KOSMOS
PROBLEMY NAUK BIOLOGICZNYCH

Tom 62 2013
Numer 3 (300)
Strony 419–426

Polskie Towarzystwo Przyrodników im. Kopernika

EMILIA TRUDNOWSKA, PIOTR BAŁAZY

Instytut Oceanologii PAN
Powstańców Warszawy 55, 81-712 Sopot
E-mail: emilia@iopan.gda.pl
balazy@iopan.gda.pl

NOWE TECHNIKI W BADANIACH MORSKICH EKOSYSTEMÓW POLARNYCH

Rewolucja technologiczna, równolegle z zainteresowaniem oceanem jako głównym czynnikiem klimatotwórczym, sprawiła, iż morskie ekosystemy polarne są coraz lepiej rozpoznane i naukowcy otrzymują coraz bardziej precyzyjne odpowiedzi na intrygujące ich pytania. Jednak eksploracja rejonów polarnych wciąż wiąże się z trudnościami w dotarciu w te odległe obszary, wyższym ryzykiem pracy, możliwością utraty danych bądź sprzętu, oraz z wysokimi kosztami skomplikowanych logistycznie badań.

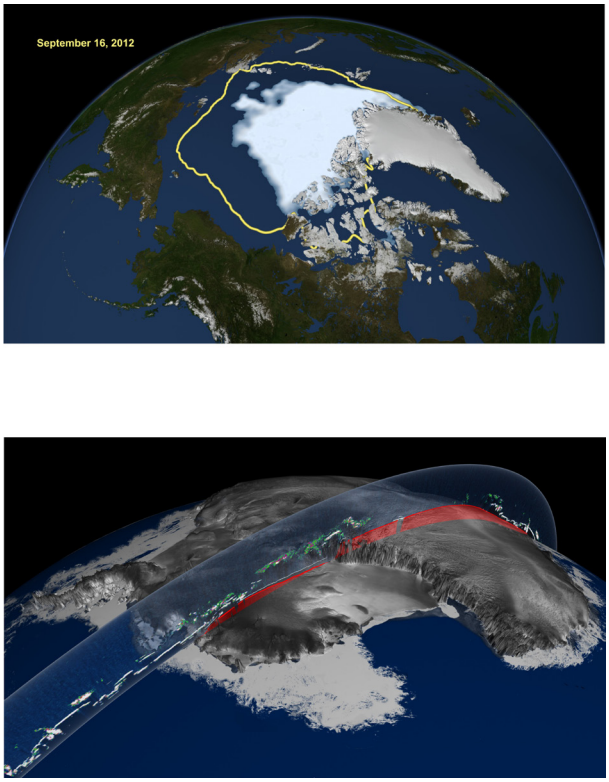
Pierwsze szlaki w kierunku poznania obszarów polarnych wytyczone zostały przez wielkich odkrywców, takich jak Nansen, Amundsen czy Scott. Były to pionierskie wyprawy wymagające wielkiego wysiłku, poświęcenia, determinacji i często okupione najwyższą ceną. To im zawdzięczamy pierwsze naukowe doniesienia z obu biegunów. Techniczne wynalazki zastosowane przez Nansena pod koniec XIX w., takie jak termometry odwracalne, butle i sieci planktonowe Nansena i wiele innych, były w powszechnym użytku w badaniach morza niemal przez 100 lat. Od czasu wprowadzenia i upowszechnienia elektroniki do badań morskich około 1980 r., i internetu z początkiem 1990 r., nastąpił znaczny postęp, zarówno w ilości i jakości gromadzonych informacji, jak i sposobie ich pozyskiwania. Obecnie uzyskiwane dane charakteryzują się niewyobrażalną dla naszych poprzedników rozdzielczością czasoprzestrzenną. Rozwój nastąpił na wszystkich płaszczyznach, choć jego zakres różni się pomiędzy poszczególnymi dziedzinami badań. Poniżej wybrano i przedstawiono kilka najważniejszych przykładów nowych technik obserwacyjnych, które są wdrażane także przez naukowców z Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk.

Badania oceanograficzne są badaniami kosztownymi, szczególnie gdy prowadzone są w odległych rejonach polarnych. Ponadto, z uwagi na pokrywę lodową, kampanie pomiarowe realizowane są głównie w sezonie wiosenno-letnim, a danych zebranych w miesiącach zimowych jest wciąż bardzo niewiele (JAŻDŻEWSKI i współaut. 2001, ECHEVERRIA i PAIVA 2006, KĘDRA i współaut. 2011). W związku z tym większość badań jest limitowana ilością dostępnego czasu i nakładów, jakie można poświęcić na zgłębianie poszczególnych zagadnień. Znaczna część pomiarów jest więc jedynie pojedynczym zdjęciem konkretnego zjawiska czy też stanu w danej chwili. Dlatego też ustanawiane są specjalne obszary, takie jak fiord Hornsund, Kongsfjord (Archipelag Svalbard) czy Hausgarten (głębokowodne obserwatorium na Morzu Grenlandzkim), które uznawane są za reprezentatywne dla większego rejonu (WARWICK i współaut. 2003). To właśnie tym „żywym laboratoriom" poświęca się najwięcej uwagi. Innym sposobem na uzyskanie możliwie dużej ilości informacji z jednej lokalizacji jest stosowanie autonomicznych boi zwanych „mooringami" (ang. moor, cumować). Są one zakotwiczone na dnie i zaopatrzone w przyrządy pomiarowe, kartę pamięci oraz pakiet baterii. Producenci oferują cały wachlarz możliwości i typów tego oprzyrządowania w zależności od potrzeb i możliwości

finansowych zainteresowanych. Zainstalowanie takiego urządzenia na dłuższy czas jest przedsięwzięciem ryzykownym, ponieważ nie zawsze udaje się je odzyskać, ale sukces takiego projektu przekłada się na dużą ilość i wysoką jakość otrzymanych wyników, co w pełni rekompensuje podjęte wyzwanie logistyczno-finansowe. Dzięki tego typu przedsięwzięciom podejmowanym w ramach dużych, międzynarodowych programów, możliwe jest kompletowanie niezwykle cennych serii pomiarowych (temperatura, zasolenie, przewodność, natlenienie wody morskiej) z praktycznie niedostępnych poza sezonem letnim rejonów.

Nowe techniki obserwacyjne często w ogóle nie wymagają od badaczy obecności w miejscu badań. Satelity pozwalają na „podglądanie" z kosmosu wielu zjawisk, począwszy od śledzenia temperatury powierzchni morza (SST), po wielkoskalowe procesy oceaniczne, takie jak rozmieszczenie i właściwości prądów morskich, rozległe zakwity fitoplanktonu, zasięgi pokrywy lodowej (Ryc. 1). Dzięki przełomowym technologiom, najnowszy satelita CryoSat-2, wyniesiony na orbitę w kwietniu 2010 r., mierzy już nie tylko koncentrację (powierzchnię) lodu morskiego, ale również jego grubość, powierzchniowe prądy morskie oraz wysokość fal (TONOBE i współaut. 2010). Zastosowanie obserwacji satelitarnych przyczynia się zarówno do pełniejszego poznania szeregu zjawisk, jak również do przewidywania i ostrzegania przed skutkami badanych procesów.

Intensywny postęp techniczny sprawia, że dotarcie w rejony polarne przestaje być już dziś tak wielkim problemem, po pierwsze, ze względu na kurczącą się pokrywę lodową, po drugie, ze względu na dostępną wyspecjalizowaną flotę badawczą. Okręty podwodne pływały pod pokrywą lodową Oceanu Arktycznego już w okresie zimnej wojny (pierwszym, który w 1958 r. osiągnął biegun północny był amerykański USS Nautilus, a siedem miesięcy później USS Skate przebijając pokrywę lodową wynurzył się na biegunie), dlatego pierwsze dokładniejsze mapy dna Oceanu Arktycznego zawdzięczamy właśnie działalności wojskowej. Obecnie najbogatsze państwa są w stanie utrzymać wysoce wyspecjalizowaną cywilną, polarną flotę badawczą z wielozadaniowymi statkami takimi jak „Nathaniel B. Palmer" czy „Polarstern" na czele. Tę drugą jednostkę w niedalekiej przyszłości ma zastąpić europejska „Aurora Borealis". Jednostka ta ma być jeszcze



Ryc. 1. Mapy satelitarne NASA są niezwykle pomocne przy określaniu zasięgu pokrywy lodowej oraz grubości lodu.

Arktyka. Nowy rekord minimalnego zasięgu pokrywy lodowej zanotowany latem 2012 w porównaniu z średnim zasięgiem z ostatnich 30 lat (oznaczony żółtą linią). Antarktyka. Satelita ICESat został zaprojektowany, aby mierzyć masę pokrywy lodowej oraz śledzić równowagę pomiędzy procesami, które powodują jej przyrost oraz zanik.

bardziej wszechstronna, będzie połączeniem ciężkiego lodołamacza, wielozadaniowego statku badawczego i platformy wiertniczej. Głębokowodna wiertnica umożliwi penetrowanie dna morskiego na 1 km w głąb osadu w obszarach o głębokości wody do 5 km. „Aurora Borealis" będzie jednym z dwóch statków przeprowadzających tego typu badania naukowe na świecie (www.eri-aurora-borealis.eu).

W 2007 r. z pokładu rosyjskiego statku „Akademik Fiedorow" operowały dwa batyskafy Mir-1 i Mir-2. Umieściły one na dnie Oceanu Arktycznego flagę Rosji, oznajmiając światu, że dno morskie Grzbietu Łomonosova, znajdującego się pod Biegunem Północnym, wraz z jego zasobami naturalnymi należy do Rosji. Uzasadnieniem tych roszczeń ma być fakt, że grzbiet stanowi przedłużenie rosyjskiego szelfu kontynentalnego.

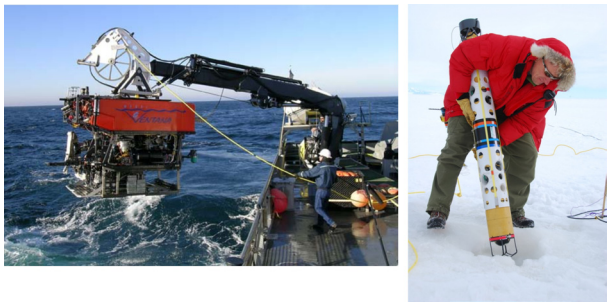
Wkrótce zaprotestowały Stany Zjednoczone oraz Dania, która utrzymuje, że Grzbiet Łomonosowa stanowi owszem przedłużenie szelfu, ale należącej do nich Grenlandii. Co ciekawe, obydwa batyskafy użyte przez Rosjan zbudowane zostały w Finlandii w 1987 r., więc czasy świetności powinny mieć już za sobą, jednak do dzisiaj nie wyprodukowano więcej niż kilku załogowych łodzi podwodnych mogących zanurzać się na głębokości poniżej 3 km. Większość z nich należy do wąskiego grona państw rozwiniętych (Alvin i jego kontynuacje, USA; Shinkai, Japonia; Nautile, Francja), inne do niezależnych wizjonerów, takich jak James Cameron, który w marcu ubiegłego roku zanurzył się w swoim Deepsea Challenger'rze na dno Rowu Mariańskiego. Obydwa Miry mogą maksymalnie schodzić na głębokość 6 m.

Oprócz kosztownych, załogowych łodzi podwodnych naukowcy mają do dyspozycji jeszcze różnego rodzaju tańsze, bezzałogowe urządzenia. Do pierwszej grupy należą zdalnie sterowane podwodne pojazdy Remotely Operated underwater Vehicles (ROVs), takie jak Phoca, należący do centrum GEOMAR mieszczącego się w Kilonii. Robot ten jest w stanie zanurzać się na głębokości rzędu 3 km. Te wysoce mobilne, wyposażone w zestawy kamer wysokiej rozdzielczości i manipulatory, szybkie do opuszczenia i łatwe do podjęcia z wody urządzenia uzyskały ostatnimi czasy znaczną popularność w badaniach rejonów polarnych. Rozwój tej technologii pozwolił w znacznym stopniu na ograniczenie rozmiarów i masy tych urządzeń, co z kolei przyczyniło się do tego, że ich wodowanie i obsługa możliwa jest z mniejszych jednostek albo bezpośrednio z lodu.

Amerykański projekt SCINI (ang. Submersible Capable of under Ice Navigation and Imaging) (Ryc. 2) jest dobrym przykładem wykorzystania tej technologii w praktyce w rejonach polarnych. Ten nietypowy, zdalnie sterowany pojazd podwodny ma kształt cygara o średnicy zaledwie 15 cm. Zaprojektowany został tak, aby mógł działać poprzez zamarzniętą powierzchnię oceanu, wymaga jedynie wywiercenia niewielkiego otworu w lodzie, uniezależniając się tym samym od kosztownego wsparcia logistycznego niezbędnego do przekucia dużych otworów w lodzie, czy statków. Za pomocą tego urządzenia przez 3 lata eksplorowano Cieśninę McMurdo. Jego możliwości obrazuje fakt, że w 2010 r. został opuszczony pod Lodowiec Szelfowy Rossa przez otwór o ok. 300 metrowej miąższości.

Drugą grupę bezzałogowców tworzą zupełnie autonomiczne pojazdy podwodne. W zależności od rodzaju mogą być wyposażone w szereg czujników, włączając w to bardzo dokładne urządzenia sonarowe. Autonomiczne pojazdy podwodne dopiero wchodzą do szerszego użycia w rejonach polarnych, ale już teraz wydają się być wymarzonym narzędziem do badania ogromnych przestrzeni wodnych rozciągających się pod szelfami lodowymi, ponieważ mogą być w ciągłym użyciu nawet przez wiele tygodni. Glidery to podwodne „szybowce" (Ryc. 3). Nie posiadają one własnego napędu mechanicznego. Utrzymują się na określonej głębokości dzięki zmianom wyporności i skrzydłom nośnym, które służą do ich stabilizacji. Wykorzystywane są m.in. w Antarktyce do gromadzenia danych o zakwitach glonowych wzdłuż tras wędrówek pingwinów Adeli (Oliver i współaut. 2012).

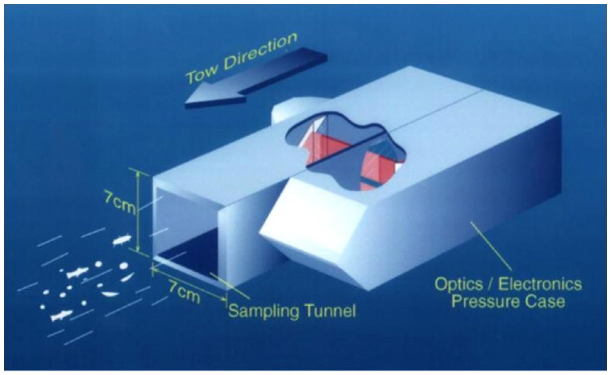
Poza morskimi głębinami obiektem zainteresowania naukowców są również płytkie strefy przybrzeżne, gdzie potencjalne zmia-

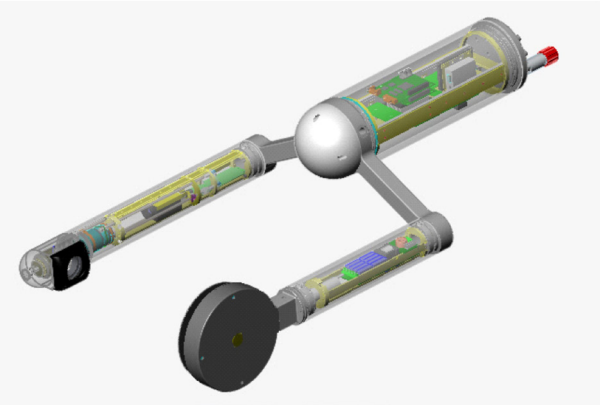


Ryc. 2. Wodowanie ROV-a Ventana (Monterey Bay Aquarium Institute) (fot. MBARI) i SCINI w Antarktyce (fot. Cazenave).

Rys. 3. Glidery Slocum używane na Stacji Palmera w Antarktyce (fot. Paxton).

ny ekologiczne napędzane zmianami klimatu będą obserwowane najwcześniej. Tu częstym narzędziem pracy jest sprzęt do nurkowania swobodnego (LANG i SAYER 2007, KUKLIŃSKI 2009, BAŁAZY i KUKLIŃSKI 2013). W tej dziedzinie także dokonał się znaczny postęp. Mieszanki oddechowe zapewniające większe głębokości operacyjne i bezpieczniejszą pracę takie jak trimix (tlen, hel, azot) stały się powszechne w użyciu. Dzięki ogrzewaniu elektrycznemu, zanurzenia w wodzie, której temperatura z racji swojego zasolenia często spada poniżej zera, praktycznie nie różnią się niczym od tych wykonywanych zimą w polskich warunkach. Dzięki komunikacji podwodnej i pełnotwarzowym maskom, płetwonurkowie mogą komunikować się ze sobą nawzajem oraz członkami ekipy pozostającymi na powierzchni, co znacznie ułatwia pracę pod wodą. Użycie tzw. rebreatherów, czyli aparatów oddechowych o obiegu zamkniętym, oprócz tego, że pozwala na dłuższe przebywanie pod wodą, znacznie skraca też dekompresję i czyni ją bardziej efektywną. Oddychanie ciepłym i wilgotnym zamiennikiem zimnego i suchego powietrza znacznie poprawia bilans cieplny i zapobiega odwodnieniu płetwonurka. Ponadto, cicha praca i całkowity brak bąbli gazu stwarza możliwość zbliżenia się i obserwacji obiektu badań praktycznie bez zakłóceń. Ma to niebagatelne znaczenie np. przy zbieraniu delikatnego i cienkiego filmu biologicznego, który gromadzi się tuż pod pakiem lodowym na granicy woda-lód. Zalety tego systemu docenił m.in. Norweski Instytut Polarny prowadzący badania nad organizmami stowarzyszonymi z trwałą pokrywą lodową na północ od Spitsbergenu.





Ryc. 4. Nowoczesne urządzenia do badań zooplanktonu.

Laserowy Optyczny Licznik Planktonu zlicza oraz mierzy wszystkie cząstki planktonu, które przepłyną przez tunel próbkujący na podstawie ilości zablokowanego przez nie światła pochodzącego z wiązki laserowej przechodzącej przez tunel. Kamera podwodna wykonuje sekwencje zdjęć na podstawie których określa się ilość oraz typ cząstek planktonu w wodzie. Na jednym ramieniu (dalszym) zamontowany jest aparat, na drugim (bliższym) źródło światła.

Organizmy planktonowe bada się za pomocą różnego typu sieci, które przystosowane są do pobierania prób z różnych poziomów głębokości, ale także coraz częściej za pomocą kamer podwodnych (np. ang. Video Plankton Recorder) lub laserowych optycznych liczników planktonu (ang. Laser Optical Plankton Counter) (Ryc. 4). Te bezinwazyjne urządzenia, w przeciwieństwie do tradycyjnego odławiania organizmów planktonowych za pomocą sieci, umożliwiają natychmiastowy pomiar ich wielkości oraz zagęszczenia, dokonywany z niezwykłą precyzją i rozdzielczością. Dodatkowo dają możliwość integracji danych biologicznych z innymi parametrami środowiskowymi uzyskiwanymi za pomocą czujników CTD (zasolenie i temperatura), fluorymetru (fluorescencja chlorofilu) czy elektrody tlenowej (zawartość tlenu w wodzie). Tego typu pomiary są niezwykle istotne, ponieważ zooplankton rozmieszczony jest w toni wodnej nierównomiernie, tzn. skupiskowo w ławicach lub rojach. Ponadto, różne grupy zooplanktonu preferują środowiska o różnych parametrach, dlatego uzupełnienie tradycyjnych metod opartych na analizie składu gatunkowego próbek zebranych za pomocą sieci planktonowych o automatyczne pomiary o wysokiej rozdzielczości próbkowania (LOPC, VPR, echosonda akustyczna) zintegrowane z pomiarami parametrów środowiskowych, umożliwia najwyższy stopień poznania tej grupy organizmów (TRUDNOWSKA i współaut. 2012).

Ryc. 5. Zamontowanie odbiorników GPS na organizmach morskich pozwoliło na odkrycie wielu tajemnic z ich życia, jak również na zdobycie pomiarów oceanograficznych z odległych, zalodzonych rejonów.

Alczyk (*Alle alle*) mały ptak (waga ok. 200g) z rodziny alek, gniazdujący między innymi na skalnych zboczach Spitsbergenu, gdzie rodzice karmią pisklę zooplanktonem, który zbierają podczas licznych, nierzadko dalekich wędrówek morskich (fot. L. Iliszko). Foka Weddela (*Leptonychotes weddelli*) ma na grzbiecie ‚Sea Mammal Research Unit', który dokonuje pomiaru temperatury, zasolenia oraz głębokości w McMurdo Sound na Antarktydzie (fot. Dan Costa).

Współczesne podejście do finansowanych przez państwo badań skutkuje udostępnianiem najnowszych danych szerokiej rzeszy odbiorców w postaci baz danych na platformach internetowych (np. www.iopan.gda.pl/~maria/wwwmollusca/; www.iopan.gda.pl/projects/Polychaeta/; www.ocean.iopan.gda.pl/ostracoda). Można tam znaleźć tzw. metadane (miejsce, czas, sposób poboru i inne podstawowe informacje o pochodzeniu danej informacji), ale także coraz częściej surowe dane konkretnych badaczy i dużych projektów naukowych. Niektóre bazy są skonstruowane podobnie jak nowoczesne, wygodne wyszukiwarki, których zaawansowany sposób określenia obiektu poszukiwań ułatwia sprawne poruszanie się po ogromnych archiwach. Część z nich posiada także dobrej jakości mapy rozmieszczenia organizmów oraz parametrów środowiskowych, zdjęcia i wszystkie inne materiały, które mogą okazać się pomocne. Wyniki naukowe są udostępniane potencjalnie szerokim rzeszom społeczeństwa. Ponadto, zgromadzenie i udostępnienie wielkich zbiorów dobrej jakości danych służy jako podstawa modeli klimatycznych, środowiskowych, ekologicznych, czy szlaków rozprzestrzeniania zanieczyszczeń.

Coraz bardziej powszechne zastosowanie GPSów (ang. Global Positioning System) w badaniach polarnych umożliwia nie tylko dokładne namierzenie oraz oznaczenie miejsca opróbkowania, ale także śledzenie migracji zwierząt. Dzięki miniaturowym i niezwykle odpornym odbiornikom GPS, które montuje się na zwierzętach, można poznać trasy wędrówek oraz przybliżyć zrozumienie zachowania m.in. niedźwiedzi polarnych, fok, słoni i żółwi morskich, a ostatnio nawet malutkich ptaków morskich, alczyków (Ryc. 5). Dzięki temu wiadomo już, że te planktonożerne ptaki, przez zintensyfikowany napływ wód atlantyckich w pobliżu niektórych z ich kolonii, zmuszone są pokonywać ogromne dystanse w poszukiwaniu lodu i zimnej wody arktycznej, aby tam zdobywać odpowiedni pokarm dla młodych (Jakubas i współaut. 2012, 2013).

Innym, spektakularnym przykładem jest zastosowanie GPSowych odbiorników na migrujących ssakach morskich (Fig. 5) w akcjach zwanych potocznie „Animals as Oceanographers" (Charrassin i współaut 2002, Fedak 2004, Costa i współaut. 2010), co daje podwójne korzyści, równolegle z lepszym poznaniem zachowań konkretnych osobników i całych populacji poprzez ich śledzenie. Badania te dostarczają danych oceanograficznych, ponieważ do odbiorników GPS montowane są czujniki mierzące podstawowe parametry fizyko-chemiczne wody. W przypadku, kiedy nie jest to wykonalne z powodu niewielkich rozmiarów zwierzęcia, istnieje możliwość odczytu jego pozycji geograficznej z GPS i kierowania w te rejony wyżej wspomnianych gliderów z zestawem czujników mierzących wybrane parametry środowiskowe. Tak działają np. naukowcy pracujący na Stacji Palme-

ra w Antarktyce, sczytując dane o lokalizacji pingwinów w godzinach wieczornych i projektując misję dla podwodnego szybowca na następny dzień (OLIVER i współaut. 2012). Taki sposób pracy jest szczególnie cenny w rejonach polarnych, gdzie czas i mobilność statków badawczych jest ograniczona, duże zachmurzenie uniemożliwia ciągłe obserwacje satelitarne, a pokrywa lodowa utrudnia zastosowanie niektórych autonomicznych pojazdów.

Rewolucja technologiczna odmieniła nie tylko sposób zbierania i zdobywania materiałów do badań, ale także kolejny etap, czyli obróbkę i interpretację danych. Laboratoria zaopatrzone są w coraz wyższej jakości i wydajności układy optyczne w mikroskopach i binokularach, sprawiając, iż niewidzialne staje się widzialne. Ponadto, dzięki kamerom i aparatom zamontowanym w tych urządzeniach, naukowcy mogą na bieżąco konsultować skomplikowane struktury i formy badanych organizmów z innymi specjalistami z całego świata. Co więcej, dostarczone oprogramowanie umożliwia wykonanie serii zdjęć w każdej płaszczyźnie, aby w rezultacie otrzymać projekcję trójwymiarową.

Nawet do podstawowych badań ekologicznych wkraczają coraz częściej metody oparte na analizach chemicznych i biochemicznych. Śledzenie łańcucha pokarmowego już nie odbywa się jedynie na podstawie obserwacji analizy zawartości żołądków, które dostarczają jedynie informacji o ostatnim posiłku. Teraz tego typu badania są niemal zawsze wspierane analizami izotopów stabilnych (HOBSON i współaut. 2002, CHERELL i HOBSON 2007, LEGEŻYŃSKA i współaut. 2012), które pozwalają na prześledzenie drogi pierwiastków poprzez łańcuchy troficzne oraz określenie, czym dany osobnik żywi się w dłuższej perspektywie. Należy także wspomnieć tu o badaniach genetycznych, które zrewolucjonizowały badania nad rozmieszczeniem organizmów i identyfikacją gatunków. Gatunki uważane dawniej za bipolarne (występujące na obu obszarach polarnych) w wielu przypadkach okazały się po prostu podobnymi, ale odrębnymi, genetycznie izolowanymi gatunkami. Metody molekularne pozwalają też na określanie dróg ewolucji i zasiedlania obszarów polarnych.

Interdyscyplinarność to hasło przewodnie dla przyszłości badań morskich ekosystemów polarnych. Polsko-norweski projekt ALKEKONGE (Ryc. 6) (http://www.iopan.gda.pl/projects/Alkekonge/) dobrze wpasował się w ten trend i został zakończony sukcesem. Celem projektu było powiązanie warunków środowiska naturalnego (temperatura, zasolenie wody morskiej, oświetlenie) z bioróżnorodnością zooplanktonu badaną wielowymiarowo (dzięki połączeniu metody tradycyjnej, optycznej i akustycznej) efektywnością żerowania i rozrodu planktonożernych ptaków morskich (obserwacje ptaków w kolonii oraz poza kolonią za pomocą GPS-ów). Większość przedstawionych powyżej nowinek technologicznych została zastosowana podczas realizacji tego projektu, co pozwoliło na zintegrowane, jednoczesne pomiary szerokiej gamy parametrów. Wykazano nie tylko, gdzie ptaki żerują (JAKUBAS i współaut. 2013), ale tak-

Ryc. 6. Schemat badań oceanograficznych wykonywanych z pokładu R/V „Oceania" w ramach polsko-norweskiego projektu ALKEKONGE na szelfie zachodniego Spitsbergenu.

że wielowymiarowo scharakteryzowano ich żerowiska (Kwaśniewski i współaut. 2010, Trudnowska i współaut. 2012) i preferencje (Stempniewicz i współaut. 2013). Wykazano także powiązania i wpływ powyższych czynników na parametry związane z sukcesem rozrodczym (Jakubas i współaut. 2011) oraz właściwościami tundry w pobliżu kolonii (Zmudczyńska i współaut. 2012, Zwolicki i współaut. 2013). Przekonano się, że tylko w ten sposób można poznać kompleksowe procesy kształtujące unikatowy, polarny ekosystem.

Nigdy jeszcze tak wiele zainteresowania i środków jak w ostatnich latach nie poświęcono na badania obszarów polarnych. Ich głównym motywem są globalne zmiany klimatu, które są najintensywniejsze właśnie w obszarach podbiegunowych (Meredith i King 2005, Clarke i współaut. 2007, Ipcc 2007, Schiermeier 2007). Niektóre prognozy sugerują, że Arktyka będzie sezonowo wolna od lodu już w przeciągu 30 lat (Wang i Overland 2012). Od naukowców prowadzących badania polarne oczekuje się, że przedstawią pełny obraz stanu oraz zmian tamtejszych ekosystemów. Dzięki szerokiemu stosowaniu nowych technik obserwacyjnych są oni coraz bliżej wypełnienia tego zadania.

NOWE TECHNIKI W BADANIACH MORSKICH EKOSYSTEMÓW POLARNYCH

Streszczenie

Ogrom i wielowymiarowość oceanów sprawiają, iż dokładne i bezpośrednie ich obserwacje są wielkim wyzwaniem naukowym. Jednakże dynamiczny rozwój współczesnej oceanografii, dzięki ciągle rozwijającej się technice i jej nowych zastosowaniach, otwiera nowe możliwości i perspektywy poznania.

W ostatnich dekadach oczy całego świata skierowane są ku strefom podbiegunowym, gdzie globalne zmiany zachodzą najintensywniej. Wyprawa polarna to olbrzymie i skomplikowane przedsięwzięcie stwarzające szereg wyzwań, poczynając od trudności z dostępem do miejsca badań jak i związanych z tym wysokich kosztów logistycznych. Podjęcie takiego wyzwania daje jednak ogromną dozę satysfakcji, ponieważ niemal wszystko, co wiąże się z tego typu badaniami nosi znamię odkrycia. Nowe techniki obserwacyjne znacznie przyspieszają dotychczasową, czasochłonną pracę naukowców. Umożliwiają dokładne zbadanie nawet najdrobniejszych organizmów, a także oszacowanie zasobów życia morskiego dzięki zastosowaniu metod akustycznych i optycznych oraz rozpoznanie tysięcy gatunków, także z wykorzystaniem metod molekularnych. Coraz dłużej i głębiej udaje się nurkom penetrować akweny morskie. Możemy także zajrzeć w miejsca do tej pory niedostępne dla człowieka dzięki najnowszym osiągnięciom techniki, takim jak specjalistyczne kamery i roboty podwodne. Ponadto zastosowanie obserwacji satelitarnych umożliwia śledzenie migracji zwierząt oraz obserwację wielkoskalowych procesów na powierzchni morza.

Dynamika oceanu, na którą składa się ogromna ilość procesów, sprawiły, iż interdyscyplinarność to hasło przewodnie dla przyszłości badań oceanograficznych. Od naukowców prowadzących badania w rejonach polarnych oczekuje się aby przedstawili pełny obraz stanu oraz zmian tamtejszych ekosystemów. Dzięki szerokiemu stosowaniu nowych technik obserwacyjnych są oni coraz bliżej wypełnienia tego zadania.

POLAR MARINE ECOSYSTEMS IN THE LIGHT OF NOVEL RESEARCH METHODS

Summary

The polar ecosystems are most impacted by the on-going climate change, therefore, they are currently the main object of scientific interest. Studies in polar marine realm are challenging, since extensive direct oceanographic observations are almost impossible due to remoteness, harsh conditions, extent and complexity of processes shaping that systems. However, they are highly rewarding, bearing elements of scientific discovery.

Novel observational technologies speed up progress in marine research significantly. Accurate analyses of many processes and organisms that were not possible previously using traditional methods, are now implemented and become widely available. Consequently, it is possible to study even the very tiniest marine inhabitants, to automatically estimate a variety of marine resources, follow organisms' dietary components and genetic evolution. Even deep, covered with thick ice ocean habitats are now easily accessible and explored by a great variety of relatively small and affordable automated underwater robots, high resolution cameras and profilers. While satellite observations provide data of both global- and local-scale processes, such as surface water temperature, wave height, properties of ocean currents and ice cover, new software and GPS loggers enable tracking the migrations of various marine species in real time.

Due to the dynamic and complex nature of the oceans, the interdisciplinary approach is the leitmotif of modern and future oceanography. Polar marine researchers are expected to present the full picture of that unique ecosystems. Thanks to modern observation techniques, they are closer than ever to achieve this goal.

LITERATURA

BAŁAZY P., KUKLIŃSKI P., 2013. *Mobile hard substrata – an additional biodiversity source in a high latitude shallow subtidal system.* Est. Coast. Shelf. Sci. 119, 153–161.

CHARRASSIN J.-B., PARK Y.-H., MAHO Y. E., BOST CH.-A., 2002. *Penguins as oceanographers unravel hidden mechanisms of marine productivity*. Ecol. Lett. 5, 317–319.

CHERELL Y., HOBSON K. A., 2007. *Geographical variation in carbon stable isotope signatures of marine predators: a tool to investigate their foraging areas in the Southern Ocean*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 329, 281–287.

CLARKE A., MURPHYL E. J., MEREDITH M. P., KING J. C., PECK L. S., BARNES D. K. A., SMITH R. C., 2007. *Climate change and the marine ecosystem of the western Antarctic Peninsula*. Phil. Trans. R. Soc. B 362, 149–166.

COSTA D. P., HUCKSTADT L. A., CROCKER D. A., MCDONALD B. I., GOEBELM E., FEDAK M. A., 2010. *Approaches to studying climatic change and its role on the habitat selection of Antarctic Pinnipeds*. Integr. Comp. Biol. 50, 1018–1030.

ECHEVERRIA C. A., PAIVA P. C., 2006.*Macrofaunal shallow benthic communities along a discontinous annual cycle at Admiralty Bay, King George Island, Antarctica*. Polar Biol. 29, 263–269.

FEDAK M., 2004.*Marine animals as platforms for oceanographic sampling: a "win/win" situation for biology and operational oceanography*. Mem. Nat. Inst. Polar Res., Spec. Issue 58, 133–147.

HOBSON K. A., FISK A., KARNOVSKY N., HOLST M., GAGNON J.-M., FORTIER M., 2002. *A stable isotope (13C, 15N) model for the North Water food web: implications for evaluating trophodynamics and the flow of energy and contaminants*. Deep-Sea Res. II 49, 5131–5150.

IPCC, 2007. *Climate change 2007: An assessment of the intergovernmental panel on climate change.* http://www.ipcc.ch.

JAKUBAS D., GŁUCHOWSKA M., WOJCZULANIS-JAKUBAS K., KARNOVSKY N. J., KESLINKA L., KIDAWA D., WALKUSZ W., BOEHNKE R., CISEK M., KWAŚNIEWSKI S., STEMPNIEWICZ L., 2011. *Foraging effort does not influence body condition and stress level in little auks.* Mar. Ecol Prog. Ser. 432, 277–290

JAKUBAS D., ILISZKO L., WOJCZULANIS-JAKUBAS K., STEMPNIEWICZ L., 2012. *Foraging by little auks in the distant marginal sea ice zone during the chick-rearing period.* Polar Biol. 35, 73–81.

JAKUBAS D., TRUDNOWSKA E., WOJCZULANIS-JAKUBAS K., ILISZKO L., KIDAWA D., DARECKI M., BLACHOWIAK-SAMOLYK K., STEMPNIEWICZ L., 2013. *In search of cold water – foraging of a small planktivorous alcid*. Mar. Ecol Prog. Ser., w druku.

JAŻDŻEWSKI K., DE BROYER C., PUDLARZ M., ZIELIŃSKI D., 2001. *Seasonal fluctuations of vagile benthos in the uppermost sublittoral of a maritime Antarctic fjord*. Polar Biol. 24, 910–917.

KĘDRA M., LEGEŻYŃSKA J., WALKUSZ W., 2011. *Shallow winter and summer macrofauna in a high Arctic fjord (79° N, Spitsbergen).* Mar. Biodivers. 41, 425–439.

KUKLIŃSKI P., 2009. *Diving and ecological studies in a challenging environment.* [W:] *Proceedings of International workshop on research in shallow marine and fresh water systems.* MERKEL B., SCHIPEK M. (red.). Wissenschaftliche Mitteilungen 39, 13–19.

KWAŚNIEWSKI S., GŁUCHOWSKA M., JAKUBAS D., WOJCZULANIS-JAKUBAS K., WALKUSZ W., KARNOVSKY N. J., CISEK M., BŁACHOWIAK-SAMOŁYK K., STEMPNIEWICZ L., 2010. *The impact of different hydrographic conditions and zooplankton communities on provisioning Little Auks along the West coast of Spitsbergen*. Progr. Oceanograph. 87, 72–82

LANG M. A., SAYER M. D. J., 2007. *Proceedings of the International Polar Diving Workshop.* Svalbard, March 15–21, 2007. Smithsonian Institution, Washington, 213.

LEGEŻYŃSKA J., KĘDRA M., WALKUSZ W., 2012. *When season does not matter: summer and winter trophicecology of Arctic amphipods.* Hydrobiologia 684, 189–214.

MEREDITH M. P., KING J. C,. 2005. *Rapid climate change in the ocean west of the Antarctic Peninsula during the second half of the 20th century*. Geophys. Res. Lett. 32, L19604.

OLIVER M. J., MOLINE M.A., ROBBINS I., FRASER W., PATTERSON D., SCHOFIELD O., 2012. *Letting penguins lead: Dynamic modeling of penguin locations guides autonomous robotic sampling.* Oceanography 25, 120–121.

SCHIERMEIER, Q., 2007. *The new face of the Arctic.* Nature 446, 133–135.

STEMPNIEWICZ L., DARECKI M., TRUDNOWSKA E., BŁACHOWIAK-SAMOŁYK K., BOEHNKE R., JAKUBAS D., KESLINKA-NAWROT L., KIDAWA D., WOJCZULANIS-JAKUBAS K., 2013. *Visual prey availability and distribution of foraging little auks (Alle alle) in the shelf waters of West Spitsbergen.* Polar Biol., w druku.

TONOBE R. T., PEDERSEN L. T., HAAS C., 2010. *Simulation of the CryoSat-2 satellite radar altimeter sea ice thickness retrieval uncertainty*. Canad. J. Remote Sensing 36, 55–67.

TRUDNOWSKA E., SZCZUCKA J., HOPPE L., BOEHNKE R., HOP H., BLACHOWIAK-SAMOLYK K., 2012. *Multidimensional zooplankton observations on the northern West Spitsbergen Shelf*. J. Mar. Syst. 98, 18–25.

WANG M., OVERLAND J. E. E., 2012.*A sea ice free summer Arctic within 30 years-an update from CMIP5 models*. Geophys. Res. Lett., doi:10.1029/2012GL052868, w druku.

WARWICK R. M., EMBLOW C., FERAL J. P., HUMMEL H., VAN AVE-SAATH P., HEIP C., 2003. *European Marine Biodiversity Research Sites. Report of the European Concerted Action: BIOMARE. Implementation and Networking of large scale, long term marine biodi- versity research in Europe*. Netherlands Institute for Ecological research, Centre for Estuarine and Marine Research Ecology, Yerseke, Netherlands.

ZMUDCZYŃSKA K., OLEJNICZAK I., ZWOLICKI A., ILISZKO L., STEMPNIEWCZ L., 2012. *Ifluence of allochtonous nutrients delivered by colonial seabirds on soil collembolan communities on Spitsbergen.* Polar Biol. 35, 1233–1245.

ZWOLICKI A., ZMUDCZYŃSKA-SKARBEK K., ILISZKO L., STEMPNIEWICZ L., 2013. *Guano deposition and nutrient enrichment in the vicinity of planktivorous and piscivorous seabird colonies in Spitsbergen.* Polar Biol. 36, 363–372.