

WOJCIECH MAJEWSKI

*Instytut Paleobiologii PAN
Twarda 51/55, 00-818 Warszawa
E-mail: wmaj@twarda.pan.pl*

OTWORNICE BENTOSOWE DZISIEJSZEJ ANTARKTYKI ZACHODNIEJ

WSTĘP

Dzięki znakomitemu, i w znacznym stopniu już rozpoznanemu, zapisowi kopalnemu, dużemu zróżnicowaniu taksonomicznemu i morfologicznemu, a także, co niebagatelne, a bardzo praktyczne, ich niewielkim rozmiaram, otwornice stanowią wdzięczny obiekt badań zarówno dla paleontologów, geologów, jak i dla biologów. Ci pierwsi odtwarzają ich historię w czasie geologicznym, umożliwiając analizę zarówno samych trendów, jak i mechanizmów ewolucyjnych, drudzy tradycyjnie używają otwornic do badań stratygraficznych, a także w coraz większym stopniu do badań paleośrodowiskowych, w tym izotopowych. Biolodzy natomiast zgłębiają ich fizjologię, współczesne uwarunkowania ekologiczne i biogeografię. Naturalnym jest, że wszystkie te badania w wielu aspektach się zazębiają, prowokując twórczą wymianę myśli pomiędzy przedstawicielami różnych dyscyplin naukowych i rozszerzając problematykę i metodykę badań tej grupy mikroorganizmów.

Otwornice, należące do protistów organizmy jednokomórkowe, to jedna z najważniejszych grup mikroskamieniałości. Obecnie ich formy bentosowe zamieszkują dna mórz i oceanów, gdzie na przestrzeni zaledwie kilku centymetrów kwadratowych można spotkać setki żywych osobników należące do dziesiątków gatunków. Formy planktonowe zamieszkują natomiast toń morską i w sprzyjających warunkach ich skorupki opadając na dno mogą być głównym składnikiem osadu, tworząc tzw. muły globigerynowe. Większość dzisiejszych otwornic buduje węglanowe lub

zlepieńcowate skorupki, które mogą być zachowane w stanie kopalnym. Ich zapis paleontologiczny sięga setek milionów lat wstecz do początków fanerozoiku, choć istnieją przesłanki, iż formy nie posiadające trwałych skorupiek mogły istnieć już w środkowym proterozoiku (MATZ i współaut. 2008).

Chociaż klasycy nauki, tacy jak Jean Baptiste Lamarck czy Alcide d'Orbigny, zajmowali się otwornicami już w pierwszej połowie XIX w., prawdziwy wybuch zainteresowania tą grupą mikroskamieniałości wiązał się z ich wykorzystaniem do datowania skał osadowych. Jednym z prekursorów tej gałęzi mikropaleontologii stosowanej był nasz rodak Józef Grzybowski, który działał na przełomie XIX i XX w. w Galicji. Zainteresowanie wydobyciem ropy naftowej w rejonie Zatoki Meksykańskiej, w latach 20. ubiegłego wieku, doprowadziło do skokowego wzrostu zainteresowania otwornicami, a wieloletnie badania prowadzone przez setki uczonych z całego świata spowodowały, że zapis kopalny tej grupy należy do najlepiej rozpoznanych. Pomimo rozwoju metod izotopowych, geochemicznych, czy szerszego wykorzystaniu kokolitów i mikroskamieniałości krzemionkowych, otwornice do dziś pozostają jedną z najszybciej rozwijających się grup do badań stratygraficznych.

Co ciekawe, przez dekady organizmy te cieszyły się jedynie ograniczonym zainteresowaniem ze strony biologów. Dla przykładu, badania dotyczące ich skomplikowanego cyklu rozrodczego, w wyniku którego powstają zróżnicowane morfologicznie formy

mikro- i makrosferyczne, były prowadzone przede wszystkim do połowy XX w., chociaż cykle wielu kluczowych taksonów nigdy nie zostały udokumentowane. W ostatniej dekadzie obserwujemy wyraźny wzrost zainteresowania otwornicami ze strony przedstawicieli nauk biologicznych. Wiąże się to z upowszechnianiem nowych metod analitycznych i wzrostem wykorzystywania metod molekularnych do analiz taksonomicznych, ekologicznych, czy biogeograficznych.

Otwornice planktonowe żyjące w Antarktyce są stosunkowo ubogie taksonomicznie i zdominowane przez jedyny wybitnie polarny

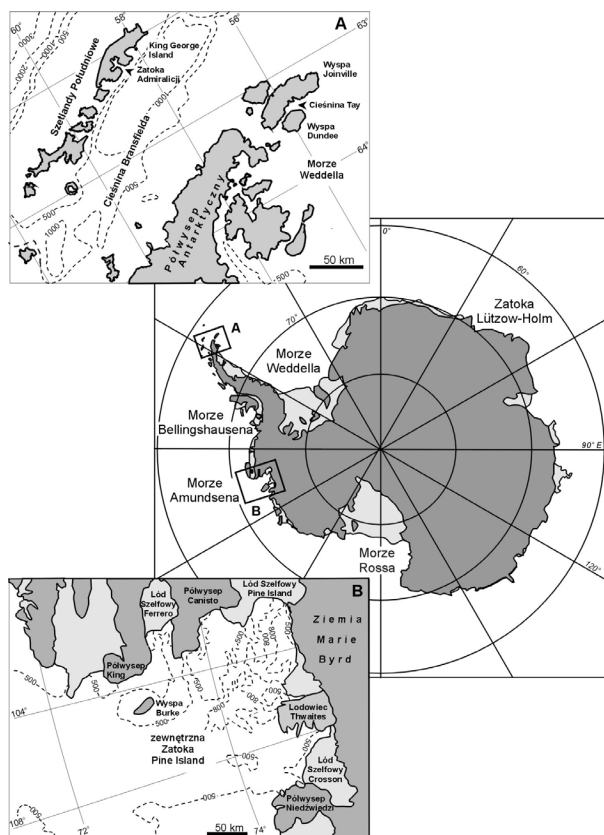
gatunek lewoskrętnej *Neogloboquadrina pachyderma*. Gatunki bentosowe natomiast są liczone w setkach i stanowią istotny składnik meiofauny. Intensywne badania otwornic w Antarktyce zapoczątkowane zostały już w okresie międzywojennym i dotyczyły rejonu Cieśniny Drake'a, Morza Rossa i rejonu Ziemi Wilhelma II we Wschodniej Antarktyce (MIKHALEVICH 2004). Późniejszy rozwój badań Antarktyki przyniósł systematyczny przyrost wiedzy na temat otwornic zamieszkujących także inne rejony, jednak do dziś obszary trudniej dostępne pozostają słabo rozpoznane.

OTWORNICE BENTOSOWE ZATOKI ADMIRALICJI

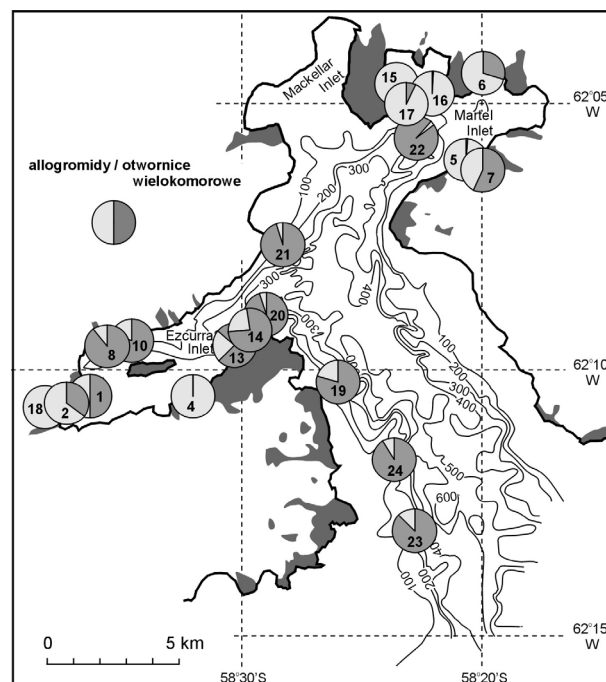
Dzięki znacznej koncentracji badań w rejonie Szetlandów Południowych (Ryc. 1), obszar ten zostały szczególnie dobrze rozpoznany pod względem występujących tam otwornic bentosowych. Znaczący wkład w poznanie ich zespołów miały badania prowadzone w Zatoce Admiralicji na Wyspie Króla

Jerzego w polskiej Stacji im. Henryka Arctowskiego (MAJEWSKI 2005, 2010; MAJEWSKI i współaut. 2007). Podobne badania, choć w mniejszej skali, prowadzone były także w sąsiedniej Zatoce Maxwella (ZHANG BINGGAO 1994, MAYER 2000), a także w rejonie Wyspy Deception (FINGER i LIPPS 1981), gdzie analizowano ponowne zasiedlanie przez otwornice tego obszaru po serii erupcji wulkanicznych z późnych lat 60. XX w.

W sezonach 2002/2003 i 2006/2007, wydobyto próby osadów z dna Zatoki Ad-



Ryc. 1. Mapa Antarktyki z powiększonym obszarem Szetlandów Południowych (A) i Zatoki Pine Island (B), gdzie autor prowadził badania.



Ryc. 2. Mapa ukazująca proporcje allogromiód do otwornic wielokomorowych w różnych obszarach Zatoki Admiralicji.

miralicji zarówno z wykorzystaniem dużego statku „Polar Pioneer”, niewielkiego kutra „Słoń Morski”, jak i przy pomocy nurków. Pozwoliło to na penetrację krańcowo zróżnicowanych stanowisk poczynając od płytkich rejonów w bezpośredniej bliskości lądu czy lodowców, a skończywszy na ponad 500 metrowych głębokościach przy ujściu zatoki. Dzięki tak prowadzonym pracom terenowym możliwe było nie tylko przeprowadzenie szczegółowej inwentaryzacji różnorodnych zespołów otwornic, ale także zidentyfikowanie nowych dla nauki gatunków.

W Zatoce Admiralicji rozpoznano w sumie 138 taksonów otwornic bentosowych (MAJEWSKI 2010). Większość z nich to użyteczne w badaniach geologicznych otwornice posiadające skorupki wapienne (58 taksonów) lub aglutynujące (31). Pozostałe (49), to otwornice należące do allogromidów (Ryc. 2), zróżnicowanej grupy otwornic jednokomorowych, których znaczna część posiada jedynie skorupki organiczne, delikatnie aglutynowane, bądź zlepieńcowate, ale bez mineralnego cementu, czego skutkiem jest dezintegracja skorupki wkrótce po śmierci jej właściciela.

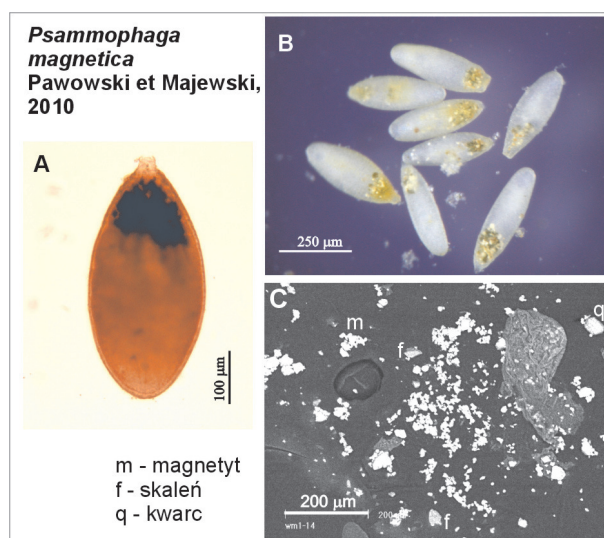
ALLOGROMIDY: NIEDOCENIANE OTWORNICE JEDNOKOMOROWE

Pomimo stosunkowo wąskiego zakresu zmienności morfologicznej (pojedyncza, sferyczna lub wydłużona komora), liczba gatunków allogromidów zamieszkujących wody Antarktyki może być liczona w setkach. Co ciekawe, do niedawna były one ignorowane przez większość badaczy. W wyniku rutynowego suszenia próbek do analiz mikropaleontologicznych, większość allogromidów ulegała bezpowrotnej dezintegracji, co w znaczącym stopniu zaniżało oceny różnorodności całych zespołów. Pomijając najstarsze badania otwornic z Antarktydy, które prowadzone były w sposób umożliwiający analizę większości allogromidów, późniejsze badania w marginalnym stopniu uwzględniały tę grupę otwornic. Jako rezultat, w miarę kompletne, nowoczesne ich opracowania z Antarktyki dotyczą jedynie Morza Rossa i właśnie Zatoki Admiralicji. Jak się okazuje, te delikatne formy stanowią bardzo istotny składnik zespołów otwornic w obszarach polarnych i zasługują na zdecydowanie więcej uwagi niż dotychczas.

Dobrym odzwierciedleniem stanu wiedzy na temat antarktycznych allogromidów jest wykaz ich morfotypów dla Zatoki Admiralicji (MAJEWSKI i współaut. 2007) i McMurdo Sound na Morzu Rossa (GOODAY i współaut. 1996). Spośród zidentyfikowanych taksonów, przytłaczająca większość to formy o otwartej systematyce, nieposiadające ugruntowanej nazwy gatunkowej, a często także rodzajowej. Dzięki integracji metod morfologicznych i molekularnych możliwe było opisanie z Zatoki Admiralicji nowego rodzaju i dwóch nowych gatunków allogromidów. Pierwszym opisanym przedstawicielem nowego rodzaju została *Bowseria arctowski* o dość charak-

terystycznej morfologii (SINNIGER i współaut. 2008). Otwornica ta spotykana jest w osadach powierzchniowych na głębokości 100–200 m ppm (pod powierzchnią morza). Wcześniej, co samo w sobie jest dość symptomatyczne, klasyfikowana była jako „kiełbasokształtny niezidentyfikowany allogromid”.

Drugi gatunek opisany z Zatoki Admiralicji, należy do kosmopolitycznego rodzaju



Ryc. 3. *Psammophaga magnetica*, jedna z najbardziej charakterystycznych otwornic jednokomorowych z grupy allogromidów.

Zwróć uwagę na liczne ziarna mineralne zgrupowane w pobliżu ujścia widoczne na rycinach A i B. Rycina C ukazuje zawartość jednego osobnika w obrazie podkreślającym kontrast gęstościowy (SEM, tryb BSE), umożliwiającym rozróżnianie minerałów o różnej gęstości.

Psammophaga, a został nazwany *P. magnetica* (PAWŁOWSKI i MAJEWSKI 2011). Charakteryzuje się on rzadko spotykaną u otwornic łatwością w sortowaniu drobinek osadu nie tylko pod kątem ich wielkości, ale także składu mineralnego (Ryc. 3). Wygląda na to, że *P. magnetica*, nie posiadająca skorupki mineralnej, aktywnie zwiększa gęstość swojego ciała poprzez pochłanianie cząstek osadu. Nie są to jednak przypadkowe ziarna mineralne, ale te charakteryzujące się najwyższą możliwą gęstością. W przypadku osadów z Zatoki Admiralicji, są to ziarna magnetytu i tytanomagnetytu, które są selektywnie wchłaniane do wewnątrz komórki i gromadzone w okolicach ujścia. Dzięki temu osobniki *P. magnetica* mogą łatwo osiągać charakterystyczną pół-uniesioną pozycję przyżyciową i móc przeciwstawiać się przemieszczaniu przez delikatniejsze ruchy przydenne wód.

Jak już wspomniano, z Zatoki Admiralicji zostało dotychczas opisanych prawie 50 morfotypów allogromidów (MAJEWSKI i współaut. 2007). Występują one we wszystkich próbkach pobranych z głębokości pomiędzy 8 i 250 m ppm, choć wraz ze zmienną batymetrią wykazują wyraźne zróżnicowanie taksonomiczne. Wydaje się, iż wraz z rosnącą głębokością siedlisk i ich odległością od lądu różnorodność gatunkowa allogromidów rośnie, choć łączna ich liczebność maleje. Jest to zrozumiałe, biorąc pod uwagę postrzeganie tej grupy w powiązaniu z pozostałymi otwornicami, czyli tymi, posiadającymi solidne skorupki. Te ostatnie wykazują przeciwnie rozmieszczenie. Są stosunkowo nieliczne lub wręcz nieobecne i mało zróżnicowane w osadach z niewielkich głębokości, zdecydowanie dominują natomiast w zespołach otwornic z siedlisk głębokowodnych.

OTWORNICE WIELOKOMOROWE

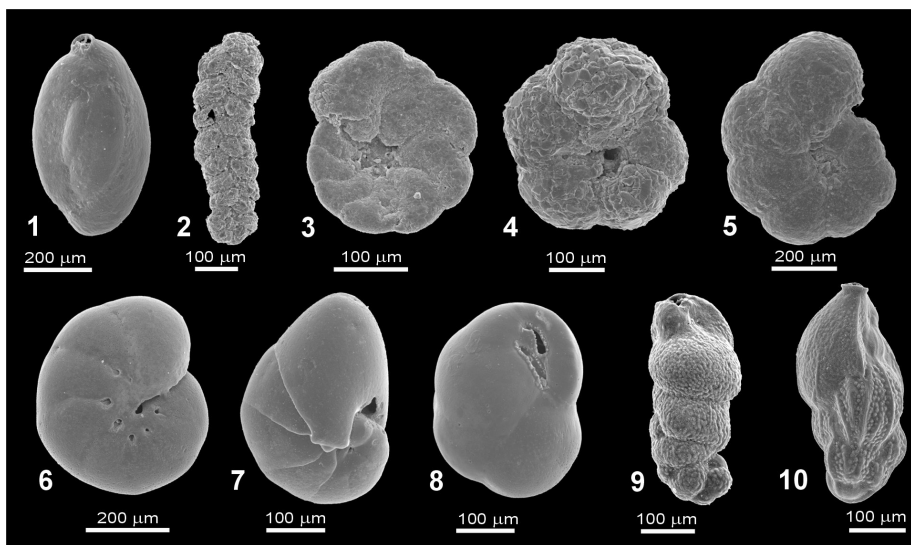
Wśród otwornic o skorupkach wapiennych czy zlepieńcowatych pokazną grupę stanowią formy wielokomorowe. Ze względu na dużą plastyczność morfologiczną i częste wyraźne preferencje ekologiczne są one szczególnie cenne do badań paleośrodowiskowych, które mają na celu odtworzenie warunków klimatycznych z okresu zanim pojawił się człowiek z jego aparaturą do pomiarów meteorologicznych i oceanograficznych. Badania tego typu mają szczególne znaczenie w Antarktyce, gdzie człowiek pojawił się stosunkowo niedawno i musi posilkować się metodami pośrednimi do odtwarzania zmian paleoklimatycznych już dla tak nieodległych okresów jak pierwsza połowa XX w., o czasach wcześniejszych nie wspominając. Po drugie, Antarktyka z jej dynamicznymi lądolodami jest kluczowa dla systemu klimatycznego i oceanów całej Ziemi i z tej perspektywy odtworzenie mniej i bardziej odległej historii środowiska Antarktyki jest priorytetowe dla prognozowania przyszłości.

W tych warunkach poznanie preferencji ekologicznych dzisiejszych otwornic, posiadających znaczny potencjał fosylizacyjny, oferuje wspaniałe narzędzie do odczytania zapisu kopalnego. Pod tym kątem prowadzone były także badania otwornic wielokomorowych w Zatoce Admiralicji (MAJEWSKI 2005). Okazało się, że w tym akwenie występuje kilka zespołów związanych z odmiennymi warunkami batymetrycznymi, a różniącymi

się nie tyle samym składem gatunkowym, co procentowym udziałem poszczególnych taksonów. Z tego obrazu wyraźnie wyłamują się jedynie zespoły otwornic zamieszkujące najpłytsze głębokości do 100 m ppm, zasiedlone przez stosunkowo nieliczne gatunki, przede wszystkim przez dość zróżnicowaną morfologicznie *Globocassidulina bitora*, dominującą zespoły w pobliżu brzegu, a także w mniejszym stopniu *Quinqueloculina* sp., *Cassidulinoides parkerianus* i zlepieńcowatą *Spiroplectammmina biformis* (Ryc. 4).

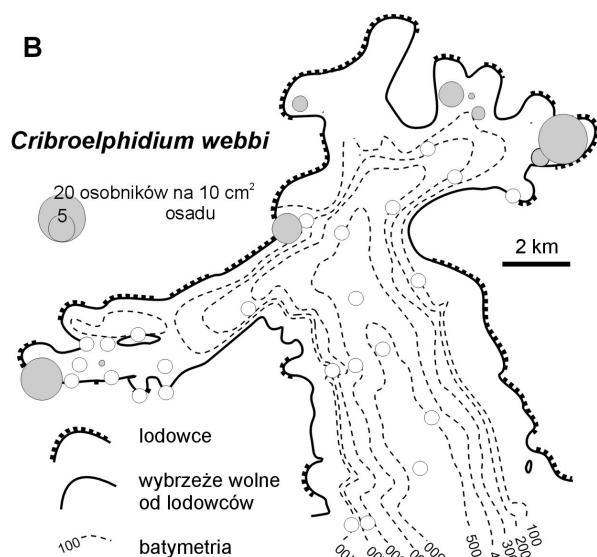
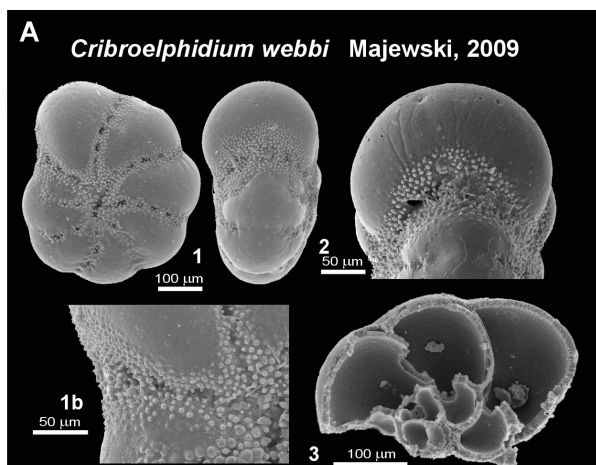
Otwornice te, z wyjątkiem *C. parkerianus*, na większych głębokościach występują jedynie sporadycznie. Licznie występują tam natomiast zróżnicowane gatunki z rodzajów aglutynujących: *Miliammina*, *Nodulina*, *Labrospira*, *Portatrochammmina*, *Paratrochammmina*, i wapiennych: *Bolivina*, *Fursenkoina*, *Angulogerina*, *Astrononion*, *Cibicides*, *Pullenia*, i inne. Ponownie, jak to było w przypadku allogromidów, zaobserwowana została tendencja wzrostu zróżnicowania gatunkowego zespołów wraz ze wzrostem batymetrii, przy jednoczesnym spadku liczebności poszczególnych gatunków. Poza wyraźnie ograniczoną liczebnością w próbkach wydobytych z najmniejszych głębokości, nie odnotowano wyraźnych tendencji w całkowitej liczebności całych zespołów otwornic bentosowych wraz z rosnącą batymetrią.

Prawdziwym odkryciem okazał się natomiast nowy gatunek opisany z Zatoki Adm-



Ryc. 4. Niektóre otwornice wielokomorowe powszechnie występujące w Zatoce Admiralicji:

Aglutynujące: 1. *Miliammina arenacea*, 2. *Spiroplectammina biformis*, 3. *Paratrochammina* (*Lepidoparatrochammina*) *lepada*, 4. *Portatrochammina antarctica*, 5. *Labrospira jefreysii*; Wapienne: 6. *Astrononion echolsi*, 7. *Nonionella iridea*, 8. *Globocassidulina bitor*, 9. *Cassidulinoides parkerianus*, 10. *Angulogerina earlandi*.



Ryc. 5. *Cribroelphidium webbi* (A), pierwszy żyjący przedstawiciel rodziny Elphidiidae opisany z Antarktyki i jego rozprzestrzenienie w Zatoce Admiralicji (B).

ralicji jako *Cribroelphidium webbi* (Ryc. 5A), który jest jedynym żyjącym przedstawicielem rodziny Elphidiidae opisanym dotychczas z Antarktyki (MAJEWSKI i TATUR 2009). Otwornice należące do tej rodziny są szczególnie powszechnie spotykane we wszelkiego rodzaju nietypowych środowiskach, charakteryzujących się ograniczonym zasoleniem, między innymi w estuariach. Są one także powszechnie notowane z Arktyki, gdzie *Cribroelphidium excavatum clavatum* jest jedynym przedstawicielem otwornic wapiennych przystosowanym do życia w niestabilnym ekologicznie środowisku w bezpośrednim sąsiedztwie lodowców, gdzie notowane są zarówno znaczne wahania zasolenia wód, jak i tempa sedymentacji (np. HALD i KORSUN 1997). W Arktyce, jak i w stosunkowo nieodległej Patagonii (HROMIC i współaut. 2006), powszechnie występują także inni przedstawiciele tej rodziny, tym bardziej dziwiła więc ich do niedawna uznawana nieobecność w Antarktyce.

Analiza krótkich rdzeni osadów późno-holocenijskich z Zatoki Admiralicji sugeruje, iż *C. webbi* może być doskonałym gatunkiem indeksowym, notowanym jedynie ze środowisk w bezpośredniej bliskości lodowców (MAJEWSKI i TATUR 2009). Środowiska te zazwyczaj opanowane są przez allogromidy, które nie zachowują się w stanie kopalnym (Ryc. 2 i 5B). Dlatego odkrycie tego gatunku jest szczególnie cenne. Jego użyteczność dla analiz paleośrodowiskowych została potwierdzona podczas interpretacji zapisu otwornicowego z rdzenia wydobytego z Cieśniny Tay, pomiędzy wyspami Joinville i Dundee, na północno-zachodnim przedłu-

żeniu Półwyspu Antarktycznego (MAJEWSKI i ANDERSON 2009). W zapisie tym osobniki *C. webbi* zostały zidentyfikowane jedynie z interwału datowanego na około 9 tysięcy lat

temu, stanowiącego zapis środowisk najbardziej proksymalnych w stosunku do wycofującego się lodowca (MICHALCHUK i współaut. 2009).

CZYNNIKI PRZYRODNICZE WPŁYWAJĄCE NA ROZMIESZCZENIE ZESPOŁÓW OTWORNIC W ANTARKTYCE

Zmiany, jakie zachodziły w klimacie Antarktyki, mogą być odtwarzane dzięki analizie kopalnych zespołów otwornic. Takie badania były już z sukcesem prowadzone przez różnych badaczy (np. ISHMAN i SPERLING 2002, SMITH i współaut. 2007, MAJEWSKI i ANDERSON 2009, MAJEWSKI i współaut. 2012). Aby prawidłowo interpretować dane otwornicowe w zapisie kopalnym, potrzebne jest jednak zrozumienie czynników, jakie mają wpływ na ich dzisiejsze rozprzestrzenienie. Część tych uwarunkowań, obserwowanych w skali lokalnej, została przedstawiona przy okazji dyskusji wyników prac prowadzonych w Zatoce Admiralicji. Obserwacje prowadzone przez innych badaczy obejmowały rozległe, bardziej zróżnicowane geograficznie i ekologicznie obszary. Wszędzie tam zaobserwowano wyraźne zmiany zespołów otwornicowych.

W obrębie Morza Weddella zaobserwowano powiązanie poszczególnych zespołów otwornicowych z odmiennymi masami wód (ANDERSON 1975) i typem osadu (MACKENSEN i współaut. 1990). ISHMAN i DOMACK (1994) w bardzo przekonujący sposób wykazali powiązanie rozprzestrzenienia zespołów otwornic bentosowych z dominującymi masami wód na rozległym obszarze na zachód od Półwyspu Antarktycznego, Wodami Morza Weddella (Weddell Sea Transitional Waters) na wschodzie i Okolobiegunowymi Wodami Głębinowymi (Circumpolar Deep Water) na zachodzie. Zaobserwowano także wyraźne zróżnicowanie zespołów wraz z batymetrią (PFLUM 1966, WARD i współaut. 1987, VIOLANTI 1996, MAJEWSKI 2013), interpretowane jako odpowiedź na zwiększoną rozpuszczalność węglanu wapnia na znacznie głębszych głębokościach.

Zjawisko to zdaje się być również powiązane z rozmieszczeniem odmiennych mas wód. W głębszych partiach Zatoki Pine Island czy Morza Rossa odnotowano intruzje Okolobiegunowe Wody Głębinowe, które różnią się od wód powierzchniowych nie tylko podwyższoną temperaturą i zasoleniem, ale także znaczną agresywnością względem węglanu wapnia. Wyraźne zubożenie zespołów bentosowych w gatunki o skorupkach węglanowych może być poważnym problemem nie tylko przy interpretacjach paleośrodowiskowych z użyciem zespołów otwornic, jako że znaczna większość skorupek aglutynowanych słabo zachowuje się w osadzie, ale także przy określaniu wieku osadów ze względu na prawie kompletny brak materiału węglanowego do datowań metodą węgla ^{14}C (np. KIRSHNER i współaut. 2012).

Odmierna sytuacja zachodzi w Zatoce Admiralicji, gdzie woda morska w profilu batymetrycznym jest w znacznym stopniu jednorodna pod względem temperatury i zasolenia (LIPSKI 1987). Wyraźne wysłodzenie wód i znaczniejsze zróżnicowanie temperatur zauważalne jest jedynie do głębokości 15–35 m, co odzwierciedla wpływ wód opadowych i roztopowych, a także atmosfery i nasłonecznienia (SZAFRĄSKI i LIPSKI 1982). Obecność agresywnych względem węglanu wapnia Okolobiegunowych Wód Głębinowych nie jest notowana nawet w najgłębszych częściach zatoki, dlatego zespoły ze średnich i znaczniejszych głębokości różnią się jedynie proporcjami poszczególnych gatunków. W obrębie Zatoki Admiralicji nie występują zespoły zdominowane wyłącznie przez otwornice aglutynujące, bądź wapienne (MAJEWSKI 2005).

ZRÓŻNICOWANIE ZESPOŁÓW OTWORNICOWYCH ANTARKTYKI

Dzięki wszechstronnym badaniom przeprowadzonym zarówno w Zatoce Admiralicji na Szetlandach Południowych (MAJEWSKI 2005, 2010; MAJEWSKI i współaut. 2007), jak i w odległej w linii prostej o ponad 4 tysiące kilometrów Cieśninie McMurdo na Morza

Rossa (WARD 1984, BERNHARD 1987, GOODAY i współaut. 1996), zgromadzono materiał pozwalający na wiarygodną ocenę podobieństwa zamieszkujących je zespołów otwornic bentosowych. Okazuje się, że spośród wszystkich gatunków otwornic odnotowanych w oby-

dwu obszarach, prawie 45% to gatunki żyjące zarówno w Zatoce Admiralicji, jak i Cieśninie McMurdo. Wśród jednokomorowych otwornic zlepieńcowatych, obejmujących allogromidy, ponad 35% to gatunki występujące w obu lokalizacjach, zaś wśród zlepieńcowatych wielokomorowych prawie 60% to gatunki wspólne dla Zatoki Admiralicji i Cieśniny McMurdo. Co więcej, wśród wielokomorowych otwornic wapiennych udział gatunków wspólnych wynosi ponad 64%.

Jeszcze ciekawiej wygląda porównanie pomiędzy otwornicami opisanymi niedawno z Zatoki Pine Island (MAJEWSKI 2013) a opisanymi z szerszego obszaru Morza Rossa (WARD 1984, GOODAY i współaut. 1996, VIOLANTI 1996) i Szetlandów Południowych (FINGER i LIPPS 1981; MAJEWSKI 2005, 2010; MAJEWSKI i współaut. 2007). Wszystkie te obszary znajdują się w obrębie Antarktyki Zachodniej. Powyższe porównanie niestety nie uwzględnia najbardziej delikatnych allogromidów. Okazało się jednak, że ze wszystkich taksonów zidentyfikowanych z centralnej części Zatoki Pine Island, 54% było także odnotowanych z Szetlandów Południowych, a 59% z Morza Rossa. Wśród otwornic wielokomorowych analogiczne udziały ukształtowały się odpowiednio na wysokości 53% i 63%.

Pomimo podobnej odległości geograficznej, większe podobieństwo pomiędzy zespołami z Zatoki Pine Island a opisanymi z Morza Rossa, w porównaniu z tymi z Szetlandów Południowych, nie powinno dziwić ze względu na znacząco łagodniejszy klimat ostatniego obszaru. Szetlandy Południowe to część Antarktyki położona najbliżej Patagonii, skąd docierają cyklonowe komórki sztormowe przynoszące stosunkowo ciepłe masy powietrza i obfite opady atmosferyczne (KING i współaut. 2003). Na znaczne różnice w zespołach otwornic pomiędzy rejonem Szetlandów Południowych a leżącym dalej na południowy zachód obszarem Morza Bellingshausen'a wskazywano już we wcześniejszych pracach (ISHMAN i DOMACK 1994).

Co ciekawe, porównanie zespołów z Zatoki Pine Island (MAJEWSKI 2013) z tymi opisanymi z Zatoki Lützow-Holm w Antarktyce

Wschodniej (IGARASHI i współaut. 2001) wykazało jeszcze większe podobieństwo od tych, zaobserwowanych w obrębie samej Antarktyki Zachodniej. Okazało się, że spośród wszystkich taksonów z Zatoki Pine Island aż 62% odnotowano także z Zatoki Lützow-Holm, podczas gdy wśród otwornic wielokomorowych analogiczna wartość osiągnęła prawie 73%. Jest to znacząco wyższe podobieństwo niż pomiędzy Zatoką Pine Island a Morzem Rossa, pomimo wielokrotnie większej odległości geograficznej liczonej drogą morską pomiędzy Zatoką Pine Island i Zatoką Lützow-Holm (Ryc. 1). Wydaje się, że to wysokie podobieństwo zespołów otwornic przypisać można znaczącemu wpływowi Okołoobiegunowych Wód Głębinowych na kształtowanie się obecnego środowiska obu obszarów. Zarówno w Zatoce Pine Island, jak i Zatoce Lützow-Holm, odnotowano znaczący wpływ tych stosunkowo ciepłych mas wodnych w czasie wycofywania się lodowców z obu obszarów po maksimum ostatniego zlodowacenia (IGARASHI i współaut. 2001, KIRSHNER i współaut. 2012). Fakt ten potwierdza decydującą rolę mas wodnych dla rozprzestrzenienia zespołów otwornic na szelfie wokół-antarktycznym.

Jako następstwo znaczącego podobieństwa zespołów otwornicowych pomiędzy tak skrajnie odległymi obszarami Antarktyki, nasuwa się istotne wnioski. Po pierwsze, istnieje znaczna grupa otwornic bentosowych charakteryzujących się wokół-antarktycznym rozprzestrzenieniem. Wyrażone jest to nie tylko na poziomie morfologicznej analogii taksonów zasiedlających skrajnie odległe obszary Antarktyki, co było już odnotowane (MIKHALEVICH 2004), ale także na poziomie molekularnym, czego dowodzi jeszcze nieopublikowane porównanie danych z Morza Rossa i Zatoki Admiralicji (Pawłowski i współaut. w przygotowaniu). Co więcej, fakt tak szerokiego rozprzestrzenienia dużej grupy gatunków sugeruje możliwość transferu danych ekologicznych dotyczących poszczególnych taksonów otwornic lub ich zespołów poza wąsko rozumiane regiony, co pozwala na szerokie wykorzystanie otwornic do interpretacji kopalnych archiwów paleośrodowiskowych.

OTWORNICE BENTOSOWE DZISIEJSZEJ ANTARKTYKI ZACHODNIEJ

Streszczenie

Po ostatniej dekadzie badań, Zatoka Admiralicji na Wyspie Króla Jerzego należy do najlepiej rozpoznanych pod względem występowania otwornic ben-

tosowych akwenów Antarktyki Zachodniej. Opisano stąd kilka nowych dla nauki taksonów, w tym pierwszego żyjącego w Antarktyce przedstawiciela rodziny

Elphidiidae, otwornic często spotykanych w Arktyce i uważanych dotychczas za nieobecne w Antarktyce. Znaczącą część żyjących zespołów stanowią dotychczas słabo poznane jednokomorowe otwornice nie posiadające twardych skorupki. Nie mają one szans zachować się w stanie kopalnym i do niedawna były przeważnie ignorowane przez badaczy. Prowadziło to do znaczącego zanizania różnorodności i liczebności zespołów otwornic, szczególnie w najbardziej płytkowodnych i przybrzeżnych siedliskach. Dzięki stosunkowo szerokiemu rozprzestrzenieniu i wyraźnej różnorodności morfologicznej, najbardziej przydatne do badań środowiskowych są otwornice wielokomorowe. W Zatoce Admiralicji zaobserwowano wyraźne zróżnicowanie batymetryczne ich zespołów, jakkolwiek nie tak znaczące jak w innych obszarach,

gdzie silna stratyfikacja wód idzie w parze z rozpuszczaniem węglanowych skorupki na większych głębokościach. Pomimo znacznej różnorodności siedlisk, zespoły otwornic bentosowych wykazują szerokie rozprzestrzenienie w obrębie akwenów przybrzeżnych nie tylko Antarktyki Zachodniej. Znaczące podobieństwo zespołów zaobserwowano pomiędzy skrajnie odległymi geograficznie regionami Antarktyki Zachodniej i Wschodniej, które znajdują się pod wpływem podobnych czynników oceanograficznych. W konsekwencji informacje dotyczące ekologii poszczególnych gatunków i całych zespołów mogą znaleźć szerokie zastosowanie przy analizie materiału kopalnego, co może przyczynić się do lepszego poznania historii środowiska Antarktyki.

MODERN BENTHIC FORAMINIFERA OF WEST ANTARCTICA

Summary

After a decade of research, Admiralty Bay on King George Island stands among the most researched for benthic foraminifera areas throughout West Antarctica. In this area, several new taxa were established, together with the first living representative of the family Elphidiidae; foraminifera that are common in the Arctic, and so far have been considered absent throughout Antarctica. Monothalamous foraminifera with no mineral test constitute large portion of living foraminiferal assemblages. They have no chance to be preserved in fossil record and until recently they were ignored in most of studies. It lead to significant underestimating of foraminiferal diversities and total frequencies, especially in the most shallow-water and near-shore environments. Thanks to rather broad geographic distribution and distinct morphological variability, multichambered

foraminifera are the most useful for environmental studies. In Admiralty Bay, a clear bathymetrical gradient in their assemblages has been observed. However, it was not as pronounced as in other regions where strongly stratified waters promote calcium carbonate dissolution at greater depths. Despite large differences between different habitats, benthic foraminiferal assemblages show broad geographic distribution beyond West Antarctica. Strong assemblage similarities were noted between very distant areas of West and East Antarctica, that are under influence of similar oceanographic conditions. These similarities enable extensive use of ecological data on foraminiferal species and entire communities for interpretation of fossil data throughout Antarctica, which may improve our understanding of its environmental history.

LITERATURA

- ANDERSON J. B., 1975. *Ecology and distribution of foraminifera in the Weddell Sea of Antarctica*. Micropaleontology 21, 69–96.
- BERNHARD J. M., 1987. *Foraminiferal biotopes in Explorers Cove, McMurdo Sound, Antarctica*. J. Foraminiferal Res. 17, 286–297.
- FINGER L. F., LIPPS J. H., 1981. *Foraminiferal decimation and repopulation in an active volcanic caldera, Deception Island, Antarctica*. Micropaleontology 27, 11–139.
- GOODAY A. J., BOWSER S. S., BERNHARD J. M., 1996. *Benthic foraminiferal assemblages in Explorers Cove, Antarctica: A shallow-water site with deep-sea characteristics*. Progr. Oceanograph. 37, 117–166.
- HALD M., KORSUN S., 1997. *Distribution of modern benthic foraminifera from fjords of Svalbard, European Arctic*. J. Foraminiferal Res. 27, 101–122.
- HROMIC T., ISHMAN S., SILVA N., 2006. *Benthic foraminiferal distributions in Chilean fjords: 47°S to 54°S*. Marine Micropaleontology 59, 115–134.
- IGARASHI A., NUMANAMI H., TSUCHIYA Y., FUKUCHI M., 2001. *Bathymetric distribution of fossil foraminifera within marine sediment cores from the eastern part of Lützow – Holm Bay, East Antarctica, and its paleoceanographic implications*. Marine Micropaleontology 42, 125–162.
- ISHMAN S. E., DOMACK E. W., 1994. *Oceanographic controls on benthic foraminifera from the Bellingshausen margin of the Antarctic Peninsula*. Marine Micropaleontology 24, 119–155.
- ISHMAN S. E., SPERLING M. R., 2002. *Benthic foraminiferal record of Holocene deepwater evolution in the Palmer Deep, western Antarctic Peninsula*. Geology 30, 435–438.
- KING J. C., TURNER J., MARSHALL G. T., CONNELLEY W. M., LACHLAN-COPE T. A., 2003. *Antarctic Peninsula climate variability and its causes as revealed by analysis of instrumental records*. [W:] DOMACK E. (red.). *Antarctic Peninsula Climate Variability*. Antarctic Res. Series 79, 17–30.
- KIRSHNER A. E., ANDERSON J. B., JAKOBSSON M., O'REGAN M., MAJEWSKI W., NITSCHKE F. O., 2012. *Post-IGM deglaciation in Pine Island Bay, West Antarctica*. Quatern. Sci. Rev. 38, 11–26.
- LIPSKI M., 1987. *Variations of physical conditions, nutrient and chlorophyll a contents in Admiralty Bay (King George Island, South Shetland Islands, 1979)*. Polish Polar Res. 8, 307–332.
- MACKENSEN A., GROBE H., KUHN G., FÜTTERER D. K., 1990. *Benthic foraminiferal assemblages from*

- the eastern Weddell Sea between 68 and 73°S: distribution, ecology and fossilization potential. *Marine Micropaleontol.* 16, 241–283.
- MAJEWSKI W., 2005. *Benthic foraminiferal communities: distribution and ecology in Admiralty Bay, King George Island, West Antarctica*. Polish Polar Res. 26, 159–214.
- MAJEWSKI W., 2010. *Benthic foraminifera from West Antarctic fiord environments: An overview*. Polish Polar Res. 31, 61–82.
- MAJEWSKI W., 2013. *Benthic foraminifera from Pine Island and Ferrero bays, Amundsen Sea*. Polish Polar Res. 34, 169–200.
- MAJEWSKI W., ANDERSON J. B. 2009. *Holocene foraminiferal assemblages from Firth of Tay, Antarctic Peninsula: Paleoclimate implications*. *Marine Micropaleontol.* 73, 135–147.
- MAJEWSKI W., TATUR A., 2009. *A new Antarctic foraminiferal species for detecting climate change in sub-Recent glacier-proximal sediments*. *Antarctic Sci.* 5, 439–448.
- MAJEWSKI W., LECROQ B., SINNIGER F., PAWLOWSKI J., 2007. *Monothalamous foraminifera from Admiralty Bay, King George Island, West Antarctica*. Polish Polar Res. 28, 187–210.
- MAJEWSKI W., WELLNER J. S., SZCZUCIŃSKI W., ANDERSON J. B., 2012. *Holocene oceanographic and glacial changes recorded in Maxwell Bay, West Antarctica*. *Marine Geol.* 326–328, 67–79.
- MATZ M. V., FRANK T. M., MARSHALL N. J., WIDDER E. A., JOHNSON S., 2008. *Giant deep-sea protist produces bilaterian-like traces*. *Curr. Biol.* 18, 1849–1854.
- MAYER M., 2000. *Zur Ökologie der Benthos-Foraminiferen der Potter Cove (King George Island, Antarktis)*. *Berichte zur Polarforschung* 353, 1–126.
- MICHALCHUK B. R., ANDERSON J. B., WELLNER J. S., MANLEY P. L., MAJEWSKI W., BOHATY S., 2009. *Holocene climate and glacial history of the northeastern Antarctic Peninsula: the marine sedimentary record from a long SHALDRIL core*. *Quatern. Sci. Rev.* 28, 3049–3065.
- MIKHALEVICH V. I., 2004. *The general aspects of the distribution of Antarctic foraminifera*. *Micropaleontology* 50, 179–194.
- PAWLOWSKI J., MAJEWSKI W., 2011. *Magnetite bearing foraminifera from Admiralty Bay, West Antarctica, with description of Psammophaga magnetica, sp. nov.* *J. Foraminiferal Res.* 41, 1–11.
- PELUM C. E., 1966. *The distribution of the foraminifera of the eastern Ross Sea, Amundsen Sea and Bellingshausen Sea, Antarctica*. *Bull. Am. Paleontol.* 50, 151–209.
- SINNIGER F., LECROQ B., MAJEWSKI W., PAWLOWSKI J., 2008. *Bowseria arctowski gen. and sp. nov., new monothalamous foraminiferan from the Southern Ocean*. Polish Polar Res. 29, 5–15.
- SMITH J., BENTLEY M., HODGSON D., ROBERTS S., LENG M., LLOYD J., BARRETT M., BRYANT C., SUGDEN D., 2007. *Oceanic and atmospheric forcing of early Holocene ice-shelf retreat, George VI Ice Shelf, Antarctic Peninsula*. *Quatern. Sci. Rev.* 26, 500–516.
- SZAFRAŃSKI Z., LIPSKI M., 1982. *Characteristics of water temperature and salinity at Admiralty Bay (King George Island, South Shetland Islands, Antarctic) during the austral summer 1978/1979*. Polish Polar Res. 3, 7–24.
- VIOLANTI D., 1996. *Taxonomy and distribution of recent benthic foraminifera from Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica), Oceanographic Campaign 1987/1988*. *Palaeontographia Italica* 83, 25–71.
- WARD B. L., 1984. *Distribution of modern benthic foraminifera of McMurdo Sound, Antarctica*. Rozprawa doktorska, Victoria University, Wellington (nieopublikowane).
- WARD B. L., BARRETT P. J., VELLA P., 1987. *Distribution and ecology of benthic foraminifera in McMurdo Sound, Antarctica*. *Palaeogeograph. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 58, 139–153.
- ZHANG BINGGAO, 1994. *Foraminifera from surface sediments in the Great Wall Bay of King George Island, Antarctica*. [W:] *Stratigraphy and paleontology of Fildes Peninsula, King George Island, Antarctica*. YAN-BIN SHEN (red.) Science Press, 289–370.