoregulację (czyli proces regulacyjny, który pozwala organizmowi użyć aktywnego transportu [odwrócona osmoza - proces komórkowy przesuwający materiały z obszaru o niskiej koncentracji do obszaru o koncentracji wyższej] w celu modyfikacji koncentracji wody w swoich komórkach) jest łosoś. Dzięki temu łosoś posiada mechanizm pozwalający na migrację pomiędzy słodką i słoną wodą.

Źródła zasolenia

Przy ciągłych deszczach, spływach powierzchniowych, erozji i innych siłach naturalnych można by pomyśleć, że zasolenie oceanów wzrasta lub spada. Tak jednak nie jest. Większość oceanografów sądzi, iż zasolenie jest w stanie stacjonarnym i nie ma żadnych oznak na to, że oceany stają się mniej lub bardziej słone. Wygląda na to, że źródła usuwania i dodawania soli wzajemnie się równoważą.

Skąd przede wszystkim pochodzi sól? Pierwszym źródłem wydają się minerały i substancje chemiczne erodujące i rozpuszczające się w słodkiej wodzie wpływającej do oceanu. Rzeki, spływy powierzchniowe i deszcz przesączają się przez grunt i przenoszą sole do mórz. Okazuje się jednak, że skład soli w wodzie morskiej różni się od soli dostarczanej przez rzeki, muszą więc istnieć też inne jej źródła. Fale i piana morska erodują skały na wybrzeżu (więcej o tym w dalszych rozdziałach). Głębiny otwory hydrotermalne (otwory termiczne w skorupie ziemskiej na dnie oceanu, gorące źródła minerałów) zmieniają wodę morską, dodając do niej jedne minerały i usuwając z niej drugie. Inne biologiczne i chemiczne procesy, a także reakcje pomiędzy wodą morską a dnem, mają tendencję do usuwania soli. Naukowcy sądzą, że wszystkie te procesy równoważą się tak, aby średnie zasolenie wody morskiej pozostawało stałe. Oznacza to, że ocean jest w równowadze chemicznej.



Źródła soli w oceanie. Sól i inne składniki mogą być wprowadzone do oceanu np. przez wietrzenie skał. Przeniesione przez rzeki, składniki te zostają rozproszone w oceanie. Inne minerały dostarczane są do oceanu przez erupcję wulkanów i z otworów termicznych na jego dnie. Sól i składniki mineralne usuwane są z oceanu przez rozpylenie, parowanie i procesy biologiczne. Naukowcy sądzą, że procesy dodawania i usuwania soli z oceanu wzajemnie się równoważą

Gęstość

Różnice w temperaturze i zasoleniu wody skutkują różnicami w jej gęstości. Z kolei różnice gęstości wytwarzają w wodzie warstwy. Woda o dużej gęstości leży poniżej wody o gęstości mniejszej. Niska temperatura i wysokie zasolenie powodują dużą gęstość wody, a wysoka temperatura i niższe zasolenie powodują niską jej gęstość.

Stosunkowo ciepłe wody powierzchniowe o małej gęstości oddzielone są od chłodnej, gęstszej wody termokliną, czyli obszarem, w którym temperatura gwałtownie zmienia się z głębokością. To rozgraniczenie warstw jest tak nagłe, że w spokojnej wodzie możesz płynąć w ciepłej toni i włożyć rękę do wody wyraźnie zimniejszej. Zjawisko to jest powszechne w stojących wodach słodkich takich jak jeziora i zalane kamieniołomy.



Różnice gęstości powodują powstanie warstw w wodzie. Woda może formować warstwy, pomiędzy którymi jest wyraźna różnica w zasoleniu. Połączenie pomiędzy tymi warstwami nazywane jest *halokliną*. Zjawisko to jest powszechne w miejscach, gdzie woda z lądu tworzy warstwę ponad słoną wodą oceanu. Nurkowie jaskiniowi przepływając przez haloklinę mogą zamieszać dwie warstwy. Efekt rozmazania na zdjęciu pochodzi od zmieszania ze sobą różnych warstw.

Różnica temperatur pomiędzy obszarami nad i pod termokliną może wynieść nawet 8°-11°C (15°-20°F). Kiedy woda jest zaburzona, czasem możesz zobaczyć zniekształcenia termokliny, coś na kształt migoczącego powietrza unoszącego się znad rozgrzanego asfaltu albo pasem do kołowania na lotnisku. Efekt ten jest spowodowany mieszaniem się dwóch warstw o różnych temperaturach. Termoklina występuje zarówno w słodkiej jak i słonej wodzie oraz unosi się i opada zależnie od pory roku.

Różnice w zasoleniu zająbiają się z różnicami temperatur. Przejście od powierzchniowych wód o

niskim zasoleniu do wód głębszych, o wyższym zasoleniu, nazywane jest halokliną. W oceanie termoklina i haloklina współtworzą pyknoklinę, strefę, w której gęstość wzrasta z głębokością. Poniżej pyknokliny, temperatura i zasolenie są w przybliżeniu jednolite.

pH - Kwasowość i Zasadowość

Względna koncentracja dodatnich jonów wodorowych albo ujemnych jonów wodorotlenkowych odpowiada za kwasowość lub zasadowość wody. Kwasowość i zasadowość mierzone są w skali pH, która przedstawia bilans w cieczy pomiędzy dodatnimi jonami wodorowymi (H⁺)¹ i jonami ujemnymi (OH⁻). Roztwór, który posiada dużo jonów wodorowych, staje się kwasem, a jego pH wynosi od 0 do 7. pH równe 0 oznacza bardzo skoncentrowany kwas, który oparzyłby twoją skórę, a pH od 4,0 do 5,5 to kwas rozcieńczony. Na przykład kwas cytrynowy, który daje cytrynom ich kwaśny smak, jest rozcieńczonym kwasem. Skala pH jest logarytmiczna, co oznacza, że każda kolejna liczba na skali jest równa poprzedniej, pomnożonej o stałą wartość. W przypadku skali pH, stałą wartością jest 10, tak więc każdy stopień na skali jest dziesięciokrotną zmianą. Tak więc na przykład zmiana od pH 6 do pH 7 odpowiada dziesięciokrotnemu wzrostowi zasadowości.

Roztwory, które mają dużo jonów wodorotlenkowych, są zasadami. Ich pH jest wyższe niż 7, a wszystko co ma pH ponad 9, jest uważane za skoncentrowany roztwór zasadowy. Na przykład, wodorotlenek sodu ma pH równe 14 i jest niebezpieczny w dotyku. Dla porównania proszek do pieczenia ma pH około 8.

Czysta woda ma pH równe 7, czyli jest neutralna. Czy myślałeś kiedyś, dlaczego możesz swobodnie otwierać oczy w większości słodkowodnych jezior, a kiedy zrobisz to w oceanie, zaczynają Cię trochę szczypać? Dzieje się tak dlatego, że pH wody morskiej mieści się w zakresie od 7,8 do 8,3, co oznacza bardzo lekką zasadowość. Przypomnij sobie, że różnica pomiędzy pH 7 i 8 oznacza dziesięciokrotną zmianę. Lekka alkaliczność wody morskiej (spowodowana rozpuszczonymi solami) drażni twoje oczy.

Zbiorniki słodkiej wody nie zawsze są neutralne i mogą mieć pH z szerokiego przedziału, od wysokiej kwasowości, do wysokiej zasadowości. pH słodkiej wody może radykalnie zmieniać się zarówno przez procesy naturalne, jak i przez wpływ człowieka. pH oceanu natomiast pozostaje względnie stałe, dzięki buforowaniu. Bufory są substancjami, które zmniejszają podatność roztworu na zbyt duże zmiany w kwasowości i zasadowości. Woda morska jest buforowana przede wszystkim przez zawarty w niej dwutlenek węgla. Dwutlenek węgla łączy się z wodą w wielu reakcjach chemicznych, które albo wiążą, albo uwalniają jony wodorowe. Jeżeli woda jest zbyt zasadowa, reakcje te uwalniają jony wodorowe i zwiększają kwasowość. Z drugiej strony, jeżeli woda staje się zbyt kwaśna, inne reakcje wiążą jony wodorowe i zwiększają jej zasadowość. Cykl węglowy to istotny, ale skomplikowany proces, który utrzymuje pH oceanów na stosunkowo stałym poziomie (więcej o tym w dalszej części).

Mimo, że pH wody morskiej jest względnie stałe, zmienia się z głębokością. Dzieje się tak dlatego, że ilość dwutlenku węgla zależy od głębokości. Wyższe, oświetlone przez Słońce warstwy, zwane strefą fotyczną, zawierają największą gęstość organizmów fotosyntetycznych. Organizmy wykorzystują dwutlenek węgla, czyniąc przy tym wodę odrobinę mniej kwaśną. Woda powierzchniowa jest też zazwyczaj stosunkowo ciepła, co zmniejsza zawartość dwutlenku węgla w roztworze. Ogólnie rzecz biorąc, ciepła, wydajna woda (woda z dużym przyrostem organizmów) ma pH około 8,5.

Na średnich głębokościach w oceanie pH zmienia się niewiele. Oddychanie zwierząt morskich i innych organizmów produkuje więcej dwutlenku węgla. Czyni to wodę trochę bardziej kwasową z niższym pH.

Na głębokości 1000 metrów (3280 stóp) jest już mniej aktywności organicznej. Skutkuje to mniejszym oddychaniem, a więc mniejszą zawartością dwutlenku węgla. Woda jest więc bardziej alkaliczna. Na głębokości 3000 metrów (9840 stóp) i głębiej woda znowu staje się kwasowa. Dzieje się tak z powodu rozkładających się szczątków organicznych, produkujących dwutlenek węgla, przy jednoczesnym braku organizmów fotosyntetycznych, które by go usuwały. Przejście pomiędzy mniej i bardziej kwasową wodą jest nazywane granicą kompensacji węglanu wapnia (CCD - ang. calcium compensation depth). Woda poniżej CCD jest wystarczająco kwasowa, żeby rozpuścić, zbudowane głównie z węglanu wapnia, tonące muszle martwych organizmów.

pH wody również wpływa na dobry rozwój życia morskiego. Doskonałym przykładem są słone jeziora w Palau na Pacyfiku. Słone jeziora Palau są częścią oceanu i woda w nich zmienia się wraz z prądami. Kilka z tych jezior jest kompletnie odizolowanych od otaczającego je oceanu i woda morska wpływa do nich przez szczeliny w wapieniu, typowym dla wysp w tym rejonie. Pęknięcia w wapiennych wyspach pozwalają na transfer słonej wody, ale wykluczają inne formy życia wodnego.

W tych izolowanych jeziorach nie ma drapieżników, a sprzyjające warunki uczyniły jezioro na wyspie Eil Malk domem dla pewnego unikalnego życia morskiego. Jezioro Meduz milionami zamieszkują

¹ Przypis tłumacza: To jest definicja historyczna. Wolne jony wodorowe nigdy nie występują w roztworach wodnych. Obecnie skala jest oparta na aktywności jonów hydroniowych [H₃O⁺].

dwa gatunki nieżądających meduz (ang. Moon Jellyfish i the Mestiga). Nie posiadają parzydełek, lecz zużywają światło słoneczne do wytworzenia własnej żywności za pomocą komórek glonów w ich przezroczystych ciałach. W dzień meduzy podążają za Słońcem, a w nocy opadają do głębszych warstw wody, gdzie zaczynając od 18 metrów (60 stóp) rozpuszczony jest siarkowodor (toksyna, która im nie szkodzi). Tam, w głębinach jeziora, uzupełniają swoje biogeny.

W jeziorze można nurkować z fajką, mieszając się z meduzami w górnej warstwie jeziora, gdzie pH wynosi średnio 8,5. Nurkowie są ostrzegani przed zejściem poniżej 9 metrów (30 stóp), gdyż od tej głębokości jezioro zaczyna być bardziej zasadowe. Spowodowane jest to spadkiem oddychania (brak tam innych organizmów morskich), a w konsekwencji spadkiem dwutlenku węgla, czyniąc jezioro bardzo skoncentrowanym roztworem alkalicznym.



Wartość pH powszechnych substancji. Kwasowość i zasadowość mierzone są w pH, skali, która przedstawia bilans w cieczy pomiędzy dodatnimi jonami wodorowymi (H^+) i jonami ujemnymi (OH^-). Na skali pH, 0 oznacza największą kwasowość, 14 największą alkalizację, a 7 oznacza neutralność. Na rysunku przedstawione są pH substancji powszechnie spotykanych w codziennym życiu

Rozpuszczone związki chemiczne nie będące solami

Najpowszechniejszymi gazami rozpuszczonymi w wodzie są tlen, dwutlenek węgla i azot. Ich ilość zmienia się pod wpływem czynników biologicznych i środowiskowych. Pierwszym czynnikiem wpływającym na rozpuszczalność gazów w wodzie jest temperatura. Jak dowiesz się później w rozdziale czwartym, zimna woda może zawierać więcej gazu niż ciepła. Metabolizm roślin i zwierząt również wyznacza ilość i rodzaj gazów w wodzie. Rośliny w czasie fotosyntezy wytwarzają tlen i zużywają dwutlenek węgla, a z kolei zwierzęta w czasie oddychania spalają tlen i produkują dwutlenek węgla.



Śródlądowe Jezioro Meduz w Palau ilustruje wpływ pH na przetrwanie organizmów żywych. Meduzy na zdjęciu prosperują w pH znacznie powyżej typowego pH oceanicznego

Pomimo że większość rozpuszczonych w oceanach ciał stałych to sole, rozpuszczone związki nieorganiczne, są tam jeszcze inne związki albo organiczne, albo oddziałujące w znaczącym stopniu z

organizmami żywymi. Składniki te są kluczowe dla życia i pod wieloma względami różnią się od soli.

Jedną z różnic jest fakt, że te substancje nie podlegają zasadzie stałych proporcji (zasadzie, która mówi, że proporcje rozpuszczonych w wodzie morskiej soli są stałe). Ilość i proporcje tych rozpuszczonych substancji zmieniają się w czasie z powodu procesów biologicznych i geologicznych, niezależnie od zasolenia. Na przykład w środowiskach o dużej gęstości organizmów żywych może brakować niektórych materiałów organicznych. W innych zaś miejscach zanieczyszczenie albo podwodne erupcje mogą powodować występowanie nadmiaru pewnych substancji.

Życie na Ziemi jest zależne od materiałów pochodzących z nieożywionych części planety. Stały przepływ pierwiastków i związków chemicznych pomiędzy organizmami żywymi (formami biologicznymi) i Ziemią (formami geologicznymi) jest nazywany cyklem biogeochemicznym.

Składniki pokarmowe

Oprócz gazów używanych w fotosyntezie i oddychaniu, życie potrzebuje między innymi składników pokarmowych. Podstawowymi pierwiastkami substancji odżywczych są: węgiel, azot, fosfor, krzem, żelazo i kilka innych metali śladowych. Kiedy organizm ginie, to czego nie zjedzą padlinożercy tonie, docierając do dna poniżej strefy fotycznej. Materiał organiczny ulega następnie rozkładowi pod wpływem bakterii i innych mikroorganizmów. Rozkład pozostawia nieorganiczne składniki pokarmowe. Wypytywanie wód głębinowych jest jedną z sił, która przenosi nieorganiczne substancje pokarmowe z powrotem na płytsze wody. W strefie fotycznej fotosynteza przywraca je do łańcucha pokarmowego.

Nie wszystkie pierwiastki i związki chemiczne krążą w takim samym tempie. Jedne krążą szybko, podczas gdy inne mogą być odizolowane albo uwięzione na dnie na długi czas. Cykl biogeochemiczny różnych składników pokarmowych wpływa na właściwości organizmów i ich miejsce życia w morzu.

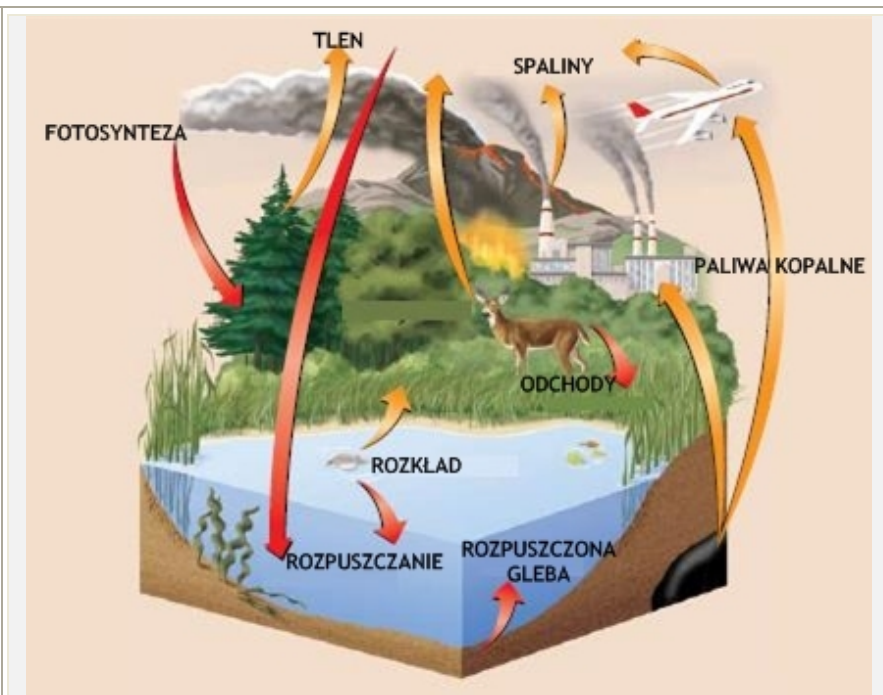
Rozłożenie składników pokarmowych częściowo jest zależne od głębokości: rośliny podejmują je w wodach płytkich, podczas gdy zwierzęta produkują odpady niezależnie od głębokości. Powoduje to mniejszą ilość pierwiastków pokarmowych na powierzchni i większe ich zagęszczenie w wodach głębinowych. Jest to odwrotne do pionowego rozkładu tlenu i odzwierciedla ważny cykl biologiczny: pierwotną produkcję materiału roślinnego, konsumpcję tego materiału przez zwierzęta morskie i w końcu wydalanie odpadów, które uwalniają składniki pokarmowe.

Węgiel

Węgiel jest podstawowym materiałem budowlanym całego życia, dzięki jego niezrównanej zdolności do dostarczania skomplikowanych struktur molekularnych przy formowaniu bardzo różnych związków chemicznych. Ta własność węgla jest tak wyjątkowa i ważna, że wielu biologów sądzi (pomimo fantastyki naukowej), że nie ma innego znanego pierwiastka, na którym mogłoby bazować życie: brak węgla oznacza brak życia. Prawie wszystkie związki organiczne zawierają jeden lub więcej atomów węgla. W środowiskach wodnych węgiel występuje pod wieloma postaciami.

Naturalne źródła mineralne, takie jak węgiel kamienny, przyczyniają się do obecności węgla w oceanach jako rozpuszczające się w wodzie osady. Rozpuszczony węgiel organiczny pochodzi z wydaliny organizmów żywych i z rozkładu szczątków organicznych. Jest on następnie transportowany przez globalne prądy morskie. Większość węgla organicznego, który znajduje się w głębinach morza jest rozkładany przez bakterie na formy nieorganiczne. Tworzy to „biologiczną pompę”, która koncentruje węgiel i inne składniki odżywcze na dużych głębokościach; gra ona główną rolę w globalnym cyklu węglowym. „Pompa” ta przenosi węgiel z atmosfery do głębi morza, gdzie węgiel się koncentruje i pozostaje przez wiele wieków. Naukowcy sądzą, że proces ten w 75 procentach odpowiada za różnicę koncentracji rozpuszczonego nieorganicznego węgla pomiędzy powierzchnią a głębinami.

Związki węgla znajdują się w wodzie i w powietrzu oraz w skałach i minerałach. W powietrzu węgiel jest obecny jako dwutlenek węgla, który jest ubocznym produktem oddychania. Aktywność wulkaniczna i pożary, zwłaszcza pożary lasu, również wprowadzają do atmosfery dwutlenek węgla. Ludzie dodatkowo zwiększają ilość dwutlenku węgla w atmosferze poprzez spalanie paliw kopalnianych. Paliwa kopalniane zawierają dwutlenek węgla, ponieważ absorbują go rośliny i zwierzęta. Kiedy organizm ginie, dwutlenek węgla jest zakopywany wraz z nim i zostaje razem z nim przekształcony w paliwo kopalniane. Spalanie tych paliw uwalnia dwutlenek węgla w atmosferę. Przed rewolucją industrialną koncentracja dwutlenku węgla w powietrzu była oceniana na 280 ppm (cząsteczek na milion - ang. parts per milion). Współcześnie wynosi ona około 365 ppm i gwałtownie rośnie. Dwutlenek węgla jest gazem cieplarnianym i wielu naukowców sądzi, że jest on głównym winowajcą wzrostu temperatur obserwowanych na całym globie, czyli globalnego ocieplenia.

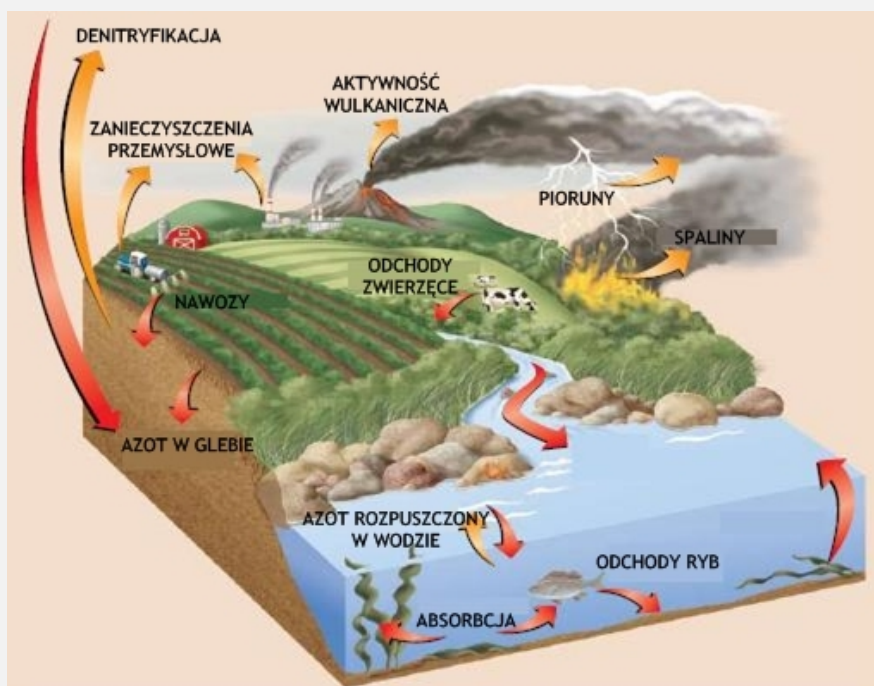


Cykl węglowy. Węgiel jest podstawowym pierwiastkiem życia. Rysunek przedstawia podstawowe kroki w cyklu węglowym. W atmosferze znajduje się 700 miliardów ton dwutlenków węgla, natomiast około jeden bilion ton jest rozpuszczony w oceanach. Transfer węgla pomiędzy biosferą i światem nieożywionym jest nazywany cyklem węglowym.

Dwutlenek węgla musi być zmieniony w inne związki węgla, jeżeli ma być przyswojony przez heterotrofy (organizmy cudzożywne takie jak my, które uzyskują niezbędną dla życia energię chemiczną przez trawienie materii roślinnej i zwierzęcej). W środowiskach lądowych i morskich, rośliny, prokarioty, glony i inne autotrofy (organizmy, które wytwarzają energię chemiczną ze związków nieorganicznych i zewnętrznych źródeł energii) w procesie fotosyntezy przetwarzają za pomocą chlorofilu dwutlenek węgla w węglowodany. Fotosynteza przetwarza za pomocą światła nieorganiczny węgiel z dwutlenku węgla w węglowodany, organiczne związki o wysokiej energii chemicznej. Fotosynteza przywraca biosferze węgiel z dwutlenku węgla, konwertując go w bardziej skomplikowane związki chemiczne. Przez ten

proces energia słoneczna pośrednio lub bezpośrednio zasila prawie całe życie na Ziemi. Życie, jakie znamy, nie istniałoby bez fotosyntezy. Transfer węgla pomiędzy biosferą i światem nieożywionym jest nazywany cyklem węglowym.

Azot



Wiele ważnych procesów podczas cyklu azotowego jest przeprowadzanych przez bakterie, przede wszystkim konwersja atmosferycznego azotu w użyteczną formę (amoniak) i denitryfikacja (powrót azotu to powietrza i wody). Spalanie (paliw kopalnianych i pożary lasu), błyskawice i aktywność wulkaniczna tworzą tlenki azotu i kwas azotowy, które przywracają azot glebie i wodzie. Cykl azotowy ma cztery ważne procesy: 1) Asymilacja: absorpcja i włączenie azotu do systemów żywych, 2) Rozkład: produkcja amoniaku przez bakterie w czasie rozkładu uryny zwierząt, 3) Nityfikacja: produkcja azotanów z amoniaku, 4) Denitryfikacja: Konwersja azotanów w azot gazowy

Kolejnym niezbędnym do życia pierwiastkiem jest azot. Jest on potrzebny w organizmach żywych pod

postaciami związków organicznych, takich jak proteiny, chlorofil i kwas nukleinowy. Azot to około 78 procent powietrza i 48 procent wszystkich gazów rozpuszczonych w wodzie morskiej. Aby organizmy żywe mogły go przyswoić, gazowy azot musi być przekształcony do innej, chemicznie użytecznej postaci. Tylko niektóre rodzaje bakterii azotowych są w stanie przetworzyć azot z powietrza w inne związki chemiczne. Dzieje się to w czasie cyklu azotowego (cyklu nitryfikacyjnego), kiedy gazowy azot jest wiązany w azotan (NO_3^-), azotyn (NO_2^-) i amon (NO_4^+).

Bakterie azotowe pobierają azot i włączają go w swoje systemy jako proteiny. Azot przechodzi do sieci pokarmowej przez odżywianie i powraca przez cykl po śmierci. Związki azotowe rozdzielają się podczas rozkładu, stając się amoniakiem. Rośliny pobierają część amoniaku, a reszta albo rozpuszcza się w wodzie, albo pozostaje w glebie. Mikroorganizmy przetwarzają amoniak w azotany i azotyny (nitryfikacja). Azotany z rozkładających się szczątków mogą albo zostać zakopane w osadzie na dnie oceanu, albo przejść denitryfikację, podczas której azot wraca do toni wodnej jako gaz.

Pewna istotna cecha cyklu azotowego doskonale ilustruje połączenia pomiędzy lądowymi i wodnymi ekosystemami. Chociaż organizmy morskie zależą od biologicznych związków azotowych, biolodzy sądzą, że bardzo niewiele azotu jest wiązane w wodzie. Bakterie azotowe wytwarzają związki chemiczne głównie na lądzie, skąd trafiają one do morza między innymi poprzez sploty powierzchniowe i odchody ptaków.

Tlen

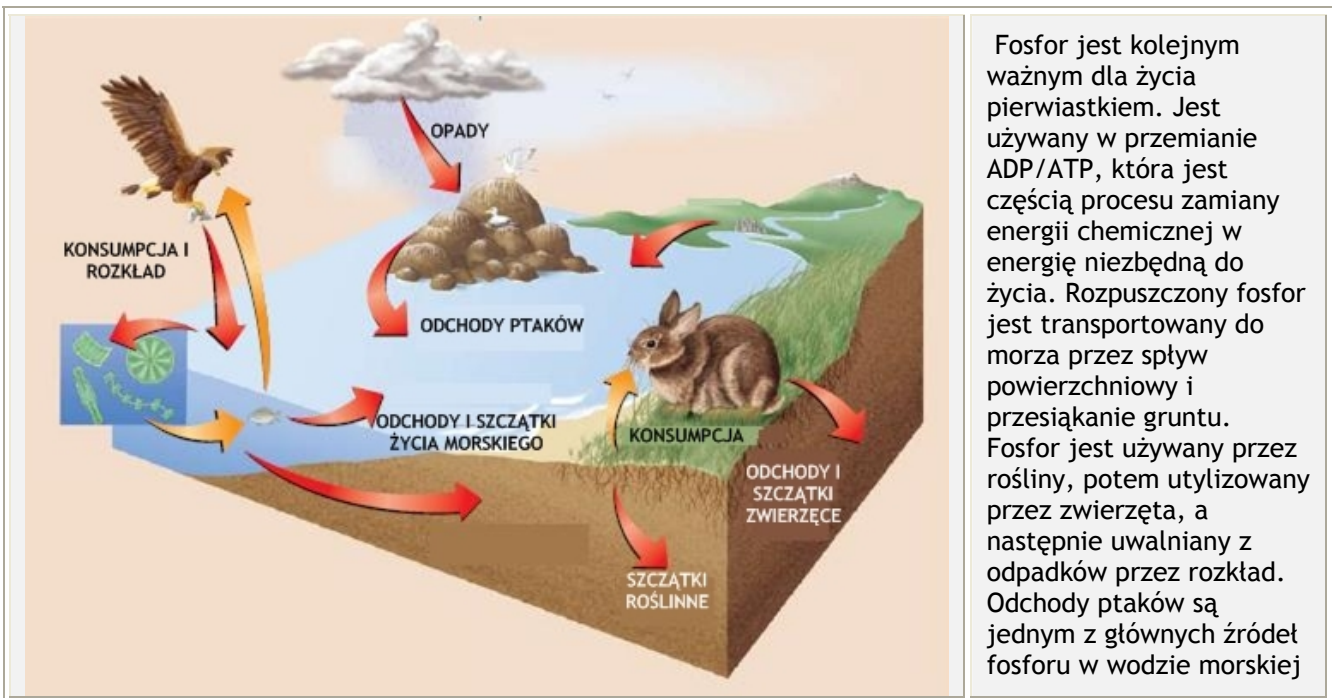
Większość (choć nie wszystkie) organizmów żywych jest zależna od tlenu, wykorzystywanego w oddychaniu, w którym to procesie energia chemiczna zawarta w węglowodanach jest zużywana do podtrzymywania funkcji życiowych. W tym procesie chemicznym wykorzystywany jest fakt, że tlen jest wysoce reaktywnym pierwiastkiem (chętnie łączy się z innymi substancjami). Nawet autotrofy, które wytwarzają tlen podczas fotosyntezy, używają go do oddychania.

Tlen rozpuszcza się w wodzie jako produkt uboczny fotosyntezy morskich autotrofów, albo, w mniejszym stopniu, pochodzący z atmosfery. Wskutek tego powierzchnia światowych oceanów jest bogata w tlen, natomiast głębia jest w niego uboga, co pokazuje kluczową rolę glonów i roślin wyższych w rozkładzie tlenu. Na większych głębokościach brak jest wystarczającej ilości światła dla procesu fotosyntezy, wobec tego jest tam znacznie mniej tlenu, a więc znacznie mniej życia.

Fosfor i krzem

Fosfor jest kolejnym ważnym dla życia pierwiastkiem. Jest używany w przemianie ADP/ATP, która jest częścią procesu zamiany energii chemicznej w energię niezbędną do życia. Fosfor jest także częścią DNA i innych kwasów nukleinowych, czyli molekuł, które przenoszą informację genetyczną od rodziców do potomstwa. Fosfor łączy się z węglanem wapnia tworząc podstawowy budulec kości i zębów.

W środowisku morskim niektóre mikroskopijne organizmy, nazywane okrzemkami i radiolariami, w podobny sposób używają krzemu w swoich muszlach i szkieletach. W tych organizmach krzem występuje pod postacią dwutlenku krzemu, potocznie zwanego krzemionką (ang. Silica). Co więcej, większość piasku jest zbudowana z krzemionki, ponieważ jest ona powszechnym składnikiem skał i minerałów oraz jest trwałym związkiem chemicznym. Fosfor i krzem stosunkowo szybko zmieniają się w fosforan i krzemionkę, pod którymi postaciami mogą być spożytkowane przez bakterie i fitoplankton. Z drugiej strony, jeżeli stały się częścią muszli i szkieletu, cykl ten może być znacznie dłuższy, gdyż toną i stają się częścią osadu na dnie morza. Powrót z osadu do biosfery i ponowne wykorzystanie przez organizmy żywe może zająć długi czas. Jednakże, w czasie kiedy są w osadzie, są kluczowe dla przetrwania organizmów zamieszkujących bentos.



Żelazo i metale śladowe

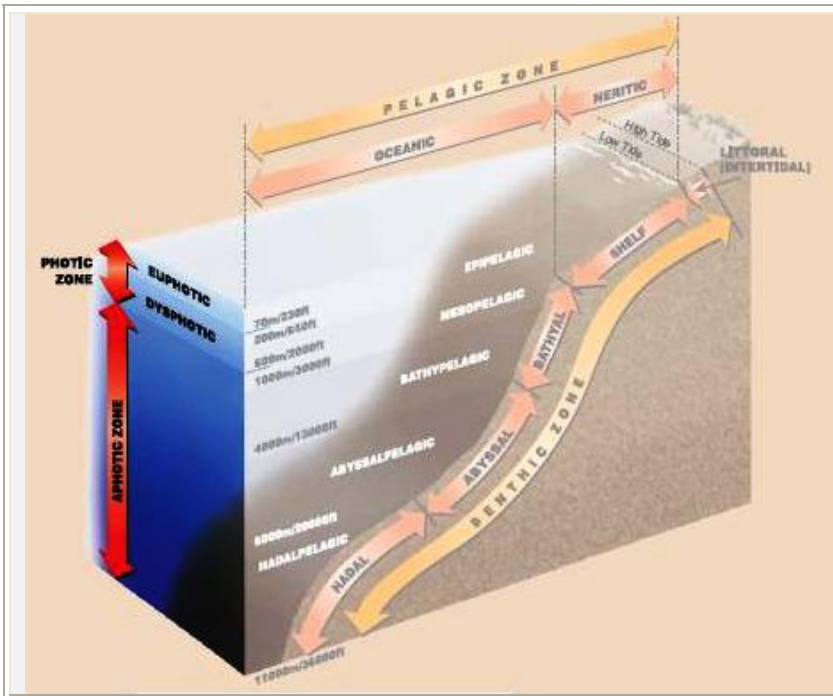
Żelazo, a także inne metale śladowe mieszczą się w definicji mikroelementów. Mikroelementy to składniki pokarmowe niezbędne dla organizmu, ale zużywane w bardzo małych ilościach. Organizmy wykorzystują żelazo do tworzenia wyspecjalizowanych protein, takich jak hemoglobina (więcej o hemoglobinie w rozdziale piątym) i enzymy. Rośliny używają żelaza do produkcji chlorofilu, choć samo żelazo nie jest częścią cząsteczki chlorofilu. Inne śladowe metale, takie jak mangan, miedź i cynk, są wykorzystywane w enzymach.

Żelazo jest bardzo ważne dla życia morskiego, zwłaszcza dla fitoplanktonu, i równocześnie jest jednym z najbardziej rozpowszechnionych pierwiastków na Ziemi. Ponieważ jednak nie rozpuszcza się dobrze w wodzie morskiej, nie jest w niej łatwo dostępne. Mała część, która się rozpuści, łatwo reaguje z innymi cząsteczkami, łączy się z nimi i opada na dno. Naukowcy odkryli, że brak żelaza w niektórych częściach oceanu ogranicza przyrost fitoplanktonu. W teorii, dodanie na szeroką skalę żelaza do wody morskiej mogłoby wyzwolić gwałtowny wzrost fitoplanktonu, który z kolei znacznie zmniejszyłby ilość dwutlenku węgla w atmosferze. To mogłoby pomóc w zmniejszeniu efektu cieplarnianego, najprawdopodobniej będącego skutkiem emisji do atmosfery dwutlenku węgla przy spalaniu paliw kopalnianych.

Jeżeli ten kontrowersyjny plan dojdzie do skutku, to stanie się to prawdopodobnie na południowej półkuli, na której, jak już się tego dowiedzieliśmy, jest mniej lądu niż na północnej. Ląd jest źródłem żelaza w oceanie, więc południowe morza mają mniej żelaza, posiadając mniej lądu, z którego mogłoby ono spływać, albo być nawiane jako pył. Innych składników pokarmowych jest tam wystarczająca ilość, więc często to brak żelaza jest ograniczeniem populacji fitoplanktonu. Można więc oczekiwać, że zwiększenie zawartości żelaza przyniesie proporcjonalny przyrost fitoplanktonu.

Światło

Światło dociera tylko do górnych rejonów większości zbiorników wodnych - do strefy zwanej strefą fotyczną. Do dna światło dociera tylko, gdy woda jest stosunkowo płytka i przejrzysta. W bardzo czystej wodzie światło nie dociera dużo głębiej, niż do około 600 metrów (2000 stóp). Średnio dociera ono do 100 metrów (330 stóp). Tak jak jest opisane w rozdziale czwartym, woda rozprasza i absorbuje światło, więc w znaczącym stopniu dociera ono do nie więcej niż dwóch procent objętości oceanu. Zbiorniki z wodą słodką często mają proporcjonalnie większe strefy fotyczne, głównie dlatego, że są tak płytkie.



Strefy oceanu ze względu na penetrację światła słonecznego. Znacząca penetracja oceanu przez światło słoneczne jest ograniczona do około 200 metrów (650 stóp). Obszar, do którego dociera światło, jest nazywany strefą fotyczną, a z kolei strefa afotyczna znajduje się w kompletnej ciemności. Strefa fotyczna jest podzielona na eufotyczną - wyższą, i na dysfotyczną - niższą. W strefie fotycznej egzystuje olbrzymia większość życia morskiego. Do strefy dysfotycznej światło jeszcze dociera, ale nie w wystarczającej ilości dla obfitego życia fotosyntetycznego

To jak głęboko światło penetruje wodę, zależy od tego, jak jest woda - czysta bądź zmaczona. W strefach przybrzeżnych, z dużą ilością splotów powierzchniowych, zasięg światła może być ograniczony do mniej niż 3 metrów (10 stóp). W najczystszej wodzie spektrofotometr (przyrząd mierzący natężenie światła w różnych zakresach spektrum) może zaobserwować światło nawet na głębokości 590 metrów (1900 stóp). Jednak tak jak już zostało napisane, znacząca ilość światła dochodzi jedynie do około 100 metrów (330 stóp); na głębokości 150 metrów (500 stóp) może jeszcze być na tyle światła, żeby ludzkie oko je zarejestrowało.

Mimo że strefa fotyczna może docierać aż do 200 metrów (650 stóp), najbardziej produktywny biologicznie region mieści się w jej górnej, płytszej części. Ta górna partia strefy fotycznej jest nazywana strefą eufotyczną. Pomimo, że strefa eufotyczna stanowi jedynie około 1 procent oceanów, ze względu na pośrednią lub bezpośrednią potrzebę obecności światła do przeżycia, żyje w niej większość organizmów morskich. W tej strefie organizmy fotosyntetyczne wprowadzają energię słoneczną do cyklu biologicznego. Poniżej leży strefa dysfotyczna, do której dociera światło, jednakże w niewystarczającej ilości dla życia fotosyntetycznego.

Poniżej strefy dysfotycznej leży strefa afotyczna. Do tej strefy światło już nie dociera. Stanowi ona zdecydowaną większość oceanu, ale żyje w niej tylko niewielki ułamek organizmów morskich. Mimo że w środowisku morskim strefa ta leży za głęboko dla nurka rekreacyjnego, możesz dotrzeć do niej w wielu zbiornikach słodkowodnych, które stale mają ograniczoną widoczność, takich, jak sztuczne jeziora i zalane kamieniołomy. W wielu z nich poniżej 18 metrów (60 stóp) jest bardzo mało światła albo nie ma go w ogóle.

Ze wszystkich czynników mętność wody najbardziej wpływa na pionowy rozkład wodnych autotrofów. Maksymalna głębokość, na której mogą przetrwać organizmy fotosyntetyczne (bazując na minimalnej ilości światła potrzebnego do fotosyntezy), wzrasta, kiedy mętność maleje. Autotrofy zazwyczaj nie egzystują w oceanach poniżej 190 metrów (600 stóp), a w większości słodkich wód granica ta leży płycej. Poszczególne organizmy używają różnych części widma światła, zależnie od rodzaju pigmentu używanego do fotosyntezy. Na przykład czerwone glony, wykorzystują zielone i niebieskie barwy, z końca widzialnego spektrum światła, co pozwala im przeżyć na większych głębokościach, niż glonom zielonym i brązowym, które z kolei wykorzystują czerwony koniec widzialnego widma światła. Czerwone glony wydają się czerwone, bo absorbują światło zielone i niebieskie, a odbijają czerwone - kolor, który widzimy.

Rozkład życia oceanicznego zależy w dużej części od potrzeby organizmów fotosyntetyzujących pozostawania w płytkich, oświetlonych światłem słonecznym wodach. Takie rejony zazwyczaj występują wzdłuż wybrzeży, gdzie dno morskie jest płytkie i umożliwia przymocowanie się większych gatunków, takich jak listownice (ang. kelp), a splot powierzchniowy z brzegu dostarcza składników pokarmowych. Ze względu na obfitość światła potrzebnego im do życia, w płytkich wodach występują również koralowce, choć jak zobaczysz później, do życia wymagają wody praktycznie pozbawionej pierwiastków pokarmowych.

Ubarwienie ochronne

Zarówno w systemach lądowych jak i w morskich, niektóre zwierzęta zwiększają swoje szanse przetrwania przez bycie mniej widocznymi dla drapieżników lub też dla ofiary. Ich naturalny kamuflaż wykorzystuje kolor, a często także kształt, do wtopienia się w tło. W środowisku morskim można znaleźć wiele typów kamuflażu.

Najbardziej powszechnym kamuflażem jest ubarwienie i wzory na zwierzęciu, odpowiadające jego środowisku. Jeżeli zwierzę pozostaje w bezruchu, drapieżnikowi jest bardzo ciężko je zauważyć. Tak samo, ofiara może błąkać się w polu rażenia ukrytego drapieżnika i nawet nie wiedzieć co ją zaatakowało.

Ryby, które żyją w otwartej toni, zazwyczaj są ciemniejsze od góry, co czyni je niewidoczne z góry na tle dna, oraz srebrne od dołu, co z kolei czyni je niewidocznymi na tle powierzchni, patrząc od dołu (ang. countershading).

Inne organizmy łączą kolor i kształt. Na przykład, rurecznicowate (ang. Trumpetfish) mają długi i smukły kształt oraz kolor, które czynią je podobnymi miękkiemu koralowcom. Ryby te ustawiają się pionowo wśród koralowców, udając gałąź, czyhając na nieświadomą ofiarę.

Niektóre organizmy mają bardzo żywe kolory, które dla oka ludzkiego wydają się bardzo zwracającymi uwagę. Natura jednakże jest mądrzejsza. Wiele gatunków nocnych ryb (aktywnych w nocy) posiada czerwone bądź pomarańczowe ubarwienie. Woda absorbuje te kolory bardzo szybko, więc organizmy te w nocy lub w ciemnych szczelinach, gdzie zazwyczaj ukrywają się w dzień, zlewają się z ciemnym tłem. Jedne z najbardziej złożonych ubarwień ochronnych występuje u zwierząt, które mogą zmienić ich kolor i wzór, dostosowując je do dna morskiego. Umiejętność tę posiadają niektóre gatunki fląder, a także wiele mięczaków, takich jak ośmiornica i małża. Głównymi z tą zdolnością dysponują chromatoforami w swojej skórze. Każdy chromatofor zawiera kolorowy pigment, który może być przez zwierzę uwolniony za pomocą skurczu mięśni znajdujących się dookoła. Różne chromatofory mają różne kolory. Uwalniając kolor tylko z odpowiednich chromatoforów, zwierzę może zmienić zarówno kolor skóry, jak i jej wzór. Jeszcze inną strategią ubarwienia ochronnego jest nieposiadanie koloru w ogóle, jak meduzy i żebropławy. Organizmy te posiadają przezroczyste tkanki, pozwalając światłu i kolorom przechodzić przez siebie. Czyni je to trudniejszym do zauważenia, bo niezależnie od kąta patrzenia na nie zlewają się z tym, co jest za nimi



Kur diabeł (ang. *Sculpin*, z rodzaju *Scorpanea*) z zachodniego wybrzeża Ameryki Północnej ukrywa się przed drapieżnikami, wykorzystując swój czerwony i brązowy kolor, a także wzór na skórze, kształt i wyrostki



Szkaradnica (ang. *Stone fish*, z rodzaju *Synanceja*) z Wielkiej Rify Koralowej w Australii jest mistrzem kamuflażu. Mieszkanka bentosu, siedzi cicho czekając na następnego posiłkę przepływający w pobliżu jej wielkiej paszczy



Hajdukowate (ang. *Squirrel fish*, z rodzaju *Holocentrinae*) są nocnymi łowcami. Ich czerwony kolor pozwala im wtopić się w ciemne tło



Ośmiornica, mistrzyni szybkiej zmiany koloru, jest zdolna do imitacji praktycznie każdego wzoru i koloru. Niektóre gatunki zmieniają kolor nie tylko, aby się ukryć, ale także jako część godów, aby udać groźne albo kiedy są przestraszone



Żebroplawy mają przezroczyste ciała, które pomagają im ukryć się, gdy unoszą się w toni ich wodnego siedliska

Cechy wybrzeża

Przenieśmy teraz naszą uwagę od fizycznych właściwości wody do fizycznych właściwości linii brzegowej i wybrzeża. Mimo że myślimy o oceanie jako wielkim wodnym obszarze, wiele jego procesów dzieje się na krawędziach - to jest na wybrzeżu. Na pierwszy rzut oka może wydawać się, że wybrzeża są delikatne, jednak dalekie są od delikatności jeżeli chodzi o wpływ przyrody na nie. Wybrzeża stawiają czoło falom i prądom oceanu. Obszary te istnieją w stanie ciągłej zmiany, mimo to organizmy żyją tam w jednym z najbardziej wydajnych i wymagających środowisk na Ziemi.

Z drugiej strony, jeżeli chodzi o wpływ człowieka, to wybrzeża są delikatne. Wiele z najbardziej ekologicznie istotnych środowisk znika albo umiera przez zanieczyszczenia i rozwój przemysłowy. Jakkolwiek wybrzeża wytrzymują przerażające bombardowanie przez naturalne procesy, pozornie błahe procesy człowieka często powodują bardzo szkodliwe skutki.



Fiord Tracy Arm z dwoma lodowcami, znajdujący się koło Juneau na Alasce w USA

Klasyfikacja wybrzeża

Naukowcy, tak jak dzielą morza na regiony ze względu na fizyczne właściwości, klasyfikują także w różny sposób wybrzeża. Podobnie do systemów używanych do klasyfikacji stref oceanu i stylów życia, systemy klasyfikowania wybrzeża zależą od tego, co badasz. Naukowcy klasyfikują wybrzeża na różne sposoby. My opiszemy jeden, najbardziej związany z nurkowaniem, który używa krótko- i długoterminowej dynamiki pomyślanej jako powód kształtowania się wybrzeża.

Według tego systemu naukowcy dzielą wybrzeża na pierwotne (ang. primary) i wtórne (ang. secondary). Wybrzeża pierwotne zostały uformowane przez procesy geologiczne nie związane bezpośrednio z oceanem. Wybrzeża wtórne natomiast powstały przez działanie morza. Wybrzeże może więc być równocześnie pierwotne i wtórne. Taki rodzaj nazywany jest czasem wybrzeżem kombinacyjnym (ang. combination coast).

Wybrzeża pierwotne

Naukowcy przypisują powstawanie pierwotnych wybrzeży siłom nie związanym z morzem. Należą do nich

erozja lądowa (od płynącej wody, wiatru albo lodowców), osadzanie, aktywność wulkaniczna i ruch płyt tektonicznych (wielkich płyt, z których zbudowana jest powierzchnia Ziemi, pływających po jej roztopionym wnętrzu). Sądzi się, że wybrzeża pierwotne pozostały stosunkowo niezmienione od wzrostu poziomu morza po ostatniej erze lodowcowej.

Wybrzeża erozyjne

Wybrzeża uformowane przez erozję lądową są jednymi z najbardziej dramatycznych. W skład nich wchodzi wybrzeże fiordowe i wybrzeże estuariowe (ang. drowned river valleys). Naukowcy sądzą, że kiedy poziom morza był niski, erozja ukształtowała ląd, a następnie poziom morza się podniósł, zalewając zerodowany obszar.

Według naukowców, wybrzeże fiordowe ukształtowało się, gdy lodowce przesuwały się w stronę linii brzegowej podczas ostatniej ery lodowcowej. Lodowce wycięły wielkie, głębokie rowy w lądzie, które następnie zostały zalane, gdy podniósł się poziom morza. Norwegia i Alaska (USA) znane są z posiadania wielu wybrzeży fiordowych.

Wybrzeża estuariowe

powstały w podobny sposób, ale źródłem erozji były rzeki. Rzeki uformowały doliny, które zostały zalane, gdy podniósł się poziom morza. Zatoka Chesapeake w USA jest przykładem wybrzeża estuariowego. Zarówno wybrzeża fiordowe, jak i estuariowe mogą formować estuaria.

Estuaria to częściowo zamknięte obszary wodne, gdzie miesza się słodka i słona woda. Są to ważne ekosystemy z ciągłym przepływaniem i wymianą składników pokarmowych zanoszonych do estuariów przez rzekę lub rzeki. Słona woda wpływa i odpływa z estuariów za sprawą dziennych przyptyków i odpływów. Pozwala to na stały przepływ pierwiastków pokarmowych do okolicznych środowisk morskich. Estuaria są klasyfikowane przez naukowców na podstawie przepływu i wzorów obiegu wody.

Sedimentation coasts



Sedimentation coasts formują się, gdy materiał niesiony przez rzekę do oceanu osiada i gromadzi się przy ujściu. Zdarza się to najczęściej tam, gdzie istnieje szeroki szelf kontynentalny, na którym osad może się gromadzić, oraz brak jest rzek o dużych wahaniami poziomu wody, które mogłyby uformować estuaria. Dwa sławne wybrzeża tego typu to delta Nilu w Egipcie i pokazana tutaj delta Missisipi w Stanach Zjednoczonych

Wybrzeża takie formowane są, gdy materiał niesiony przez rzekę do oceanu osiada i gromadzi się przy ujściu. Zdarza się to często tam, gdzie jest szeroki szelf kontynentalny, na którym osad może się gromadzić oraz brak jest rzek o dużych wahaniami poziomu wody, które mogłyby uformować estuaria. Obszar zgromadzonych osadów często przybiera postać trójkąta - ten typ wybrzeża zwany jest deltowym. Nazwa ta pochodzi od trójkątnej greckiej litery delta (Δ).

Delty tworzą płaskie obszary z bardzo żyzną glebą. Dwa sławne wybrzeża tego typu to delta Nilu w Egipcie i delta Missisipi w Stanach Zjednoczonych.

Wybrzeża wulkaniczne

Najbardziej rozpoznawalne wybrzeża uformowane przez działalność wulkaniczną występują na Hawajach (US). Wybrzeże wulkaniczne powstaje, gdy wulkany wyrosłe na dnie morza przebijają jego powierzchnię. Ciągły wyptyw lawy powiększa brzeg wyspy. Proces ten wciąż trwa na Hawajach.



Wybrzeże wulkaniczne. Wyspy wulkaniczne posiadają jeden z najbardziej rozpoznawalnych typów wybrzeży, uformowanych przez aktywność wulkaniczną



Wybrzeża uskokowe. Naukowcy przypisują powstanie wybrzeży uskokowych ruchom płyt tektonicznych

Wybrzeża uskokowe

Wybrzeża uformowane przez działalność tektoniczną to przede wszystkim *wybrzeża uskokowe*. Wybrzeża te powstają, gdy płyty tektoniczne zderzają się i pod wpływem kolizji przemieszczają się w górę lub w dół, oddzielnie lub wspólnie. Wybrzeże uskokowe tworzy się, gdy zderzenie podnosi część dna morskiego ponad powierzchnię wody albo gdy uskok otwiera się, rozprzestrzenia i pozwala morzu zalać nowy obszar. Dobrym tego przykładem jest Zatoka Tomales w Kalifornii, USA.

Wybrzeża wtórne

Wybrzeża wtórne są skutkiem działalności morza, takimi jak erozja przez fale, osadzanie materiału przez ruchy morskie i życie morskie. Dynamika wybrzeża, która zmienia linię brzegową w stosunkowo krótkiej skali czasowej, jest związana głównie z tymi procesami. Jednak niektóre procesy przy tworzeniu się wybrzeża wtórnego, takie jak budowanie rafy koralowej, trwają całkiem długo.



Wybrzeża estuariowe powstały w wyniku formowania dolin przez starożytne rzeki, które następnie wylały, gdy podniósł się poziom morza. Zatoka Chesapeake w USA jest przykładem wybrzeża estuariowego

Wybrzeża ukształtowane przez erozję fal

Stałe uderzanie przez fale nieustannie eroduje i zmienia linię brzegową. Procesy geologiczne nadają linii brzegowej nieregularny kształt, a działanie fal ciągle ją wygładza. W ogólności, dzieje się tak, gdy energia fal skupia się na wystających obszarach wybrzeża. Ścierają się one na linii brzegowej i mogą spowodować spektakularne formacje tam, gdzie wybrzeże wznosi się wysoko ponad morzem. Dobrym tego przykładem są grotty, łuki i filary skalne, powszechne na wielu wybrzeżach całego świata.

Deposition coasts

Deposition coasts tworzą się, gdy działanie morza doprowadza do zebrania się osadów w jednym miejscu.

Rodzajami deposition coasts są mierzeje, plaże, solniska i równiny błotne. Zauważ, że choć zarówno pierwotne sedimentation coasts, jak i wtórne deposition coasts powstają przez akumulację osadu, w istocie różnią się od siebie. Wtórne deposition coasts pochodzi od osadów oceanicznych przyniesionych przez ruchy wody morskie, natomiast pierwotne sedimentation coasts są zbudowane z osadów przyniesionych do morza przez rzekę.



Grotty morskie są przykładem wybrzeża powstałego pod wpływem erozji przez fale

Mierzeje (wyspy barierowe, ang. barrier islands, barrier spits) to typ wybrzeża (wybrzeże mierzejowo-zalewowe), który uformował się, gdy materiał gromadził się równoległe do brzegu, tworząc barierę pomiędzy morzem a istniejącym brzegiem. Mierzeje są ważne, bo chronią główne wybrzeże przed energią fal sztormowych. Mierzeje przesuwiają się z biegiem czasu, ale ich migracja jest bardzo wolna z ludzkiego punktu widzenia. Wiele z nich jest zamieszkałych i dobrze zagospodarowanych.

„Typowa” mierzeja ma pięć cech: plażę oceaniczną, wydmy oceaniczne, barrier flat, solnisko i lagunę (zalew). Plaża oceaniczna niewiele różni się od innych plaż. W tyle za plażą, wiatr nawiewa piasek w głąb i tworzy wydmy oceaniczne. Stabilizują je trawa i inna rosnąca na nich roślinność. Wydmy chronią mierzeję przed sztormami i pływami, rozpraszając ich energię. Chociaż większe sztormy przedostają się przez wydmy, pomagają w konserwacji mierzei i zmniejszają swoją energię, zanim dotrą do głównego wybrzeża za mierzeją.

Za wydmami znajduje się barrier flat, szeroki, stosunkowo płaski obszar, z roślinnością obejmującą zarówno trawy, jak i lasy. Kształtują go wiatry, które zmiatają wydmy. Poza barrier flat znajduje się solnisko, które jest łąką w paśmie pływów, zazwyczaj biologicznie różnorodną i wydajną. Solnisko przechodzi w lagunę (zalew), czyli stosunkowo płytką wodę otoczoną mierzeją i głównym lądem.

Globalnie, mierzeje tworzą się w stosunkowo niewielu miejscach, natomiast powszechnie można znaleźć typową *plażę piaskową*. Jest ona także typem deposition coasts. Istnieje wiele typów plaż, ale ogólnie rzecz biorąc, plaża jest zdefiniowana jako nagromadzenie luźnego osadu przy brzegu dużego zbiornika wodnego.

Solniska i równiny błotne występują wzdłuż linii brzegowej tam, gdzie topografia dna uniemożliwia rozbijanie się dużych fal. Pozwala to na gromadzenie się osadów morskich na brzegu. Solniska i równiny błotne są zalewane przez pływy i zazwyczaj są bogatym środowiskiem, pełnym życia.

Wybrzeże zbudowane przez organizmy morskie

Wiele brzegów pojawia się z powodu aktywności biologicznej. Według naukowców, organizmy morskie budują wybrzeża, dostarczając struktur osłabiających działanie fal i prądów. Prawdopodobnie najbardziej znanymi są rafy koralowe tworzone przez koralowce. Kolejne pokolenia kolonii koralowców wzrastają i nadbudowują się na wapiennych szkieletach poprzednich generacji. Po długim czasie, mogą stworzyć masywne rafy, takie jak największa rafa barierowa świata, Wielka Rafa Koralowa w Australii.

Również inne organizmy budują wybrzeża. Ostrygi pozostawiają muszle, które gromadzą się na brzegu. Rośliny morskie pomagają utrzymywać osady oraz formują wybrzeże, tłumiąc fale i prądy. Roślinami takimi są np. trawa morska i trawa marszowa. Mangrowce tworzą lasy mangrowe. Są to ważne wybrzeża dla środowiska, o których przeczytasz więcej w dalszej części. Natomiast teraz przyglądnijmy się dynamice, która buduje i zmienia wtórne wybrzeża.



Mierzeje to typ wybrzeża akumulacyjnego, który uformował się, gdy materiał gromadził się równoległe do brzegu, tworząc barierę pomiędzy morzem a istniejącym brzegiem. Mierzeje są ważne, bo chronią główne wybrzeże przed energią fal sztormowych

Siły kształtujące wybrzeża

Wiele sił fizycznych i biologicznych współpracuje, aby stworzyć wybrzeże wtórne. Wszystkie mają na ciebie, jako nurka wpływ, gdyż tworzą wiele ze środowisk, w których nurkujesz. Ich efekty są wyraźne, a ich wciąż toczące się działanie zauważysz w czasie nurkowania.

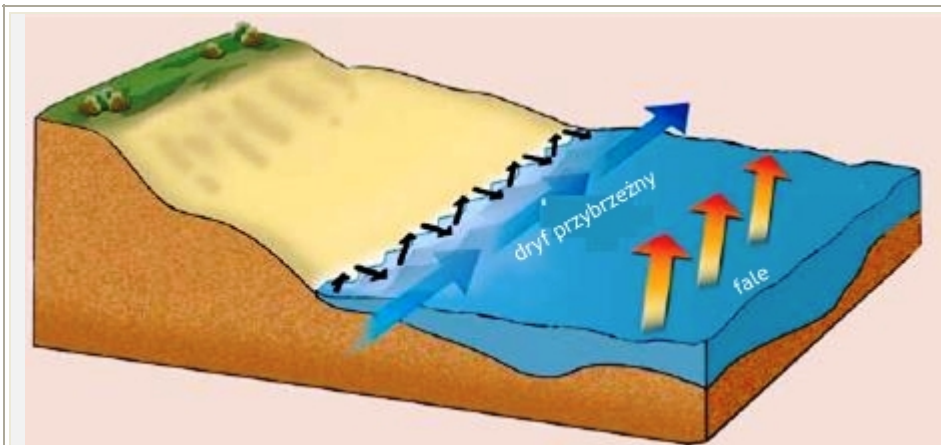
Dryf przybrzeżny

Jedną z najbardziej znaczących sił kształtujących wybrzeże jest dryf przybrzeżny, czyli przenoszenie materiału wzdłuż linii brzegowej przez prąd przybrzeżny. Może pamiętasz jeszcze z twojego szkolenia nurkowego, że prąd przybrzeżny jest wynikiem fal dochodzący do plaży pod pewnym kątem, co generuje prąd poruszający się równoległe do wybrzeża.

Ponieważ fale dochodzą do brzegu pod kątem, piasek i osady przenoszone są w stronę brzegu pod tym samym kątem. Kiedy fala dochodzi do płytkiej wody, płytsza część fali, bliższa brzegowi, wlece się po dnie bardziej, niż dalsza od brzegu, głębsza część. Spowalnia to część fali bliższą brzegowi, powodując, że fala zakręca i jest prawie równoległa z linią brzegową.

Dzięki opisanemu procesowi zwalniania i zaginania fali, kiedy woda z każdej fali cofa się, robi to pod kątem niemalże prostym do brzegu. Piasek i osady płyną z powrotem pod tym samym kątem co woda. Sumaryczny ruch fal powrotnych złączony z sumarycznym ruchem fal płynących do brzegu powoduje prąd przybrzeżny. Kiedy nurek pływa z fajką albo nurkuje, prąd przybrzeżny unosi go wzdłuż plaży, z dala od zaplanowanego miejsca wyjścia z wody, o ile oczywiście nurek nie uwzględnił go w swoich planach. W czasie nurkowania w prądzie przybrzeżnym powinieneś albo zacząć nurkowanie powyżej miejsca wyjścia z wody, albo nurkować pod prąd, tak aby później móc zdryfować z powrotem.

Dryf przybrzeżny to ruch piasku i osadów, gdy prąd przenosi materiał wzdłuż wybrzeża. Ponieważ prąd przybrzeżny występuje, gdy do brzegu dochodzą fale, dryf przybrzeżny przenosi piasek i osady przede wszystkim, gdy powszechnie występują wiatry.



Prąd przybrzeżny i dryf przybrzeżny powstają, gdy fale docierają do brzegu pod pewnym kątem, a powracają pod kątem niemalże prostym. Piasek i osady unoszone są pod tymi samymi kątami, co fale. Sumaryczny ruch fal powrotnych złączony z sumarycznym ruchem fal płynących do brzegu przenosi piasek i osady wzdłuż linii brzegowej

Działalność piasku

Większość piasku pochodzi z erozji. Erozja może być wynikiem fal uderzających w brzeg albo może występować na lądzie. W drugim przypadku, piasek jest unoszony do oceanu przez rzeki i strumienie. Piasek może zbierać się na plaży niezmiernie daleko od miejsca jego pochodzenia. Na przykład, podstawowym źródłem piasku dla wschodniego wybrzeża Stanów Zjednoczonych i dla Zatoki Meksykańskiej jest erozja w Appalachach. Oczywiście niecały piasek pochodzi z daleka. Dla niektórych wysp jedynym źródłem piasku jest erozja lokalnych skał. Na przykład, wyróżniający się czarny piasek na wyspach wulkanicznych pochodzi z zerodowanych skał wulkanicznych.

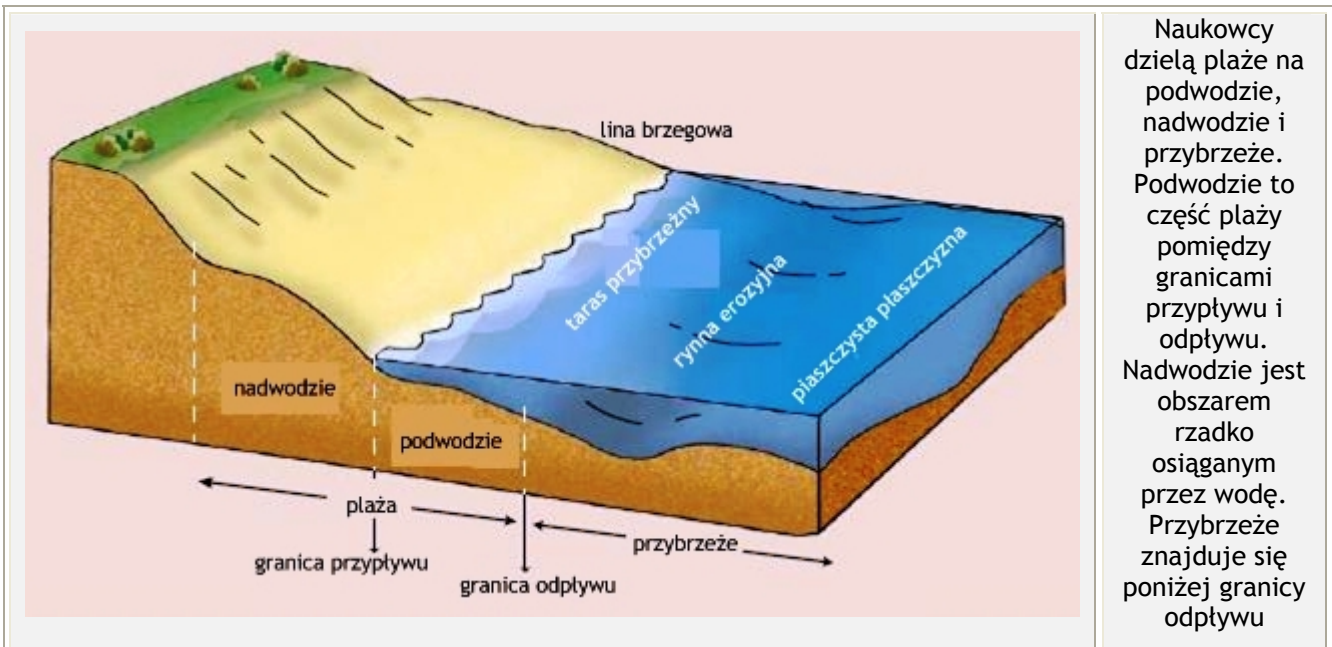
W rejonach tropikalnych duża ilość piasku ma początek w źródłach biologicznych, takich jak koralowce. Erozja wyciera martwe części rafy, tworząc piasek koralowy. Kilka gatunków, takich jak papugoryby, żywi się koralowcami i ich wapiennymi szkieletami, wydala piasek jako odchody. Proces ten nazwany jest *bioerozją*. Istnieje wiele bioerodujących bezkręgowców, m. in. jeżowce.

Dynamika plaży

Plaże są bardzo zmienne, gdyż ruch wody ciągle je kształtuje i zmienia. Jeżeli regularnie nurkujesz z

brzegu, po jakimś czasie z dużym prawdopodobieństwem zauważysz znaczące zmiany tej samej plaży.

Naukownicy dzielą plażę na trzy podstawowe części, każdą z różnymi właściwościami związanymi ze zmianami plaży. *Podwodzie* (ang. *foreshore*), zwane też plażą zewnętrzną, bądź dolną i *nadwodzie* (ang. *backshore*) zwane też plażą wewnętrzną, bądź górną, to dwie sekcje, o których myślimy, gdy potocznie mówimy o „plaży”. Podwodzie to część plaży, która bywa zalewana wodą. Jest to rejon pomiędzy granicami przyptywu a odpływu. Taras przybrzeżny to płaska część podwodzia, gdzie rozbijają się fale. Nadwodzie jest obszarem rzadko osiąganym przez wodę. Znajdują się tam wydmy i trawy, które pomagają w stabilizacji nadwodzia. Rozciąga się ono w głąb lądu, aż do końca plaży.



Naukownicy dzielą plażę na podwodzie, nadwodzie i przybrzeże. Podwodzie to część plaży pomiędzy granicami przyptywu i odpływu. Nadwodzie jest obszarem rzadko osiąganym przez wodę. Przybrzeże znajduje się poniżej granicy odpływu

Przybrzeże to obszar poza tarasem przybrzeżnym. Zawiera zazwyczaj głębszą przybrzeżną rynnę erozyjną (inaczej *obniżenie międzyrewow*), a dalej płytką płaszczystą piaskową. Obie formy są równoległe do brzegu. To co znajduje się poza tym obszarem, nie jest już traktowane jako plaża, bo ustaje tam ruch osadów, przynajmniej, jeżeli chodzi o dynamikę plaży.

Kształt i wygląd plaży zależy od wielu oddziałujących na siebie czynników. Takimi czynnikami są rozmiar ziarna osadu na plaży, energia fal i kąt nachylenia zbocza plaży. Rozmiary ziaren wahają się od bardzo małych (głina i muł), aż do dużych otoczków. Wraz ze wzrostem ziarna, wzrasta nachylenie plaży i energia fal. Dzieje się tak dlatego, że potrzeba większej energii, żeby fala przeniosła duże ziarno na plażę. Tak samo potrzeba większej energii, żeby przenieść to ziarno na strome wybrzeże. Wysoko energetyczne fale sortują ziarna przez to, że przenoszą duże osady wysoko na plażę. Fala powrotna ma mniejszą energię, więc porywa z powrotem do morza lżejsze ziarna, pozostawiając na plaży cięższe. W bardzo wzburzonym morzu, lżejsze ziarenka mogą w ogóle nie opaść, będąc wciąż w ruchu na plażę i z powrotem.

Na płaskiej, nisko energetycznej plaży dzieje się odwrotnie. Ten typ plaży ma szeroki obszar, na którym rozprasza się energia fal. Pozwala to osiąść małym ziarenkom, tworząc typową piaszczystą plażę.

Ponieważ w wielu regionach energia fal zmienia się sezonowo, plaże mogą się zmieniać w ciągu roku. Zimowe sztormy i ich potężne fale wypłukują z plaży piasek. W lecie przeważają łagodniejsze fale niosące piasek z powrotem.

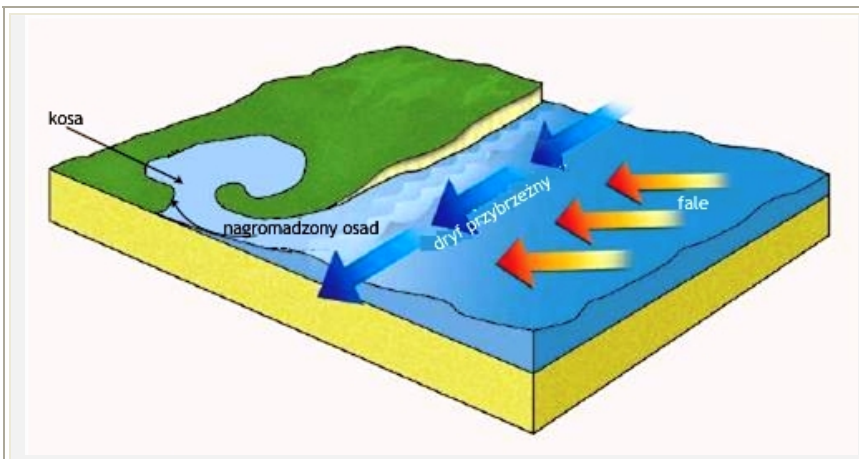
Ostatecznie, dynamika przenoszenia piasku z i na plażę musi być w równowadze. Gdyby było inaczej, plaże albo zniknęłyby, albo rozrosłyby się ponad miarę. Gromadzenie się i rozpraszanie piasku jest w ogólności kontrolowane poprzez *komórkę brzegową* (ang. *coastal cell*). Komórka brzegowa jest lokalnym obszarem, w którym połączone mechanizmy transportu materiału sumarycznie nie prowadzą ani do straty, ani do zysku piasku. Przykładowo, piasek może stale wchodzić do komórki brzegowej przez sptyw z rzeką i erozję fal. Piasek zbiera się w przybrzeżu, przesuwając się wzdłuż wybrzeża z dryfem przybrzeżnym. W końcu napotyka podwodny kanion, albo brzeg szelfu kontynentalnego, gdzie spada w głęboką wodę, opuszczając system.

Wielkoskalowe piaszczyste rzeźby terenu

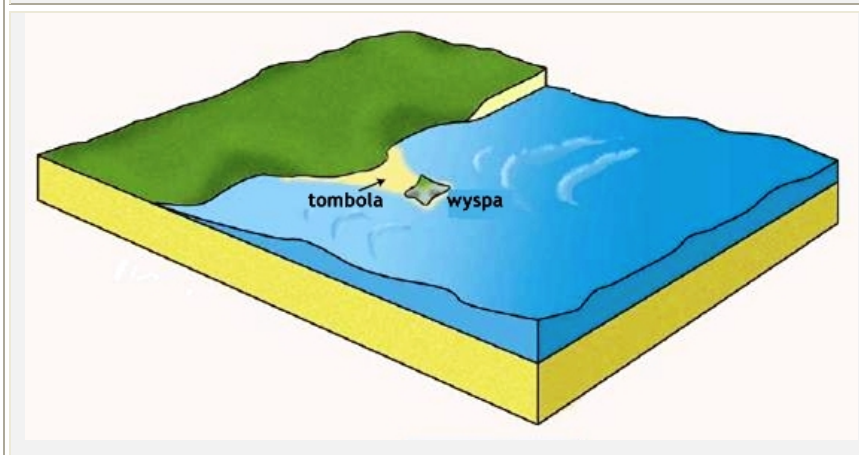
Ruch piasku i jego gromadzenie tworzą znaczące rzeźby wybrzeża. Twory te wpływają na przepływ wody i kształtują środowisko.

Kosa (ang. *spit*) to podłużne nagromadzenie piasku, przyłączone z jednej strony do lądu, rozciągające się w kierunku dryfu przybrzeżnego. Tworzy się, gdy prąd przybrzeżny zakręca przy zatamaniu plaży i wpływa na stosunkowo spokojne wody zatoki. Prąd zwalnia i nie może już przenosić większej masy osadów. Piasek opada z wody, osadza się i formuje kosę. Kosa często ma kształt haka zagiętego w głąb zatoki przez falowanie refrakcyjne, gdy fale uginają się wokół niego. Kiedy kosa wystarczająco urośnie, może utworzyć mierzęję przy ujściu zatoki (ang. *bay mouth barrier*). Mierzęję często przecinają naturalne i utworzone przez ludzi kanały, umożliwiając łodziom dostęp do zatoki.

Tombole to kosa, które wyrosły pomiędzy dwoma wyspami, albo pomiędzy wyspą a lądem. Tak jak kosa, tombolo tworzy się, gdy prąd przybrzeżny zwalnia. W tym przypadku prąd zwalnia dookoła dwóch stron lądu, gromadząc piasek po obu stronach, co w końcu prowadzi do połączenia dwóch kos.



Kosa to podłużne nagromadzenie piasku, przyłączone z jednej strony do lądu, rozciągające się w kierunku dryfu przybrzeżnego



Tombole to kosa, które wyrosły pomiędzy dwoma wyspami, albo pomiędzy wyspą a lądem. Powstają, gdy prąd przybrzeżny zwalnia dookoła dwóch stron lądu, gromadząc piasek po obu stronach, co w końcu prowadzi do połączenia się dwóch kos

Rafy koralowe

Wzrost raf koralowych jest prawdopodobnie najbardziej znaczącym biologicznym procesem, który wpływa na wybrzeże. Rafa koralowa może być masywna, ale tylko jej zewnętrzna warstwa, polipy koralowców, jest żywa. Poszczególne polipy wraz ze wzrostem tworzą zewnętrzny szkielet z węgla wapnia. Ta właśnie część koralowców tworzy rafy koralowe. Kolejne pokolenia koralowców żyją i umierają, każde pokolenie rośnie na szkieletach poprzednich. Pomimo że każde pokolenie dodaje jedynie ułamek rafy, po odpowiednio długim czasie (setkach lat), wyrastają olbrzymie rafy.

Podobnie jak inne formy wybrzeża, rafy koralowe są podzielone przez naukowców na różne typy zależnie od tego, jak wpływają na linię brzegową. Jeden z pierwszych systemów klasyfikacji raf koralowych został stworzony przez Karola Darwina. Podzielił on rafy na przybrzeżne, barierowe i atole.

Rafy przybrzeżne (ang. *fringing reefs*) leżą wzdłuż wysp lub brzoza stałego lądu. Tworzą obrzeżenie wybrzeża, stąd ich angielska nazwa (ang. *fringe*). Rafy przybrzeżne mają stok rafy, który jest jej zewnętrzną oceaniczną częścią, gdzie dzieje się większość aktywności biologicznej. Platforma rafy, jej

górną część, przejmując większą część energii fal. Strefa przybrzeżna rafy ma mniejszą aktywność biologiczną.

Rafa barierowa (ang. *barrier reef*) ma podobną strukturę do rafy przybrzeżnej, ale znajduje się dalej od brzegu. Podczas gdy rafy przybrzeżne są częścią głównego wybrzeża, tak jak przeczytałeś wcześniej, pomiędzy rafą barierową a wybrzeżem jest laguna. Rafy barierowe zazwyczaj są dużo większe. Powstają, gdy istnieją skały albo inne duże podłoże, na którym może zacząć rosnąć rafa. Nazywana jest barierową, bo tworzy barierę pomiędzy głównym wybrzeżem a otwartym oceanem.

Atol to rafa koralowa w kształcie pierścienia otaczająca płytką lagunę. Darwin był jednym z pierwszych naukowców, którzy rozważali, jak mogły powstać atole. Stoją one w głębokiej wodzie, daleko od jakiegokolwiek lądu. Przy głębi zbyt dużej do wzrostu koralowców, atole po prostu nie mogły urosnąć z dna. Darwin sądził, że atole powstają na resztkach wysp wulkanicznych. Wyspa wulkaniczna w wodach tropikalnych w naturalny sposób obrasta rafą przybrzeżną. Gdy wulkan wygasa, wyspa zatapia się na przestrzeni setek tysięcy lat. Rafa natomiast wciąż wzrasta, nawet gdy ląd w końcu opadnie pod powierzchnię morza. Koralowce wciąż budują rafę, gdy ląd tonie, zostawiając ostatecznie tylko pierścien rafy w pobliżu powierzchni.

Środowiska roślinne

Rafy koralowe wznoszą się w rejonach o stosunkowo wysokiej energii fal, natomiast tam, gdzie energia fal jest niższa, wybrzeże może być zdominowane przez środowiska roślinne. Trawa morska może żyć całkowicie pod powierzchnią oceanu, ale większość roślin morskich żyje częściowo ponad wodą. W obu przypadkach rośliny dostarczają strukturę, która pomaga utrzymać osady w jednym miejscu i absorbuje energię.

Jednymi z najważniejszych typów zdominowanych przez rośliny linii brzegowych są lasy mangrowe. Dostarczają one ważnego biologicznie środowiska. Mangrowce tworzą siedlisko dla wielu młodocianych organizmów do przeżycia w nim, aż będą na tyle duże, żeby współzawodniczyć na przyległych rafach koralowych.

Mangrowce bezpośrednio wpływają na wybrzeże przez utrzymywanie w jednym miejscu osadów i przez absorbowanie energii fal. Najczęściej mangrowce i rafy koralowe koegzystują. Rafa koralowa absorbuje dużą część energii fal. Dzięki temu woda uspokaja się na tyle, żeby mogły rosnąć mangrowce. Mangrowce swoimi korzeniami jeszcze bardziej absorbują energię fal i utrzymują osady. To spowalnia erozję. Przez utrzymywanie osadów mangrowce ograniczają ilość składników pokarmowych, która przepływa do okolicznych raf, co jest kluczowe, bo koralowce mogą przetrwać tylko w wodzie o niskiej zawartości pierwiastków pokarmowych. Składniki pokarmowe zabijają koral, bo pozwalają na wzrost glonów, co z kolei zmniejsza ilość światła docierającego do koralu oraz współzawodniczą z koralami w dostępie do zasobów i miejsca w środowisku.

Wiele tropikalnych wysp nie istniałoby, gdyby nie kombinacja raf koralowych i mangrowców, chroniących je przed erozją przez fale i prądy. Podobnie, wiele raf koralowych nie przetrwałoby bez przyległych mangrowców. Co ważne, wiele razy zniszczenie mangrowców na potrzeby rozwoju doprowadziło wprost do zanikania albo kompletnej utraty pobliskiej rafy koralowej.

Działalność człowieka

Tak jak kształtujemy dla naszych potrzeb środowisko, wpływamy także na linię brzegową. Istnieją dwie podstawowe motywacje, dla których ludzie modyfikują wybrzeże. Po pierwsze, stwarzają nowe struktury brzegowe, takie jak przystanie. Po drugie, chronią na istniejącym wybrzeżu istniejące budynki i inne struktury, na przykład przez postawienie muru ochronnego, tak aby przytyły i morze nie mogły zniszczyć osiedla zbudowanego tuż powyżej plaży.



Ostrogi to sztuczne występy, które prostopadle z brzegu sterczą do wody. Często są budowane, żeby ochronić jakiś obszar przed prądem brzegowym, albo dla celów rekreacyjnych

Wśród zbudowanych przez ludzi struktur brzegowych wymienić należy ostrogi, pirsy, falochrony i wały nadmorskie. Wiele z nich jest popularnymi miejscami nurkowymi. *Ostrogi* to sztuczne występy, które prostopadłe z brzegu sterczą do wody. Mogą być budowane, żeby stworzyć obszar chroniony przed prądem brzegowym albo dla celów rekreacyjnych, takich jak wędkarstwo. Bardzo często są budowane ze stosów głazów i kamieni, ale mogą być też zrobione z worków z piaskiem, betonu i innych materiałów.

Pirs to zasadniczo to samo, co ostroga, ale zbudowana do umocnienia wejścia do przystani. *Falochrony* biegną równoległe do brzegu albo zaczynają się na brzegu, po czym zakręcają na morzu. Ich celem jest zbudowanie sztucznej laguny dla przystani albo plaży. *Wał nadmorski* stoi albo w wodzie wzdłuż brzegu, albo na górze plaży. Działa jak bariera blokująca fale przed wejściem na brzeg i erodowaniem łądu.



Pirsy. Pirsy są budowane, żeby ochronić, bądź umocnić wejście do przystani

Można łatwo zrozumieć, dlaczego właściciel hotelu chce zbudować wał nadmorski, żeby ochronić kosztowną inwestycję jaką jest wielopiętrowy budynek albo dlaczego inwestor chce przystani, w której turyści mogliby zakotwiczyć swoje łodzie. Jednakże struktury brzegowe zbudowane przez człowieka kolidują z naturalnymi procesami łądowymi. Dotyczy to zwłaszcza przepływu piasku.

Pirsy i ostrogi blokują prąd przybrzeżny. Powoduje to gromadzenie się piasku w górze prądu i jego wypłukiwanie w dole. Na końcach pirsów mogą tworzyć się kosy. Wały nadmorskie skutecznie absorbują energię, ale tworzą problemy na ich końcach. Odbita energia koncentruje się na końcach wałów. Niechroniony łąd przy wałach nadbrzeżnych cierpi więc pod wpływem zwiększonej erozji.

Wskutek tych i innych struktur brzegowych plaża może erodować z dala od miejsc, gdzie to się naturalnie dzieje. Ten niechciany efekt często prowadzi do kolejnych działań ludzi. W tym przypadku, odpowiedzią może być refulacja (ang. *renourishment*). Refulacja plaż polega na przeniesieniu piasku lub osadów z innych miejsc, żeby zastąpić na plaży zerodowany piasek.

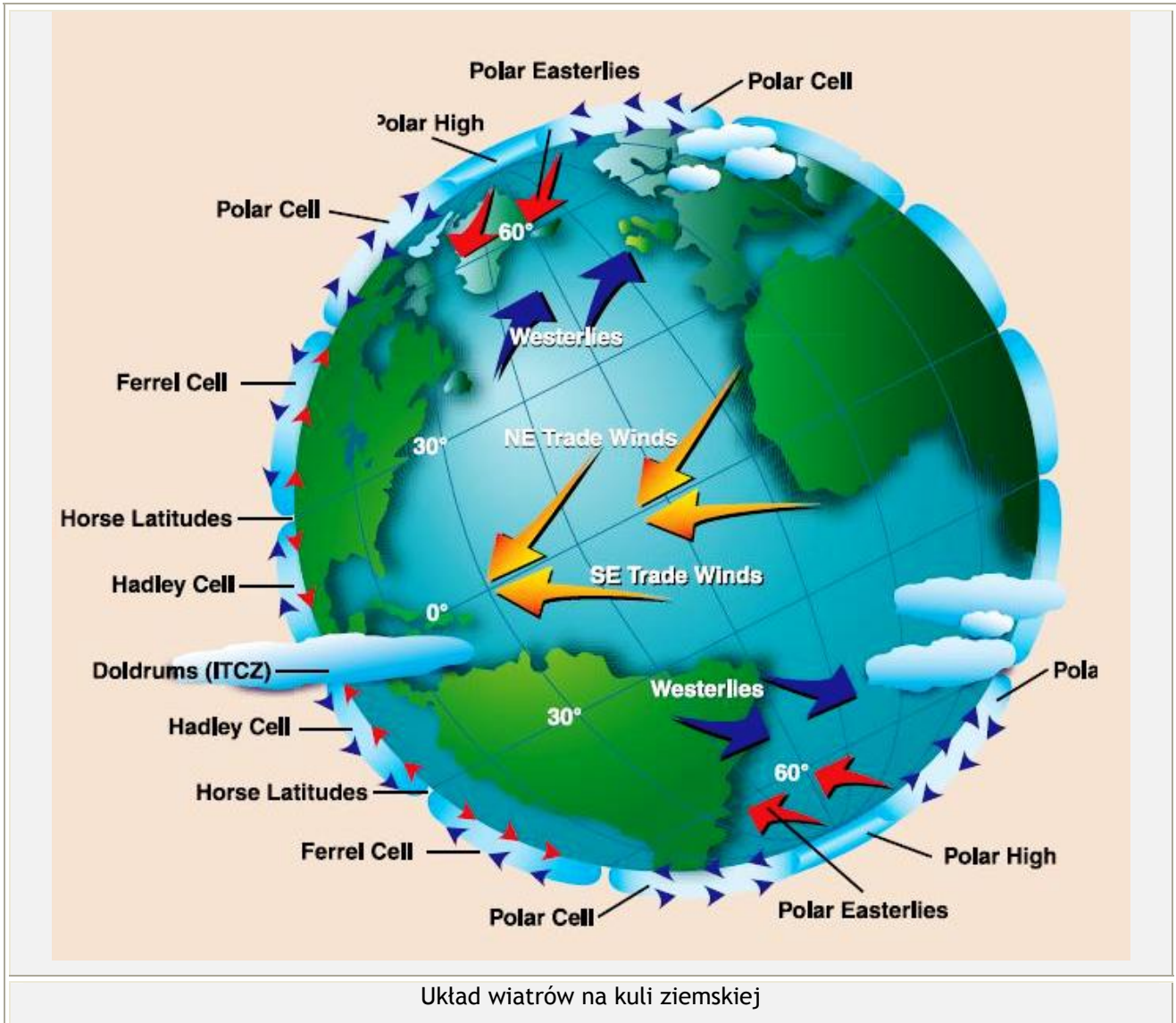


Wał nadmorski. Wały nadmorskie blokują fale przed wejściem na brzeg i erodowaniem łądu

Na nieszczęście z refulacją plaży związany jest szereg problemów. Po pierwsze, jest kosztowna. Po drugie, tak naprawdę nie jest to rozwiązanie stałe, ale jedynie czasowa łata. Jeżeli struktura, która powoduje erozję zostanie na swoim miejscu, plaża będzie wciąż erodowała. Po jakimś czasie, plaża znowu będzie wymagała refulacji. Po trzecie, wybranie piasku z innego miejsca wpłynie na tamto środowisko. Drenaż piasku z przybrzeża może zniszczyć wspólnotę biologiczną. Ponadto, przez naturalne

filtrowanie, piasek z przybrzeża ma mniejsze ziarenka niż nabrzeżny. Ten sam proces filtrowania wypłucze mały piasek z plaży szybciej, niż zerodował piasek pierwotny. Możliwym rozwiązaniem problemów stworzonych przez ludzkie struktury jest zmiana w stosunku do brzegu i jego zagospodarowania. Próby ochrony plaży przez sztuczne struktury dają tylko krótkoterminowe zyski. Zmiana polityki na taką, która popiera rozwój wybrzeża akceptujący naturalne procesy brzegowe, zamiast próbować je zmieniać, wydaje się lepszą odpowiedzią. W krótkim terminie może być to niewygodne, zwłaszcza w istniejących wspólnotach na wybrzeżu, zależnych od sztucznych struktur. W długiej skali czasowej, bardziej efektywnie i taniej jest jednak pracować w zgodzie z naturą, a nie przeciwko niej.

Tam i z powrotem



Współcześni naukowcy zdają sobie sprawę, że powietrze, ląd i morze wciąż wymienia się materią i energią. Wiatr może poderwać piasek z suchej pustyni Sahary i wrzucić je do Morza Karaibskiego, zmieniając jego podwodne środowisko. Dynamika tego oddziaływania powoduje, że woda przenosi się po powierzchni Ziemi na różne sposoby, powodując erozję, ruchy gleby i wpływając na ludzką aktywność.

Główną przyczyną ruchu wody jest energia wiatru, która przenosi się do wody, gdy wieje on ponad jej powierzchnią. To powoduje dwa główne typy ruchu wody: prądy i fale, które mogą być również wynikiem działania innych sił niż siły wiatru.

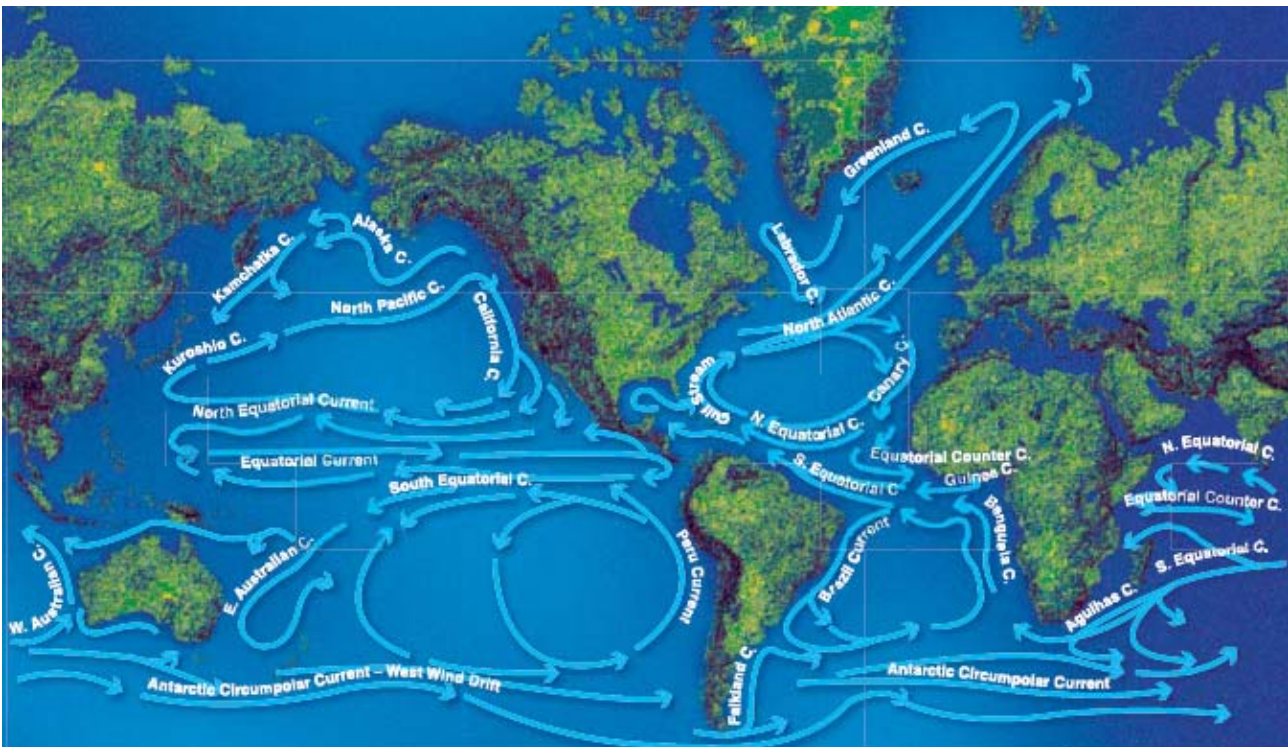
Prądy powierzchniowe

Gdy wiatry wieją na rozległym obszarze ze sporą trwałością kierunku i siły, znaczące objętości wody

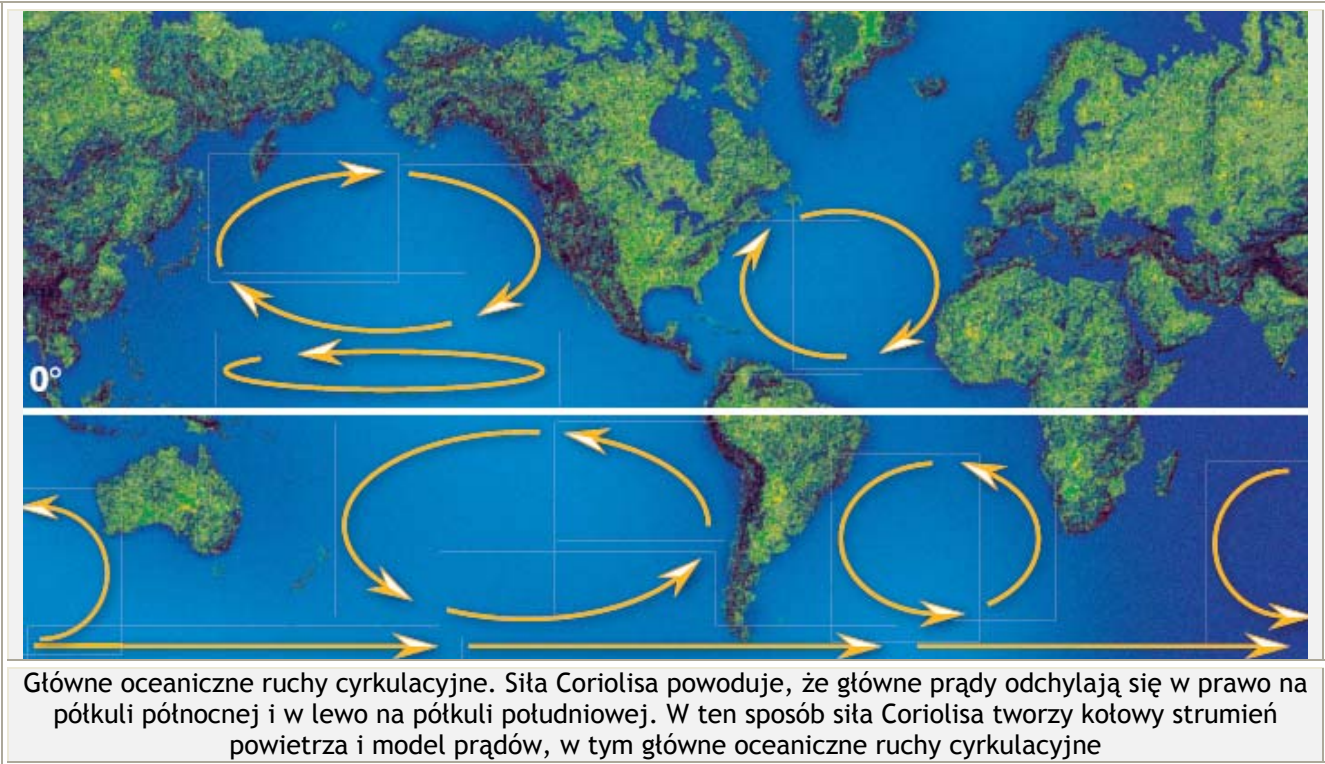
poruszają się poziomo po oceanie. Na półkuli północnej pasaty (ang. *trade winds*, blisko 15°N szerokości) wieją z północnego wschodu na południowy zachód. Wiatr zachodni na średnich szerokościach wieje głównie z południowego zachodu. Na bardzo dużych szerokościach polarne wiatry wschodnie wieją ze wschodu na zachód. Na półkuli południowej jest lustrzane odbicie takiego układu pasa wiatrów.

Energia pochodząca z tego układu wiatrów kieruje głównymi powierzchniowymi prądami oceanicznymi. Niektóre z tych prądów transportuje 100 razy więcej wody niż wszystkie rzeki razem wzięte. Prędkość prądu powierzchniowego gwałtownie maleje wraz z głębokością, stając się zaniedbywana na głębokości około 190 m (600 stóp).

Na główne prądy oceaniczne również wpływa wirowanie Ziemi. Efekt ten nazwany jest siłą Coriolisa (ang. *Coriolis effect*) i wyjaśnia, dlaczego obiekty na półkuli północnej odchylają się w prawo od kierunku siły działającej na nie (w tym przypadku wiatr jest siłą, a obiektem jest powierzchnia wody). Na półkuli południowej jest prawdziwe twierdzenie przeciwne. Tam obiekty odchylają się w lewo od kierunku działającej na nie siły. W rezultacie, woda ma zwyczaj gromadzić się na środku basenu oceanicznego, gdy główny prąd oceaniczny przechodzi wzdłuż jej krawędzi zgodnie z siłą Coriolisa. Ten krążący ruch wody nazywany jest ruchem cyrkulacyjnym (wirowym, ang. *gyre*) i odgrywa główną rolę w globalnym ogrzewaniu i rozkładzie życia morskiego.



Prądy pojawiają się nie tylko w oceanach, ale również w dużych jeziorach, morzach, a nawet mniejszych akwenach morskich. Jednak im mniejszy akwen, tym silniejszy musi być wiatr, aby rozwinąć prąd o danej mocy, ponieważ mniejsza jest powierzchnia, w poprzek której następuje transfer energii. Wiele dużych jezior ma wystarczającą powierzchnię, aby wytworzyć znaczące prądy (i fale).

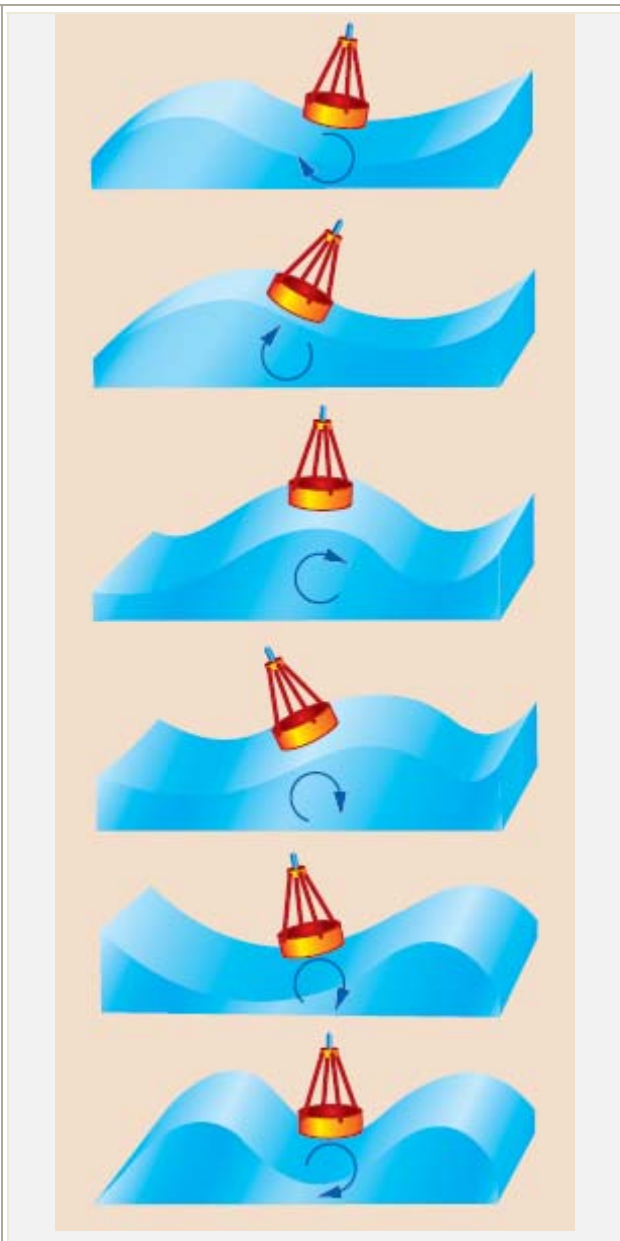


Fale

Rozmiary fal wahają się od ułamka cala dla małych fal kapilarnych, do fal sztormowych sięgających 30 i więcej metrów (100 stóp). Fale są bardziej złożone, niż się to pozornie wydaje.

Fala to przekaz energii poprzez materię. Gdy energia przenosi się przez materię jako fala, materia porusza się w przód i w tył lub obraca się, ale potem wraca do pozycji wyjściowej. Następnie energia przechodzi do materii sąsiadującej itd. Na przykład, wyobraź sobie kamień wrzucony do stawu. Zmarszczki na wodzie rozchodzą się coraz dalej od miejsca upadku. Nie rozchodzi się jednak woda, a jedynie energia. Gdy widzisz zmarszczenia na wodzie, widzisz energię poruszającą się jako seria fal od miejsca zaburzenia jako fala postępująca (ang. *progressive wave*). Fala nazywa się „postępująca”, ponieważ widać postęp energii od jednego punktu do drugiego.

Są trzy typy fal postępujących: podłużne, poprzeczne i orbitalne.



Ruch fali orbitalnej. Gdy fala nadchodzi, boja porusza się w przód na czole fali. Wznosi się, przechodzi ponad grzbietem fali i cofa się, opadając w dół na tył fali. Pojedyncze cząstki wody poruszają się po kole (pokazane jako zakrzywione strzałki) dopóki energia fali nie przejdzie przez wodę

Fala podłużna pojawia się, gdy materia porusza się do przodu i w tył w tym samym kierunku, tak że energia się przesuwa. Ten typ fali może poruszać się przez wszystkie stany materii, przenosić się przez skompresowane i rozprężone cząsteczki tak jak sprężyna. Falą podłużną jest dźwięk.

Gdy w materii pojawia się *fala poprzeczna*, wówczas ruch materii jest prostopadły do kierunku, w którym fala porusza się jako całość. Na przykład, gdy potrząsas w górę i w dół naprężoną ułożoną poziomo liną, lina porusza się pionowo, ale fala rozchodzi się poziomo wzdłuż długości liny.

Fale orbitalne przenoszą się tylko przez ciecz. W oceanach głównie te właśnie fale nas interesują. Pojawiają się, gdy energia porusza ciecz w ruchu wirowym, przechodząc przez nią. Wyobraź sobie pływająca boję. Gdy zbliża się fala, boja przesuwa się do przodu na czole fali. Wznosi się, przechodzi ponad grzbietem fali i cofa się, opadając w dół na tył fali.

Chociaż woda (ciecz) przesuwa się poprzez ruch orbitalny, powraca do położenia początkowego. Dalej rozchodzi się tylko energia. Patrząc na boję na ilustracji, widać, jakby ruch orbitalny pojawiał się tylko w jednej płaszczyźnie. W rzeczywistości ruch orbitalny postępuje w dół na coraz mniejszych orbitach do głębokości równej około pół długości fali (długość fali to pozioma odległość między dwoma identycznymi punktami na dwu falach, np. od grzbietu do grzbietu).

Charakterystykę fali można wyrazić matematycznie. Jest to pożyteczne, ponieważ pozwala ci obliczyć zachowanie fali na podstawie informacji, które posiadasz. $H:L$ to stosunek wysokości fali do jej długości. Jeśli znasz długość fali (L wyrażone w metrach) i okres (T czas w sekundach), możesz wyznaczyć szybkość (S w m/s) idealnych *fali wody głębokiej*, czyli fal w dostatecznie głębokiej wodzie, tak by dno nie wpłynęło na fale.

Można to wyrazić wzorem:

szybkość = długość fali / okres czyli $S = L/T$

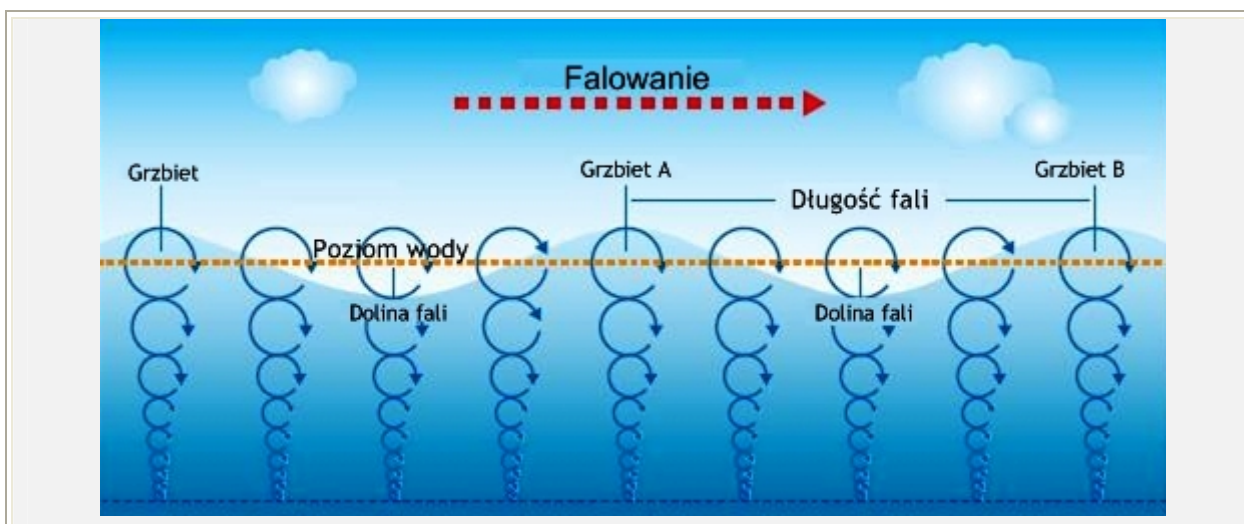
Pamiętaj jednak, że to równanie, choć przydatne, nie bierze pod uwagę innych czynników, które wpływają na szybkość fal na głębokich wodach, ani szybkości fali, gdy wejdziesz na płytsze wody.

Fale oceaniczne: długość fali i siły zaburzające			
Typ fali	Podstawowa standardowa długość fali	Podstawowa siła zaburzająca	Siła przywracająca
Fala wiatrowa kapilarna	Mniej niż 1,73 cm	Wiatr	Napięcie powierzchniowe
Fala wiatrowa grawitacyjna	Do 150 m	Wiatr	Grawitacja
Fala sejsmiczna	200 km	Aktywność sejsmiczna	Grawitacja
Pływy	Do 17 000 km	Słońce i Księżyc	Grawitacja i siła Coriolisa

Przyczyny powstawania fal i ich charakterystyka

Przyjrzyjmy się teraz przyczynom powstawania fal i ich zachowaniu w świecie rzeczywistym. *Siły zaburzające* wywołują fale, a siły przywracające (ang. *restoring forces*) opierają się im. Natężenie i czas trwania siły zaburzającej oraz oddziaływanie sił wzmacniających dają charakterystykę fal.

Ciecz dąży do pozostania w spoczynku. Porusza się jedynie, gdy przekazana jest jej energia, czyli gdy coś ją zaburzy. Te siły zaburzające, które wywołują fale oceaniczne, obejmują wiatry, siły grawitacji i aktywność sejsmiczną. Wiatr to najpowszechniejsza siła zaburzająca, gdy przechodzące powietrze trze o powierzchnię wody. Zmiany grawitacji wywołują fale, których zapewne nie traktowałeś jako fale, a mianowicie przyływy i odpyły. Ich charakter odróżnia je znacząco od innych fal, dlatego rozpatrzmy je osobno. Aktywność sejsmiczna obejmuje trzęsienia Ziemi, erupcje wulkaniczne, które z kolei powodują tsunami.



Główne składniki fali i schemat orbitalny. Długość fali to odległość w poziomie między dwoma identycznymi punktami na dwu falach - na rysunku odległość między A i B. Grzbiet (ang. crest) to najwyższy punkt fali powyżej średniego poziomu wody. Dolina fali (ang. trough) to najniższy punkt, a wysokość to pionowa miara od doliny fali do jej grzbietu. Okres (T) to czas, w którym dwa takie same miejsca fali przejdą przez dany punkt; częstość to liczba fal, która przechodzi przez ustalony punkt w ciągu 1 sekundy. Zauważ, że schodząc coraz głębiej, natężenie fali orbitalnej słabnie aż do głębokości równej $1/2$ długości fali

Każdy rodzaj sił zaburzających produkuje fale o innej długości. Wiatry najczęściej tworzą fale o długości od około 60 do 150 m. Długość fali pływów jest porównywalna z rozmiarem basenu oceanicznego, a fale tsunami mają długość około 200 km.

Grawitacja jest główną siłą przywracającą dla dużych fal i fal sejsmicznych. Grawitacja dąży do spłaszczenia fali poprzez ściągnięcie jej z powrotem do poziomu wyjściowego. Ponieważ długości fal są bardzo duże, grawitacja i siła Coriolisa to dwie główne siły przywracające dla zjawiska pływów. Napięcie powierzchniowe (ang. *surface tension*) jest ważną siłą przywracającą dla najmniejszych fal, tzw. fal kapilarnych, których długość wynosi około 1,7 cm lub mniej. Napięcie powierzchniowe wywołane jest silną polarną naturą wiązań wody, co przeciwdziała zaburzeniu powierzchni. Więcej o napięciu powierzchniowych dowiesz się w rodz. 4.

Możesz klasyfikować fale na podstawie tego, która siła przywracająca jest najbardziej efektywna. Fale kapilarne są tak sklasyfikowane, ponieważ główną siłą przeciwną im jest napięcie powierzchniowe. Fale kapilarne tworzą się jako pierwsze, gdy nad spokojną wodą powieje wiatr. Jednak, gdy fale stają się większe, napięcie powierzchniowe staje się względnie mało znaczące jako główna siła przywracająca. Grawitacja, ciężar fali, przejmuje kontrolę, dlatego duże fale nazywamy falami grawitacyjnymi.

Chociaż siły zaburzające mogą być nieco przypadkowe w natężeniu, czasie trwania oraz miejscu powstawania, fale mają tendencję do organizowania się w układy. Fale, które jeszcze nie są tak zorganizowane, płyną z różną szybkością. Najdłuższe fale przeganiają mniejsze. W końcu jedynie fale o podobnej długości płyną razem. Jest to rozkołys (ang. *swell*), który jest po prostu podnoszeniem i opadaniem jednakowego układu fal na morzu.

Grupy fal rozkołysu o podobnej charakterystyce mają tendencję to płynięcia razem w zespole (ang. *wave trains*). Pierwsza fala w zespole stopniowo wytraca energię, którą przejmują nowe fale powstające w podążającej części zespołu. Gdy fala prowadząca ulega rozproszeniu, powstają następne fale i dołączają do zespołu. Cały zespół porusza się z połową szybkości pojedynczych fal przez cały proces rozpraszania i odbudowywania. Gdy zespół fal osiąga wody płytkie, prędkość grupowa i indywidualna stają się takie same. Dzieje się tak ponieważ głębokość wpływa na charakterystykę fal, prowadząc do pojęcia *fal wód głębokich* i *fal wód płytkich*.

Fale wód głębokich pojawiają się tam, gdzie woda jest głębsza niż połowa długości fali. Ruch wody w fali orbitalnej maleje bardzo szybko wraz z głębokością. Jeśli woda jest głębsza niż połowa długości fali, wówczas nie ma oddziaływania fali z dnem, które może wpłynąć na charakterystykę fali. Ryba płynąca na 20 metrach nie zauważy efektu fali przechodzącej nad jej głową, jeśli fala ta ma długość 40 m lub mniej. Ponieważ dno nie wpływa na fale wód głębokich, ich ruch orbitalny postępuje w sposób niezakłócony.

Gdy woda jest płytsza niż $1/4$ długości fali, dno tworzy opór, który wpływa na ruch orbitalny. To prowadzi do spłaszczenia ruchu kołowego w ruch eliptyczny. Gdy głębokość wynosi około $1/12$ długości fali, fala staje się falą wód płytkich. Na głębokości między $1/2$ a $1/12$ długości fali, fale są przejściowe, postępując od charakterystyki głębokowodnej do płytkowodnej.

W tym samym czasie mogą istnieć fale wód głębokich i fale wód płytkich. Dobrym przykładem jest olbrzymia fala stworzona przez pływy. Z definicji jest to zawsze fala wód płytkich, ponieważ długość fali jest porównywalna z rozmiarem basenu oceanicznego. Aby pływy były falami wód głębokich, ocean musiałby mieć większą głębokość niż średnica Ziemi! Wiatr tworzy fale, które mogą być falami wód głębokich na szczycie pływów. Fale kapilarne są niemal zawsze falami wód głębokich, ponieważ woda musi być w miejscu ich występowania głęboka jedynie na 0,9 cm.

Jak zaznaczono wcześniej, fale wiatrowe rosną na skutek tarcia z powietrzem, które transportuje energię do wody. Gdy fala rośnie, wystawia na wiatr coraz większą powierzchnię, pozwalając na większy przepływ energii. Trzy czynniki, które powodują wzrost fali to szybkość wiatru, czas trwania i rozbieg (ang. *fetch*).

Szybkość wiatru jest ważna, ponieważ aby oddać fali energię, wiatr musi być od niej szybszy. Czas trwania wiatru to czas, kiedy wiatr wieje w jednym kierunku. Nawet wiatr o dużej prędkości nie wywoła dużych fal, kiedy czas jego trwania jest krótki lub kierunek często i znacząco się zmienia. Rozbieg to powierzchnia, na której wieje wiatr. Z kolei na małym stawie nigdy nie powstaną duże fale, nawet jeśli szybki wiatr będzie wiał wiele godzin, ponieważ nie ma tam dostatecznej powierzchni, aby przenieść wymaganą energię do stworzenia dużych fal.

Połączenie tych trzech czynników daje maksymalny teoretyczny rozmiar fal. Powyżej tego teoretycznego maksimum, siły zaburzające i siły przywracające równoważą się, nie pozwalając na dalszy wzrost fali. Gdy powierzchnia osiąga maksymalny rozmiar, nazywamy ją w pełni rozwiniętym morzem (ang. *fully developed sea*).

Przy działaniu wszystkich tych czynników jako niezależnych zmiennych, czyli szybkości wiatru, czasu trwania i rozbiegu, w pełni rozwinięte morze występuje nie tylko na dużym morzu. Średnia wysokość fal dla w pełni rozwiniętego morza sięga od $1/4$ m do około 15 m.

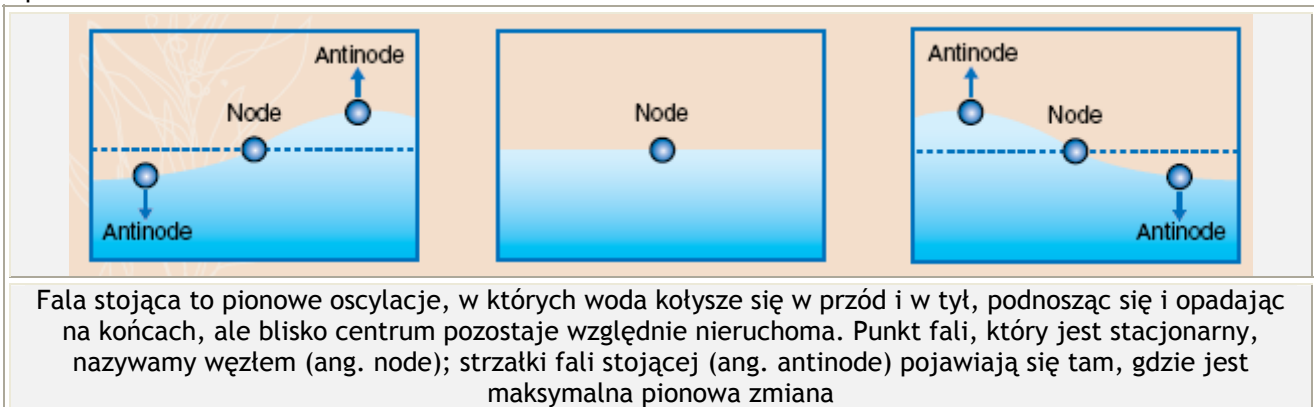
Tak jak w przykładzie z małym stawem, te trzy czynniki również wpływają na największe fale,

które mogą istnieć na oceanie. Pamiętaj, że ocean ma duże, niczym nieblokowane, połacie wody, nad którymi mogą rozwinąć się fale wiatrowe. Może jest to zaskakujące, ale czasem fala może być większa niż maksymalny teoretyczny rozmiar dla w pełni rozwiniętego morza. Naukowcy uważają, że takie fale (ang. *rogue wave*) są wynikiem oddziaływania między dwoma bliskimi zespołami fal (ang. *wave trains*). Kiedy z różnych powierzchni zjedną się zespoły fal, oddziałują na siebie nawzajem konstruktywnie lub destruktywnie. Jeśli fale są w jednej fazie, grzbiety i doliny pokrywają się a wysokości fal łączą się, tworząc większą wspólną falę. Również nadzwyczajnie duże fale mogą być wynikiem fal, które biegną w przeciwną stronę niż prąd, co powoduje wyostrenie fali. Ten drugi mechanizm jest prawdopodobnie częstszym powodem bardzo dużych fal (ang. *rogue wave*).

Jeśli zespoły fal są nie w fazie, tak że grzbiety jednego zespołu pokrywają się z dolinami fal drugiego, fale znoszą się wzajemnie. Jednak ani konstruktywna, ani destrukcyjna interferencja nie mogą działać na odległość większą niż kilka długości fal. Dlatego na przykład interferencja destrukcyjna nie może powodować względnie spokojnego morza w czasie silnych wiatrów. Stosunkowo rzadko razem występują zsynchronizowane zespoły fal o takiej samej długości. Najczęściej są one wzajemnie nieco przesunięte w czasie, co prowadzi do tego, że oddziałujące zespoły zazwyczaj są na przemian konstruktywne i destruktywne. Skutkuje to morzem mieszanym z cyklami dużych i małych fal. Widziałeś zapewne przybój, który zmienia się cyklicznie od okresu spokoju, następnie powstaje duża fala, a następnie cofa się, i tak w kółko. Jest to efekt dwu nieco różnych zespołów fal idących razem.

Przybój i załamanie fal

Jeśli kiedykolwiek byłeś na plaży, widziałeś zapewne fale, które załamują się i tracą energię jako przybój (ang. *surf*). Czy myślałeś kiedykolwiek, jak fale się załamują? W wodach głębokich fale załamują się, gdy stosunek H:L przekracza 1:7. Czyli gdy wysokość przewyższa 1/7 długości fali, fala załamuje się jako grzywacz (ang. *whitecap*). Ten sam stosunek jest prawdziwy dla wód płytkich, choć w wyniku innych procesów.



Fale wód głębokich stają się przejściowe, gdy wkraczają na wody, które są płytsze niż połowa długości fali. W tym punkcie dno zaczyna oddziaływać na fale. Gdy ta porusza się w kierunku brzegu, ruch orbitalny spłaszcza się, stając się eliptycznym. Oddziaływanie z dnem spowalnia falę, zmniejszając jej długość i kumulując jej energię w ciaśniejszy obszar. To powoduje wzrost wysokości fali.

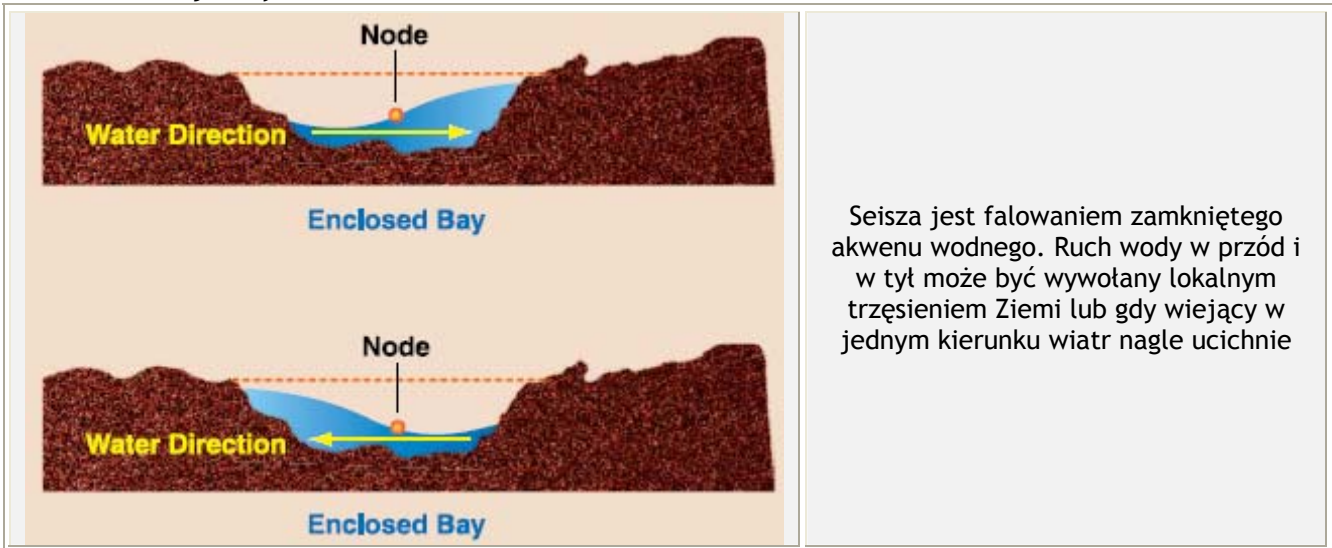
Gdy fala nadal zbliża się w kierunku brzegu, jej długość nadal spada, a wysokość wciąż rośnie, co powoduje zbliżanie się do stosunku H:L równego 1:7. Fala przekracza wartość 1:7, gdy głębokość jest 1,3 razy większa od wysokości fali. Ponieważ grzbiet fali biegnie teraz szybciej niż jej dolina i ponieważ wysokość fali jest większa niż 1,7 razy jej długości, fala staje się niestabilna. Niestabilność powoduje, że fala załamuje się, a jej grzebień przewraca się w przód.

Są trzy podstawowe typy załamania fal. W falach *plunging breakers* grzbiet fali zawija się na szczycie, wylatuje w górę, a następnie spada na dno. Pojawiają się na średnio stromych plażach, które szybko spowalniają nadchodzące fale, tak że szczyt fali dosłownie leci przed jej podstawą. Fale *spilling breakers* pojawiają się na łagodnie pochyłonych plażach. Szczyt fali gwałtownie opada i przesuwa w dół czoło fali, a ta powoli wytraca prędkość. Fale *surging breakers* występują na bardzo stromych plażach, które są niemal jak ściany wyrastające z głębokiej wody. Ponieważ nie ma tam kontaktu fali z dnem (lub jest bardzo mały), fale nie spowalniają, ale napływają praktycznie niezalmane. Ponieważ nie wytracają energii po drodze, fale te mogą być bardzo niszczycielskie.

Jeśli nurkujesz w przyboju, pamiętaj, że różne typy fal wymagają różnych technik, a charakterystyka każdej z nich ma swoje plusy i minusy. Fale *plunging breakers* mogą być trudne do pokonania, ponieważ rozbijają się na tobie, ale ich dobrą stroną jest krótka strefa przyboju i jeśli dobrze trafisz, możesz je szybko przepłynąć.

Najczęstszą przyczyną falowania jest tarcie wiatru o powierzchnię wody. Fale *surging breakers* są

bardzo silne i mogą rzucić cię na ściany czy skały, ale możesz je wykorzystać jako windę, która wyniesie cię na brzeg. Przed nurkowaniem w nieznanymi warunkach przyboju, uzyskaj informacje co do właściwych technik w miejscowym centrum PADI.



Seisza jest falowaniem zamkniętego akwenu wodnego. Ruch wody w przód i w tył może być wywołany lokalnym trzęsieniem Ziemi lub gdy wiejący w jednym kierunku wiatr nagle ucichnie

Załamanie, ugięcie i odchylenie

Poprzedni opis przyboju jest w pewnym stopniu wyidealizowany, ponieważ zakłada, że fale uderzają w brzeg pod kątem prostym. W rzeczywistości rzadko się tak zdarza. Na zachowanie fali wpływają załamanie, ugięcie i odchylenie.

Czytając o prądach przybrzeżnych i o dryfcie przybrzeżnym dowiedziałeś się, że fale zbliżając się do brzegu pod kątem, mają tendencję do skręcania, aż staną się równoległymi do brzegu. Powodowane jest to wleczeniem się wody po płytszej, bliższej brzegowi stronie fali, a nazywane jest załamaniem fali (ang. *wave refraction*). Gdy linia brzegowa jest nieregularna, załamanie zazwyczaj skupia energię fali w kierunku cypli, ponieważ grzbiet fali najbliższy danemu cyplowi spowalnia pierwszy, skręcając falę w jego stronę.

Ugięcie fali pojawia się, gdy fala przechodzi przeszkodę, np. molo. Energia w fali przesuwa się, pozwalając na uformowanie nowego wzoru fali za przeszkodą. Ugięcie jest tym, co pozwala bardzo wzburzonemu morzu rozkötysać przystań, która w innych warunkach jest dobrze chroniona. Fale ugięte po przejściu przez kanały między wyspami mogą zmienić wzór fali daleko od brzegu.

Odbicie pojawia się, gdy fale uderzają w ostrą, niemal prostopadłą przeszkodę w wodzie, np. falochron. Fala zachowuje większość swojej energii i odbija z powrotem w kierunku otwartej wody. Energia fali odbitej może odbijać się po wnętrzu zamkniętego obszaru, tworząc złożone wzory fal. Dobrym przykładem jest kształt, który otrzymujemy po pojedynczym wrzuceniu czegoś w nieruchome wody basenu. Pojedynczy układ fal oddala się od centrum, ale gdy dojdzie do ściany basenu, odbija się i w innym kierunku porusza się jako nowy układ fal. W tym samym czasie inna strona fali osiąga innej ściany i dzieje się to samo. Wkrótce nie można już rozróżnić kształtów, bo odbite fale oddziałują a koleje ulegają odbiciu.

Odbicie może powodować również falę stojącą. Fala stojąca to pionowe oscylacje, w których woda kotęsze się w przód i w tył, podnosząc się i opadając na końcach, ale w centrum pozostaje względnie nieruchoma. Fala stojąca nie jest orbitalna, ale ma doliny i grzbiety, które zmieniają się miejscami. Punkt fali, który jest stacjonarny, nazywamy węzłem (ang. *node*), strzałki fali stojącej (ang. *antinode*) pojawiają się tam, gdzie jest maksymalna pionowa zmiana.

Fale niszczące

Na otwartym morzu, nawet bardzo duże fale mogą się czasem wydawać niegroźne. Statek przepływa nad nim, czy przez nie. Gdy osiągają wody płytsze i nie tracą swojej energii, ich siła zaczyna być dostrzegalna. Fale kierowane wiatrami burzowymi mogą być groźne na obszarze wybrzeża. Istnieją trzy odrębne typy fal znane ze swojej niszczycielskiego działania: nagon sztormowy (ang. *storm surge*), seisza (ang. *seiche*) i tsunami.

Obliczanie szybkości tsunami

Jak szybkie są tsunami? Gdy znasz głębokość, możesz sam to obliczyć. Prędkość fali wód płytkich wyznaczona jest równaniem:

$$V^2 = gd,$$

gdzie

V = prędkość

g = przyspieszenie grawitacyjne (9,8 m/s²)

d = głębokość wody

czyli prędkość = pierwiastek z przyspieszenia grawitacyjnego razy głębokość.

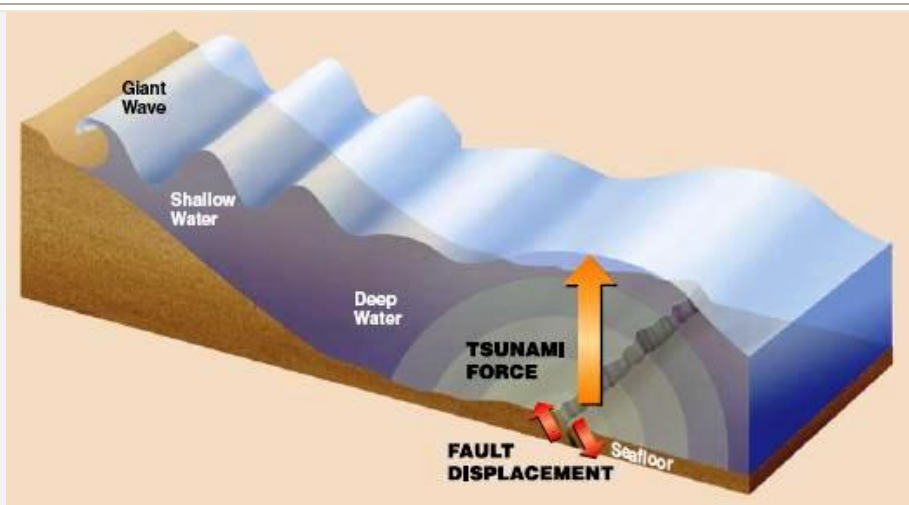
Przypuśćmy, że tsunami powstaje w wodzie, która ma 4000m głębokości.

$$V^2 = (9,8 \text{ m/s}^2) \times (4000 \text{ m})$$

$$V = 198 \text{ m/s.}$$

Czyli szybkość tsunami może wynosić 198 m/s, czyli 712,8 km/h, dopóki fala nie uderzy w wody płytsze.

Nagon sztormowy to niszczycielska fala, która powstaje, gdy bardzo silne wiatry pchają wodę w stronę brzegu, gdzie się gromadzi. Im płytsza woda i im dalej od brzegu się rozciąga, tym większy nagon. Dlatego amerykańskie Wybrzeża Stanowe mają największe nagony sztormowe, które mogą przekraczać 9 metrów dla huraganów o V kategorii.



Tsunami wywołane jest gwałtownym przemieszczeniem wody spowodowanym osunięciem ziemi, górą lodową, erupcją wulkaniczną a najczęściej trzęsieniem Ziemi. Długi okres i długość fali czyni je niemal niezauważalnymi na otwartym morzu

Gdy sztorm przesuwa się do brzegu, nagony sztormowy powstają na szczycie pływów. Gdy zbiegnie się nagon sztormowy i ekstremalnie duży przyptyw, zniszczenia nisko położonych obszarów przybrzeżnych mogą być ogromne. Również wiatry huraganowe powodują uszkodzenia konstrukcji, a około 90% wypadków śmiertelnych w czasie trwania huraganu jest wynikiem nagonów sztormowych. Nagon sztormowy nie jest falą postępującą i istnieje tylko w sztormach wirowych.

Sejsza jest formą fali stojącej, która może być niszcząca. Sejsze, które formują się w dużych zatokach i jeziorach jako fala, która kołysze w przód i w tył, mogą być wynikiem silnego wiatru, który pcha w górę poziom wody z jednej strony basenu. Kiedy wiatr cichnie, woda kołysze się w przód i w tył z częstością wyznaczoną przez rozmiar basenu i jego głębokość.

Szwajcarskie jezioro w Genewie jest znane z sejszy; to tutaj naukowcy po raz pierwszy opisali to zjawisko. Na wszystkich Wielkich Jeziorach amerykańskich regularnie występują sejsze. Gdy pojawiają się razem z falami sztormowymi, powodują zniszczenia nabrzeżnych domostw.

Tsunami w 2004 r.

26 grudnia 2004 r. ponad 140 tys. ludzi zostało zabitych w południowej Azji w masywnych falach morskich powstałych na skutek najsilniejszego od 40 lat trzęsienia Ziemi. Setki tysięcy ludzi zostało pozbawionych dachu nad głową i poranionych przez klęskę żywiołową.

Podmorskie trzęsienie ziemi o magnitudzie 9 w skali Richtera uderzyło w zachodnie wybrzeże Sumatry w Indonezji o 07:58:50 czasu lokalnego. Było to najsilniejsze w świecie trzęsienie ziemi od trzęsienia o sile 9,2 na Alasce w 1964 r. i czterech większych od 1900 r. Największym zanotowanym trzęsieniem ziemi było Wielkie chilijskie Trzęsienie Ziemi w 1960 r. o magnitudzie 9,5 w skali Richtera.

Wstrząsy wywołały tsunami, które uderzyło w ciągu 3 godzin od trzęsienia i w Tajlandii sięgało do 10 m. Wielokrotne tsunami uderzyło i zniszczyło obszary nadbrzeżne dziewięciu krajów na Oceanie Indyjskim, w tym prowincję Aceh (północna Sumatra), wybrzeża Sri Lanki, wybrzeża Tamil Nadu (południowy stan Indii), wyspę-prowincję tajlandzką Phuket, Tajlandię i nawet Somalię położoną 4100 km na zachód od epicentrum.

Około 80% tsunami objawiło się na Pacyfiku. Na szczęście wiele miast wokół oceanu, głównie w Japonii, ale także na Hawajach, posiada system ostrzegający i procedury w wypadku poważnych tsunami. Jednym z najlepszych metod przewidywania tsunami jest monitorowanie trzęsień ziemi, które powodują większość tego rodzaju fal.

W ostrzeganiu przed tsunami pomaga sieć sejsmografów, wskaźniki fal (takie jak używane przez International Tsunami Warning System) i pomiary satelitarne zmian poziomu morza



Zniszczenia wywołane przez tsunami w 2004 r. w południowo-wschodniej Azji

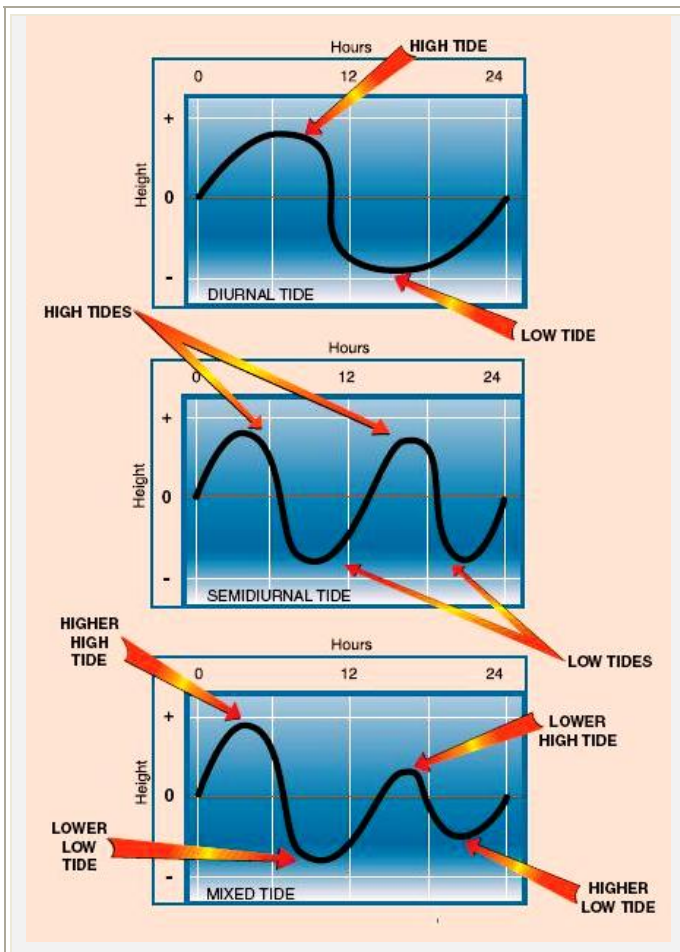
Tsunami jest wynikiem gwałtownego przesunięcia wody w wyniku np. osunięcia ziemi, upadku góry lodowej do morza, erupcji wulkanicznej, a najczęściej trzęsienia Ziemi. Tsunami pochodzi od japońskiego słowa *fala portowa* (ang. *harbor wave*), dzięki swojej szczególnej destrukcyjności w portach i w zatokach. Możliwe, że słyszałeś również określenie *fale pływowe* (ang. *tidal waves*), choć jest to niewłaściwy termin, ponieważ nie są ani wynikiem pływów, ani nie są bezpośrednio związane z pływami w żaden sposób.

Początkowo może się to wydać dziwne, ale wszystkie tsunami są falami wód płytkich w tym samym sensie, jak pływowe wybrzuszenie jest falą wód płytkich. Typowe tsunami ma długość fali rzędu 200 km, a najgłębszy punkt oceanów (Rów Mariański) to „jedynie” 11 km. Nie ma takiego miejsca na oceanach, gdzie można by traktować tsunami jako fale wód głębokich. Choć są one falami, gdy uderzają, wyglądają raczej jak powódź zalewająca wybrzeże.

Tsunami to szybko poruszające się fale, które poruszają się tysiące kilometrów. Nie stanowią problemu na wodach otwartych. Mają bardzo dużą długość fal i gdy się rozchodzą, są niemal niezauważalne. Statki mogą podnosić się i opadać o około metr, gdy przechodzi tsunami, ale czynią to bardzo powoli. Japońskie przypowieści ludowe opowiadają o przypadku, gdy rybacy, żeglując po morzu przez cały dzień, dopływają do swojej wioski i znajdują ją zniszczoną przez tsunami. Rybacy nie zdawali sobie sprawy, że tsunami przeszło pod nimi, gdy żeglowali.

Gdy tsunami osiąga brzeg, staje się znacznie wyższe. Fala rusza do brzegu, załamuje się i wyrzuca ogromne masy wody i energii na brzeg. Jeśli dolina fali poprzedza grzbiet fali na brzegu, fala wodna słabnie, tak jakby następował masywny odpływ. Okres narastania może trwać kilkanaście minut i jest przyczyną ofiar śmiertelnych. Ciekawscy plażowicze, nieostrzeżeni o niebezpieczeństwie, spacerowali po suchym dnie wywołanym wcześniejszą doliną fali, a chwilę później zostali zatopieni przez falę. W historii zapisano tsunami napływające na zbocze o wysokości 530 m w Zatoce Lituya (ang. Lituya Bay) na Alasce w 1958 r.

Pływy



Układ pływy zmienia się wraz z położeniem. Niektóre miejsca mają pojedynczy przyptyw i odpływ raz dziennie. Taki układ nosi nazwę pływy dobowego. Inne obszary mają półdobowe pływy - dwa z grubsza równe przyptywy i odpływy dziennie. Pływ mieszany oznacza układ złożony z dwu nierównych przyptywów i odpływów dziennie

Pływy to fale odpowiedzialne za podnoszenie i opadanie powierzchni morza (zazwyczaj dwa razy dziennie), co powoduje naprzemienne odkrywanie i zakrywanie morskiego życia wzdłuż wybrzeża. Odgrywają ważną rolę w wyznaczaniu, kiedy dane miejsce doświadczy silnych prądów, zmian głębokości i zmian widoczności. Dlatego pływy powodują zmiany w warunkach nurkowania: czasem je polepszają, a czasem pogarszają. Pływy również oddziałują na życie wodne, głównie w środowisku morskim, gdzie prądy pływowe zmieniają rozkład planktonu. Ruch pływowy wynika z oddziaływania grawitacyjnego Ziemi, Księżyca i Słońca. Za ogólną własność można przyjąć, że najlepsze warunki występują w czasie przyptywów.

Okresowa natura orbit i ruchu Ziemi, Słońca i Księżyca powoduje, że pływy można przewidywać. Czas trwania pływu, liczba i zasięg zależą od wzajemnego położenia tych trzech ciał i lokalnych cech topograficznych. Mając te informacje można stworzyć precyzyjną tabelę pływów i prądów, aby przewidzieć czas i wysokość pływów w każdym miejscu na świecie. Organizmy wodne, a szczególnie te żyjące w pasmie pływów strefy przybrzeżnej, w prosty sposób zależą od swobodnego zegara i dostosowują swoją aktywność do pływów. Przed nurkowaniem sprawdź miejscową tabelę pływów i dowiedz się, w jaki sposób pływy oddziałują na warunki lokalne i życie wodne.

Przyczyny pływów

Pływy są wynikiem grawitacyjnego przyciągania Księżyca i, w mniejszym stopniu, Słońca. Tworzą na oceanie ogromne fale o długości rzędu rozmiaru basenu oceanicznego. W zasadzie Słońce i Księżyc powodują dwa „wybrzuszenia”

wody po przeciwnych stronach Ziemi. Wzajemna pozycja Słońca i Księżyca powoli zmienia się, więc wybrzuszenia rotują wokół Ziemi. Gdy linia brzegowa obraca się w stronę wybrzuszenia, pływy narastają, a gdy obraca się w stronę przeciwną wybrzuszeniu, pływy opadają.

To naiwne proste wytłumaczenie zjawiska pływów zaproponował Isaac Newton. Jest ono nazwane *teorią statyczną* i zakłada, że Ziemia jest idealnie jednolita, woda jest bardzo, bardzo głęboka i nie ma lądów. Problem z teorią statyczną jest taki, że Ziemia nie jest idealnie jednolita, woda nie zawsze jest bardzo głęboka i mamy sporo obszarów lądowych. Z tego powodu teoria Newtona jest zbyt prosta, aby opisać rzeczywiste pływy. W niektórych miejscach występują dwa pływy dziennie, w innych tylko jeden. W niektórych miejscach pływy są ekstremalne, w innych nie. Z powodu lądów i zmiennej głębokości, pływy nie przemieszczają się jak fale na otwartym morzu, gdzie nie ma przeszkód. Pływy to fale, które przedzierają się poprzez i wokół przeszkód. Zrozumienie pływów wymaga bardziej złożonego modelu.

Pierre-Simon Laplace zmodyfikował model Newtona, tak aby uwzględnić zmienność pływów. Jego model, nazwany *teorią dynamiczną*, przewiduje, że zamiast dwu pływowych wybrzuszeń, jest ich kilka. Dzieje się tak ponieważ oprócz grawitacji Słońca i Księżyca, uwzględnić należy również niedoskonały kształt Ziemi, pory roku, miesiąc, kształt basenu oceanicznego i siłę Coriolisa. Pływy okrążają ponad tuzin punktów amfidromicznych (węzłowych, bez pływów, ang. *amphidromic points*). Są to punkty, gdzie woda nie podnosi się ani nie opada w czasie pływów, ale wokół niego promieniście przemieszczają się grzbiety fal pływowych. W punkcie amfidromicznym nie ma pionowego ruchu pływowego, ale daleko od niego może powstać wzmocniony ruch pływowy, ponieważ pływy zmieniają się przez cały dzień.

Układy pływów i prądy



Układy pływów w USA pokazują jak względnie bliskie obszary (w sensie globalnym) mogą mieć różne pływy. Na zachodnim wybrzeżu i w części Zatoki Meksykańskiej przeważają pływy mieszane. Inne części wzdłuż Zatoki Meksykańskiej mają pływy dobowe. Wschodnie wybrzeże USA jest zdominowane przez pływy półdobowe

Ponieważ występują wielokrotne wybrzuszenia pływowe oraz inne oddziaływania, układy pływów zmieniają się wraz z położeniem. Niektóre miejsca mają pojedynczy przytytuw i odpływu raz dziennie. Taki układ nosi nazwę pływ dobowy (ang. *diurnal tide*). Półdobowe pływy (ang. *semidiurnal tide*) oznaczają dwa z grubsza równe przytytuwy i odpływy dziennie, tak jak przewidywał model Newtona. Pływy mieszane (ang. *mix tides*) oznaczają układ złożony z dwu nierównych przytytuwów i odpływów dziennie. Różne obszary mają różne układy pływów w zależności od miejsca i punktów amfidromicznych. Dlatego bardzo długie wybrzeże może mieć więcej niż jeden układ pływów.

Kształt i głębokość basenu oceanicznego wpływa na układy pływów. Skok pływ (ang. *range*), czyli różnica między przytytuwem a odpływu, zależy głównie od kształtu basenu i jego rozmiaru. Duże rozległe baseny mają zazwyczaj mniejszy skoki pływów niż baseny mniejsze i płytsze.

Pływy dzienne tworzą prąd, który wpływa i wypływa z zatok, rzek, portów i innych obszarów ograniczonych. Napływ nazywany jest prądem przytytuwowym (ang. *flood current*) a wypływ to *slack current*. Środek między przytytuwem a odpływu tworzy pływ martwy (ang. *slack tide*), gdzie niewiele wody ulega przesunięciu. Te zmiany pływ są ważne dla ludzi, których praca związana jest z morzem. Duże statki mogą być w stanie wejść lub wyjść z portu w czasie przytytuwu, który zapewni odpowiednią głębokość. Żaglowce często wykorzystują odpływu, który wyprowadza je w kierunku morza.

W pewnych przypadkach może powstać fala przytytuwu w ujściu rzeki (ang. *tidal bore*). Dzieje się tak, gdy przychodzący pływ tworzy falę, która wpływa do rzeki, zatoki czy innego względnie wąskiego obszaru. Jest to prawdziwa fala pływowa (tzn. wywołana pływem) i może sięgać kilku metrów wysokości. Na Amazonce i na rzece Severn w Anglii z takich fal przytytuwu korzystają surferzy.

Wpływ Księżyca na życie

Na Księżycu raczej nie ma życia, ale z pewnością istnieją pewne typy organizmów, na które Księżyc wpływa. Jeśli sobie przypominasz, litoral to obszar na dnie morza, który czasem, ale nie zawsze, znajduje się pod wodą. Jest to dno morskie, które codzienne pływy zakrywają i odkrywają.

Organizmy, dla których takie pływowe zbiorniki są schronieniem, przystosowały się do podnoszenia i opadania poziomu oceanu. Dotyczy to również odpornych glonów i skorupiaków, które mogą przetrwać kilkugodzinny odpływu, podczas którego są pozbawione wody. Inne organizmy litoralne przetrwiają w zbiornikach pływowych - miejscach, które zatrzymują wodę w czasie odpływu.

Organizmy Nielitoralne również przystosowały się do zjawiska pływów. Księżycówka (lunark, ang. grunion) to ryba o długości 12-15 cm, która zbiera się w nocy, by złożyć ikrę tuż po największym syzygijnym przytytuwie na południowo zachodnich plażach Północnej Ameryki. Wykorzystując nadzwyczajnie wysoki poziom wody, ryby składają jaja w piasku i wracają do morza. Chociaż rokroczne wędrówki księżycówek są dającym się przewidzieć wydarzeniem, na które czekają plażowicze, to jednak naukowcy wciąż nie mają pewności, skąd ryby wiedzą, kiedy wypłynąć na brzeg.

Co ciekawe, w 1981 roku odkryto, że również koralowce dostosowują czas rozmnażania do pływów. Uwalniają plemniki i jaja do wody w czasie pływ kwadrantowego (pływ minimalnego), przy minimalnych wahaniach pływowych. Wydaje się, że spokojna woda wpływa korzystnie na rozmnażanie, ponieważ pozwala plemnikom i jajom mieszać się i wydajniej zapłodnić

		
<p>Zbiorniki pływowe to jeden z przykładów na to, jak grawitacja Księżyca wpływa na ziemskie życie</p>	<p>Coroczne cykle pływowe rządzą rozmnażaniem księżycówek</p>	<p>Koralowce dostosowują czas uwolnienia plemników i jaj do cykli pływów. Rozmnażają się w czasie pływu kwadraturowego, przy minimalnych wahanach pływowych. Spokojna woda korzystnie wpływa na ich rozmnażanie</p>

Pływy syzygijne i kwadraturowe

Wpływ Księżyca na powstawanie pływów jest około dwukrotnie silniejszy niż wpływ Słońca. Grawitacja Słońca jest znacznie silniejsza, ale wpływa na zjawisko pływów słabiej niż Księżyc, ponieważ Słońce jest dużo dalej. Grawitacja Słońca i Księżyca inaczej oddziałuje na pływy, w zależności od położenia tych ciał względem Ziemi.

Gdy Słońce, Księżyc i Ziemia ustawione są w linii, ich siły grawitacyjne dodają się, podnosząc wybrzuszenia wód pływowych. Możesz ocenić, kiedy to się zdarzy, patrząc na fazę Księżyca. Kiedy jest nów (Księżyc jest niewidoczny), Księżyc i Słońce ustawione są po tej samej stronie Ziemi, a w czasie pełni, Księżyc i Słońce znajdują się po przeciwnych stronach Ziemi. Oba te układy tworzą najsilniejsze przyprływy i odprływy nazywane pływami syzygijnymi (ang. *spring tides*).

Gdy Księżyc jest w pierwszej lub w trzeciej kwadrze, linie łączące Księżyc, Ziemię i Słońce tworzą kąt prosty. Grawitacja Słońca osłabia wielkość wybrzuszenia wynikającego z przyciągania Księżyca. Prowadzi to do podniesienia odprływu i obniżenia przyprływu. Te słabsze pływy nazywane są kwadraturowymi (ang. *neap tides*).

Ekologia, Ekosystem a Nurkowanie

Teraz gdy posiadasz już podstawową wiedzę o charakterystyce fizycznej i procesach zachodzących w oceanie oraz innych środowiskach wodnych, przyjrzyjmy się ekologii, która bada zawite procesy łączące organizmy ze sobą i ze środowiskiem.

Ekologia

Wraz ze wzrostem świadomości ekologicznej, termin *ekologia* stał się modnym zwrotem często używanym przez media i polityków. Dlatego też wielu ludzi jest zaskoczonych, dowiadując się, że ekologia *nie jest* tym samym co ruch na rzecz ochrony środowiska. Zapewne masz ogólny pogląd na to, czym jest ekologia, ale aby o niej dyskutować przejrzyjcie i ze zrozumieniem, ważna jest precyzja i konkrety.

Ekologia to nauka badająca relacje między organizmami i między organizmami a środowiskiem. Ekologia obejmuje szeroki zakres dyscyplin, począwszy od biologii, fizyki, geologii, klimatologii, oceanografii, paleontologii, a skończywszy na astronomii. Poza czynnikiem *biotycznym* (dotyczącym życia), badanie ekologiczne dotyczy również aspektów *abiotycznych* (nieożywionych). Aspekty te obejmują temperaturę, wiatr, pH, prądy, minerały i światło słoneczne, o których już czytałeś. Ekologia bada również czynniki biologiczne, takie jak ilość i typ organizmów w środowisku. Ekologia analizuje relacje i oddziaływanie aspektów biotycznych i abiotycznych środowiska. Celem jest zrozumienie jak, poprzez relacje i oddziaływanie, zmiany w środowisku wpływają na organizmy w tym środowisku. W ekologii morskiej łączą się cztery dziedziny: oceanografia biologiczna, chemiczna, geologiczna i fizyczna. Również te same nauki znajdują zastosowanie, gdy badasz ekosystem wody słodkiej.

Przesuwająca się baza - Pomoc oceanom

Oceany pokrywają ponad 71% powierzchni Ziemi i głęboko wpływają na całe ziemskie życie - żywią ludzi, kierują układem pogody, zapewniają transport i zasoby naturalne oraz wspierają gospodarki. Niestety oceany są systematycznie degradowane w trudny do zauważenia sposób, zagrażający miejscom wyjątkowej piękności i zasobom żywności dla milionów. Aby podnieść świadomość zamierania oceanów i wdrożyć rozwiązania przywracające straconą przez oceany żywotność, społeczność musi przede wszystkim uświadomić sobie, jak wiele już straciliśmy. Przywrócenie oceanów do stanu sprzed kilkudziesięciu lat - to nie wszystko. Baza, którą mierzona jest kondycja oceanu, zmieniła się drastycznie - dwie czy trzy generacje wstecz była tu obfitość i piękno. Dziś ta baza jest znacznie osłabiona.

Według Shifting Baselines Ocean Media Project, baza (ang. baseline) jest punktem odniesienia z przeszłości - mówi, jak różne sprawy wyglądały dawniej. Jeśli pozwolimy, by ten punkt odniesienia przesunąć, pozbawimy się standardu pozwalającego na porównywanie obecnej kondycji oceanu z tym, co było w przeszłości. Ryzyko jest takie, że w końcu zaakceptujemy aktualny stan degradacji jako naturalny.

Przesuwająca się baza zwraca naszą uwagę na powagę problemu zamierania oceanu. Ocean jest wielki i do niedawna był w stanie sam się o siebie troszczyć. Jednakże pokazuje nam, że ludzkość przeciążyła jego zasoby i zdolność do zdrowienia. Niestety współczesne społeczeństwo nie zdaje sobie sprawy jak sytuacja stała się dramatyczna, od śmierci rafy koralowej, poprzez nadmierne odławianie lasów brunatnic, po globalny zanik łowisk. Problem stał się poważny.

Chociaż problemy oceanu są na poziomie zarówno globalnym, jak i na poziomie ekosystemu, ale nie wszystko jeszcze stracone. Kilkunastu wybitnych biologów morza i twórców filmowych zapoczątkowało kampanię na rzecz edukacji społeczeństwa o zamieraniu oceanów. Naukowcy i organizacje wierzą, że ludzie po prostu nie rozumieją, że stan oceanów poważnie się pogorszył i akceptują osłabioną kondycję oceanu jako coś normalnego.

Przykładem przesuwającej się bazy jest kondycja samych plaż. Młodzi w każdym wieku serfowali beztrudnie po dzikich błękitnych wodach, krystalicznie czystych u wybrzeży Kalifornii i Hawajów. Dziś, zanim wejdą do wody, zastrzyk przeciwtęczy i badanie na obecność pałeczek coli są niezbędnymi i wymaganymi procedurami poprzedzającymi surfing. Jest to praktyka akceptowana, ponieważ dzisiaj młodzi ludzie są nieświadomi nieskazitelności oceanu w przeszłości. Współczesnym ludziom brak punktu odniesienia (podstawy, bazy), by zrozumieć, o ile zdrowszy był ocean zaledwie kilka pokoleń wstecz.

Terminologia ekologiczna

Ekologowie używają określonych terminów stosowanych także przez biologów i innych naukowców. Zapewne niektóre z nich są ci dobrze znane. Jednak przy czytaniu dalszej części tego rozdziału, dobrze jest znać precyzyjne znaczenie poszczególnych terminów.

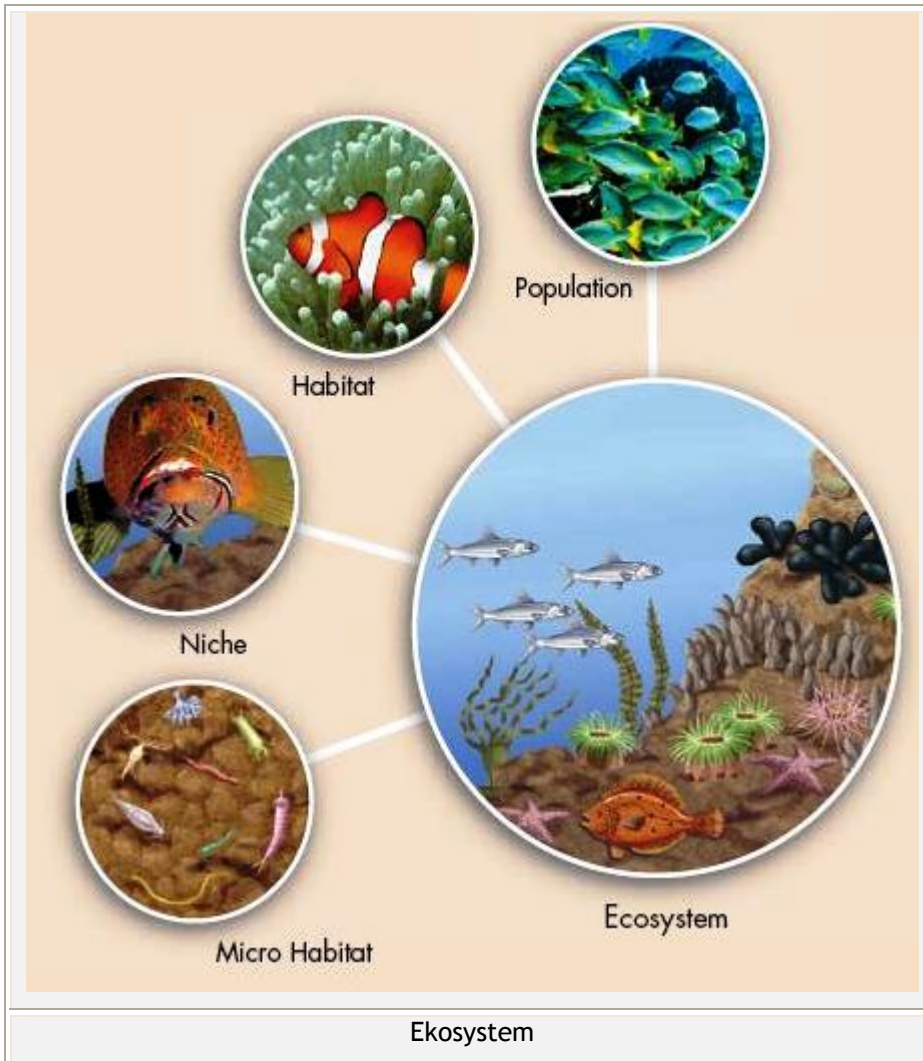
Znasz prawdopodobnie pojęcie *ekosystemu*. Ekosystem to odrębna jednostka zazwyczaj z wyraźnie zdefiniowanymi granicami fizycznymi, odrębnymi warunkami abiotycznymi, źródłem energii, środowiskiem organizmów oddziałujących, przez które przenoszona jest energia. Żaden system nie istnieje całkowicie w izolacji (z wyjątkiem warunków sztucznych). Ocean składa się z takich oddziałujących ekosystemów.

Środowisko to zbiór różnych organizmów żywych i oddziałujących w ekosystemie. Uwzględnia on wszystkie gatunki i typy organizmów. *Populacja* to grupa tego samego gatunku żyjąca i oddziałująca w środowisku. Oddziaływanie jest częścią definicji, ponieważ czasem dwie populacje tego samego gatunku żyją w jednym środowisku. Przykład taki istnieje u wybrzeży wyspy Vancouver w Kanadzie. W tych wodach stada ork żyją względnie blisko siebie, a jednak pozostają oddzielnymi populacjami, które rzadko ze sobą oddziałują. Na tyle na ile mogą to stwierdzić naukowcy, stada te nawet się nie krzyżują. Dlatego te oddzielne stada będą uważane za oddzielne populacje w środowisku.

Siedlisko (habitat) obejmuje obszar i warunki, w których występuje organizm. Pewne gatunki są przystosowane do bardzo specyficznych siedlisk, podczas gdy inne występują w różnorodnych siedliskach. Na przykład chitony (*wielopłytkowce*, ang. *chitons*) żyją w obszarze skalistego przedbrzeża², podczas gdy ośmiornice żyją w szerokim zakresie głębokości i w różnych częściach rafy. W porównaniu z ośmiornicą, chiton ma wąsko zdefiniowane siedlisko. *Mikrosiedlisko* istnieje w bardzo małej skali. Na przykład małe skorupki i robaki żyją w przestrzeni pomiędzy ziarnkami piasku na dnie morskim.

2 Przyp. tłum.: przedbrzeże - podwodzie, część brzegu między granicą przyprływu a odprływu

Rola organizmu w jego siedlisku nazywana jest jego *niszą*. Bardzo różne gatunki zajmują tę samą niszę. Na przykład na rafach koralowych krewetka czyszcząca (ang. *cleaner-shrimp*) i ryba czyszcząca (ang. *cleaner-fish*) żyją, żywiąc się pasożytami i obumarłą lub zranioną skórą ryb rafowych. Aby uniknąć nieporozumień co do siedliska i niszy, myśl o siedlisku jako o adresie organizmu, a o niszy jak o jego pracy.



Przeptyw energii i cykle odżywcze

Przeptyw energii przez sieć pokarmową wpływa na ekosystem, wyznaczając, jak wiele energii przenosi się z jednego poziomu organizmów do następnego, gdy organizmy zjadają się nawzajem. We wszystkich ekosystemach jest mniej drapieżników wysokiego rzędu niż zdobyczy niskiego rzędu. Ekosystem kształtowany jest przez wartość produktywności pierwotnej (ilość pożywienia produkowana przez autotrofy (organizmy samożywne) przeznaczona do konsumpcji przez dany okres). Wysoka produktywność pierwotna tworzy potencjał dla wielu organizmów na wysokich poziomach troficznych (poziomach konsumpcji) i potencjał dla wielu innych poziomów troficznych.

Podobnie, cokolwiek co wpływa na przepływ energii, będzie wpływać także na ekosystem. Na

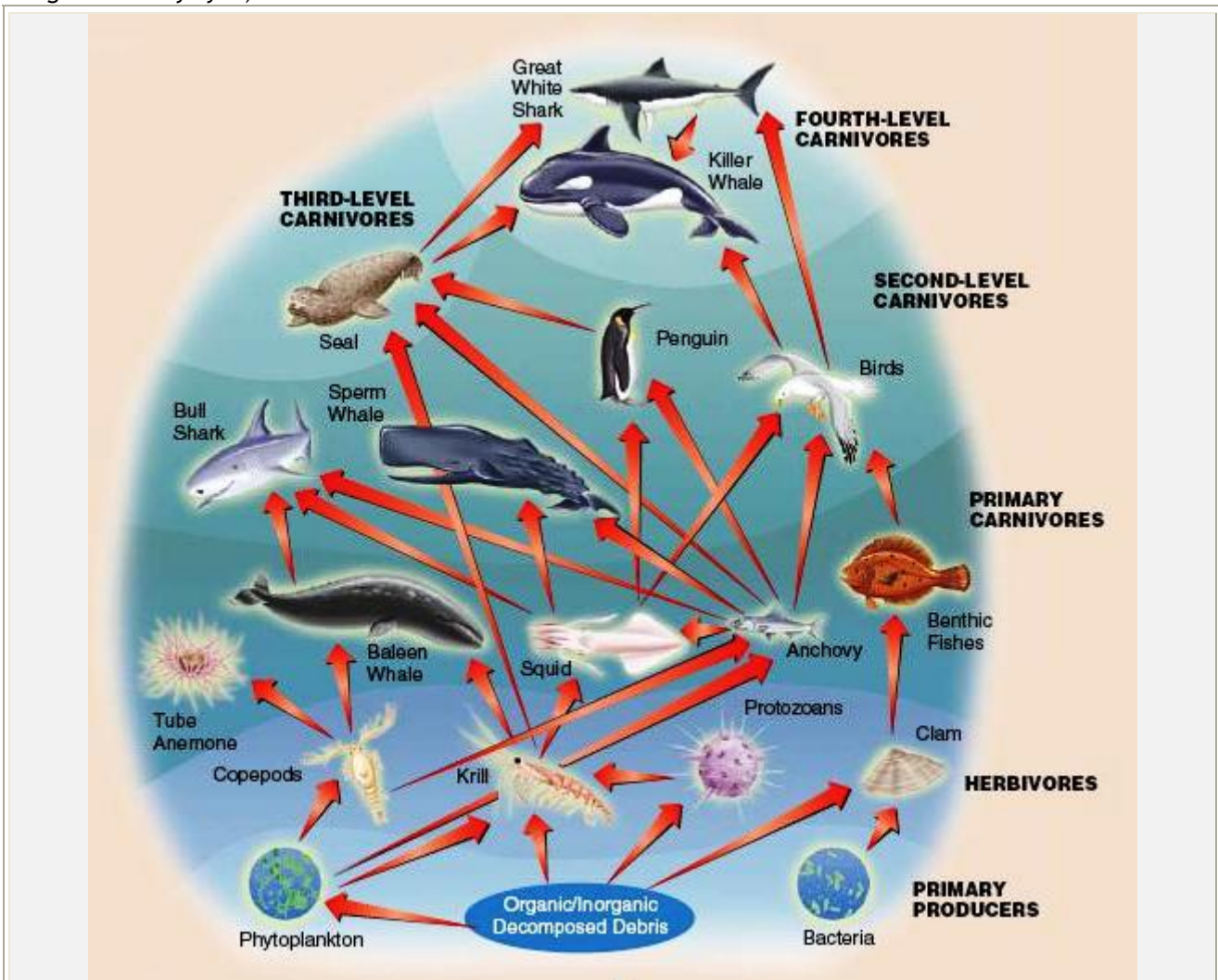
przykład, jeśli zanieczyszczenie powoduje znaczne osłabienie konsumentów pierwszego rzędu ekosystemu, zakłóca to przepływ energii do wyższych poziomów troficznych. Dlatego, nawet z wystarczającą produktywnością pierwotną, ekosystem może stracić ze środowiska wiele organizmów wysokiego rzędu.

Energia przepływa przez ekosystem, aż ostatecznie ginie jako ciepło w wodzie, atmosferze i przestrzeni. Z drugiej strony składniki pokarmowe nie giną. Węgiel, azot, fosfor i inne kluczowe pierwiastki krążą przez ziemskie ekosystemy. Cykl węgla jako składnika pokarmowego jest podstawą dla większości biomasy we wszystkich ekosystemach. Jak już czytałeś wcześniej, węgiel to podstawą dla całego życia.

Cykl azotowy uważany jest za bardziej ograniczony w ekosystemach wodnych niż ekosystemach lądowych. Jak już się dowiedziałeś, dzieje się tak, ponieważ azot nieorganiczny musi być związany w składnikach organicznych, zanim organizmy będą mogły go użyć. Bakterie azotowe żyją głównie w ekosystemach lądowych. (Jednakże obecnie część naukowców podejrzewa, że bakterie azotowe mogą być bardziej powszechne niż wcześniej myślano w ekosystemach morskich.) Odchody ptaków morskich, erozja, odpływ niosą ze sobą azotowe składniki organiczne (i fosforowe) ze środowiska lądowego do morskiego.

Znaczenie ekologiczne cykli pokarmowych jest zazwyczaj większe niż znaczenie przepływu energii. Wynika to z tego, że składniki pokarmowe w większym stopniu niż energia ograniczają ilość organizmów, które mogą żyć w danym ekosystemie. Możesz to sam stwierdzić, porównując wiele ciepłych, tropikalnych ekosystemów morskich z zimnymi, umiarkowanymi ekosystemami morskimi. Ekosystemy tropikalne mają przeważnie więcej dostępnej energii (światła słonecznego), a jednak warunki oceaniczne nie zapewniają im tak wielu składników pokarmowych. Jedynie kilka wydajnych ekosystemów morskich (rafy koralowe)

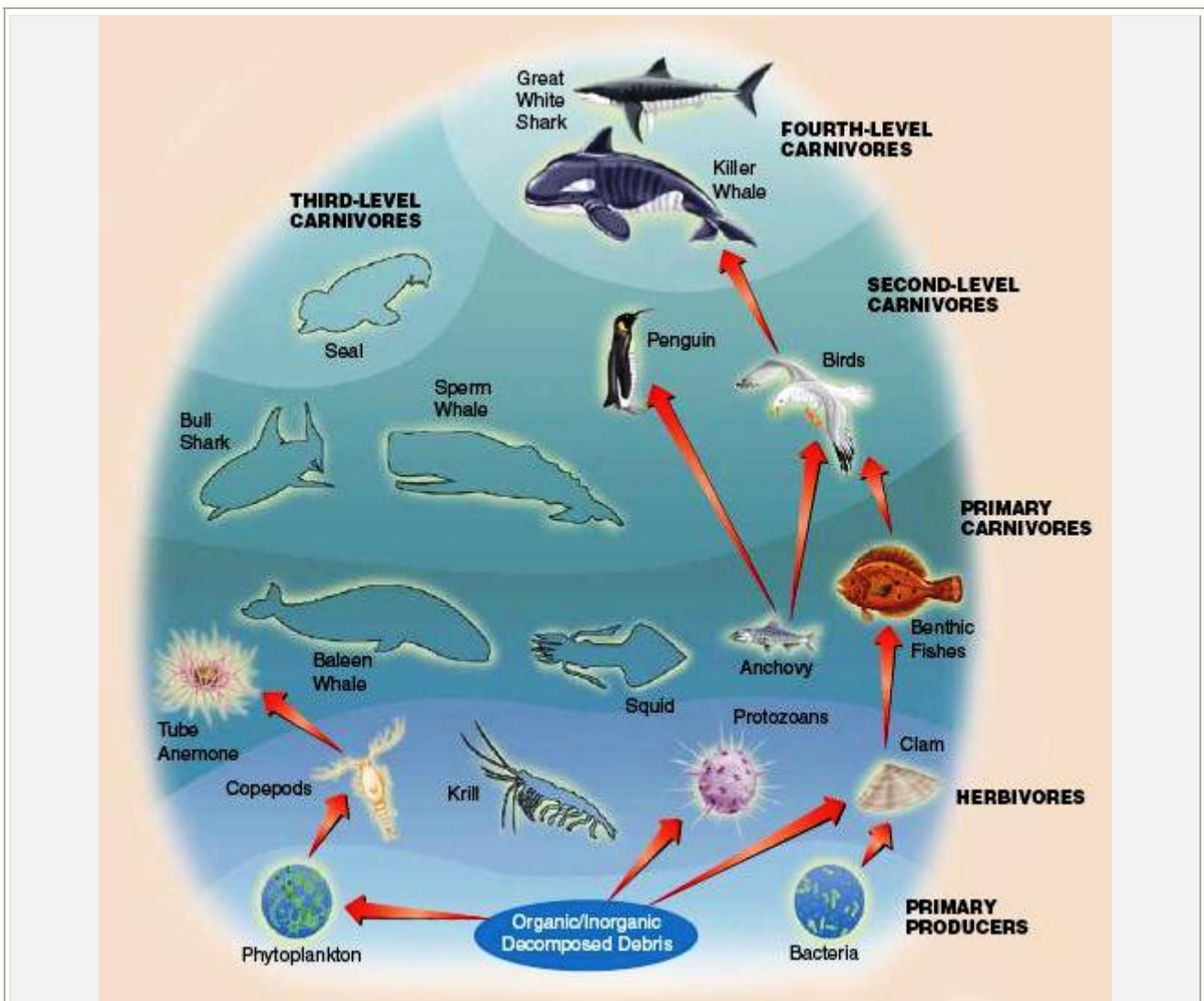
istnieje w wodach tropikalnych. Umiarkowane wody przybrzeżne mają stosunkowo mniej światła słonecznego, ale otrzymują dużo więcej składników pokarmowych i produkują dużo więcej biomasy (masy organizmów żywych).



Przykład na to jak energia przepływa przez funkcjonujący ekosystem

Ekosystemy na otwartym morzu

Przyjrzyjmy się ekosystemom występującym na otwartym oceanie i kilku głównym grupom, które stanowią większość organizmów morskich tam żyjących. Możesz myśleć o tym jako o ekosystemach innego rodzaju niż te, które widywałeś w czasie nurkowania, i do pewnego stopnia masz rację. Z drugiej strony, część tych ekosystemów oddziałuje ściśle z ekosystemami przybrzeżnymi, a wszystkie one odgrywają ważną rolę w utrzymaniu globalnego ekosystemu, od którego zależy całe życie.



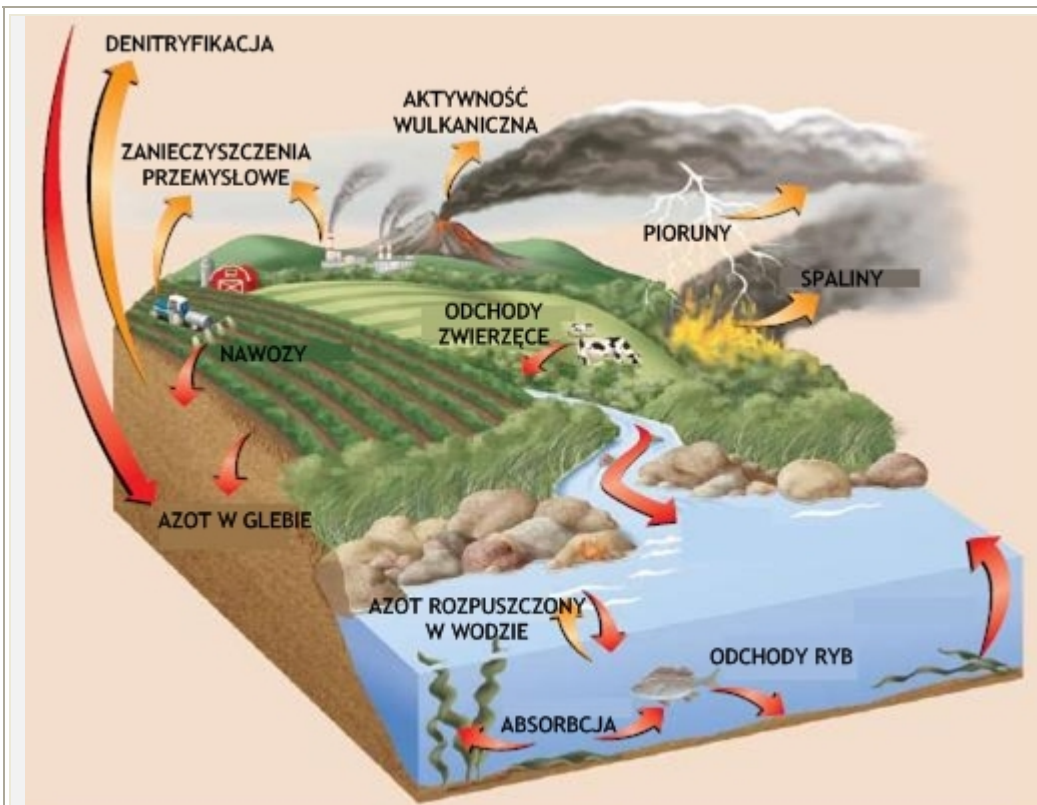
Znaczny spadek w ekosystemie konsumentów pierwszego rzędu zakłóca przepływ energii do wyższych poziomów troficznych. Zauważ zmniejszenie ilości i typów zdobyczy dostępnych orkom. Populacja ta będzie cierpieć w tym ekosystemie, chyba że przeniosą się na bardziej wydajne tereny

Ekosystem neustonowe



Czerwone zabarwienie pewnych bruzdnic nadaje szkodliwemu kwitnieniu alg nazwę „Czerwony Przyptyw”

Wcześniej dowiedziałeś się, że neuston to plankton, który żyje, dryfując na powierzchni morza. Środowisko to tworzy bardzo cienki ekosystem - w wielu wypadkach głębokość wynosi kilka milimetrów. Mimo to neuston tworzy ważny ekosystem. Dzieje się tak, ponieważ otrzymuje on maksimum światła słonecznego i ponieważ pokrywa około 71% powierzchni Ziemi. Populacje *sinic* (cyanophyte) okrzemków (*diatom*), bruzdnic (*dinoflagellate*) - wszystkie formy fitoplanktonu - w ekosystemie neustoniu mogą być 10 tysięcy razy liczniejsze niż w warstwie wody kilka milimetrów głębiej. To czyni strefę neustoniu ważnym ekosystemem dla produktywności pierwotnej na całym świecie.



Azot atmosferyczny musi być związany w innych składnikach, takich jak azotan czy amoniak, zanim organizmy będą mogły go użyć. Ostatnie dowody wskazują, że bakterie azotowe mogą być znacznie powszechniejsze w środowiskach morskich niż wcześniej naukowcy uważali

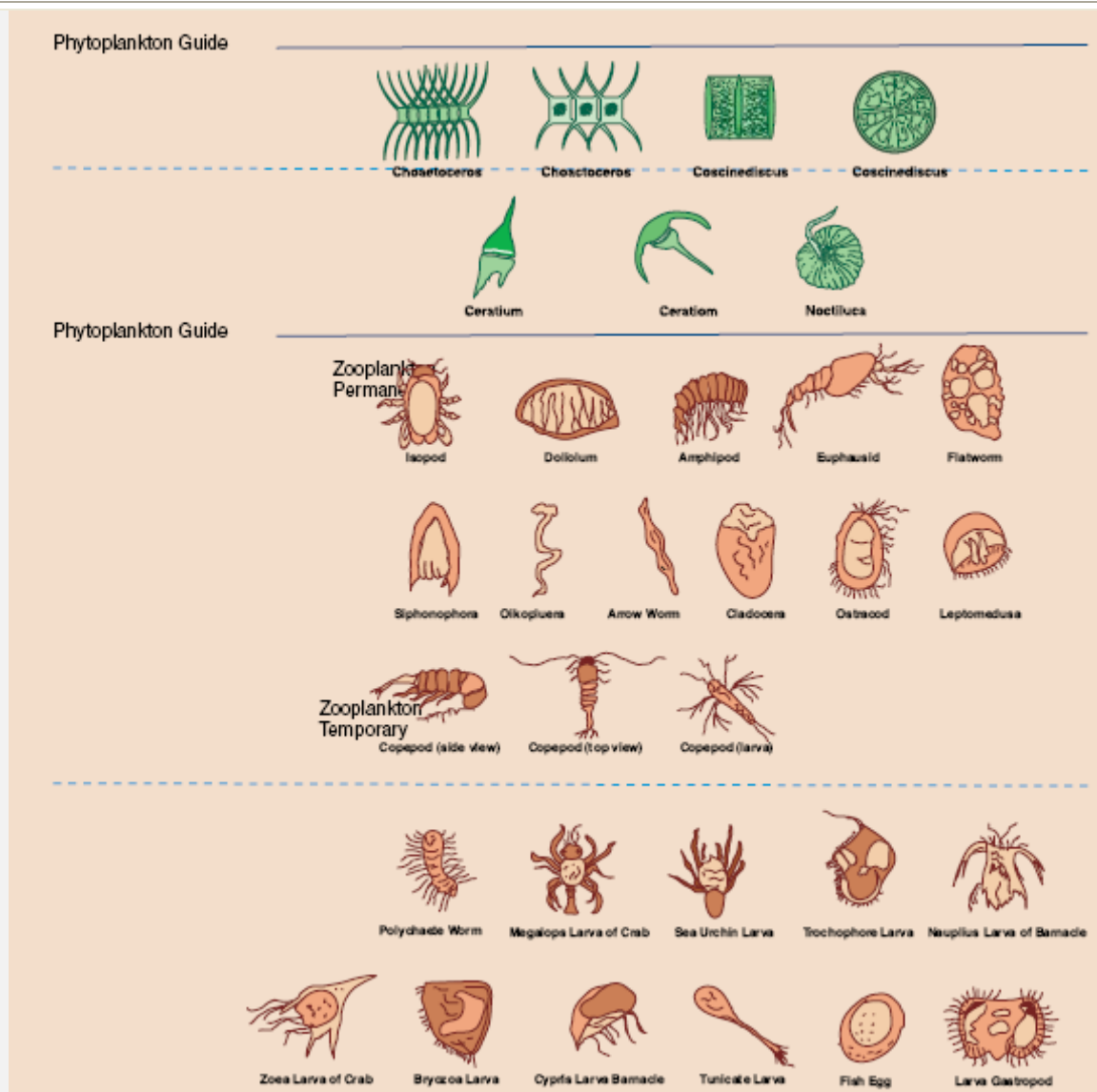
Glony morskie są oceanicznym odpowiednikiem roślin lądowych i odpowiadają za 90% produktywności pierwotnej i produkcji tlenu na Ziemi. Od wielkich listownic (klasa brunatnic, ang. *kelp*) do fitoplanktonu, glony są fundamentem dla całego morskiego życia. Glony są prawdopodobnie najbardziej istotnymi organizmami niezbędnymi do zrozumienia ekosystemu neuston.

Okrzemki (ang. *diatoms*, gromada *Bacillariophyta*) są powszechne tak w środowisku morskim, jak i słodkowodnym. Jest ich od 5000 do 50 000 gatunków. Występują jako swobodnie dryfujące, przyczepione do jakiegoś podłoża w postaci cienkiej narośli lub tworzą kolonie podobnie jak sinice (ang. *blue-green algae*). Większość z nich jest mikroskopijna, dlatego na ogół pozostają niezauważone. Dwie wyróżniające cechy okrzemków to obecność ściany komórkowej wysyczonej krzemionką oraz ich oliwkowe i żółtobrazowe zabarwienie, spowodowane głównym pigmentem fotosyntetycznym - chlorofilem. Krzemionkowa ściana komórkowa przybiera różną rzeźbę w zależności od gatunku. Często są to prążki, zagłębienia, pory, guzki, kolce i in.



Bioluminescencja wywołana jest przez małe bruzdnice. Wiele nocnych i głębokowodnych gatunków używa bioluminescencji do wabienia ofiar

Ponieważ okrzemki biorą udział w fotosyntezie, w miesiącach zimowych przechodzą w stan spoczynku. Wiosną, gdy poziom światła słonecznego podnosi się, okrzemki rozpoczynają fotosyntezę, wzrastając i rozmnażając się gwałtownie. W szczytowym okresie wzrostu, w przeciągu dwu tygodni z pojedynczego macierzystego osobnika może powstać ponad milion okrzemków. Z tego powodu okrzemki uważa się za odpowiedzialne za produkcję około 25% fotosyntetycznej biomasy na Ziemi. W czasie zakwitów okrzemków żywi się nimi inny plankton i ryby.



Chociaż organizmy, które tworzą neuston, są jednymi z najmniejszych stworzeń w oceanach, są jednocześnie jednymi z najważniejszych. Ponieważ przeważnie ich nie widzisz, łatwo je przegapić. Z tego powodu środowisko to pozostawało nieodkryte, aż ktoś przeciągnął gęstą sieć pod wodą i zbadał jej zawartość pod mikroskopem

Okrzemki są jednym z gatunków planktonu, który może powodować *Szkodliwe Kwitnienie Alg* (ang. *Harmful Algae Blooms, HAB* - czasem nazywany czerwonym przyptywem, lub zakwitem (przyp. tłum)). Pewne okrzemki produkują toksyny, które następnie ulegają koncentracji w rybach i innych gatunkach w czasie HAM i mogą po ich zjedzeniu spowodować zatrucie u ludzi.

Bruzdnice są drugą najbardziej wydajną grupą *producentów pierwotnych* (jest to inna nazwa autotrofów, nazywanych tak ponieważ są pierwszymi, czy też pierwotnymi, środkami, dzięki którym energia staje się dostępna życiu). Znanych jest około 1100 gatunków, z czego większość (93%) to gatunki morskie. Jest to szczególnie ciekawa grupa organizmów, ponieważ ich charakterystyka jest wspólna tak dla roślin, jak i dla zwierząt. Tak jak inne prawdziwe rośliny, większość bruzdnic zawiera fotosyntetyczne pigmenty i może samodzielnie wytwarzać pożywienie. Jednakże tak jak zwierzęta mogą przemieszczać się po wodzie, używając długich, podobnych do biczów, przydatków nazywanych *wiciami* (*flagellum*). Z tego powodu ich powiązania do innych organizmów są niejasne. Część naukowców uważa, że bruzdnice mają jednak więcej wspólnego ze zwierzętami niż z roślinami.

Bruzdnice rozmnażają się bezpłciowo poprzez podział. Pod wpływem dobrych warunków środowiska mogą rozmnażać się gwałtownie, podwajając swoją populację z każdym podziałem. W wyniku tego mogą się stać gatunkiem dominującym w miejscowym zbiorowisku planktonu, co jest inną formą HAB. Zjawisko to wynika z gwałtownego wzrostu (kwitnienia) w populacji pewnych gatunków bruzdnic, które

mają czerwone zabarwienie i mogą drastycznie obniżyć twoją widoczność pod wodą. Wtedy HAB nazywany jest „czerwonym przyptywem”.

Oprócz zabarwienia wody i ograniczenia widoczności, tak jak w krzemkowym HAB, czerwone przyptywy mogą wywołać poważne choroby, nawet śmiertelne, u innych form życia morskiego i lądowego, a nawet u ludzi. Gatunek bruzdnic z rodzaju *Gonyaulax* produkuje toksynę nazywaną saksytoksyną (ang. *saxitoxin*). W czasie czerwonych przyptywów, gatunek ten jest tak liczny, że organizmy filtrujące jedzenie z wody, takie jak małże i ostrygi, zaczynają kumulować toksynę w tkance. Zjedzenie małży czy innych owoców morza, zawierających te toksyny, może spowodować chorobę, a nawet śmierć. Choroba ta nazywana jest *paralitycznym zatruciem mięczakami* (ang. *paralytic shellfish poisoning* - PSD). W czasie miesięcy letnich w strefach umiarkowanych, jeśli zostanie zaobserwowany czerwony przyptyw, część plaż może być zamknięta dla zbieraczy małż.

Kolejnym fenomenem wywołanym eksplozją populacji bruzdnic jest zjawisko powszechnie, a zarazem błędnie, określane mianem „fosforescencji” wody nocą. Możesz go zobaczyć w nocy w postaci wirujących rozbłysków, gdy wiosło zanurza się w wodzie lub gdy łódź motorowa tworzy kilwater. W rzeczywistości jest to *bioluminescencja*, a powodują ją małe bruzdnice, które wytwarzają „zimne” światło, gdy są poruszane czy potrząsane np. przez twoje płetwy w czasie nurkowań nocnych. Przeważnie odpowiedzialni są za to zjawisko przedstawiciele rodzaju *Noctiluca*.

Ekosystem neustonowy jest ostatnio poddawany badaniom, ponieważ pojawia się wiele substancji zanieczyszczających, które głęboko na niego wpływają. Co zaskakujące, wykonano zaledwie kilka badań porównujących warstwę neustonową z warstwami wody poniżej. Analiza ta pokazała, że warstwa kilku pierwszych milimetrów aż do kilku centymetrów znacznie różni się od głębszych warstw wody. Przeważnie, poza wszystkimi innymi substancjami, warstwa neustonowa utrzymuje znacznie więcej składników pokarmowych i związków węgla. Napięcie powierzchniowe podtrzymuje jaja, larwy i mikroskopowe życie na górnej warstwie wody.



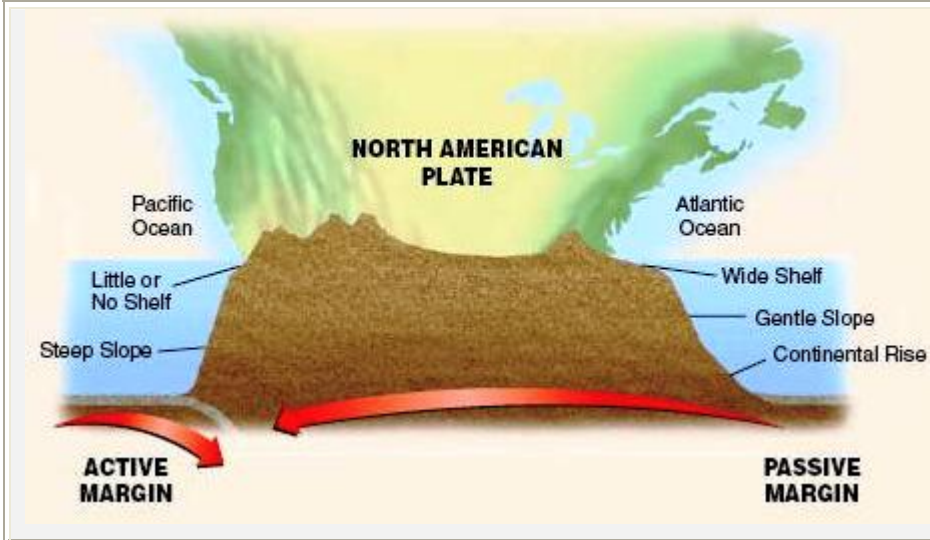
Największym środowiskiem neustonowym jest Morze Sargassowe, które znajduje się północnej części Oceanu Atlantyckiego

Jednakże nie jest to prawda ogólna. W pewnych miejscach fotosynteza i produktywność pierwotna jest znacznie poniżej neustonowej. Jedną tego przyczyną może być *fotoinhibicja* (ang. *photoinhibition*), która polega na zbyt silnym nasłonecznieniu, które powoduje obniżenie produktywności pierwotnej. Fotoinhibicja jest powszechna w morzach tropikalnych. Ponieważ jest tam mało wody do ochrony organizmów neustonowych, światło ultrafioletowe może być przyczyną części fotoinhibicji. Jeśli to prawda, to naruszenie ozonu może spowodować, że gdy światło UV będzie docierać do powierzchni Ziemi, fotoinhibicja będzie wyrządzać coraz większe szkody.

Drugi czynnik obniżający produktywność pierwotną w ekosystemie neustonowym to zanieczyszczenia. Ołów, żelazo, nikiel, miedź i ropa naftowa często koncentrują się w warstwach neustonowych, podobnie jak korzystne składniki pokarmowe. W związku z globalnym ociepleniem, naukowców interesuje, w jaki sposób zanieczyszczenia wpływają na ekosystemy neustonowe. Ocean może zmniejszyć globalne ocieplenie poprzez absorpcję dwutlenku węgla. Atmosferyczny dwutlenek węgla rozpuszcza się w wodzie morskiej poprzez warstwy neustonowe. Zanieczyszczenia, które wpływają na te warstwy, mogą stworzyć barierę, która spowolni lub zastopuje rozpuszczanie dwutlenku węgla (i innych gazów) w wodzie.

Dryfujące resztki, czy to naturalne, czy też wytworzone przez człowieka, działają jako potencjalna ochrona i przyciągają morskie istnienia. To tworzy odrębne ekosystemy neustonowe, które rozwijają się wokół dryfujących w wodzie materiałów. Największy na świecie dryfujący ekosystem to

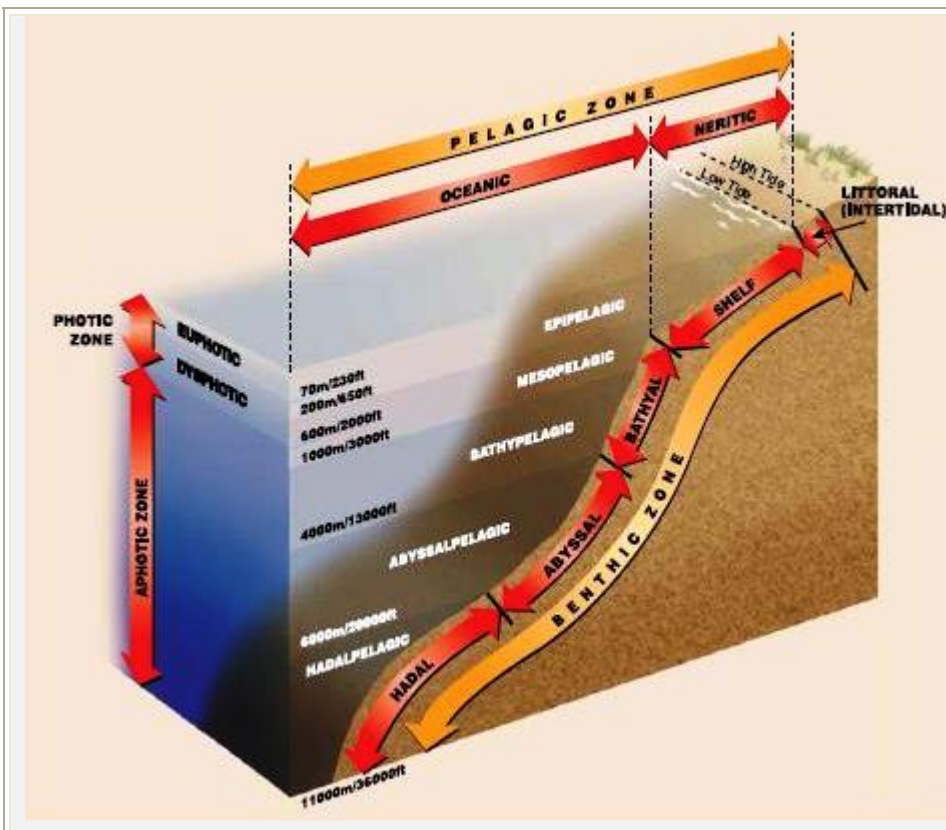
Morze Sargassowe (ang. *Sargasso Sea*). Części brunatnic z rodzaju *Sargassum* gromadzi się w środku północnoatlantyckiego wiru (kołowy prąd w basenie oceanicznym wywołany efektem Coriolosa), dryfując w masywnym swoistym dywanie i żywiąc złożoną biocenozę. Brunatnice te tworzą ogromne dryfujące masy, które utrzymują całe środowisko neustonowe. Do gąszczu *Sargassum* wchodzi również różne gatunki małych ryb, skorupiaków i innych organizmów. Są to gatunki, które normalnie łączymy z ekosystemami bliskimi linii brzegowej. Z drugiej strony rybka sargassowa (ang. *Sargassum fish*) jest gatunkiem żabnicy (ang. *frogfish*) przystosowanym specjalnie do życia w takim ekosystemie. Dostosowała się do warunków *Sargassum*, polując na małe skorupki i ryby.



Strefa nerytyczna to słup wody powyżej szelfu kontynentalnego. Płyta Północnej Ameryki ma szeroki wschodni szelf kontynentalny i dlatego tam strefa nerytyczna jest większa niż na zachodnim wybrzeżu

Morze Sargassowe i inne ekosystemy neustonowe wokół dryfujących resztek są kolejnym przykładem oddziaływania ekosystemów. Ryby drapieżne ukrywają się pod glonami sargassowymi lub pod resztkami, żywiąc się rybami i innymi częściami neustonowe, który tam żyje. Z kolei te drapieżniki dostarczają pożywienie rybom pelagicznym, rekinom, delfinom i innym dużym drapieżnikom.

Szef Kontynentalny



Ponieważ szelf kontynentalny jest stosunkowo płytki i położony blisko linii brzegowej, strefa nerytyczna korzysta ze składników pokarmowych spływających z lądu. Składniki te wznoszą się również wraz z prądami z poziomu głębokiej wody. Połączenie przenikania światła, małej głębokości i wielu składników pokarmowych uczyniło szelf kontynentalny bardzo ważnym w świecie wodnym i jednym z głównych odwiedzanych przez nurków ekosystemów

Jak już wiesz, strefa nerytyczna (płytkomorska, ang. neritic zone) to obszar wody między punktem odpływu a krawędzią szelfu kontynentalnego. Obszar ten może sięgać od zaledwie kilku do kilkuset kilometrów w głąb morza. Jest to znaczący ekosystem morski, ponieważ jest najbardziej produktywnym biologicznie obszarem oceanu i jedną z tych stref, w której najczęściej nurkujemy.

Głębokość szelfu kontynentalnego rzadko przewyższa 200 metrów (650 stóp). Dzięki temu składniki pokarmowe zatrzymywane są w płytkiej strefie fotycznej (ang. photic zone) a woda, nagrzana Słońcem, pozostaje ciepła. Będąc blisko linii brzegowej, strefa nerytyczna korzysta również ze składników pokarmowych spływających rzekami. Biopierwiastki wznoszą się również wraz z prądami z głębokiej wody na krawędź szelf i także biologicznie wzbogacają tę strefę. Wszystko to powoduje, że przybrzeżny ekosystem oceaniczny jest wysoce produktywny i jednocześnie stanowi wymarzone miejsce nurkowe.

Wyptywanie wód głębinowych - upwelling

Wyptywanie wód głębinowych (prąd wznoszący, ang. *upwelling*) odgrywa znaczącą rolę w produktywności biologicznej przybrzeżnych ekosystemów oceanicznych. Dzieje się tak, ponieważ wyptywanie wód głębinowych przenosi składniki pokarmowe z wód głębokich na płytkie, które są bardziej produktywne. Jest to szczególnie ważne, biorąc pod uwagę składniki pokarmowe, które opadają na względnie mniej produktywne dno w głębokiej oceanicznej strefie abisalnej.

Wiatr powoduje upwelling, ponieważ tworzy prądy, które pchają wodę powierzchniową blisko brzegu na otwarte morze lub w dół wybrzeża. Gdy wody powierzchniowe odpłyną, głębsze pokłady wody wpłyną na ich miejsce, niosąc ze sobą składniki pokarmowe. Na większości obszarów, jeśli nastąpi wyptyw wód głębinowych, łatwo go zauważysz. Jeśli prąd znoszący właśnie się rozpoczął, woda będzie przejrzysta i zimna.

Czasem możesz zobaczyć oznaki związane z biologiczną aktywnością, takie jak ławica żerujących rybek-przynęt (ang. *schools of feeding baitfish*). Często, kilka dni po wyptywie wód głębinowych, widoczność spada na skutek podwyższonego przyrostu planktonu ze składników pokarmowych w wodzie.

Rola prądów wznoszących jest niewątpliwa, ponieważ obszary o największej aktywności wyptywu mają jednocześnie największy poziom składników pokarmowych i na ogół najwyższą produktywność. Przykładem są przybrzeżne wody Peru, Morze Beringa, Grand Banks na Atlantyku i głębokie wody otaczające Antarktydę.



Wyptyw wód głębinowych z głębokich warstw oceanu na płytkie i zstępujący szelf kontynentalny

Prądy wznoszące a przetrwanie

Jedną z najstraszniejszych opowieści o przetrwaniu to opowieść o amerykańskim badaczu Erneście Shackletonie. Shackleton dotarł do Antarktydy z 28-osobową załogą na statku Endurance pod koniec 1914 r. Ich planem było przejść Antarktydę z psimi zaprzęgami. Jednak Antarktyda, jak pokazała historia, miała inne plany.

W styczniu 1915 r. Endurance wybrał drogę przez dryfujący lód, próbując zacumować. Shackleton szukał najkrótszej drogi przez kontynent. Jednakże wraz z nadejściem zimy dryfujący lód wielokrotnie blokował statek. Piętrzący lód stawał się grubszy i mimo prób posuwania się naprzód, 19 stycznia 1915 r. Endurance został unieruchomiony między krami. Shackleton wiedział, że on i jego ludzie muszą pozostać tam przez długą zimę, bo kry nie puszcza się aż do wiosny.

Załoga mieszkająca na Endurance zużyła zapasy zabrane na ekspedycję. Mądry dowódca ciągle zlecał jakieś projekty załodze, aby byli wciąż zajęci. Zdawał sobie sprawę, że lepiej, aby byli zbyt zajęci i nie mieli czasu na smutki czy wątpliwości.

Myśląc długofalowo, Shackleton wiedział, że zapasy żywności, choć obfite, prawdopodobnie nie wystarczą na długie miesiące, które ich czekają. Załoga zajmująca się polowaniem to załoga pochłonięta działaniem i jednocześnie zapewniająca prowiant. Na piwrszy rzut oka byli na jałowej Antarktydzie, na lądzie bez lasów czy roślin. Shackleton wiedział jednakże, że na oko jałowa Antarktyda, jest naprawdę bogatym ekosystemem. Daleka od bycia pozbawiona życia, z morzami będącymi najobfitszymi obszarami ziemskimi. Morskie ssaki, ptaki i ryby zapewniły załodze niezbędnego pożywienia. Przede wszystkim łowili foki i pingwiny. Z nadejściem zimy ich ilość spadła. Załoga była świadkiem sezonowego narastania i opadania ekosystemów polarnych. Antarktyda eksplodowała życiem na wiosnę i lato, zimą stawała się wymarłą.

Załoga Endurance była zmuszona pozostać na brzegu przez cały 1915 r. W październiku znów zaczęto szukać fok i pingwinów, a 27 października grube kry zmiażdżyły statek. Shackleton przeprowadził swoich ludzi przez lód na nogach i łodzią na Wyspę Słoniową, gdzie dotarli 16 kwietnia 1916 r. Po kilku tygodniach planowania Shackleton i pięciu towarzyszy pozęgłowało w malej, otwartej łodzi do Georgii Południowej, najbliższego zamieszkałego przez ludzi miejsca. Było ono oddalone o ponad 1289 km, a przebyć należało jedno z najburzliwszych mórz świata. Dotarli tam 10 maja. Po ponad tygodniu dotarli do stacji łowiącej wieloryby.

Aż do 30 sierpnia zajęto Shackletonowi wyposażenie statków i powrót na Wyspy Słoniowe, by uratować swoją załogę. Wszyscy przeżyli 105 dni oczekiwania na ratunek. Przetrwali żywiąc się głównie mięsem fok i pingwinów - hojny dar jednego z najbardziej produktywnych ekosystemów.

Ekosystemy przybrzeżne

Ekosystemy przybrzeżne nie są tymi, o których najczęściej myślimy, planując nurkowanie. Jednakże ekosystemy te są ważne z powodu ich oddziaływania z innymi ekosystemami. A ponieważ nie są typowymi miejscami nurkowymi, możesz znaleźć przyjemność, nurkując w nich.

Ekosystemy przybrzeżne są przeważnie wysoce produktywnymi z podobnych powodów jak ekosystemy szelfu kontynentalnego. Korzystają z bogatego w składniki pokarmowe spływu wód lądowych. Ponieważ są płytkie, organizmy bentosowe w tych ekosystemach żyją w górnej strefie foteicznej zamiast w dolnej, tak jak ma to miejsce na otwartym morzu. Rośliny słonolubne mogą rosnąć na dobrze naświetlonych płyciznach, dając schronienie. Rośliny te działają jako podstawa dla kilku różnych typów ekosystemów, które nie mogą istnieć na otwartym oceanie. Połączenie składników pokarmowych, obfitości światła i osłony czyni ekosystemy przybrzeżne urozmaiconymi i bogatymi. Mimo że na ogół nie spotykasz dużych organizmów w ekosystemach przybrzeżnych, zapewniają one azyl dla młodocianych przedstawicieli gatunków żyjących na otwartym oceanie. Na przykład w ten sposób lasy mangrowe (ang. *mangrove swamps*) dbają o zdrowie rafy koralowej.

Aktywność ludzka w rozległy sposób wpływa na ekosystem przybrzeżny. Skutki są tak zróżnicowane, jak i natychmiastowe. Historycznie ludzie zawsze mieli skłonność do życia nad wodą, tym samym zbliżając się do tego ekosystemu. Oznacza to, że wiele z naszej działalności potencjalnie wpływa na ekosystem przybrzeżny, choć nie zawsze jest to takie oczywiste. Na przykład rolnictwo może zmienić te ekosystemy, gdy nadwyżka nawozu zostanie wymyta do morza wraz z opadami deszczu. Różnorodność działań ludzkich jest tak szeroka, że nie zawsze potrafimy przewidzieć wszystkie ich skutki dla ekosystemu.

Ponieważ konsekwencje są natychmiastowe, skutki dla ekosystemu nadbrzeżnego mogą być dużo poważniejsze. Na przykład substancje zanieczyszczające często dostają się do ekosystemu w postaci zagęszczonej. Dla kontrastu, ekosystemy oceanu otwartego korzystają na osłabieniu tych efektów na

wodach otwartych. Pewne głębokie i dalekie ekosystemy morskie położone są w takim oddaleniu od ludzkiej działalności, że jej efekty są minimalne (przynajmniej do tej pory).

Jeden szczególny problem dotyka ekosystemu przybrzeżnego, mianowicie *eutrofizacja*, czyli nadmiar składników pokarmowych, które powodują nierównowagę ekologiczną. Eutrofizacja jest bodźcem dla jednych gatunków i zgonem dla innych. Spływ nawozów może obniżyć nadmiar składników pokarmowych w wodzie, pobudzając nadmierny wzrost alg, czy też kwitnienie alg. Gdy algi umierają, rozkład biomasy zużywa dostępny tlen. Zmniejszenie ilości tlenu zabija ryby i inne organizmy morskie. Choć są i inne przyczyny szkodliwego kwitnienia alg (HAB), eutrofizacja jest najbardziej znaczącą.

Estuarium

Estuarium (ujście rzeki) istnieje tam, gdzie pływy spotykają rzeki. Nie występuje zawsze wszędzie, gdzie rzeka wpada do morza, ale jest powszechne tam, gdzie zakres pływów jest duży. Pozwala to przyptywom popychać wodę w górę rzeki, często zalewając duże połacie lądu. Estuaria mogą tworzyć wielkie, złożone delty (o których czytałeś wcześniej) tworzące zatoczki, laguny i wysepki, lub być prostymi akwenami rzecznyimi wpadającymi do morza.

Estuaria wyłapują i kumulują spływający osad, są więc bogate w składniki pokarmowe i biologicznie produktywne. Większość głównych rzek Ameryki Północnej, spływając do Atlantyku, wpada najpierw do estuariów. Dlatego właśnie Północny Atlantyk nie ma zbyt wiele osadu tak jak inne baseny oceaniczne z podobnymi rzekami. Niestety, powoduje to również, że estuaria są szczególnie czułe na eutrofizację, ponieważ te same procesy wyłapują nadmiar składników pokarmowych, jak i spływający nawóz.



Estuaria działają jak wysypisko śmieci, filtr i absorber składników pokarmowych (i substancji zanieczyszczających). Ciągłe uzupełnianie składników pokarmowych skutkuje wysoką produktywnością pierwotną. Estuaria sięgają od prostych ekosystemów takich jak rozległy akwen rzeki wpadającej do morza (rozlewisko) po wielkie, złożone delty tworzące zatoczki, laguny i wysepki.

Estuaria działają jak wysypisko śmieci, filtr i absorber składników pokarmowych (i substancji zanieczyszczających). Część ekologów nazywa estuaria „nerkami” biosfery z powodu ich oczyszczających funkcji. Ciągłe uzupełnianie składników pokarmowych skutkuje wysoką produktywnością pierwotną z glonów i halofitów - roślin słonolubnych. To z kolei utrzymuje duże środowisko organizmów.

Pewne czynniki ograniczają produktywność w estuarium. Po pierwsze organizmy tego ekosystemu muszą tolerować szeroki zakres zasolenia. *Stres osmotyczny* (ang. *osmotic stress*), czyli zmiana zasolenia, która powoduje, że woda dyfunduje do lub z organizmów wodnych, wywołany rosnącymi i opadającymi falami, które mieszają się z wodą słodką, okazuje się zgonny w skutkach dla wielu organizmów. Przypominasz sobie, że część organizmów toleruje duży zakres zmienności poziomu zasolenia, ale większość jednak nie. Dlatego zmienność zasolenia prowadzi do zmniejszenia ilości gatunków żyjących w estuarium.

Rośliny kwitnące w siedliskach morskich są gatunkami lądowymi zaadaptowanymi do życia w słonowodnych estuariach, równinach wodnych, zalewanych falami skalistych wybrzeżach. Istnieje około

ćwierć miliona gatunków roślin lądowych i zaledwie około 200 zidentyfikowanych roślin żyjących w środowisku morskim.

Rośliny wodne można podzielić na dwa zasadnicze grupy: zanurzone (ang. *submergent*, rośliny, które żyją całe zanurzone) i rośliny o liściach pływających (ang. *emergent*, rośliny, które żyją, mając korzenie zanurzone, ale znaczna część rośliny wzrasta nad wodą)³. Jednakże mimo małego zróżnicowania gatunkowego, rośliny wyższe morskie grają zadziwiająco istotną rolę w kondycji zdrowotnej oceanów. Tylko dwie grupy roślin tkankowych z powodzeniem podbiły środowisko morskie: trawa morska (ang. *seagrasses*) i rośliny mangrowce (ang. *mangroves*). Trawy morskie to rośliny zanurzone a mangrowiec to rośliny pogranicza ziemno-wodnego. Gatunki obu tych grup są tak silne, że wszędzie gdzie występują, tworzą własny unikalny habitat (siedlisko).

Tak rośliny zanurzone, jak i pływające wnoszą swój wkład do biosfery oceanicznej. Produkują tlen, choć rośliny pływające przeważnie uwalniają tlen do atmosfery, nie do wody morskiej. Co więcej, rośliny morskie zapewniają ważne siedlisko dla innych morskich organizmów.

Estuaria zapewniają obszar płytkiej, osłoniętej wody oraz składniki pokarmowe, tworząc doskonałe wylęgarnie. W tym żyznym schronieniu, larwy i osobniki młodociane gatunków oceanu otwartego mogą uniknąć drapieżników i dorosnąć, zanim odważą się wyjść w morze. Szacunki pokazują, że estuarium służy jako wylęgarnia dla ponad 75% gatunków ryb użytkowych. To czyni z estuarium kluczowe siedlisko tak dla gospodarki rybnej, jak i dla kondycji zdrowotnej oceanów.

Estuaria przyczyniają się do produktywności sąsiednich systemów morskich na co najmniej dwa sposoby. Po pierwsze osobniki młode, które przetrwały i dorosły w estuariach migrują z nich. Ogólnie w systemach wodnych panuje reguła, że im organizm większy, tym jest bezpieczniejszy, ponieważ jest mniej drapieżników, które mogą go zaatakować i zjeść. Dlatego estuaria przyczyniają się do produktywności, przez zwiększenie liczby osobników, które przetrwały niepewny okres larwalny i młodociany. Po drugie estuaria zapewniają stały dopływ składników pokarmowych do sąsiednich ekosystemów, wyłapując osad i inne materiały spływające w czasie deszczy i burz. Dostarczanie składników pokarmowych przyczynia się do produktywności, redukując eutrofizację i inne szkody wywołane wpływem niefiltrowanej wody do otwartego morza.

Solnisko

Solniska (słone bagna, ang. *salt marshes*) istnieją w estuariach i wzdłuż wybrzeża. Tworzą się tam, gdzie teren jest płaski, łagodnie nachylony, z bogatym w składniki pokarmowe osadem naniesionym przez pływy. Są one stowarzyszone z estuariami, ponieważ rzeki są ciągłym źródłem pokarmu.



Solniska zawierają trawy z rodzaju *Spartina*. Halofit ten gromadzi sól w korzeniach, aż stężenie przewyższa stężenie wody morskiej. To powoduje, że woda dyfunduje do korzeni a nie z korzeni. Gruczoty solne w liściach i łodydze wydalają nadmiar soli

³ Przyp. tłum. - W polskiej literaturze rośliny wodne dzieli się na rośliny zanurzone, pływające, o liściach pływających i halofity. W przypadku roślin morskich nie ma tak skomplikowanego podziału..

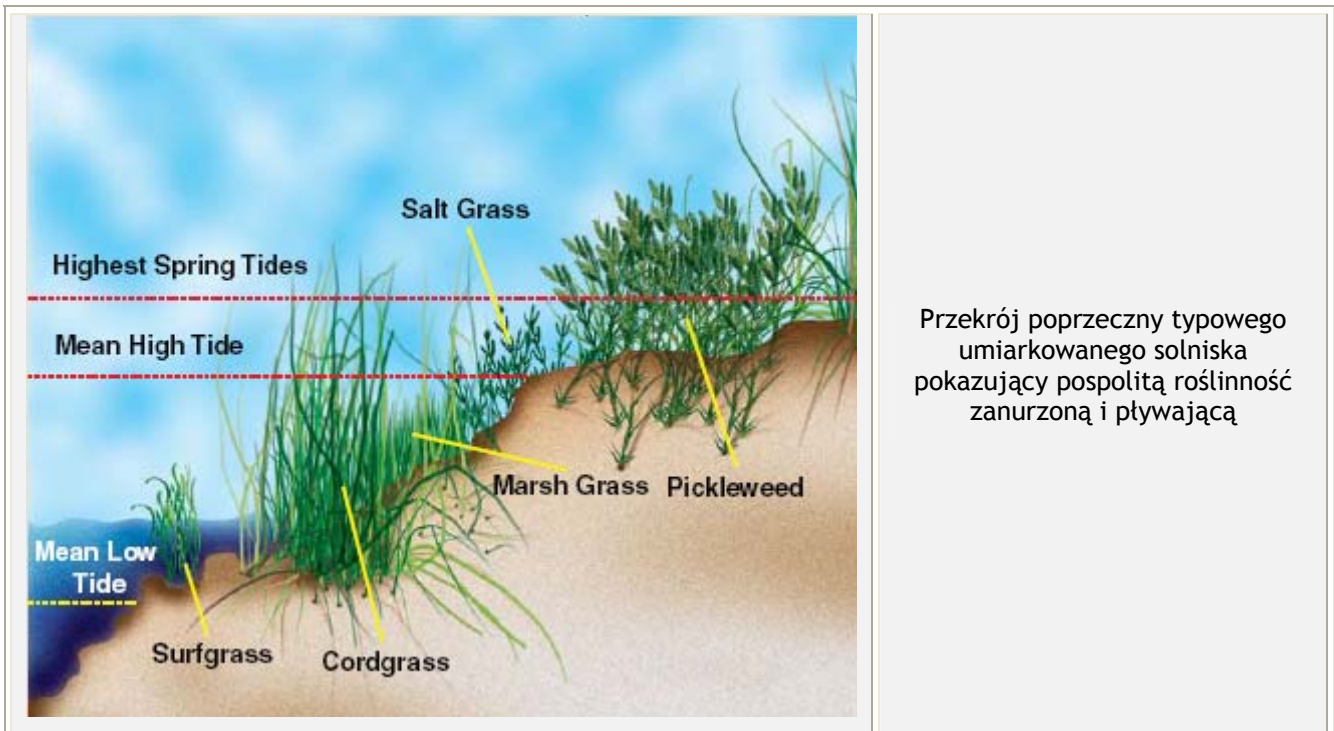
Warunki w obrębie solnisk są różne, co wpływa na typy organizmów zamieszkujące różne obszary w obrębie tego ekosystemu. Górna część solnisk obejmuje obszary, które rzadko zalewane są przez pływy. Z kolei dolna część solnisk obejmuje tereny zalewane przez słoną wodę zgodnie z cyklami pływów, czyli najczęściej dwa razy dziennie. Wynika z tego, że organizmy nisko położonych części solnisk, muszą tolerować znacząco większy stres osmotyczny niż gatunki w niszach górnej części solnisk.

Woda słona jest największym wyzwaniem dla roślin żyjących w solniskach i innych ekosystemach przybrzeżnych. Tak jak organizmy lądowe, znakomita większość roślin pobiera wodę słodką bezpośrednio lub pośrednio z opadów deszczy. Jednak wystawienie na działanie wody słonej, odwadnia większość roślin. Dzieje się tak, ponieważ niska koncentracja wody w wodzie morskiej powoduje, że woda słodka zawarta w roślinach dyfunduje na zewnątrz. Z drugiej strony rośliny morskie przeciwstawiają się dehydratacji poprzez adaptację, na przykład poprzez woskową powłokę czy inną ochronę, która redukuje straty wody i zapobiega odwadnianiu. Dzięki takiemu przystosowaniu halofity (słonorośla, ang. *halophyte*) zajmują niszę, nie konkurując z innymi roślinami i stały się gatunkiem dominującym.

Halofity w dolnej części solnisk muszą wciąż radzić sobie ze stresem osmotycznym. Trawy z rodzaju *Spartina* (ang. *hollow reed*, *cordgrass*) są dobrym przykładem adaptacji halofitów do tej części ekosystemu. Trawy te mają aparat szparkowy (stomata), czyli otwory w liściach, przez które oddychają. Szparki pozwalają przemieścić tlen do zanurzonej części rośliny, natleniając beztlenowy muł. *Spartina* koncentruje sól w swoich korzeniach, tak że stężenie soli przewyższa stężenie w wodzie morskiej. To powoduje, że woda dyfunduje do korzeni zamiast z korzeni. Gruczoty solne w liściach i łodydze wydalają nadmiar soli.

Rośliny w górnej strefie solniska nie muszą dwa razy dziennie zmagać się z pływami. Co więcej, wpływ wody słodkiej rozcieńcza wodę morską, zmniejszając stres osmotyczny. Organizmy rozwijające się w tej części ekosystemu przystosowały się w różny sposób. Jednym z przykładów jest soliród zielony (*Salicornia europea*, ang. *pickleweed*), który nadwyżkę soli przechowuje w przeznaczonych do tego liściach. Gdy ładunek soli skumuluje się, liść odpada od rośliny, zabierając sól ze sobą, a na jego miejsce powstaje kolejny liść.

Halofity dominują w solniskach, mimo to nie są pożywieniem dla zbyt wielu organizmów. Rośliny solnisk są twarde i słone, co czyni je nieodpowiednimi dla większości roślinożerców. System korzeni przechowuje osad, który wraz z nagromadzonymi martwymi halofitami, tworzy gęstą zbitą masę humusu. Humus (próchnica, ang. *humus*) to masa rozkładającej się materii organicznej tworząca glebę lub osad. W solniskach humus zapewnia siedlisko dla ogromnego środowiska bezkręgowców, ptaków wodnych, narybku, larw, jaj i innych organizmów.



Przekrój poprzeczny typowego umiarkowanego solniska pokazujący pospolitą roślinność zanurzoną i pływającą

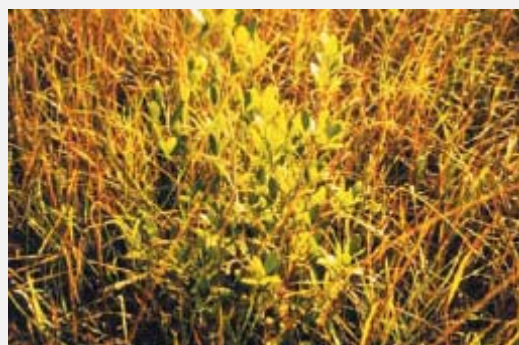
Lasy mangrowe

Drzewa mangrowe (ang. *mangrove trees*), o których już czytałeś, są jednym z najważniejszych przybrzeżnych ekosystemów morskich, szczególnie gdy przylegają do rafy koralowej. Choć lasy mangrowe są cuchnące, błotniste, pełne moskitów i ogólnie mało atrakcyjne, ich spleciony system korzeniowy dostarcza schronienia wielu małym organizmom. Ich mętna woda zapewnia składniki pokarmowe mikroorganizmom, które z kolei stanowią pokarm dla młodych zwierząt.

Zapewnienie ochrony i jedzenia daje młodym zwierzętom większe szanse na przeżycie, niż miałyby na otwartym morzu. To pierwszy powód, dla którego lasy mangrowe są ważne dla swojego środowiska: spełniają funkcję żłobka dla sąsiednich ekosystemów, np. dla rafy koralowej. Wiele z gatunków tu dorastających jest ważnych gospodarczo i ekonomicznie.



Mangrowce czerwone (*Rhizophora mangle*) wyrastają powyżej linii wody w szczudłowate korzenie. Uzyskują wodę słodką w wyniku odwróconej osmozy, usuwając wodę morską przez przystosowane korzenie



Korzenie mangrowca czarnego (*Avicennia germinans*) rosną w osadzie poniżej linii wody. Rurki, nazywane pneumatoforami, (pneumatophores, korzenie oddechowe) działają jak fajki nurkowe, tak aby dostarczyć powietrze do korzeni zanurzonych w mule. Drzewa usuwają sól poprzez specjalne gruczoły w liściach



Mangrowce białe (*Laguncularia racemosa*) nie mają specjalnych przystosowań. Bardzo dobrze tolerują słoną wodę, ale najlepiej rosną wysoko powyżej linii płytyw, gdzie ich korzenie nie potrzebują specjalnej adaptacji



Mangrowce są kluczowym ekosystemem w klimacie tropikalnym i subtropikalnym. Funkcjonują jako schronienie dla narybku i filtry osadowe, a także chronią linie brzegowe przed zniszczeniami na skutek sztormów i erozji

Drugim powodem, dla którego lasy mangrowe są tak ważne, jest filtrowanie wody spływającej. Czytałeś już o tym. Poprzez wyłapywanie spływających osadów, mangrowce chronią ekosystemy przybrzeżne (w szczególności rafy koralowe), które mogą zostać zranione lub zabite przez opadający osad, lub nadmiar składników pokarmowych w wodzie. Obecnie wielu ekologów uważa mangrowce za *ekosystem przejściowy*, czyli miejsce, gdzie morskie i lądowe ekosystemy oddziałują ze sobą i wpływają wzajemnie na swoją kondycję.

Trzecia korzyść płynąca z lasów mangrowych to ich zdolność przetrzymywania osadów. Spowalniają fale i zmniejszają erozję, jednocześnie pozostawiają składniki pokarmowe spożywane przez mieszkające tam organizmy. Lasy mangrowe szczególnie dobrze chronią linie brzegowe przed erozją sztormową (ang. *storm erosion*) spowalniając i wytłumiając fale sztormowe. Choć huragan, tajfun czy tsunami będą wciąż powodować erozję, ale straty osadu i erozja są nieistotne czy też znacząco mniejsze

w porównaniu do strat przy niechronionym wybrzeżu.

Los lasów mangrowych stał się istotną sprawą w kontekście ekspansji miejskiej i bioproduktywności. Dla nieobeznanych z kluczową rolą mangowców jako schronieniem dla osobników młodocianych, mogą się one wydawać bezużytecznym terenem podmokłym. W rezultacie inwestorzy wybudują tam biurowce i domy mieszkalne. Większym nawet zagrożeniem jest przekształcenie lasów namorzynowych w gospodarstwa morskie hodujące krewetki. Strata lasów namorzynowych oznacza stratę przyległego ekosystemu oceanicznego. Udokumentowane skutki obejmują szkody i zniszczenia raf koralowych wynikające ze spadku populacji ryb.

Drzewa namorzynowe nie stanowią pojedynczego gatunku, ale w rzeczywistości grupę ponad 50 gatunków z kilkunastu rodzin stonolubnych drzew i krzewów. Pod wieloma względami, mangrowce zajmują podobne nisze jak halofity, które charakteryzują solniska, ale są większe, twardsze i występują w klimacie tropikalnym.

Mangrowiec czerwony (rodzaj *Rhizophora*) wyrasta powyżej linii wody w szcudłowate korzenie. Dzięki temu do korzeni może dostać się tlen. *Rhizophora* uzyskuje wodę słodką, filtrując wodę morską w przystosowanych do tego korzeniach, które usuwają sól. Jest to przykład odwróconej osmozy, która jest procesem transportującym wodę przez półprzepuszczalną membranę wbrew naturalnemu gradientowi ciśnienia osmotycznego. Jest to forma transportu aktywnego zachodzącego w komórce transportującej materiał z obszaru o niskim stężeniu do obszaru o wysokim stężeniu.

Mangrowce z rodzaju *Avicennia* (mangrowiec czarny) ma korzenie rosnące w osadzie poniżej linii wody. Mangrowce te napowietrzają swoje korzenie rurkami wyglądającymi jak fajki do nurkowania nazywanymi pneumatoforami, które przenoszą powietrze do korzeni pod wodą. Pewne gatunki *Avicennia* usuwają sól poprzez przeznaczone do tego liście, podobnie jak soliród zielony. Inne posiadają specjalne gruczoły solne w liściach.

Mangrowce białe z rodzaju *Laguncularia* nie mają takich przystosowań. Bardzo dobrze tolerują słoną wodę, ale najlepiej rosną wysoko powyżej linii pływów, gdzie ich korzenie nie potrzebują specjalnej adaptacji. Tym mangrowcom do przetrwania wystarcza sptywająca woda słodka.

Trawa morska

Ekosystemy trawy morskiej są podobne do innych ekosystemów bazujących na halofitach, które stabilizują osady i zapewniają schronienie i siedlisko dla innych organizmów. Jednak trawa morska różni się od innych halofitów w kilku ważnych punktach, co czyni ją i jej ekosystem odmiennymi. Trawa morska to jedyna roślina zanurzona, czyli żyjąca w całości pod wodą z wyjątkiem trwania rzadkich bardzo mocnych odplywów. Pewne gatunki żyją na głębokościach dochodzących do 30 m (100 stóp). Trawa morska może wchodzić w skład ekosystemu mangrowców czy solnisk. Częściej jednak trawa morska żyje w koloniach rozciągających się w poprzek dna jak podwodne „pastwisko”, czasem sąsiadujące z rafą koralową a czasem rosnące pośród niej. Ich system korzeniowy spleta się, formując gęszcz poniżej warstwy osadów. Nie wszystkie ekosystemy przybrzeżne są atrakcyjnymi miejscami nurkowymi, ale część „pastwisk” trawy morskiej z różnorodnymi formami życia i dość przejrzystą wodę oferuje interesujące miejsca do nurkowania z fajką.



Trawa morska rośnie na podwodnych „pastwiskach”, czasem rozciągających się na szerokim obszarze dna morskiego. Ich system korzeniowy spleta się, formując gęszcz, który pomaga zatrzymać i stabilizować osady. Większość gatunków wypuszcza pyłek do prądów wodnych, aby się rozmnażać, bardzo podobnie do roślin lądowych, które uwalniają pyłki w powietrze

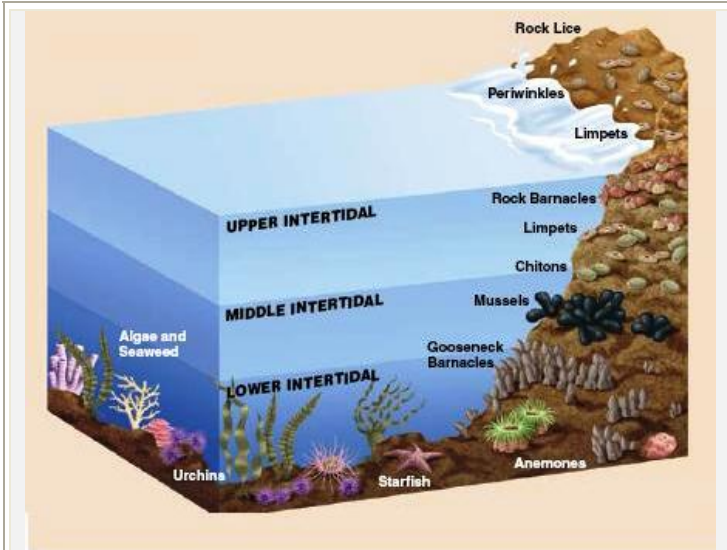
Trawa morska nie potrzebuje źródła słodkiej wody. W odróżnieniu od innych halofitów, nie ma potrzeby ekstrahowania wody słodkiej z wody morskiej. Wewnętrzne zasolenie trawy morskiej jest równe zasoleniu wody morskiej. Woda otaczająca ją i zapewnia niewyczerpywalne zapasy wszystkiego, co potrzebuje. Trawy morskie posiadają wewnętrzne kanaliki powietrzne i pobierają tlen z wody. Większość gatunków nawet wypuszcza pyłek do prądów wodnych, aby się rozmnażać, bardzo podobnie do roślin lądowych, które uwalniają pyłki w powietrze.

Z tych powodów ekosystem traw morskich różni się od innych ekosystemów opartych na halofitach. Nie potrzebują źródła słodkiej wody i mogą istnieć na dużych głębokościach. W odróżnieniu od innych

halofitów, trawa morska jest jadalna i dostarcza pożywienia innym mieszkańcom ekosystemu. Są poważnie uszkodzone przez mikroby, bezkręgowce, ryby, żółwie, a nawet manty i diugonie (ang. *dugongs*).

Pasmo pływów strefy przybrzeżnej - Intertidal zone

Ekosystemy w globalnej strefie pływów strefy przybrzeżnej to ekosystemy, które czasem mogą znaleźć się powyżej linii wody. Inne części pasm pływów strefy przybrzeżnej osiągają głębokość około 10 m (33 stóp). Są to ekosystemy, przez które przepływasz podczas nurkowań przybrzeżnych lub spędzasz tam całe nurkowanie płytkie. W wielu miejscach jest odrębne, ale stopniowe przejście, które zauważysz, płynąc przez pasmo pływów do ekosystemów położonych niżej.



Ekosystemy pasma pływów

Jak sobie przypominasz, strefa sublitoralna (ang. *supralittoral zone*) to obszar zanurzony jedynie w czasie najsilniejszych przyptyków. Największym wyzwaniem stojącym przed organizmami żyjącymi w ekosystemach sublitoralnych jest wysychanie i stres termiczny. Również stale utrzymująca się mgiełka parującej słonej wody prowadzi do wysokiego poziomu zasolenia.

Organizmy w siedliskach strefy sublitoralnej, dzięki różnym przystosowaniom, pozostają wilgotne. W odróżnieniu od wielu organizmów morskich, mogą pozyskiwać tlen tak z powietrza, jak i magazynować go w tkankach, aby przetrwać wiele godzin bez wody. Co więcej, muszą być dostatecznie odporne, aby wytrzymać cykliczne poruszanie i uderzenia fale. Pąkle (ang. *barnacles*), porzeżki (ang. *periwinkles*) oraz czaszki (czareczki, ang. *limpets*) to

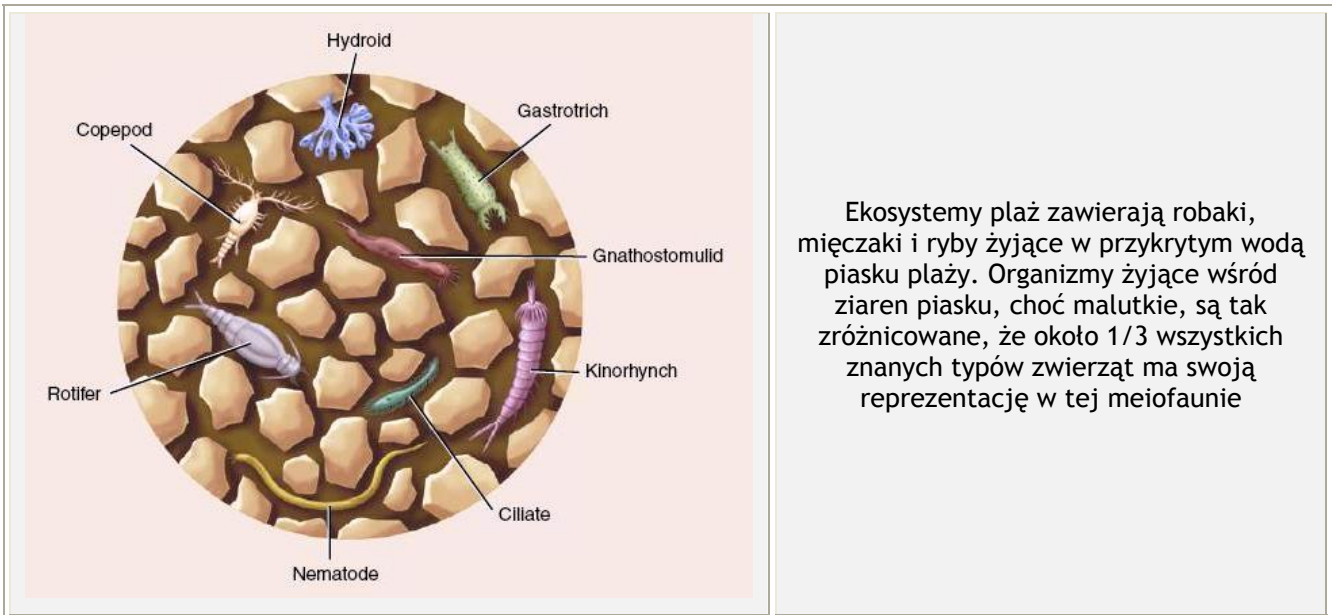
przykłady organizmów przystosowanych do życia w strefie sublitoralnej.

Pozostała część strefy litoralnej (obszar między strefą odptywu a strefą przyptywu) stawia czoła podobnym wyzwaniom. Jednak tutaj życie nie pozostaje powyżej powierzchni wody przez taki długi czas jak w strefie sublitoralnej. Organizmy w ekosystemie litoralu również stoją w obliczu groźby wysychania, stresu termicznego i ruchu wody. Postępując w kierunku morza, środowisko staje się mniej stresogenne wobec wysychania i stresu termicznego, chociaż fale i kołysanie nadal pozostają wyzwaniem. Wiele organizmów sublitoralnych również i tu dobrze się rozwija: wodorosty morskie (ang. *seaweeds*), ukwiały (ang. *anemones*), omułki (ang. *mussels*).

Najniższa część litoralu rzadko, kiedy wystawiona jest na działanie powietrza, jedynie w wypadku niezwykle silnych odptyków. Z wystarczającą ilością wody, składników pokarmowych i światła słonecznego stanowi ona wysoce produktywny obszar w większości ekosystemów przybrzeżnych. Dalego jedynym wyzwaniem, któremu trzeba tu sprostać, jest duża konkurencja.

Plaże

Dla niewytrenowanego oka typowa piaszczysta plaża wydaje się niemalże pozbawiona życia. Wygląda prawie jak pustynia, na której czasem znajdujemy muszlę lub rozgwiazdę. Nie ma w zwyczaju nurkować z plaży, przy której nie ma raf, wraków czy innych ciekawych obiektów. Plaża, podobnie jak świat podwodny oglądany z powierzchni, wydaje się pozbawiona życia.



Ekosystemy plaż zawierają robaki, mięczaki i ryby żyjące w przykrytej wodą piasku plaży. Organizmy żyjące wśród ziaren piasku, choć małe, są tak zróżnicowane, że około 1/3 wszystkich znanych typów zwierząt ma swoją reprezentację w tej meiofaunie

W rzeczywistości plaże są bogatymi i produktywnymi ekosystemami. Pełnią również istotne role, które wpływają na inne ekosystemy morskie. Piasek chroni linię brzegową. Gdy fala podchodzi na brzeg, podrywa piasek. Każde ziarenko piasku rozprasza małą porcję energii fali. Taka porcja pomnożona przez miliardy i miliardy ziarenek piasku redukuje siły niszczące linię brzegową. To pierwszy sposób, w jaki plaże wpływają na ekosystemy. Zmniejszają sedymentację powodowaną erozją wybrzeża.

Ekosystemy plaż są pełne organizmów żyjących w materiałach organicznych w mieszaninie piasku. Organizmy złożone, w tym robaki, mięczaki i ryby, żyją w przykrytej wodą piasku plaży. Meiofauna (meiobentos, ang. *meiofauna*), czyli organizmy bentosu, które żyją w przestrzeniach między ziarnami piasku, jest tak zróżnicowana, że skatalogowanie środowiska ekosystemu pojedynczej plaży zajęłoby całe lata. Około 1/3 wszystkich znanych typów zwierząt ma swoją reprezentację w meiofaunie. Również glony i inne organizmy niezwiązane z żyją wśród ziaren piasku.

Oddziaływanie między ruchami wody a meiofauną stanowi drugi sposób, w jaki plaże wpływają na inne ekosystemy morskie. Fizyczne i organiczne procesy w ekosystemie plaż powodują rozkład materiału organicznego i nieorganicznego. To czyni plażę wielkim filtrem, który przetwarza związki wpływające do morza lub wymyte z morza.

Następnym razem, gdy będziesz nurkował z plaży, by zobaczyć rafy czy inne ciekawe obiekty, wypłynij na piaszczysty teren i przyjrzyj mu się z bliska. Cierpliwość i rozwijanie umiejętności obserwacji zaowocuje poznaniem niewiarygodnej różnorodności przyrody, która wcześniej pozostawała niewidoczna.

Ekosystemy listownic i wodorostów morskich

Pojęcie „wodorosty morskie” (glony morskie, ang. *seaweed*) odnosi się do zróżnicowanej grupy czerwonych (krasnorosty), zielonych i brązowych alg (brunatnice), czasem nazywanych *makroglonami* (ang. *macroalgae*). Wszystkie one dostarczają podstaw dla ekosystemów rozwijających się między ich nibytyłogami, chwytnikami i blaszkami. To wszystko powoduje, że ekosystem listownic jest prawdopodobnie najbardziej zróżnicowany i ważny również dla nurków. Lasy listownic (ang. *kelp forest*) znajdziesz na całym świecie w zimnych wodach. Dzieje się tak, ponieważ wymagają one składników pokarmowych znajdujących się w chłodnych oceanach. Najbogatszy i najbardziej produktywny ekosystem listownic istnieje w wodach przybrzeżnych z wypływem wód głębinowych (ang. *upwelling*). W czystych wodach z dostateczną ilością światła i składników pokarmowych, wielka listownica *wielkomorszcz gruszkonośny* (*Macrocystis pyrifera*) może osiągnąć długość nawet 60 m (200 stóp) zapewniając siedlisko dla znacznego ekosystemu. Lasy listownic i inne oparte na wodorostach ekosystemy należą do biologicznie najbardziej produktywnych. Ich produktywność pierwotna przewyższa produktywność lasów lądowych i dorównuje produktywności raf koralowych.



Najszybciej rosnący glon, wielkomorszcz gruszkonośny, może osiągnąć 60 metrów (200 stóp) długości. Zapewnia obfite siedlisko i podtrzymuje najbardziej biologicznie produktywne ekosystemy lub jest ich integralną częścią



Brunatnice, takie jak wielkomorszcz gruszkonośny (*Macrocystis pyrifera*), są bardziej złożone strukturalnie niż inne glony. Umocowane do dna przez chwytniki (ang. holdfasts), nibytodygi brunatnic (ang. stripes) sięgają w kierunku powierzchni. Nibytodygi posiadają blaszki (ang. blades), które pływają dzięki pneumatocytom

Przedstawiciele typu *Phaeophyta*, powszechnie nazywane brunatnicami (ang. *brown algae*), są bardziej strukturalnie złożone niż inne glony. Wiele gatunków brunatnic ma chwytniki (ang. *holdfasts*), blaszki, skórzano podobne giętkie nibytodygi (ang. *stripes*) oraz wypełnione gazem pneumatocyty (ang. *pneumatocysts*). Chwytniki mocują je do skał, tak jak korzenie mocują rośliny lądowe (ale chwytniki nie są korzeniami, bo nie przenoszą składników pokarmowych). Blaszki są odpowiednikami liści. Wiele gatunków żyje w litoralu, więc ich nibytodygi, odpowiednik łodyg u roślin lądowych, z łatwością uginają się, przeciwdziałając złamaniu przez fale. Aby trzymać blaszki blisko powierzchni i słońca, wiele gatunków posiada pneumatocyty. Pneumatocyty są pływającymi strukturami wypełnionymi gazem, które podnoszą glon z dna. Blaszki również przeciwdziałają wysychaniu, co pomaga im, gdy zostaną częściowo wyrzucone na brzeg lub są całe powyżej powierzchni w czasie odpływów. Brunatnice mają charakterystyczne oliwkowozielone/brazowe zabarwienie dzięki pigmentowi nazywanemu *fucoxanthin*.

Spośród 1500 gatunków brunatnic największe i najbardziej imponujące są różne gatunki listownic (ang. *kelp*). Listownice mają chwytniki, nibytodygi i pneumatocyty. Olbrzymia listownica, wielkomorszcz gruszkonośny, może rosnąć ponad 30 cm (12 cali) dziennie i osiągnąć powierzchnię z głębokości 24 m (80 stóp). Listownice są ważne, ponieważ stanowią podstawę dla wielu ekosystemów przybrzeżnych strefy umiarkowanej, tak jak koralowce są podstawą dla wielu morskich ekosystemów tropikalnych. Lasy listownic dominują na wybrzeżach Kolumbii Brytyjskiej, Kalifornii, Półwyspu Kalifornijskiego (Baja Mexico), większości Morza Śródziemnego i Nowej Zelandii.

Ponieważ listownica uzależniona jest od słońca, chłodnej wody i składników pokarmowych, w zauważalny sposób reaguje na zmiany środowiska. Na przykład w czasie El Niño temperatura wód przybrzeżnych w Południowej Kalifornia wzrasta. Powoduje to często masowe wymieranie listownic,

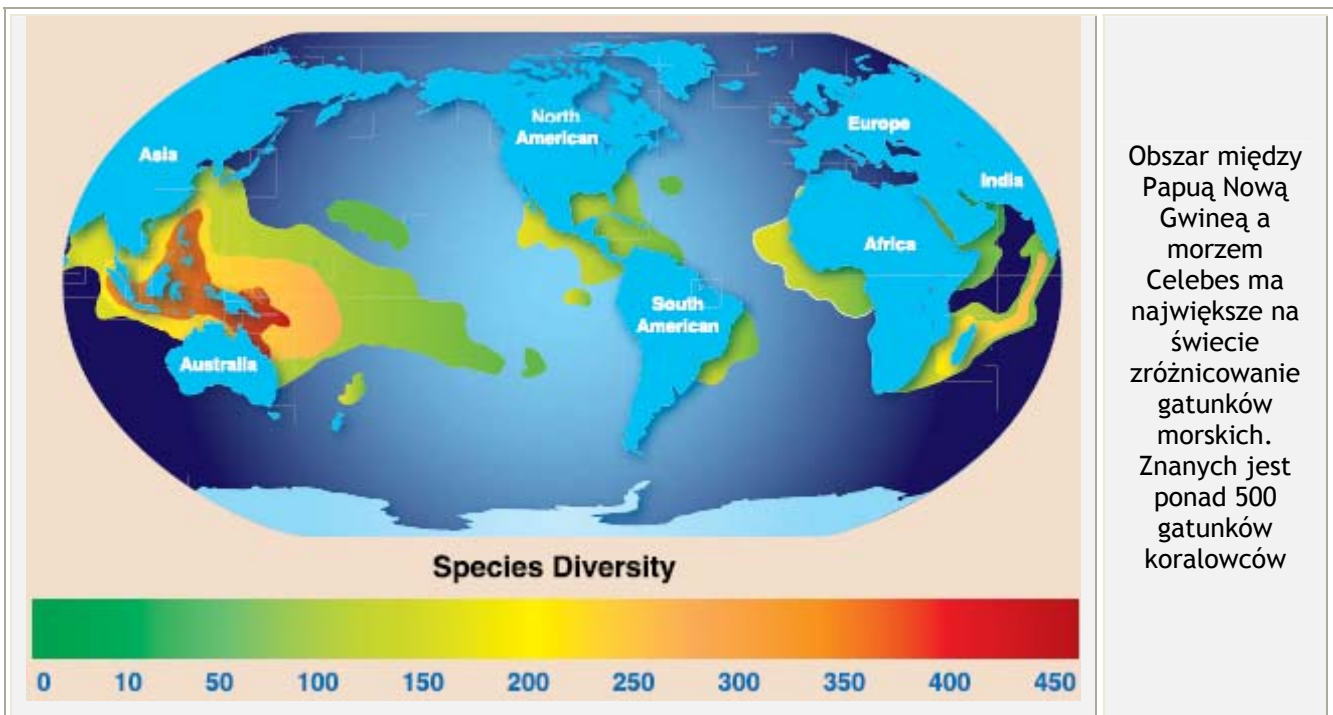
zakłócając lokalne ekosystemy na rok lub dłużej.

Ekosystemy listownic są prostym przykładem na to, dlaczego tak ważne są szerokie badania ekologiczne, a nie badania pojedynczych organizmów. Oto przykład. Wydra morska jest drapieżnikiem występującym w lasach listownic. Dopóki nie zaczęto jej chronić, na pewnych obszarach z powodu swojego futra była obiektem polowań, aż do niemal całkowitego wyginięcia. Co zaskakujące, na tych obszarach listownica zaczęła gwałtownie wymierać.

Jaka była tego przyczyna? Do jednych z niewielu organizmów żywiących się listownicami należy jeżowiec. Te szkarłupnie zjadają gumowate chwytniki, które mocują listownicę. Jeżowce są jednocześnie jednym z głównych pokarmów wydr morskich. Energia potrzebna ssakom żyjącym w chłodnych wodach morskich jest znacząca, więc średnia wydra morska zjada sporą ilość jeżowców. Wyginięcie wydr morskich zakłóciło równowagę ekologiczną lasów listownic, usuwając głównego naturalnego wroga jeżowców. To pozwoliło w niekontrolowany sposób wzrosnąć populacji jeżowców. Więcej jeżowców oznaczało więcej zjadaczy chwytników listownic. W końcu jeżowce zaczęły zjadać listownice szybciej niż mogły one rosnąć. Jest to doskonały przykład współzależności, która istnieje w każdym ekosystemie. Pokazuje, że każdy organizm bierze udział w utrzymaniu równowagi, która pozwala rozkwitnąć życiu.

Ekosystemy rafy koralowej

Ze wszystkich ziemskich ekosystemów, niewiele dorównuje rafie koralowej. Większość naukowców jest przekonana, że są to najbardziej taksonomicznie zróżnicowane ekosystemy oceanów. Obszar środkowo południowego Pacyfiku, między Papua Nową Gwineą a morzami Sulu i Celebes, ma największe na świecie zróżnicowanie gatunków morskich. Jest tam ponad 2000 gatunków ryb, a każdego roku odkrywane są nowe gatunki. Naukowcom wydaje się, że koralowce i rafy koralowe powstały właśnie tu, ponieważ oddalając się od tego obszaru, spotyka się coraz mniejszą różnorodność raf koralowych.



Obszar między Papua Nową Gwineą a morzem Celebes ma największe na świecie zróżnicowanie gatunków morskich. Znanych jest ponad 500 gatunków koralowców

Chociaż rafy koralowe podtrzymują tę ogromną różnorodność, są jednak bardzo delikatnymi ekosystemami. Przez ostatnie kilka dekad naukowcy, nurkowie i inni zaznajomieni z koralowcami martwią się kondycją tych ekosystemów. Korale żyją w bardzo ściśle określonych warunkach. Żyją w czystych wodach, więc bruzdnice *zooksantelle* (ang. *dinoflagellate*) (*zooxanthellae*) koegzystując w polipach, mają światło potrzebne do fotosyntezy. Potrzebują również umiarkowanego ruchu wody, który zapobiegne kumulacji osadu w polipach. Drobinki materii mogą zatkać i zdusić polipy.

Ekosystem koralowców wymaga również wody, która jest względnie wolna od składników pokarmowych. Może się to wydawać dziwne, biorąc pod uwagę wysoką produktywność tego ekosystemu. Jednak ekosystem koralowców wydajnie przekazuje i przechowuje materiał organiczny. Brak składników pokarmowych w wodzie chroni koralowce przed konkurującymi organizmami, takimi jak różne gatunki glonów.

Z tego powodu eutrofizacja jest jednym z największych zagrożeń dla ekosystemu koralowców. Wzrost poziomu składników pokarmowych w wodzie pozwala rywalizującym glonom nadmiernie wzrosnąć i zdusić kolonie koralowców. Pozwala to również na wzrost planktonu, zmniejszając tym samym przejrzystość wody i ilość światła dochodzącego do polipów. Do pewnego stopnia są to procesy naturalne, ale w ciągu kilku ostatnich dekad poziom eutrofizacji wzrasta. Wiele raf, kiedyś zdominowanych przez koralowce, jest teraz zarośnięte glonami. Rafy koralowe są bardzo czułe, co zostało udokumentowane. Na przykład wycinanie drzew dla przemysłu drzewnego w głębi wyspy może zniszczyć otaczającą ją koralowce. Dzieje się tak, ponieważ bez drzew, które trzymają glebę, znacznie więcej osadów spływa do oceanu w czasie opadów. Musimy zachować ostrożność, ponieważ działalność człowieka, która pozornie wydaje się odległa i niezwiązana z danym ekosystemem, może w rzeczywistości istotnie na niego wpływać.

Oprócz eutrofizacji ekosystemowi rafy koralowej zagraża stres termiczny. Globalne ocieplenie może podnieść temperaturę powyżej progu przeżycia koralowców. Kolejne zagrożenie to zamulanie, jako wynik pogłębienie wybrzeża i licznych budów. Powoduje to kumulacje osadu na polipach szybciej niż ruchy wody są w stanie je usunąć. Choroby koralowców wydają się być coraz powszechniejsze. Należą do nich „ataki” grzybów, sinic, bakterii i innych glonów, które niszczą i wypierają koralowce. Naukowcy wciąż ustalają prawdopodobne źródła i przyczyny tych chorób.

Bez względu na konkretne zagrożenia, ważne jest stosowanie zasad ekologii do ogólnego obrazu. Nie chodzi wyłącznie o troskę o koralowce, ale o cały ekosystem koralowców. Tak jak wytopienie wydry morskiej zagroziło listownicom, wyginięcie koralowców zagraża innym organizmom w tym ekosystemie. Na przykład papugoryba (ang. *parrotfish*) żywi się koralowcami. Gdy koralowiec ginie, ilość papugoryb maleje, ponieważ traconą one główne źródło pokarmu. Drapieżniki żywiące się papugorybami również tracą. Inne organizmy nie przetrwają, ponieważ konkurencyjne glony nie zapewnią takiego samego siedliska jak rafa koralowa. Zanik koralowców jest podobny do efektu domina w całym ekosystemie morskim, nie tylko w ekosystemie koralowców. Ostatecznie znaczenie zaniku koralowców wpłynie na globalny ekosystem w sposób, który ekologowie wciąż próbują określić.

Ekosystemy polarne

Oceany na obu biegunach należą do najbardziej produktywnych zbiorników, ponieważ ich wody są bogate w składniki pokarmowe. Krańcowe zimno i ciemność zimą zmniejsza bioproduktywność, ale produktywność w czasie ciepłych i długich letnich dni rekompensuje zimowy zastój. Wszystkie gatunki wielkich wielorybów i wiele innych morskich ssaków zdobywa pożywienie na obszarach polarnych. Są to jedyne morza zdolne utrzymać wielkie populacje tych nienasyconych olbrzymów. Rafy koralowe charakteryzują się dużą różnorodnością relatywnie małej populacji, natomiast w morzach polarnych jest odwrotnie - posiadają małą różnorodność w dużej populacji. Z tych powodów coraz więcej nurków zaczyna odwiedzać obszary polarne.

Bądź wykształconym konsumentem

Świat oszał na punkcie owoców morza i pochłania je w rekordowej ilości. Według World Resources Institute spożycie ryb i produktów rybołówstwa od 1960 r. wzrosło o 240%. Można to przyrównać do około 91 milionów ton owoców morza spożywanych rocznie - więcej niż wołowiny i drobiu łącznie.

W czym istnieje problem? Wg ONZ około 70% światowej populacji ryb jest uszczuplona, nadmiernie odławiana lub bliska wyczerpaniu. Zanieczyszczenia, zniszczenia siedlisk i przetłowiecie (łowienie przewyższające możliwości uzupełniania populacji), wszystko to przyczynia się do dramatycznego pogorszenia stanu populacji. Znaczące zmiany temperatury oceanu, takie jak zjawisko El Niño oraz okresowe oscylacje również przyczyniają się do obniżenia zasobów rybnych, szczególnie gdy procedury administracyjne nie biorą pod uwagę tych zagrożeń.

Okazuje się jednak, że to nie te celowe połowy są zagrożeniem. Bycatch (przyłów), czyli wynik komercyjnego rybołówstwa, chwywanie „przy okazji” milionów gatunków ryb, jak również żółwi morskich, ptaków morskich oraz rekinów każdego roku w połowach haczykowych, na żyłkę, przy użyciu sieci. Przyłów jest bardzo rzadko zgłaszany, a najczęściej na wpół martwy wyrzucany z powrotem do oceanu. Naukowcy szacują, że 27 milionów ton przyłowów, niemal 1/3 całkowitego światowego połowu ryb, przechodzi niezgłoszona. International Whaling Commission komunikuje, że ta olbrzymia masa zawiera między 65 000 a 80 000 wielorybów, delfinów, fok i innych morskich ssaków.

Owoce morza są podstawą życia dla ponad 200 milionów ludzi, którzy uzależnieni są od rybołówstwa, jako od źródła pożywienia i źródła utrzymania. Spadek populacji ryb może również zmienić kondycję środowiska morskiego na całym świecie. Jako konsumenci i nurkowie możemy zrobić wiele, aby

poprawić sytuację. Możemy chronić podwodne środowisko, poprawić zarządzanie kurczącymi się zasobami ryb i zachować łowiska dla przyszłych pokoleń.

Możesz pomóc, zastanawiając się nad wyborem spożywanych owoców morza. Wiele organizacji informuje konsumentów, jakich owoców morza unikać, aby obniżyć nadmierne odłowy i niszczenie środowiska. The Seafood Watch Guide for America, The Good Fish Guide for the UK i The Sustainable Seafood Guide for Australia to przykłady przewodników, które pomagają dokonać bezpiecznego dla zwierząt morskich wyboru. Przewodniki te udzielają wielu informacji o stosowanych metodach połowów i ich wpływie na dany gatunek ryb. Na końcu ramki znajdziesz listę zaleceń dotyczącą tego, co zamawiać, a czego unikać przy wyborze owoców morza w ulubionej restauracji czy przy kupowaniu w sklepie.

Zauważ, że jedne ryby są dobrym wyborem, jeśli pochodzą z danego źródła czy łowiska, ale należy ich unikać, gdy pochodzą z łowiska zbyt silnie eksploatowanego lub gdy używana jest zła metoda połowu. Lista się ciągle zmienia, więc zaglądaj na stronę www.seafoodwatch.org.

Gdy kupujesz owoce morza, poszukaj eko-naklejki takiej jak Dolphin Friendly czy Marine Stewardship Council. Marine Stewardship Council (MSC) opracował standardy środowiskowe dla bezpiecznego i dobrze zarządzanego rybołówstwa. To oznaczenie nagradza świadome i ekologiczne zarządzania rybołówstwem. Naklejka daje konsumentowi pewność, że produkt nie pochodzi z nadmiernie eksploatowanych łowisk. Wykaz produktów z naklejkami MSC można znaleźć w internecie.

Zapytaj w sklepie i restauracji, czy ich zapasy owoców morza mają naklejki „bezpieczny dla środowiska”. Jeśli nie mają lub jeśli nie wiedzą, o co pytasz, wytłumacz im i zachęć, aby wzbogacili swoją ofertę o tego typu produkty. Twoje wymagania jako konsumenta mogą wpłynąć na lokalnych przedsiębiorców.

Nie zakładaj, że hodowlane owoce morza zawsze są przyjazną środowisku alternatywą. Akwakultura może wydawać się rozwiązaniem problemu nadmiernych odłowów, ale sama nie jest pozbawiona problemów. W zależności od gatunku, farmy mogą wprowadzić lub podnieść w środowisku naturalnym poziom odpadów, toksyn, chorób i chemikaliów. Co więcej, gatunki mięsożerne, jak łosoś i krewetka, wymagają bardzo dużych ilości ryb jako pożywienia, aby osiągnąć rozmiary zadowalające handlowców. Funt (0,45 kg) hodowlanego łososa wymaga 1-2 kg (2-5 funtów) ryb jako pożywienia. Wiedząc, z jakiego źródła pochodzą zamawiane przez siebie owoce morza, możesz użyć przewodnika bezpiecznych owoców morza i eko-naklejek, aby podjąć decyzję. Na przykład hodowlane ostrygi i małże, pod względem bezpieczeństwa środowiska, są lepszym wyborem, niż potawiane ze stanowisk naturalnych.

Nie zostawiaj kwestii związanych z zarządzaniem rybołówstwem i wspieraj inicjatywy, które poprawiają stan łowisk poprzez rozsądne zarządzanie, ochronę zasobów, odpowiednie procedury rybołówstwa i odpowiedni sprzęt rybacki. Turtle Exclude Devices (TED) to modyfikacja sprzętu rybackiego, która pozwala przejść przez włók krewetek dużym zwierzętom jak żółwie morskie czy rekiny.

Wspieraj zakładanie Marine Protected Areas (MPA) (morskie obszary chronione). Badania wskazują, że właściwie zaprojektowane MPA zachowują bioróżnorodność, zapewniając schronienie i miejsce rozrodu dla wielu gatunków ryb. MPA mają również potencjał do zwiększenia zasobów ryb, a zatem umożliwią poławianie poza granicami MPA.

Upewnij się, że masz pełne informacje, zanim założysz akwarium. Akwarium czy hodowla ryb ozdobnych musi być prowadzona rozsądnie i ostrożnie, aby nie niszczyła raf koralowych i ich mieszkańców. Bądź uczulony na kwestie ochrony ryb ozdobnych i prowadzenia handlu nimi.

Upewnij się, czy twój kraj wprowadził w życie Kodeks Odpowiedzialnego Rybołówstwa (Code of Conduct for Responsible Fisheries) Organizacji Narodów Zjednoczonych i związany z nim Międzynarodowy Plan Działań (International Plans of Action - IPOA). Te dobrowolne działania mają na celu zapewnienie efektywnej ochrony i zarządzania żywymi zasobami wodnymi. Działania skupiają się na powstrzymaniu nielegalnych, niezgłaszanych i nieuregulowanych połowów (ang. IUU - illegal, unreported, unregulated), które powodują problemy w międzynarodowym zarządzaniu rybołówstwem. Jeśli twój kraj nie wprowadził w życie tego Kodeksu i narodowego planu działań, zachęć rząd, by to uczynił.

Zjadaj pokarmy niżej położone w łańcuchu pokarmowym. Gdy zjadasz zboże, kukurydzę, jesteś konsumentem pierwszego rzędu. Gdy jesz wołowinę czy drób, jesteś konsumentem drugiego rzędu, a gdy zjadasz ryby, możesz być konsumentem piątego rzędu. Potrzeba w przybliżeniu 10 tys. kg producentów pierwotnych, aby stworzyć kilogram tuńczyka. Jest to nie tylko biologiczne kuriozum. Jest to znacząca kwestia ekonomiczna i środowiskowa wpływająca na to, jak odżywia się społeczność ludzka.

Uświadamiaj swoją rodzinę, przyjaciół i współpracowników. Powiedz im, czemu wspierasz bezpieczne rybołówstwo i co oni mogą zmienić. Konsumenty, poprzez swój głos i portfel, mają możliwość

dokonać pozytywnych zmian, ale tylko wówczas, gdy się o to postarają.		
Najlepszy wybór	Dobra alternatywa	Unikaj
Sum (Catfish) (hodowlany)	Małże (Clams)(naturalny)	Kawior (Caviar)(naturalny)
Kawior (Caviar) (hodowlany)	Dorsz pacyficzny (Cod: Pacific)	Antar patagoński, kłykacz (Chilean Seabass/Toothfish)
Małże (Clams) (hodowlany)	Krab błękitny (Crab: Blue)	Dorsz atlantycki (Cod: Atlantic)
Kieszeniec magister (łac. cancer magister) (Crab: Dungeness)	Paluszki krabowe/ Surimi (Crab: imitation /Surimi)	Krab królewski (importowany) (Crab: King)
Krab śnieżny (Crab: Snow) (Kanada)	Krab królewski (Alaska) (Crab: King)	Flądry(Atlantyk) wyjątek to: poskarp letni(Summer Flounder)/Flądra(Fluke)
(łac.Menippe mercenaria) (Crab: Stone)	Krab śnieżny (USA) (Crab: Snow)	Granik (Grouper)
Halibut pacyficzny (Halibut:Pacific)	Poskarp letni (Flądra wyst. w zach. Atlantyku)/Flądra (Flounder: Summer/ Fluke)	Halibut atlantycki (Halibut:Atlantic)
Homar kolczasty (langusta) (Lobster: Spiny) (USA)	Homar amerykański/atlantycki (Lobster: American /Maine)	Żabnica, nawęd (Monkfish)
Omulek (hodowlany) (Mussels)	Koryfena(smagła, złota makrela) (mahi-mahi[hawaj.]/Dolphinfish [ang.]/Dorado[hispz.])	Gardłosz atlantycki (Hoplostethus atlanticus) (Orange Roughy)
Ostrygi (hodowlany) (Oysters)	Ostrygi (poławiany) (Oysters)	Rockfish (Pacyfik)
Łosoś (poławiany na Alasce) (Salmon)	Rdzawiec (Pollock)	Łosoś (hodowlany, w tym Atlantycki) (Salmon)
Sardynki (Sardines)	Przegrzebek (Scallop: Bay)	Rekiny*
Krewetka (Shrimpm)	Przegrzebek (Scallop: Sea)	Krewetki (hodowlane z importu i łowiony włokiem)
Skalnik prążkowany(hodowlany) (Striped bass) [okoniowce]	Krewetki (hodowlane lub z trałowania, USA)	Lucjan czerwony (Snapper: Red)
Jesiotr (sturgeon) (hodowlany)	Sola (Sole) (Pacyfik)	Sola (Sole) (Atlantyk)
Tilapia (Tilapia) (hodowlany)	Kalmary (Squid)	Jesiotr (sturgeon) (importowany z połowów)
Pstrąg: tęczy (hodowlany) (Trout: Rainbow)	Miecznik (ryba miecz)* (Swordfish) (USA)	Miecznik (ryba miecz)* (Swordfish) (importowany)
Tuńczyk biały (łowiony na wędę ciągnioną (za statkiem rybackim)) (Tuna: Albacore)	Tuńczyk biały (połowy sznurami haczykowymi)(Tuna: Albacore)	Tuńczyk błękitnoptęty (Tune: Bluefin)
Tuńczyk wielkooki, opastun (łowiony na wędę)(Tuna: Bigeye)	Tuńczyk wielkooki, opastun (połowy sznurami haczykowymi) (Tuna: Bigeye)	
Tuńczyk żółtopłetwy (łowiony na wędę) (Tuna: Yellowfin)	Tuńczyk żółtopłetwy (połowy sznurami haczykowymi) (Tuna: Yellowfin)	
	Tuńczyk konserwowy (Tuna: canned light)	
	Tuńczyk konserwowy/ biały Tuna: canned white/Albacore*	
* gwiazdka oznacza ostrzeżenie FDA i EPA dla kobiet planujących dzieci oraz dla dzieci		

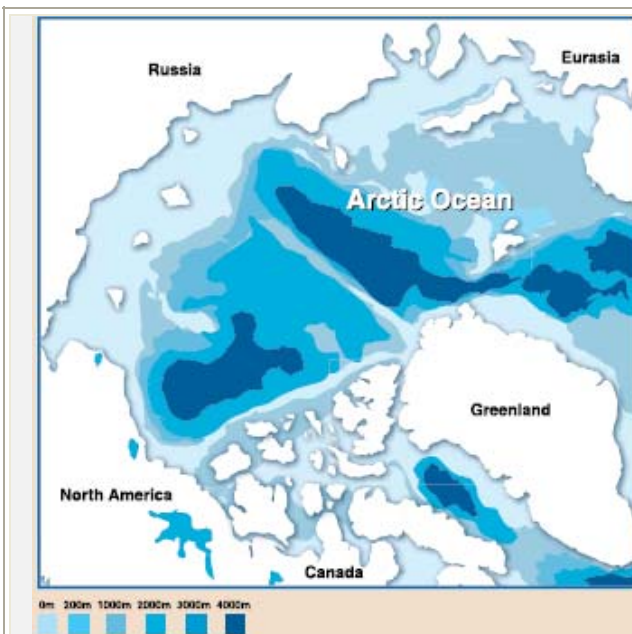
Arktyka

Północny krąg polarny składa się z pierścienia płytkiego kontynentalnego szelfu, który pozostaje nienaruszony z wyjątkiem Cieśniny Beringa (ang. Bering Strait) i górnego Północnego Atlantyku. Sam wierzchołek Ziemi jest głębokim basenem wypełnionym morzem. Jego większa część jest stale zamrznięta.

Ekosystem morski Arktyki musi stawić czoła obniżonej ilości światła dochodzącego pod lód i do wody, która jest na granicy zamarzania. Dlatego pod stałą czapą lodu życie jest względnie uboższe. Gatunki, które żyją w takich warunkach, są do tego specjalnie przystosowane; mają przeciwdziałające zamrożeniu związki w krwi i skrajnie niski metabolizm.

Jednak na krawędzi czapy życie wzmaga się w czasie cieplejszych miesięcy. Gdy wiosną słońce topi lód, woda wypływa z lodu i wpada do głębokich zbiorników. Ciepłe prądy z południa oddziałują z zimną wodą na krawędziach szelfu kontynentalnego. Ten proces podnosi składniki pokarmowe z dna szelfu.

Niezwykle wysoka produktywność pojawia się wzdłuż łuku na północnym Pacyfiku i w poprzek Północnego Atlantyku od kwietnia do sierpnia. Wody te utrzymują wielkie łowiska, morskie ssaki i inne organizmy. Ekosystem kwitnie dzięki składnikom pokarmowym wynoszonym z dna.



Północny krąg polarny składa się z pierścienia płytkiego kontynentalnego szelfu, który pozostaje nienaruszony z wyjątkiem Cieśniny Beringa (ang. Bering Strait) i górnego Północnego Atlantyku. Jego większa część jest stale zamrznięta



Południowy ocean otaczający antarktyczny szelf kontynentalny jest najgłębszy na świecie. Teren szelfu kontynentalnego jest bogaty w składniki pokarmowe, czyniąc z nich jeden z najbardziej produktywnych biologicznie miejsc na Ziemi.

Antarktyda

Antarktyda ma ostrzejszy klimat niż Arktyka. Dzieje się tak częściowo z tego powodu, że pory roku na południowej półkuli są bardziej skrajne niż na półkuli północnej. Jest tak również dlatego, że Antarktyda różni się geograficznie od Arktyki. Antarktyda to kontynent, a nie zamrożone morze. Nie jest również otoczona szelfami kontynentalnymi, ale ma swój własny szelf kontynentalny. Antarktydę otacza najgłębszy na świecie i najrozleglejszy pierścień oceaniczny. Z tych powodów ekosystem Antarktydy ma znaczące różnice w porównaniu do Arktyki, ale również wiele podobieństw.

W czasie zimy zamarzające morza otaczające Antarktydę niemal podwajają obszar wokół kontynentu. Zwiększa to teren mniej więcej o rozmiar Północnej Ameryki. Latem topnienie tej tafli lodu prowadzi do wybuchu bioproduktywności.

Gdy warstwa lodu rozszerza się, tworzy się zimna słona woda. Ta ciężka woda odpycha od kontynentu. Gdy opada, miesza się z wodami głębokiego oceanu, tworząc najgęstszą wodę w oceanie, tzw. antarktyczną wodę przydenną (Antarctic Bottom Water), która znajduje się głęboko w basenie oceanicznym. Kierujące prądami wiatry przesuwały wodę powierzchniową od kontynentu, powodując wypływ w to miejsce wód głębinowych.

Ta bogata w składniki pokarmowe woda głębinowa osiąga powierzchnię w obszarze Antarktycznej Dywergencji (Antarctic Divergence) znajdującym się około 65° - 70° szerokości południowej, gdzie bogata w składniki pokarmowe antarktyczna woda opada poniżej cieplejszych wód oceanicznych położonych nieco na północ. Jest to największy na świecie obszar bogaty w składniki pokarmowe. Dywergencja antarktyczna podtrzymuje masywny rozkwit fitoplanktonu od listopada do lata na półkuli południowej. Populacje widłonogów i krylu są większe niż jakiegokolwiek populacje innych gatunków znajdujących w innych ekosystemach. Szacuje się, że pojedyncza ławica krylu przewyższa 100 milionów ton, czyli więcej niż światowy roczny komercyjny połów ryb.

Ten produktywny obszar wodny rozciąga się na północ, aż spotka ciepłe wody oceanów Atlantyckiego, Indyjskiego i Spokojnego. W tym miejscu zimna woda antarktyczna opada poniżej ciepłych wód. Obszar ten nazywany jest Konwergencją Antarktyczną (Antarctic Convergence) Znajduje się na około 50° - 65° szerokości południowej.

Tak jak na Arktyce, organizmy żyjące w najzimniejszym ekosystemie mają swoje przystosowania. Aby przetrwać, niektóre ryby mają własności przeciwdziałające zamarznięciu, a wiele organizmów ma bardzo wolny metabolizm. Z powodu takiego metabolizmu, część ryb nie ma hemoglobiny we krwi. Ich krew przenosi dostateczną ilość tlenu bez ich pomocy. Ponieważ Antarktyda jest względnie izolowanym ekosystemem, większość gatunków występują tylko na tym kontynencie.

Ekosystemy głębinowe

Jako nurek nie będziesz schodził z akwalungiem do ekosystemów głębinowych, ale w pojeździe zanurzalnym czy dzięki podwodnemu pojazdowi bezzałogowemu (ang. Remotely Operating Vehicle - ROV) możesz zwiedzić głębie bezpośrednio lub pośrednio. Część najbardziej spektakularnych programów dokumentalnych, np. dotyczących spoczywających na dużych głębokościach wraków *Titanica*, czy *Bismarcka*, mogłeś oglądać w telewizji.

W głębokim oceanie poniżej szelfu kontynentalnego, światło i ciepło słoneczne nigdy nie dochodzą do dna, gdzie średnia temperatura wynosi 2°C (35,6 F). Bez światła nie ma fotosyntezy, a co za tym idzie, w większości głębin oceanicznych nie ma produktywności pierwotnej. Składniki pokarmowe dostają się tu z wyższych warstw jako *morski śnieg* (*marine snow*). Śnieg morski to bez przerwy opadający osad, martwe organizmy, odchody i inne składniki pokarmowe pochodzące z produktywnych płytszych wód. Ciągły deszcz składników pokarmowych jest podstawą dla prawie wszystkich, ale nie dla wszystkich, ekosystemów głębinowych. Wcześniej czytałeś o tym, że w większości ekosystemów wodnych życie ograniczone jest ilością składników pokarmowych, a nie energią. W głębinie jest jednak odwrotnie.

Strefa abisalna

Większość głębin oceanicznych jest strefą abisalną, która pokrywa około 30% powierzchni Ziemi. Równiny głębinowe (ang. *abyssal plains*) są jednymi z najgładszych i najbardziej płaskich a znajdują się na głębokościach między 3 a 4 km (9900 - 13000 stóp). Bez produktywności pierwotnej abisał cierpiałby na brak życia, a jednak jest tu wielka różnorodność gatunkowa.

Morski śnieg powoduje, że głębiny są bogate w rozprzestrzeniające się równomiernie składniki odżywcze. Bez fotosyntezy nie ma wystarczającej energii, która by podtrzymała tak wielką obfitość

organizmów wielokomórkowych. Są wśród nich szkarłupnie (ang. *echinoderms*), takie jak strzykwa (ang. *sea cucumber*), lilia morska (ang. *sea lillie*), wężowidło (ang. *brittle star*). Rzadkie są koncentracje dużych organizmów. Jednak widziano buławika ostrogon (ang. *rattail*), głębinowe rekinki psie (ang. *dogfish*), rekinki kocie (ang. *catshark*), skorupiaki, mięczaki i wiele gatunków ryb głębinowych.

Największa różnorodność w abisalu występuje w meiofaunie. Podobnie jak w piasku plaż, w głębinowym osadzie i mule można znaleźć reprezentacje niemal wszystkich typów zwierząt. Koncentracja i populacja jest mniejsza niż na płytszych wodach, ale różnorodność jest równie wielka.

Whale-fall

Chociaż równiny głębinowe są typowe dla większości ekosystemów głębinowych, jest kilka istotnych wyjątków, w tym *whale falls*. Whale-fall (upadek wieloryba) jest dokładnie tym, co wynika z nazwy: miejscem gdzie umarły wieloryb opada na spoczynek na dnie głębin.

Padlina wieloryba dostarcza ogromnej koncentracji składników pokarmowych na terenie, który na co dzień zasilany jest jedynie rozproszonym śniegiem morskim. Naukowcy uważają, że w rezultacie tego rozwija się odrębny lokalny ekosystem, który przechodzi trzy etapy.

Pierwszym etapem jest przybycie padlinożerców. W przeciągu kilku miesięcy zjadają tkanki miękkie wieloryba. Śluzica (ang. *hagfish*), buławik siwy (ang. *grenadier*), głębinowy pajak morski (ang. *spider crab*) i rekin⁴ (ang. *sleeper shark*) to padlinożercy biorący udział w tym procesie. Drugi etap trwa około roku. Robaki, małe skorupiaki i inne małe organizmy odżywiają się pozostałą tkanką miękką, a tkanka rozprasa się wokół wieloryba jako szczątki. Biologowie wciąż próbują określić, w jaki sposób organizmy te docierają do wieloryba.



Whale-fall w basenie Santa Cruz

Ostatni etap wiąże się z rozpadem szkieletu ssaka, który może trwać lata, a nawet dziesięciolecia. Połamane kości dostarczają stałego zapasu siarczku. W tym siarczku żyją *bakterie chemosyntetyzujące*. Bakterie te są ważne, ponieważ są autotrofami i chociaż nie fotosyntezują, ale wytwarzają węglowodany z nieorganicznej energii chemicznej. Chemosynteza jest jedynym możliwym typem produktywności pierwotnej w głębinach oceanu. Bakterie chemosyntetyzujące, żyjące w siarczku padliny, tworzą źródło pożywienia dla wieloszczetów (ang. *tubeworm*), skorupiaków, brzuchonogów (ang. *gastropod*), małży (ang. *bivalve*). Bakterie te wydają się tymi samymi, które występują wokół otworów hydrotermalnych i zimnych wycieków. Możliwe, że padlina wieloryba umożliwia kolonizację ekosystemu głębinowego, co podniosłoby znaczenie whale-fall jako ekosystemu.

Tak tworzony ekosystem nie dotyczy tylko wielorybów. Każde duże zwierzę opadające po śmierci na dno tworzy ekosystem nazywany „whale-fall”. Nawet listownice i glony sargassowe, tak jak i duże ryby dostarczają koncentracji składników pokarmowych, które podtrzymują lokalny ekosystem przez czas od kilku miesięcy do roku.

Otwory hydrotermalne i zimne wycieki

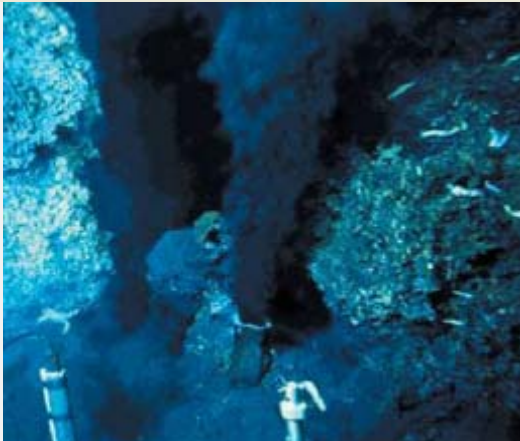
Otwory hydrotermalne to źródła gorących wód mineralnych znajdujących się w głębinach oceanicznych. Ogrzana woda oceaniczna wypływa z tych otworów wzbogacona o rozpuszczone w niej minerały, dostarczając jednego z kilku źródeł produktywności pierwotnej w głębinach. Bakterie chemosyntetyzujące, które żyją w rozpuszczonych siarczku, tworzą podstawę tego ekosystemu,

4 Przyp. tłum: najprawdopodobniej chodzi tu o *Pacific sleeper shark, Somniosus pacificus*

dostarczając pożywienia dla kilkunastu poziomów organizmów, co skutkuje różnorodnością środowiska.

Podobnie jak otwory hydrotermalne, zimne wycieki to obszary, gdzie węglowodory i wody bogate w siarczek przesączają się ze skał na dnie oceanu. Nazywane są „zimnymi” wyciekami, ponieważ są chłodne w porównaniu z otworami hydrotermalnymi. Są jednak ogrzewane przez energię geotermalną z wnętrza Ziemi.

Zimne wycieki umiejscowione są tam, gdzie bogata w minerały woda morska wypływa z dna oceanicznego, ale nie jest gorąca tak, jak wypływy z otworów hydrotermalnych. Zimne wycieki, podobnie jak otwory hydrotermalne, utrzymują oparty na chemosyntezie ekosystem. Chemosyntetyzatorami są te same żyjące się siarczkami bakterie, ale będąc zależnymi od minerałów wypływających z danego otworu, środowisko wokół zimnego wycieku zależy od chemosyntetyzujących bakterii, które żywią się metanem lub innymi węglowodorami.



Środowiska otworów hydrotermalnych bazują raczej na chemosyntezie niż na fotosyntezie. Wyspecjalizowane bakterie działają jako podstawa piramidy pokarmowej, tworząc zróżnicowane środowisko

Strefa hadalna - rowy oceaniczne

Strefa hadalna (ang. *hadal zone*) obejmuje największe oceaniczne głębokości - głębokie rowy oceaniczne, gdzie płyta oceanu zderza się z płytą kontynentalną. Głębokość w tych obszarach sięga od około 5000 m do 6000 m (16500 do 19700 stóp), choć pewne miejsca sięgają poniżej 11000 m (36 000 stóp).

Niewiele wiemy o ekosystemie strefy hadalnej głównie z powodu ograniczeń technologicznych. Ekstremalne ciśnienie powoduje, że wykonanie pojazdów podwodnych czy instrumentów zdolnych obserwować takie głębokości jest drogie i trudne. Wykonano zaledwie kilka pojazdów zanurzalnych, które mogą bezpiecznie schodzić do strefy hadalnej i zorganizowano jedną załogową wyprawę do najgłębszego miejsca w oceanie.

Z tego powodu wiedza naukowców o życiu w strefie hadalnej jest ograniczona do przelotnych zerknięć. Większość z nich pochodzi z ROV (Remote Operated Vehicles) i krótkich wizyt przy użyciu pojazdu podwodnego. Dzięki tym krótkim wizytom znaleziono organizmy nawet w Rowie Mariańskim (najgłębsze znane miejsce na Ziemi), ale charakter i zasięg ekosystemów hadalnych pozostaje nieznanymi.

Ekosystemy wód słodkich

Mimo że jest jedynie niewielką częścią ziemskiego środowiska wodnego, ekosystem wód słodkich jest niezwykle ważny i, być może, najbardziej bezpośrednio ważny dla ekosystemów lądowych. Nie ma lepszego przykładu różnorodności ekosystemu wody słodkiej niż Amazonka. Wielu naukowców uważa, że Amazonka jest najbardziej różnorodnym obszarem, zawierającym niemal tyle gatunków ryb ile zliczono we wszystkich rafach koralowych i pięć razy więcej gatunków niż znaleziono na rafie Karaibskiej.



Gradient temperatury w jeziorach i w stawach wpływa na rozkład życia, podobnie jak w oceanach, ale na mniejszą skalę

Limnologia, badanie ekosystemu wody słodkiej, jest ogólnie podzielona na dwa obszary: *wody lenityczne* (ang. *lentic*) - siedliska wód stojących takich jak jeziora i stawy, oraz *wody lotyczne* (ang. *lotic*) siedliska wód płynących takich jak rzeki i strumienie. Pewne mokradła, równiny błotne, czy estuaria, które zawierają sporo mokrej ziemi, również są ekosystemami wody słodkiej.

Ekosystem wody lenitycznej

Jeziora i stawy są w gruncie rzeczy śródlądowymi depresjami zawierającymi słodką wodę. Zmieniają się od małych stawów mniejszych niż hektar do wielkich śródlądowych mórz pokrywających tysiące kilometrów kwadratowych. Mogą być płytkie na jeden metr, jak i sięgać głębokości ponad 2000 m.



Ekosystem wód lenitycznych złożony jest z siedlisk wód stojących typu jezior czy stawów

Jeziora i stawy formują się poprzez erozję glacialną i osadzanie, kumulację skał i gruzu blokującą strumienie lub w wyniku ruchów skorupy ziemskiej, które powodują zapadanie i wypiętrzanie lądu. Pewne akweny wody słodkiej tworzy się w wyniku aktywności niegeologicznej, gdy celowo blokujemy rzeki i strumienie, aby zmagazynować wodę, zasilać i nawadniać. Kamieniołomy i nieczynne kopalnie wypełniają się wodą, a nawet bobry blokują strumień, by stworzyć płytkie, ale często rozległe stawy.

Tak jak w oceanie, gradienty temperatury w jeziorach i stawach wpływają na rozkład życia, ale na mniejszą skalę. Litoral to obszar blisko brzegu jeziora, gdzie światło penetruje dno i rosną rośliny ukorzenione. Poza nim są wody otwarte, czyli *strefa limnetyczna* (ang. *limnetic zone*) zasiedlona przez plankton i ryby. Poniżej obszaru efektywnego przenikania światła, leży strefa nazwana strefą otchłani (ciemności) lub *afotyczną* (ang. *afotic zone*), jeśli używamy terminologii morskiej. Tutaj różnorodność życia zmienia się wraz z głębokością i zasobami tlenu.

Tak jak w oceanie, bentos, dla niewprawnego oka, może wydawać się strefą dość ubogą, ale dno zbiornika daje schronienie dla wyężonej aktywności biologicznej istniejącej dzięki rozkładowi materii organicznej. Bakterie beztlenowe (ang. *anaerobic*) przeważają na dnie poniżej strefy ciemności, za to dno litoralu bogate jest w tlenowe organizmy rozkładające materię.

Łańcuch pokarmowy ekosystemów wielu jezior zależy od słodkowodnego fitoplanktonu, choć pewne jeziora zależą silnie od *detrytus* (ang. *detritus*, drobne resztki roślin i tkanki zwierzęcej). Większość jezior jest przedmiotem eutrofizacji w wyniku dodatkowych składników pokarmowych pochodzących ze ścieków i odpadów przemysłowych. Eutrofizacja wywołała znaczące szkodliwe zmiany biologiczne w wielu ekosystemach wód słodkich. Z powodu małych rozmiarów, w porównaniu do oceanów, efekty eutrofizacji jezior i stawów ujawniają się gwałtowniej i ostrzej. Mimo mniejszej różnorodności niż w ekosystemach morskich, wiele ekosystemów wody słodkiej jest biologicznie bogate. Dobrym przykładem jest najgłębsze i najstarsze ziemskie jezioro. Uważa się, że Bajkał na Syberii ma 25 milionów lat i 1620 m (5315 stóp) głębokości. Zawiera ponad 20% ziemskich zasobów niezamarzniętej słodkiej wody. W Bajkale lub w jego pobliżu żyje ponad 1500 gatunków. Chyba najbardziej zaskakującym mieszkańcem jeziora jest foka bajkalska, jedna z kilku gatunków fok żyjących w wodach słodkich.

Ekosystem wód lotycznych

System płynących wód słodkich - rzek i strumieni - nazywany jest ekosystemem wód lotycznych. Ekosystemy te wykazują dużą różnorodność właściwości fizycznych i ekologicznych. Oczywiście, warunki blisko źródła rzeki różnią się od warunków przy ujściu. Występuje również gradient w poprzek rzeki wynikający ze zmian temperatury i głębokości, szerokości kanału, szybkości prądu i topografii dna.

Zmiany w tych warunkach fizycznych znajdują odzwierciedlenie w organizmach żywych, które zamieszkują ekosystem. Ponieważ ekosystemy lotyczne są przedmiotem ciągłego ruchu, aby dobrze się rozwijać, wymagają ciągłego dostarczania składników pokarmowych ze źródeł lądowych.

Wiele rzek zaczyna swój bieg jako małe strumienie w cienistych zalesionych obszarach. Strumyki te silnie zależą od detrytus, który jest przetwarzany przez wiele bezkręgowców - rozdrabniacze, filtratory, zbieracze. Organizmy te wraz z glonami spowalniają ruch składników pokarmowych wzdłuż strumienia. Gdy strumienie powiększają się i są wystawione na działanie słońca, ich zależność przesuwają się od detrytus do produkcji swojego własnego pożywienia z glonów i zakorzenionych roślin wodnych. Gdy rzeka wciąż rośnie, przesuwają się znów do zależności od detrytus i rozkładającej się materii organicznej.

Ogólnie, system położony w dole rzeki zależy od nieefektywności przerabiania składników pokarmowych w górze rzeki. To, co żyje w dole rzeki, przeżywa na tym, co pozostało z tego, co było w górze rzeki. Znaczą to również, że zanieczyszczenia, które wchodzą do układu w górze rzeki, skumulują się w organizmach mieszkańców w dole rzeki.

Inwersja temperaturowa w wodzie słodkiej

Wiele jezior i stawów zmienia się cyklicznie wraz z sezonową stratyfikacją temperatury. Proces ten rozpoczyna się wiosną, gdy słońce nagrzewa powierzchnię wody. Gdy woda nagrzewa się, staje się mniej gęstsza, a zatem lżejsza. To pozwala jej unosić się na zimniejszej, gęstszych warstwach wody położonej poniżej, co powoduje powstanie termokliny.

Gdy jesienią temperatura spada, woda powierzchniowa traci ciepło do atmosfery poprzez konwekcje, przewodnictwo i parowanie. Powoduje to spadek temperatury wody powierzchniowej. Z czasem temperatura między dnem a powierzchnią jeziora się wyrównuje. Teraz woda może swobodnie cyrkulować, przenosząc tlen i składniki pokarmowe przez cały zbiornik. To sezonowe mieszanie nazywane

jest inwersją (ang. *overtur*ne).

Z powodu unikalnych fizycznych własności wody (patrz rozdz. 4), tworzenie lodu ma pewne znaczące i nieoczekiwane efekty w stratyfikacji termicznej. Ochładzająca się woda staje się gęstsza, ale gdy temperatura osiągnie 4°C (39 F) gęstość zaczyna spadać, powodując, że zimniejsza woda jest lżejsza. Ta bliska zamrożenia lżejsza woda pozostaje na powierzchni, a gdy temperatura dalej spada, woda zamarza.

Co ciekawe, woda tuż pod powierzchnią lodu może być ogrzewana przez promieniowanie słoneczne. Ponieważ temperatura wody jest poniżej 4°C (39 F), ogrzewanie w rzeczywistości zwiększa jej gęstość. Cięższa woda zaczyna opadać na dno, gdzie miesza się z wodą ogrzaną ciepłem przewodzonego z mułu dennego. W rezultacie może rozwinąć się niewielka odwrócona stratyfikacja, w której woda staje się cieplejsza wraz z głębokością.

Gdy wiosną topnieje lód, woda powierzchniowa znów osiąga 4°C (39 F) i zaczyna opadać. To mieszanie wspomagane wiatrem rozprzeczającym wody, jest ważnym procesem, ponieważ uwalnia przydatne składniki pokarmowe i miesza je z bogatą w tlen wodą powierzchniową - rezultat jest podobny do wypływu wód głębinowych w oceanach. Tworzy to idealne warunki wzrostu dla planktonu. Gdy sezon postępuje, znów rozwija się letnia stratyfikacja

Słodkowodne mokradła

Mokradła słodkowodne (*wetlands*, ang. *wetlands*) mają wiele wspólnego z jeziorami i strumieniami. Nie są to ekosystemy, w których miałbyś ochotę nurkować, ale są ważne dla innych ekosystemów słodkowodnych, tak jak mangrowce i estuaria są znaczące dla sąsiednich ekosystemów morskich.

Główna różnica między mokradłami a innymi ekosystemami słodkowodnymi jest taka, że tu woda znajduje się na poziomie gruntu, blisko niego lub poniżej poziomu gruntu, oraz że jest zajęta przez roślinność. Mokradła zdominowane są przez trawy to marsze (ang. *marshes*). Mokradła zdominowane przez roślinność lesistą to bagna (ang. *swamps*). Wetlandy składające się głównie z nagromadzonego torfu (nierozłożonego lub częściowo rozłożonego materiału) to torfowiska (ang. *mires*). Torfowiska zasilane przez wodę zawartą w glebie mineralnej i zdominowane przez turzycę (ang. *sedges*) to żuławy (ang. *fens*).

Wetlandy zdominowane przez mech torfowiec (ang. *sphagnum moss*) i zależne od opadów atmosferycznych, aby zapewnić sobie wilgotność i składniki odżywcze to bagna ombrogeniczne (torfowiska ombrogeniczne, ang. *bogs*). Bagna te zablokowały drenaż a składniki pokarmowe są prawie niedostępne dla ekosystemu. Składniki pokarmowe gromadzą się jako torf (ang. *peat*), a produktywność na bagnach jest niska. Chociaż marsze mają również ograniczony drenaż, nie blokują wpływu składników pokarmowych. Trawy marszowe i inne organizmy ciągną składniki pokarmowe z gleby i czynią je łatwo dostępnymi dla ekosystemu.