

Przemiany klimatyczno-środowiskowe w późnym glacie i holocenie na podstawie badań zespołów malakofauny i małżoraczków na obszarze południowego Bałtyku: wpływ na ówczesne biocenozy

Jarmila Krzywińska¹, Radosław Pikies¹, Piotr Przedziecki¹



J. Krzywińska



R. Pikies



P. Przedziecki

Climate and environmental changes in the Late Glacial and Holocene in the Southern Baltic area based on investigations of malacofauna and ostracod assemblages: their influence on pre-existing biocoenoses. Prz. Geol., 64: 49–58.

A b s t r a c t. The climate changes and related crucial environmental changes in the Late Glacial and Holocene in the Southern Baltic area can be investigated by mollusc and ostracod analyses. It is well known that accumulation of mineral and biogenic sediments in the Southern Baltic area began in the Late Glacial. The process took place in cold tundra lakes and mires. The presence of lake basins is confirmed by seismoacoustic investigations and the resulting 3D spatial model. Lacustrine sediments

contain an assemblage of molluscs and ostracod fauna represented by freshwater species indicating cold climate, such as: *Armiger crista* f. *cristatus*, *Gyraulus laevis*, *Lymnaea peregra*, *Pisidium casertanum*, *Pisidium casertanum* f. *ponderosa*, *Pisidium milium*, *Pisidium nitidum*, *Pisidium obtusale* f. *lapponicum*, *Valvata cristata*, *Pisidium conventus*, *Candona candida*, *Candona neglecta*, *Cytherissa lacustris*, *Darwinula stevensoni* and *Cypridopsis vidua*.

The accumulation in freshwater reservoirs was continued during the Early Holocene. Besides cold freshwater species, sediments of that age also contain freshwater species of molluscs and ostracods that required higher temperature: *Bithynia tentaculata*, *Physa fontinalis*, *Pisidium amnicum*, *Candona compressa* and *Metacypris cordata*. It indicates a climate warming in the Preboreal period.

These lake sediments were partly destroyed and covered by marine sands during the Middle and Upper Holocene. Good indicators of changing from a freshwater to marine environment are the following marine species found in the sediments: *Hydrobia ulvae*, *Hydrobia ventrosa*, *Cerastoderma glaucum*, *Mytilus edulis*, *Macoma balthica*, *Cyprideis torosa* and *Cytheromorpha fuscata*.

Keywords: Late Glacial, Holocene, Southern Baltic area, malacofauna, ostracods

Badania asocjacji mięczaków (Mollusca) i małżoraczków (Ostracoda) dostarczają wielu cennych informacji dotyczących środowiska nie tylko gatunków żyjących współcześnie, ale również subfossilnych. Pozwalają one wyciągać wnioski o ewolucji dawnych układów ekologicznych. Wyraźne i trwałe ocieplenie, które miało miejsce przed ok. dziesięcioma tysiącami lat, sprzyjało rozprzestrzenieniu się wielu gatunków mięczaków i małżoraczków, wydatnemu wzbogacaniu ich populacji, jak też wzrostowi różnorodności zespołów. Zmiany te, w różnych typach siedlisk, zaznaczały się nierównomiernie. Następowaly one głównie w związku z ewolucją szaty roślinnej, odzwierciedlały także bezpośredni wpływ warunków klimatycznych na migrację oraz rozprzestrzenianie się poszczególnych gatunków ślimaków i małżoraczków. Mięczaki wodne i małżoraczki stosunkowo słabo reagowały na fluktuacje klimatu, natomiast są one czołowym wskaźnikiem zmian ekologicznych, dzięki czemu mogą służyć do rekonstruowania historii i ewolucji zbiorników wodnych, ich temperatury, chemizmu, w tym również zasolenia (Brodniewicz & Rosa, 1967; Brodniewicz, 1969, 1979; Kopczyńska-Lamparska i in., 1984; Krzywińska, 2001; Zawadzka i in., 2005; Wojciechowski, 2008; Krzywińska & Namietko, 2013).

PALEOGEGRAFIA POŁUDNIOWEGO BAŁTYKU

Duża część obszaru południowego Bałtyku w okresie późnego glaciału i na początku holocenu miała charakter pojezierza. Potwierdzają to badania geofizyczne i biostra-

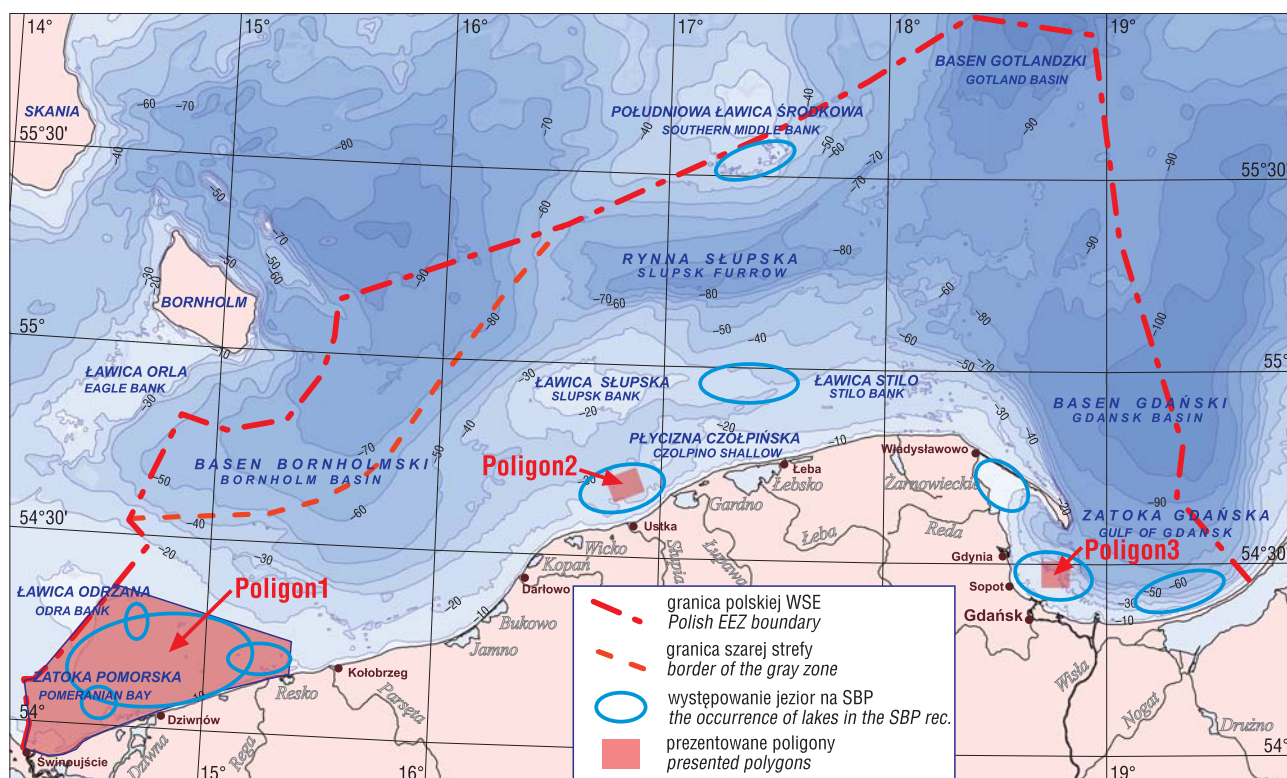
tygraficzne ujawniające, że w zagłębieniach terenu tworzyły się jeziora, którym towarzyszyły torfowiska. Dna jezior, powstałych w obrębie mis wytopiskowych po martwym lodzie, zostały wypełnione przez osady ilasto-mułkowe i mułkowo-piaszczyste. Pozostałości takich zbiorników stwierdzono na obszarze strefy płytkowodnej południowego Bałtyku oraz w wielu punktach polskiego wybrzeża, m.in. w rejonie Zatoki Pomorskiej i Gdańskiej oraz wybrzeża środkowego (ryc. 1).

Były to zbiorniki oligotroficzne o bardzo ustabilizowanych warunkach depozycji osadów, zasilane wodami opadowymi i gruntowymi oraz dopływami cieków, które drenały obszar wysoczyzny morenowej. Osady utworzone w tych zbiornikach często przetrwały transgresję morską i dają się zidentyfikować za pomocą profilowania sejsmoakustycznego oraz badaniami litologicznymi i biostratygraficznymi.

Wyniki badań osadów pobranych w Zatoce Pomorskiej pozwoliły stwierdzić, że osady bagienno-jeziorne zawierające mięczaki i małżoraczki słodkowodne pochodzą z późnego glaciału (Kramarska, 1998; Krzywińska, 2001; Krzywińska & Przedziecki, 2001). Szczegółowe kartowanie Zatoki Pomorskiej w latach 2010–2013 (Kramarska i in., 2013) pozwoliło utworzyć model pojezierza, które istniało tam przed transgresją morską (ryc. 2).

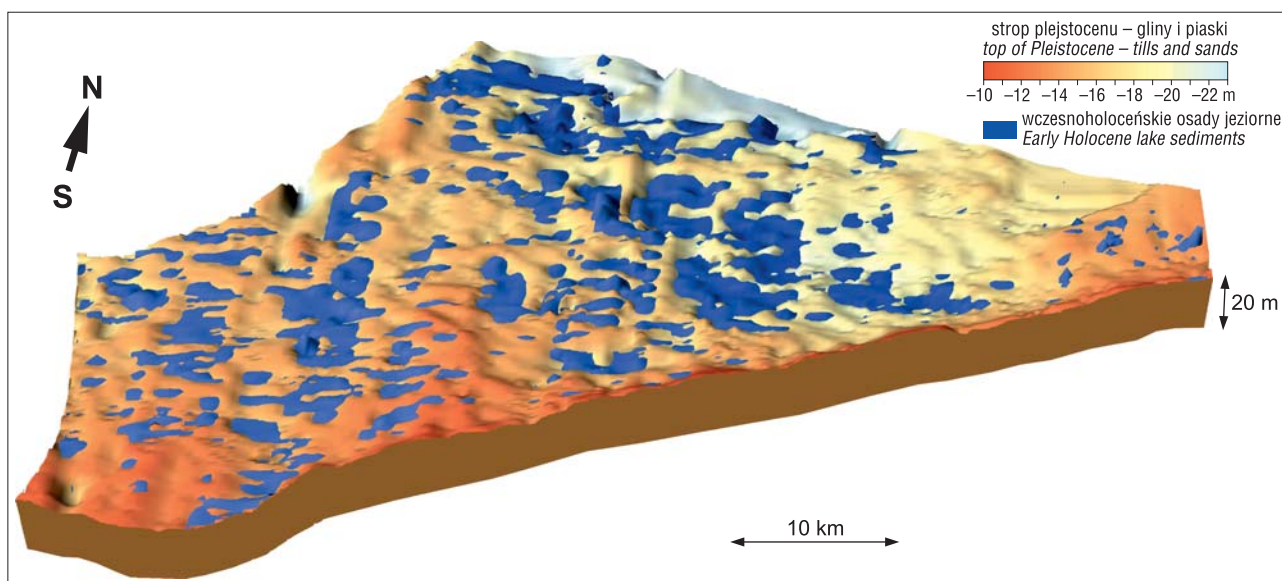
Badania geofizyczne z tego rejonu wskazują na duże zróżnicowanie wielkości i głębokości pojedynczych zbiorników i oraz struktur sedymentacyjnych wypełniających je osadów (ryc. 3).

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Geologii Morza, ul. Kościarska 5, 80-328 Gdańsk; jarmila.krzywinska@pgi.gov.pl, radoslaw.pikies@pgi.gov.pl, piotr.przedziecki@pgi.gov.pl.



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań na tle rejonów występowania na dnie morskim pozostałości po dawnych jeziorach. Skróty zastosowane w legendzie: WSE – Wyłączna Strefa Ekonomiczna, SBP – profilograf osadów dennych

Fig. 1. Location of the presented research on the background of areas where we find on the seabed remains of the former lakes. Shortcuts used in the legend: EEZ – Exclusive Economic Zone, SBP – Sub-Bottom Profiler



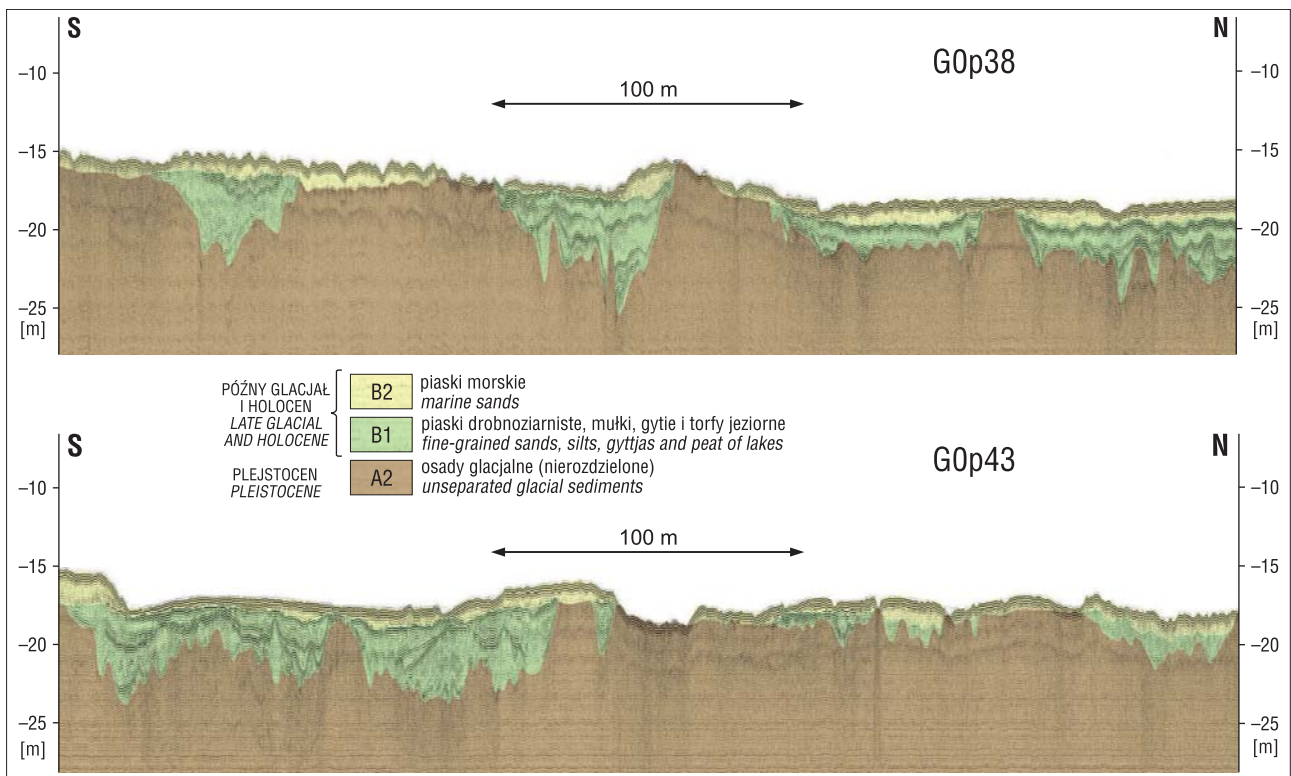
Ryc. 2. Model 3D rzeźby Zatoki Pomorskiej (POLIGON1) po usunięciu warstwy piasków morskich

Fig. 2. 3D model of relief of the Pomeranian Bay after removal of the sea sand bed – POLIGON1

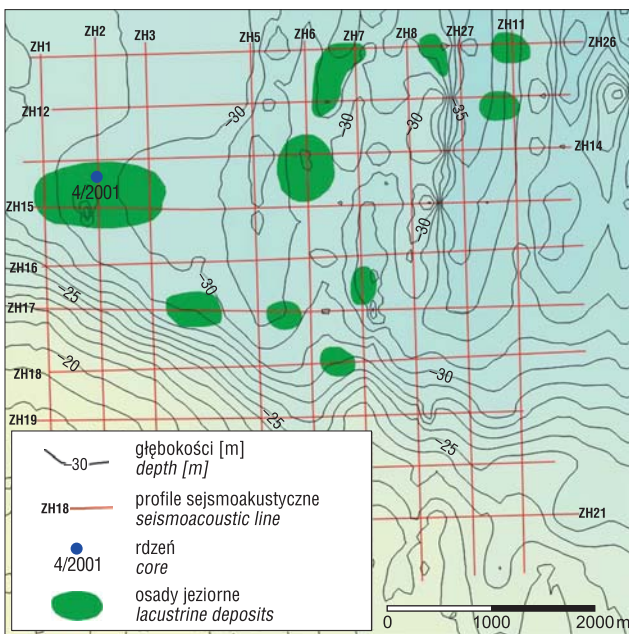
Badania w Zatoce Gdańskiej wykazały, że sekwencje osadów jeziorno-bagiennych zawierających faunę były akumulowane w późnym glacie i wczesnym holocenie (Uścińowicz & Zachowicz, 1994; Krzymińska, 2001; Krzymińska & Przędziecki, 2010; Krzymińska & Namietko, 2012, 2013). Dobrym przykładem jest poligon usytuowany w południowej części Zatoki Gdańskiej (ryc. 4). Na podstawie badań geofizycznych wyznaczono na nim 10 odrębnych zbiorników o rozmiarze 1,2–5,0 km², w całości przykrytych współczesnymi piaskami morskimi o zróżnicowanej mierzności (ryc. 5).

Na obszarze płytkowodnym (ok. 20 m p.p.m.) na północny wschód od Ustki znaleziono pozostałości drzew zakorzenione w obecnym dnie morskim (Miotk-Szpiganowicz i in., 2009). Analiza materiałów sejsmoakustycznych z tego rejonu (POLIGON2; ryc.1) wykazała, że drzewa te rosły kiedyś na cyplu otoczonym obszarami jezior. Rekonstrukcję paleogeograficzną badanego obszaru przedstawia rycina 6.

Budowę geologiczną tego rejonu można prześledzić na przykładowych rejestracjach geofizycznych (ryc. 7), na których widać, że zagłębienia w stropie osadów glacial-



Ryc. 3. Fragmenty zinterpretowanych rejestracji sejsmoakustycznych (SBP 3.5 kHz) z rejonu Zatoki Pomorskiej (POLIGON1)
 Fig. 3. Parts of the interpreted seismoacoustic records (SBP 3.5 kHz) from the Pomeranian Bay – POLIGON1



Ryc. 4. Mapa lokalizacji badań na tle wyznaczonych dawnych zbiorników jeziornych – POLIGON3
 Fig. 4. Location of research and the identified ancient lake reservoirs – POLIGON3

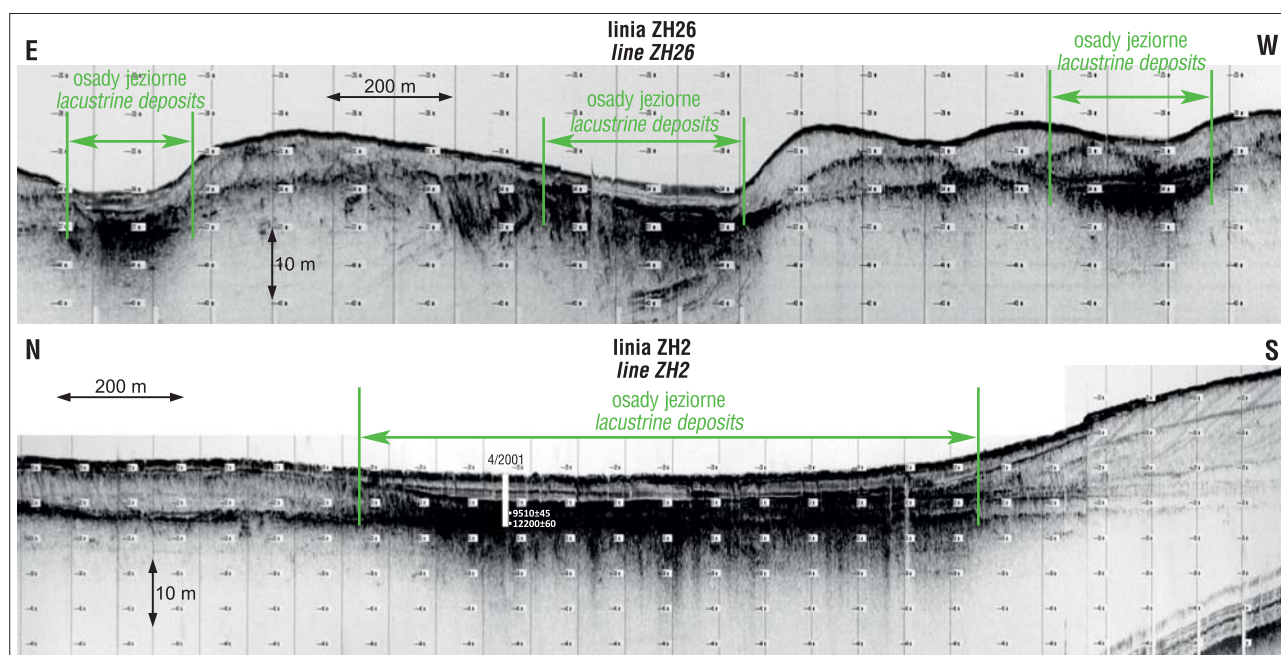
nych są wypełnione osadami jeziornymi i przykryte warstwą współczesnych piasków morskich. Pozostałości zbiorników wypełnione osadami jeziornymi znaleziono również na Południowej Ławicy Środkowej.

Występowanie późnoglacialnych zbiorników słodkowodnych stwierdzono również w kilku punktach obecnej strefy brzegowej (Dobrcki & Zachowicz, 1997; Krzymańska i in., 2003, 2011; Krzymańska & Dobrcki, 2004). Nato-

miast, dzisiejsze jeziora przybrzeżne początkowo znajdowały się na znacznie szerszym obszarze lądowym, okalającym od południa Bałtyckie Jezioro Lodowe, które funkcjonowało do okresu ok. 10,3 ka BP (Svensson, 1991). Eustatyczne obniżenie wczesnoholoceńskiego zbiornika Morza Yoldiowego oraz etap słodkowodnego Jeziora Ancylusowego (10,3–8,5 ka BP) pozostają bez wpływu na zmiany paleoekologiczne tych jezior. Nadal trwa w nich nieprzerwana akumulacja materiału terygenicznego pochodzącego z erozji i denudacji wysoczyzny oraz sedymtacji fluwialnej. Intensywne wypełnianie osadami tych zbiorników powoduje szybkie ich wypływanie. Wśród mięczaków i małżoraczek występują wyłącznie gatunki słodkowodne.

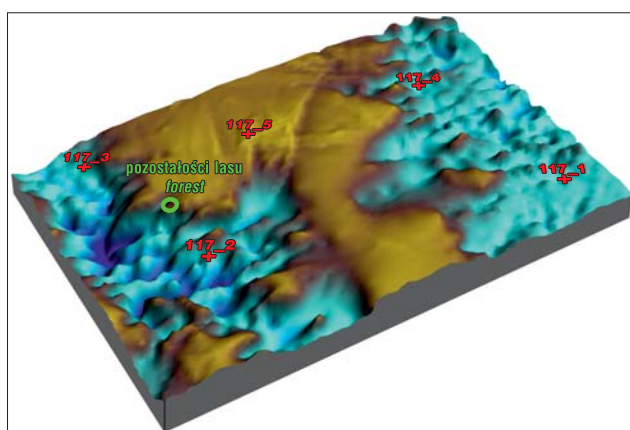
Sytuacja paleogeograficzna Morza Bałtyckiego uległa radykalnej zmianie w wyniku transgresji w okresie atlantyckim Morza Litornowego. Na skutek ponownego połączenia z oceanem światowym przez cieśniny duńskie, ok. 8,5 ka BP, rozpoczęło się kształtowanie współczesnego zbiornika Morza Bałtyckiego (Uściłowicz, 2003). Transgresja w początkowym etapie była bardzo szybka i w okresie 8,5–7,5 ka BP (faza Morza Mastogloia) poziom morza podniósł się o ok. 13 m, potem stała się wolniejsza – od 7,5 do 5,0 ka BP (faza Morza Litornowego) i poziom podniósł się już tylko o 12 m (Uściłowicz, 2003). W tym czasie linia brzegowa uległa radykalnemu przesunięciu ku południowi. Natomiast w okresie poatlantyckim (po 5000 ka BP) zarys linii brzegowej nie ulegał większym zmianom i był już bardzo podobny do współczesnego.

W związku z połączeniem z wodami oceanu światowego, a konkretnie Morza Północnego, nastąpiła też zamiana struktury hydrograficznej wód Bałtyku. Morze Bałtyckie charakteryzuje się dwuwarstwowym rozkładem zasolenia w profilu pionowym, z warstwą górną izohalinową – mniej



Ryc. 5. Fragmenty rejestracji sejsmoakustycznych (Chirp) z zaznaczonymi osadami jeziornymi – POLIGON3

Fig. 5. Parts of the seismoacoustic records (Chirp) with lake sediments marked – POLIGON3



Ryc. 6. Model 3D rejonu badań po usunięciu osadów morskich i jeziornych – POLIGON2; kolor niebieski wyznacza obszary zajmowane dawniej przez jeziora, kolor brązowy obszary, które wówczas były lądem

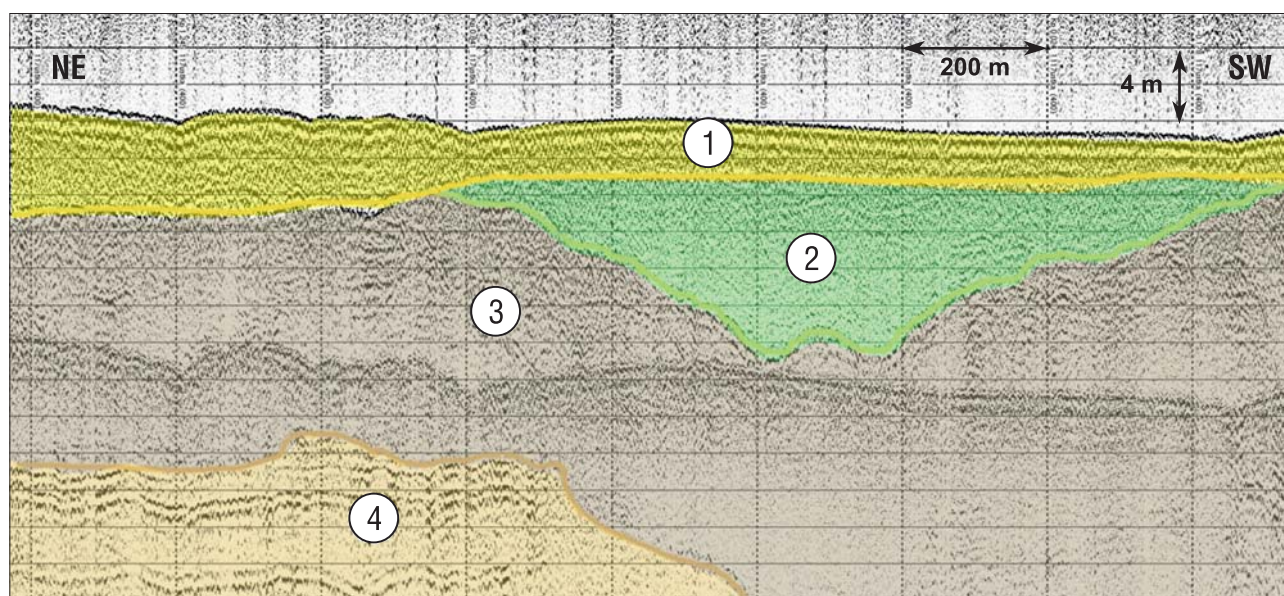
Fig. 6. 3D model of the study area after removal of marine and lacustrine sediments – POLIGON 2, areas formerly occupied by lakes are marked blue; land areas at that time are in brown

słoną, o stałym zasoleniu, i z warstwą dolną – o wyższym zasoleniu. Te dwie warstwy rozdziela strefa gwałtownego wzrostu zasolenia nosząca nazwę halokliny. Stratyfikacja pionowa wód Bałtyku jest zmienna i w głównej mierze zależy od dopływu wód rzecznych do zbiornika morskiego i przydennej wlewu wód oceanicznych. Idąc wzdłuż profilu podłużnego Morza Bałtyckiego od Kattegatu w kierunku Zatoki Botnickiej, haloklina występuje na coraz większej głębokości. Wartości zasolenia oraz natlenienia wód głębinowych zależą od obfitości i częstości wlewu wód słonych z Morza Północnego. Wahań temperatury wody w strefie płytkowodnej wykazują sezonową zmienność od ok. 0 do ponad 22°C, z minimum w lutym i maksimum w sierpniu. W przydennej warstwie morza, w rejonach o głębokości poniżej 60 m, temperatura wody zmienia się w bardzo małym zakresie od 3 do 4°C (Cyberska, 1994).

Obecnie prawie całe życie biologiczne skupia się powyżej powierzchni halokliny, w płytkowodnej strefie dna morskiego. Odnacza się ona dobrym nasłonecznieniem i natlenieniem, co sprzyja rozwojowi życia biologicznego. Z drugiej strony strefa ta jest obecnie w dużym stopniu narażona na zagrożenia związane z doprowadzeniem do Bałtyku wód rzecznych (z dużą ilością zanieczyszczeń) z obszaru zlewni, który stanowi 19% powierzchni kontynentu. Prowadzi to do eutrofizacji wód morskich oraz może być przyczyną pojawiania się toksycznych związków chemicznych.

Opisane zmiany hydrologiczne, związane z transgresją Morza Litorynowego i politorynowego (okres atlantycki-subatlantycki), wpłynęły na dzisiejsze ukształtowanie Morza Bałtyckiego i intensywnie oddziaływały na południowe wybrzeża tego akwenu. Poszczególne zbiorniki jeziorne, na skutek przesuwanącej się abrazyjnie ku południowi linii brzegowej morza, zostały przekształcone w płytkie zatoki morskie lub izolowane akwenu, które mają okresowe połączenia ze zbiornikiem morskim. W zależności od typu kontaktu z otwartym morzem zmieniał się ich obraz faunistyczny i florystyczny. W sytuacji morskiej ingresji, jaka miała miejsce do zbiorników jezior przybrzeżnych (np. Jamno i Bukowo), w osadach powyżej warstwy torfów pojawia się fauna mięczaków morskich i otwartych lagun, odzwierciedlająca zmienność kontaktu ze słonymi wodami morskimi. Głównym komponentem zespołu jest fauna swoista dla Morza Litorynowego.

Zmiany paleogeograficzne Morza Bałtyckiego, będące efektem transgresji litorynowej, były silnie uwarunkowane predyspozycjami strukturalnymi. Analiza litostratygraficzna osadów czwartorzędowych oraz przebieg procesów erozji i akumulacji, zachodzących od schyłku ostatniego zlodowacenia po holocen, wyraźnie wskazuje na ich powiązanie z budową strukturalno-tektoniczną podłoża. Wyrazem tego jest też współczesny obraz linii polskiego wybrzeża południowego Bałtyku, podkreślony obecnością



Ryc. 7. Fragment rejestracji jednego z profili sejsmoakustycznych – POLIGON 2 – z pierwszym zbiornikiem jeziornym; oznaczenia na rysunku: **1** – współczesne piaski morskie; **2** – osady jeziorne (piaski drobnoziarniste, mułki i gytie); **3** – osady plejstoceńskie – gliny i piaski; **4** – osady podłoża – prawdopodobnie miocen

Fig. 7. Part of a seismoacoustic record that shows a lake reservoir – POLIGON2; numbers in circles: **1** – recent marine sands; **2** – lacustrine deposits – fine-grained sands, silts and gyttjas; **3** – Pleistocene sediments – till and sand; **4** – basement rocks – probably of Miocene age

tw. Zatoki Koszalińskiej (Kaszubowski & Dobracki, 2004). Zatoka ta znajduje się w osiowej partii niecki pomorskiej, stanowiącej obniżoną jednostkę strukturalną, oddzielającą wał pomorski od wyniesienia Łeby (Dadlez, 1998, 2001; Kramarska, 1999). To m.in. w strefie tej zatoki, położonej pomiędzy regionalnymi strefami uskokowymi Koszalina i Darłowa, doszło do zwiększenia zasięgu morskiego zbiornika litorynowego.

FAUNA PÓŹNEGO GLACJAŁU I WZESNEGO HOLOCENU

Badane sekwencje osadów z późnego glacjału i dolnego holocenu, które zawierały faunę, były reprezentowane przez osady jeziorno-bagienne (torfy, muły), piaski deltowe oraz piaski lagunowe, występujące w różnych rejonach południowego Bałtyku.

Na obszarze Zatoki Pomorskiej w osadach bagienno-jeziornych wyodrębniono zespół reprezentowany przez ślimaki słodkowodne: *Armiger crista* f. *cristatus* (Draparnaud), *Bithynia tentaculata* (Linnaeus), *Gyraulus laevis* (Alder), *Lymnaea peregra* (O.F. Müller), *Valvata pulchella* Studer, *Valvata piscinalis* (O.F. Müller) oraz gatunki małżów słodkowodnych: *Pisidium amnicum* (O.F. Müller), *P. casertanum* (Poli), *P. milium* Held, *P. moitessierianum* Paladilhe, *P. nitidum* Jenyns, *P. obtusale* f. *lapponicum* (Lamarck) oraz małżoraczki słodkowodne: *Candona candida* (O.F. Müller), *C. neglecta* Sars, *Cyclocypris laevis* (O.F. Müller), *Cytherissa lacustris* (Sars). Skład zespołu wskazuje na strefę przybrzeżną jezior i rzek (Krzymińska, 2001; Krzymińska & Przedziecek, 2001). Wiek badanych osadów określono metodą ^{14}C i oszacowano na ok. 14 060–13 350 lat BP (Kramarska & Jurowska, 1991).

Na obszarze Ławicy Słupskiej w piaskach jeziornych występowały następujące słodkowodne gatunki mięczaków: *Bithynia tentaculata* (Linnaeus), *Physa fontinalis* (Linnaeus), *Valvata cristata* O.F. Müller, *Pisidium amni-*

cum (O.F. Müller), *P. casertanum* f. *ponderosa* Stelfox, *P. milium* Held, *P. nitidum* Jenyns (Krzymińska, 2001). Zespół mięczaków wskazuje na zbiornik płytkowodny, zarastający. Występujące torfy, których wiek określono metodą ^{14}C oraz palinologicznie, powstawały w okresie 10 150–8 950 lat BP (Uścińowicz & Zachowicz, 1991), tj. od schyłku późnego glacjału aż po dolną część okresu borealnego.

W rejonie Południowej Ławicy Środkowej w piaskach drobnoziarnistych występowały gatunki słodkowodne takie jak: *Lymnaea peregra* (O.F. Müller), *Pisidium amnicum* (Müller) oraz *P. milium* Held (Krzymińska, 2001). Badania malakologiczne pozwalają przypuszczać, że osady cechujące się obecnością skorupki gatunku *Pisidium milium* Held, tolerującego zimny klimat, mogły powstawać w późnym glacjału, natomiast utwory z *Pisidium amnicum* (Müller) – gatunkiem o wyższych wymaganiach termicznych, powstały na przełomie plejstocenu i holocenu.

W rejonie Środkowego Wybrzeża (przedpole mierzei jeziora Łebsko, mierzeja i dno jezior: Resko, Jamno, Bukowo, Kopań i Wicko) w gytach i mułkach piaszczystych występowały małżoraczki słodkowodne, takie jak: *Candona angulata* O.F. Müller, *C. candida* (Müller), *C. neglecta* Sars, *Cyclocypris ovum* (Jurine), *C. serena* (Koch), *Cytherissa lacustris* (Sars), *Herpetocypris reptans* (Baird), *Ilyocypris decipiens* Masi oraz bogata fauna mięczaków zdominowana przez słodkowodne gatunki małży, takich jak: *Pisidium amnicum* (O.F. Müller), *P. casertanum* (Poli), *P. casertanum* f. *ponderosa* Stelfox, *P. milium* Held, *P. nitidum* Jenyns, *P. conventus* Clessin. Powyższy typ asocjacji może świadczyć, że istniały tu płytkowodne zbiorniki jeziorne o ustabilizowanych warunkach depozycji osadów.

Obszar zachodniej części Zatoki Gdańskiej obejmujący także Zatokę Pucką i podwodne wyskłażenie Półwyspu Helskiego różni się pod względem wykształcenia osadów od części wschodniej, obejmującej przedpole Mierzei Wiślanej (Uścińowicz & Zachowicz, 1994). W zachodniej czę-

ści, gdzie rozpoznano obecność osadów deltowych występowały: *Bithynia tentaculata* (Linnaeus), *B. leachi* (Sheppard), *Gyraulus laevis* (Alder), *Valvata piscinalis* (O.F. Müller), *Pisidium amnicum* (O.F. Müller), *P. milium* Held, *P. moitessierianum* Paladilhe, *P. nitidum* Jenyns (Krzymińska, 2001). Zespół słodkowodnych mięczaków wskazuje na spokojny, płytki zbiornik jeziorny o charakterze zalewowym, okresowo włączany do przepływu rzeczny. Występujące tutaj piaski muliste i muły piaszczyste barwy ciemnoszarej z licznym detrytusem roślinnym, wydatowane metodą radiowęglową na $12\ 200 \pm 240$ BP (Uścińowicz & Zachowicz, 1994), zawierały również słodkowodne gatunki małżoraczków: *Candona candida* (O.F. Müller), *C. neglecta* Sars, *Cytherissa lacustris* (Sars), *Limnocythere inopinata* (Baird) (Krzymińska & Namiotko, 2012, 2013).

Wschodnia część Zatoki Gdańskiej obejmująca przedpole Mierzei Wiślanej jest zbudowana z osadów lagunowych z liczną fauną mięczaków, reprezentowaną przez: *Gyraulus laevis* (Alder), *Lymnaea peregra* (O.F. Müller), *L. glutinosa* (O.F. Müller), *Valvata piscinalis* (O.F. Müller), *Anodonta cygnea* (Linnaeus) – glochidium, *Pisidium amnicum* (O.F. Müller), *P. milium* Held, *P. nitidum* Jenyns, *P. moitessierianum* Paladilhe (Krzymińska, 2001). Skład malakocenozy wskazuje na płytki, zarastający zbiornik o bujnej wegetacji. Słodkowodny charakter sedimentacji potwierdza również fauna małżoraczków słodkowodnych. Jest ona reprezentowana przez następujące gatunki: *Candona candida* (O.F. Müller), *C. neglecta* Sars, *Cytherissa lacustris* (Sars), *Limnocytherina sanctipatricii* (Brady & Robertson), *Ilyocypris decipiens* Masi (Krzymińska & Przedziecki, 2010; Krzymińska & Namiotko, 2012, 2013). Omawiane osady były również datowane metodą ^{14}C na $10\ 650 \pm 160$ lat BP oraz na 9000 ± 260 lat BP (Uścińowicz & Zachowicz, 1994).

W świetle powyższych badań można uznać, że asocjacje mięczaków występujące w osadach z Zatoki Pomorskiej, Ławicy Słupskiej i Zatoki Gdańskiej reprezentują zespoły gatunków wodnych, typowych dla przybrzeżnej strefy jezior oraz rzek, gdzie istniał okresowy ruch wody.

Wyniki badań malakofauny skorelowane z datowaniami osadów metodą ^{14}C pozwoliły stwierdzić, że występowanie gatunków mięczaków, takich jak: *Gyraulus laevis* (Alder), *Valvata piscinalis* (O.F. Müller), *Pisidium casertanum* Poli, *P. obtusale* f. *lapponicum* (Lamarck), *P. nitidum* Jenyns, *P. milium* Held, dobrze tolerujących zimny klimat, świadczy o ich późnoglacialnym wieku. Natomiast, występowanie w osadach gatunków o wyższych wymaganiach termicznych, takich jak: *Bithynia tentaculata* (Linnaeus) (Alexandrowicz, 1987) oraz gatunków: *Bithynia leachi* (Sheppard), *Physa fontinalis* (Linnaeus), *Anodonta cygnea* (Linnaeus) – glochidium, *Pisidium amnicum* (Müller), *P. moitessierianum* Paladilhe, *P. supinum* Schmidt, wskazuje, że osady te powstawały prawdopodobnie już we wczesnym holocenie.

FAUNA ŚRODKOWEGO I GÓRNEGO HOLOCENU

Na prawie całym obszarze południowego Bałtyku osady reprezentujące optimum klimatyczne środkowego i górnego holocenu zawierały faunę morską, typową dla zbiornika o niskim zasoleniu. Zespoły mięczaków i małżoraczków wskazujące na takie środowisko zostały znalezione w

różnych rejonach południowego Bałtyku. Zawierają one gatunki o różnych wymaganiach ekologicznych i zasięgach geograficznych. Opiswane taxony żyją współcześnie w morzach otaczających Europę, a niektóre z nich mają jeszcze szerszy zasięg geograficzny. Na tej podstawie można określić ich przynależność do odpowiednich regionów zoogeograficznych i klimatycznych. Wenecki system podziału wód pod kątem zasolenia dzieli wody na euhalinowe – typowo morskie (30–40 psu), hiperhalinowe – o zasoleniu wyższym niż wód oceanicznych (>50 psu) oraz mixohalinowe (0,5–30 psu) – o obniżonym zasoleniu (Wiktor i in., 1997). Równie ważne jest kryterium zmian zakresu tolerancji zasolenia przez organizmy. W tym kontekście wyróżnia się organizmy euryhalinowe, które mogą bytować w dużym zakresie zmian zasolenia oraz gatunki stenohalinowe – o wąskim zakresie tolerancji zmian zasolenia. Wody euhalinowe są zasiedlone przez gatunki typowo morskie, w tym dużą liczbę gatunków stenohalinowych. Wody mixohalinowe zamieszkują zarówno gatunki stenohalinowe morskie, jak i gatunki euryhalinowe słonawomorskie, a także słodkowodne. W miarę zwiększania się udziału wód słodkich, które wpływają na zmniejszanie się ogólnego zasolenia wód, ubywa gatunków stenohalinowych, morskich, a zaczynają przeważać gatunki euryhalinowe. Pomimo że upodobania organizmów morskich w stosunku do temperatury są bardzo zróżnicowane oraz różny jest też ich zakres tolerancji termicznej, możliwe jest scharakteryzowanie paleogeograficznych i paleoklimatycznych warunków środowiska, w jakich żyła ówczesna fauna. Organizmy stenotermiczne wykazują mały zakres tolerancji zmian temperatury wody. Można wśród nich wyróżnić stenotermi zimno- i ciepłolubne, zamieszkujące odpowiednio wyłącznie wody zimne lub ciepłe. Inną grupę stanowią gatunki o szerokim zakresie tolerancji – gatunki eurytermiczne, które tolerują znaczny zakres zmian temperatury (Wiktor i in., 1997).

Specyficzny charakter Morza Bałtyckiego jako środowiska życia wiąże się z wpływami wód pełnosłonnych z Morza Północnego oraz dużym dopływem wód słodkich wprowadzanych do tego akwenu rzekami. Nadaje to południowemu Bałtykowi słonawowodny charakter. W skład biocenozy południowego Bałtyku wchodzi zarówno euryhalinowe gatunki morskie, które są tu najliczniej reprezentowane, jak i gatunki słonawo- i słodkowodne. Natomiast fauna morska związana z transgresją morza litorynowego, które ówczesnie miało wody zasolone powyżej 15 psu, obejmowała gatunki stenohalinowe i euryhalinowe. Dlatego z uwagi na spadek zasolenia do 7–8 psu w południowym Bałtyku, w górnym holocenie gatunki stenohalinowe wycofały się w kierunku zachodnim.

Na obszarze Zatoki Pomorskiej faza morza litorynowego zaznaczyła się obecnością gatunków mięczaków morskich euryhalinowych, takich jak: *Hydrobia ulvae* (Pennant), *H. ventrosa* (Montagu), *Cerastoderma glaucum* (Poiret), *Mytilus edulis* (Linnaeus), *Macoma balthica* (Linnaeus), rzadziej pojawiały się morskie stenohalinowe: *Rissoa membranacea* (Adams), *Retusa truncatula* (Bruguière), *Turboella parva* (Da Costa), *Scrobicularia plana* (Da Costa), *Cardium edule* Linnaeus, *Mya truncata* Linnaeus, *Mysella bidentata* (Montagu), *Thracia papyracea* (Poli), występowały także małżoraczki morskie euryhalinowe, takich jak: *Cyprideis torosa* (Jones), *Cytheromorpha*

Stratygrafia (wg Mangerud et al., 1974) Stratigraphy (based on Mangerud et al., 1974)	Fazy rozwoju Bałtyku (wg Ignatius et al., 1981) Phases of the Baltic Sea (based on Ignatius et al., 1981)	Mięczaki i małżoraczki południowego Bałtyku <i>Molluscs and Ostracods of the southern Baltic Sea</i>			
		Zachodnia część <i>Western part</i>	Centralna część <i>Central part</i>	Wschodnia część <i>Eastern part</i>	
SA czas [lata BP] time [years BP] 1000 2000	MORZE POLITORYNOWE POST-LITORINA	<i>Hydrobia ulvae, Hydrobia ventrosa, Cerastoderma glaucum, Macoma balthica, Mytilus edulis, Mya arenaria, Parvicardium hauniense</i>			
SB 3000 4000 5000	MORZE LITORYNOWE LITORINA	<i>Littorina littorea, Littorina obtusata, Bittium reticulatum, Hydrobia ulvae, Rissoa membranacea, Scrobicularia plana, Cyprideis torosa, Cytheromorpha fuscata, Loxoconcha elliptica</i>			
AT 6000 7000 8000	JEZIORO ANCYLUSOWE ANCYLUS LAKE	7240 BP	7370 BP	6670 BP 7030 BP	
BO 8000		8090 BP	8655 BP	8750 BP	
PB 9000 10000	MORZE YOLDIOWE YOLDIA SEA	<i>Bithynia tentaculata, Theodoxus fluviatilis, Physa fontinalis, Pisidium amnicum, P. moitessierianum</i> 9880 BP 9885 BP 9220 BP			
LG 11000 12000 13000 14000	BAŁTYCKIE JEZIORO LODOWE BALTIC ICE LAKE	12010 BP		12200 BP	
		13100 BP		13740 BP	
		14060 BP			
SA – okres subatlantycki <i>Subatlantic</i>	SB – okres subborealny <i>Subboreal</i>	AT – okres Atlantycki <i>Atlantic</i>	BO – okres borealny <i>Boreal</i>	PB – okres preborealny <i>Preboreal</i>	LG – późny glacjał <i>Late Glacial</i>

Ryc. 8. Korelacja między sukcesjami paleozespołów mięczaków i małżoraczek południowego Bałtyku (datowania radiowęglowe pochodzą z materiałów Oddziału Geologii Morza PIG-PIB) a jednostkami stratygraficznymi późnego plejstocenu i holocenu

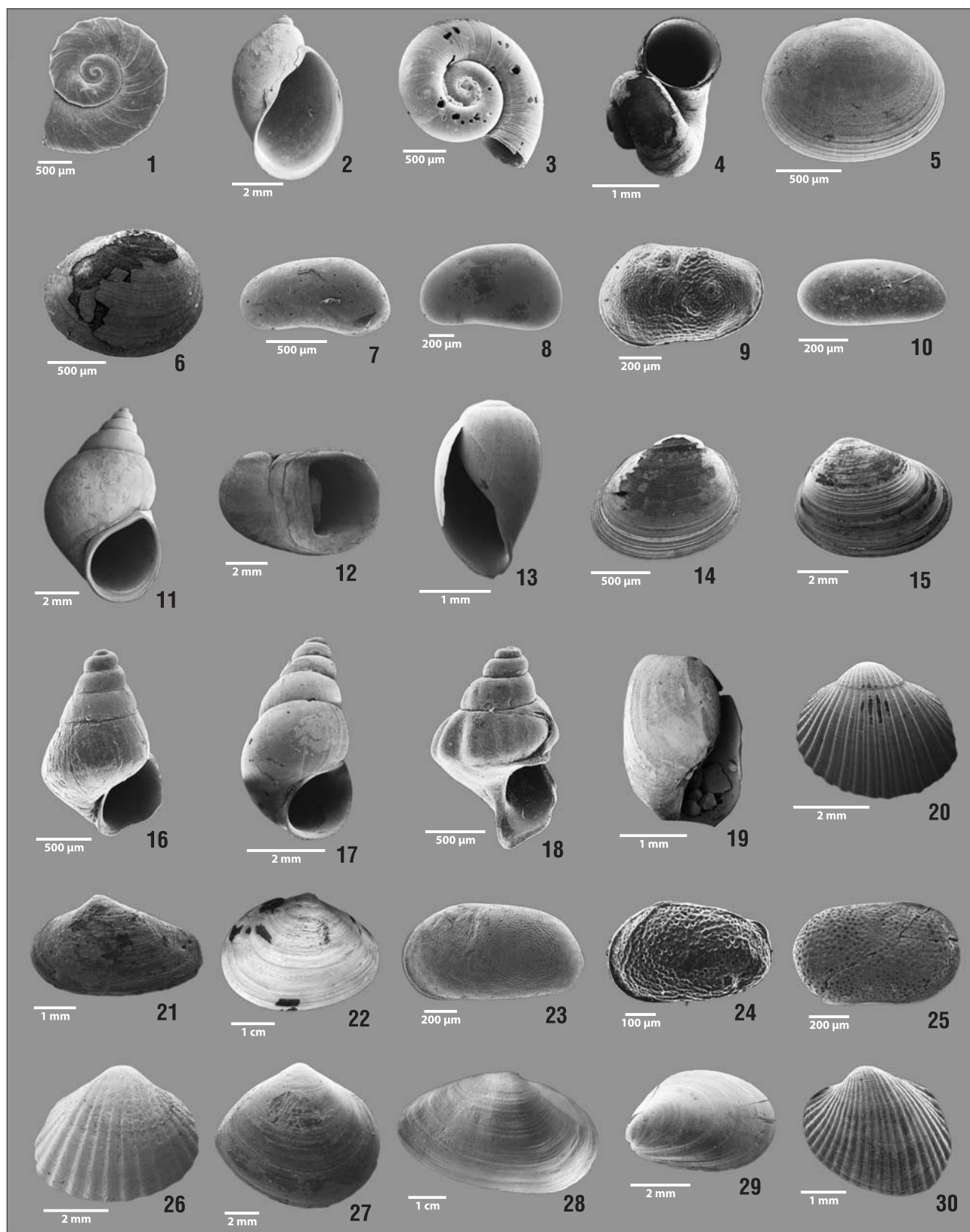
Fig. 8. Correlation between the succession of the mollusc and ostracod palaeoassemblages of the southern Baltic Sea (radiocarbon dates according to the Marine Geology Branch of the Polish Geological Institute – National Research Institute) and Late Pleistocene – Holocene stratigraphic units

fuscata (Brady) oraz *Loxoconcha elliptica* Brady. Oprócz gatunków morskich spotykamy gatunki mięczaków słodkowodnych – *Theodoxus fluviatilis* (Linnaeus), *Valvata piscinalis* (O.F. Müller), i małżoraczek słodkowodnych: *Candona candida* (O.F. Müller), *C. neglecta* Sars, *Cyclo-cypris laevis* (O.F. Müller), *Cytherissa lacustris* (Sars). Może to świadczyć o istnieniu laguny okresowo zasilanej wodami słonymi (Krzymińska, 2001; Krzymińska & Przędziecki, 2001).

W rejonie Południowej Ławicy Środkowej występowały typowe gatunki morskie euryhalinowe, takie jak: *Hydrobia ulvae* (Pennant), *H. ventrosa* (Montagu), *Cera-*

stoderma glaucum (Poiret), *Macoma balthica* (Linnaeus) i *Mytilus edulis* Linnaeus.

W rejonie Zatoki Gdańskiej okres atlantycki zaznaczył się wpływem morza litorynowego, pojawiły się wówczas gatunki morskie eury- i stenohalinowe. Są to: *Hydrobia ulvae* (Pennant), *H. ventrosa* (Montagu), *Cerastoderma glaucum* (Poiret), *Mytilus edulis* Linnaeus, *Retusa obtusa* Montagu, *R. truncatula* (Bruguière), *Rissoa membranacea* (Adams), *Cardium edule* Linnaeus, *Mya truncata* Linnaeus, a także małżoraczki morskie euryhalinowe, takie jak: *Cyprideis torosa* (Jones) i *Cytheromorpha fuscata* (Brady) (Krzymińska, 2001; Krzymińska & Namiotko, 2012, 2013).



Ryc. 9. Przykładowe fotografie gatunków mięczaków i małżoraczków z osadów późnego glacjału i holocenu południowego Bałtyku
Fig. 9. Example photographs of mollusc and ostracod species from Late Glacial and Holocene deposits of the southern Baltic Sea
 1 – *Armiger crista* f. *cristatus* (Draparnaud); 2 – *Lymnaea peregra* f. *typica* (O.F. Müller); 3 – *Valvata cristata* O.F. Müller; 4 – *V. piscinalis* (O.F. Müller); 5 – *Pisidium conventus* Clessin; 6 – *P. milium* (O.F. Müller); 7 – *Candona neglecta* Sars; 8 – *C. candida* (O.F. Müller); 9 – *Cytherissa lacustris* (Sars); 10 – *Darwinula stevensoni* (Brady & Robertson); 11 – *Bithynia tentaculata* (Linnaeus); 12 – *Theodoxus fluviatilis* (Linnaeus); 13 – *Physa fontinalis* (Linnaeus); 14 – *Pisidium moitessierianum* Paladilhe; 15 – *P. amnicum* (O.F. Müller); 16 – *Hydrobia ulvae* (Pennant); 17 – *H. ventrosa* (Montagu); 18 – *Turboella parva* (Da Costa); 19 – *Retusa truncatula* (Bruguière); 20 – *Cardium edule* Linnaeus; 21 – *Mya truncata* Linnaeus; 22 – *Scrobicularia plana* Da Costa; 23 – *Cyprideis torosa* (Jones); 24 – *Cytheromorpha fuscata* (Brady); 25 – *Loxococoncha elliptica* Brady; 26 – *Cerastoderma glaucum* (Poirlet); 27 – *Macoma baltica* (Linnaeus); 28 – *Mya arenaria* (Linnaeus); 29 – *Mytilus edulis* Linnaeus; 30 – *Parvicardium hauniense* (Petersen & Russell)

Ostatni, najmłodszy etap rozwoju zbiornika południowego Bałtyku wiąże się z eutrofizacją jego wód, czyli ze wzbogaceniem go w związki azotu i fosforu, a co za tym idzie z silnym rozwojem fitoplanktonu, który powoduje wzrost żyzności wód. Pochodną tego procesu jest ograniczenie warstwy strefy eufotycznej, w której na skutek przenikania światła słonecznego zachodzą procesy fotosyntezy. Wskazuje na to przede wszystkim występowanie płytkowodnych zespołów mięczaków odznaczających się dużą tolerancją ekologiczną.

Po maksimum transgresji lityrnowej w wodach jezior przybrzeżnych południowego Bałtyku zaznaczył się proces stopniowego wysładzania, co dokumentują zmiany składu gatunkowego mięczaków i małżoraczków (Krzywińska & Dobracki, 2004). Fauna morza polityrnowego była reprezentowana przez morskie euryhalinowe gatunki – *Hydrobia ulvae* (Pennant), *H. ventrosa* (Montagu), *Cerastoderma glaucum* (Poiret), *Macoma balthica* (Linnaeus), *Mytilus edulis* Linnaeus, *Parvicardium hauniense* (Petersen & Russell). Natomiast, na obszarach płytkowodnych otwartego morza, w strefie do izobaty 30 m, osady piaszczyste są zasiedlane głównie przez morskie euryhalinowe małże: *Cerastoderma glaucum* (Poiret), *Mya arenaria* (Linnaeus), *Macoma balthica* (Linnaeus) i *Mytilus edulis* Linnaeus, przy czym są to głównie obszary zatok i ujść rzecznych o dobrych warunkach troficznych (Krzywińska, 2000).

PODSUMOWANIE

Wyniki badań nad mięczakami i małżoraczkami, przedstawiające m.in. zależności między sekwencją faunistyczną a zmianami warunków ekologicznych, hydrologicznych i klimatycznych, pozwoliły na powiązanie obecności subfosylnych mięczaków i małżoraczków w osadach z przeszłością geologiczną południowego Bałtyku (ryc. 8). Dość dokładnie zarysowały się etapy rozwoju tego obszaru, który ulegał przekształceniom począwszy od deglacjacji arealnej i funkcjonowania jezior w okresie późnego glacjału i na początku holocenu, a następnie poprzez zbiornik słonowodny w okresie optimum klimatycznego (faza morza lityrnowego), aż po obecność zbiornika brakicznego zbliżonego do istniejącego współcześnie. W okresie późnego glacjału i preborealnym w chłodnych, tundrowych zbiornikach jeziornych, utworzonych w misach wytopiskowych po martwym lodzie, rozpoczyna się akumulacja mineralno-organiczna. W skład zespołów malakofauny i małżoraczków wchodziły gatunki słodkowodne wskazujące na klimat zimny, takie jak: *Armiger crista* f. *cristatus* (Draparnaud), *Gyraulus laevis* (Alder), *Lymnaea peregra* (O.F. Müller), *Valvata cristata* O.F. Müller, *Pisidium conventus* Clessin, *P. milium* Held, *P. nitidum* Jenyns, *Candona candida* (O.F. Müller), *C. neglecta* Sars, *Cytherissa lacustris* (Sars), *Darwinula stevensoni* (Brady & Robertson), *Limnocytherina sanctipatricii* (Brady & Robertson), *Limnocythere inopinata* (Baird) (ryc. 9: 1–10). W płytkich jeziorach zarastających olsem i szuwarem zachodzi akumulacja gytii, torfów i mułków torfiastych. Natomiast w okresie borealnym w osadach jeziornych w zespole mięczaków dominowały gatunki o wyższych wymaganiach termicznych: *Bithynia tentaculata* (Linnaeus), *B. leachi* Sheppard, *Theodoxus fluviatilis* (Linnaeus), *Physa fontina-*

lis (Linnaeus), *Pisidium amnicum* (O.F. Müller), *P. moitesierianum* Paladilhe (ryc. 9: 11–15).

Transgresja Morza Lityrnowego (okres atlantycki) dająca w efekcie ukształtowanie się akwenu Morza Bałtyckiego, szczególnie intensywnie oddziaływała na południowe wybrzeża tego akwenu. Poszczególne zbiorniki jeziorne, na skutek przesuwającej się abrazyjnie ku południowi linii brzegowej morza, zostały przekształcone w płytkie zatoki morskie lub izolowane akwenu mające okresowe połączenia ze zbiornikiem morskim.

W osadach morskich w początkowym etapie dominowały steno- i euryhalinowe gatunki mięczaków i małżoraczków: *Hydrobia ulvae* (Pennant), *H. ventrosa* (Montagu), *Cerastoderma glaucum* (Poiret), *Mytilus edulis* Linnaeus, *Retusa obtusa* Montagu, *R. truncatula* (Bruguière), *Rissoa membranacea* (Adams), *Cardium edule* Linnaeus, *Mya truncata* Linnaeus, *Mysella bidentata* (Montagu), *Thracia papyracea* (Poli), *Turboella parva* (Da Costa), *Parvicardium hauniense* (Petersen & Russell), *Scrobicularia plana* (Da Costa), *Cyprideis torosa* (Jones), *Cytheromorpha fuscata* (Brady) i *Loxocochoa elliptica* Brady (ryc. 9: 16–30). W późniejszym etapie transgresji lityrnowej przetrwały morskie euryhalinowe gatunki, które są elementami fauny współcześnie żyjącej w południowym Bałtyku: *Hydrobia ulvae* (Pennant), *H. ventrosa* (Montagu), *Cerastoderma glaucum* Poiret, *Macoma balthica* (Linnaeus), *Mytilus edulis* Linnaeus, *Mya arenaria* (Linnaeus), *Parvicardium hauniense* (Petersen & Russell), *Cyprideis torosa* (Jones) i *Cytheromorpha fuscata* (Brady) (ryc. 9: 16, 17, 23, 24, 26–30).

W tym czasie wyraźnie zmienił się obraz sukcesji faunistycznej i florystycznej. W profilach badanych jezior Jamno, Bukowo i in. w osadach powyżej warstwy torfów pojawiła się fauna morskich i otwartych lagun o zmiennej intensywności kontaktu ze słonymi wodami morskimi – *Cerastoderma glaucum* (Poiret), *Macoma balthica* (Linnaeus) i *Cyprideis torosa* (Jones).

Po maksimum transgresji lityrnowej w wodach zbiorników jeziornych (Jamno, Bukowo, Kopań) zaznaczył się proces stopniowego wysładzania. W faunie mięczaków i małżoraczków notuje się wzrost gatunków słodkowodnych: *Valvata piscinalis* f. *antiqua* (Morris), *Pisidium casertanum* Poli, *P. conventus* Clessin, *Candona angulata* G.W. Müller, *C. neglecta* Sars, *Limnocythere inopinata* (Baird), *Cyclocypris laevis* (O.F. Müller), przy jednoczesnym zaniku gatunków wskaźnikowych dla Morza Lityrnowego. Na skutek zmiany warunków klimatycznych zmienił się również do skład gatunkowy zbiorowisk leśnych występujących w pobliżu ówczesnego wybrzeża (Krzywińska & Dobracki, 2004; Krzywińska i in., 2011).

Serdecznie dziękujemy prof. Maciejowi Wołowiczowi (Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii) za cenne uwagi i komentarze.

LITERATURA

- ALEXANDROWICZ S.W. 1987 – Analiza malakologiczna w badaniach osadów czwartorzędowych. Geologia, Kwart. AGH, 12 (1–2): 3–240.
 BRODNIEWICZ I. & ROSA B. 1967 – The boring hole and the fauna at Czołpino, Poland. Baltica, 3: 51–83.
 BRODNIEWICZ I. 1969 – Mięczaki z interglacjalnych iłów elbląskich z Elbląga i Nadbrzeża. Acta Paleont. Pol., 14 (2): 253–290.

- BRODNIOWICZ I. 1979 – Analiza faunistyczna późnoglacialnych osadów słodkowodnych z klifu nadbrzeżnego koło Ustki. *Geologia UAM*, 3–27.
- CYBERSKA B. 1994 – Temperatura wody, zasolenie wody, gęstość wody. [W:] Atlas Morza Bałtyckiego (A. Majewski, Z. Lauer, red.), IMGW, Warszawa: 111–124.
- DADLEZ R. (red.), 1998 – Mapa tektoniczna kompleksu chechczyńskiego-mezozoicznego na Niziu Polskim 1 : 500 000. Państw. Inst.Geol., Warszawa.
- DADLEZ R. 2001 – Przekroje geologiczne przez bruzdę śródpolską 1:200 000. Państw. Inst.Geol., Warszawa.
- DOBRAKCI R. & ZACHOWICZ J. (red.), 1997 – Mapa geodynamiczna polskiej strefy brzegowej Bałtyku w skali 1 : 10 000 (odcinek Międzywodzie–Chłopy i Leba–Gdynia). *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa–Gdańsk–Szczecin.
- IGNATIUS H., AXBERG S., NIEMISTÖ L. & WINTERHALTER B. 1981 – Geology of the Baltic Sea. In: *The Baltic Sea* (ed. A. Voipio): 54–104. Elsevier, Amsterdam.
- KASZUBOWSKI L.J. & DOBRAKCI R. 2004 – Zapis ruchów geotektonicznych w profilach osadów mierzei jezior Kopań i Wicko w świetle badań geologicznych i sejsmicznych. *Materiały VI Konferencji Naukowej „Geologia i geomorfologia Półwyspu i południowego Bałtyku”*, Wyd. Pom. Akad. Pedagog., Słupsk.
- KOPCZYŃSKA-LAMPARSKA K., CIEŚLA A. & SKOMPSKI S. 1984 – Evolution of fossil lake basins of the Late Glacial and Holocene in the cliff near Niechorze (Pomeranian Lakeland, Poland). *Stud. Quatern.*, 5: 39–58.
- KRAMARSKA R. & JUROWSKA Z. 1991 – Objąsnienia do Mapy Geologicznej Dna Bałtyku 1 : 200 000. *Arkusz Dziwnów*. Państw. Inst.Geol., Warszawa, s. 40.
- KRAMARSKA R. 1998 – Origin and development of the Odra Bank in the light of the geologic structure and radiocarbon dating. *Geol. Quart.*, 42 (3): 277–288.
- KRAMARSKA R. (red.), 1999 – Mapa geologiczna dna Bałtyku bez utworów czwartorzędowych 1 : 500 000. Państw. Inst.Geol., Warszawa.
- KRAMARSKA R., PRZEZDZIECKI P., MIOTK-SZPIGANOWICZ G., PAĆZEK U., JEGLIŃSKI W., KRZYMIŃSKA J. & KOSZKA-MAROŃ D. 2013 – Rozpoznanie i wizualizacja budowy geologicznej Zatoki Pomorskiej dla potrzeb gospodarowania zasobami naturalnymi. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB* (arch. 1108), Gdańsk–Warszawa.
- KRZYMIŃSKA J. 2000 – Małże (Bivalvia) w osadach powierzchniowych południowego Bałtyku. *Folia Malacologica*, 8 (1): 95–100.
- KRZYMIŃSKA J. 2001 – Zespoły mięczaków w osadach czwartorzędowych południowego Bałtyku. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 397: 15–60.
- KRZYMIŃSKA J. & PRZEZDZIECKI P. 2001 – Palaeogeography of Late Glacial and Lower Holocene lakes in the Pomeranian Bay area on the basis of malacofauna and ostracods and seismoacoustic data. *Stud. Quatern.*, 18: 3–10.
- KRZYMIŃSKA J. & PRZEZDZIECKI P. 2010 – Fossil lacustrine bodies in the Gulf of Gdańsk as recorded by seismoacoustic data and ostracodological analysis. *Baltica*, 23 (1): 25–32.
- KRZYMIŃSKA J., DOBRAKCI R. & KOSZKA-MAROŃ D. 2003 – Zmiany środowiskowe w zachodniej części strefy brzegowej południowego Bałtyku w późnym glacie i holocenie w świetle analizy malakologicznej i ostrakodologicznej. *Geologia i geomorfologia Półwyspu południowego Bałtyku 5*. Pom. Akad. Pedagog., Słupsk: 15–25.
- KRZYMIŃSKA J. & DOBRAKCI R. 2004 – Analiza malakologiczna i ostrakodologiczna osadów czwartorzędowych na tle przekrojów geologicznych środkowego wybrzeża południowego Bałtyku. *VI Konferencja Geologia i geomorfologia Półwyspu południowego Bałtyku*. Słupsk–Ustka, 7–9 czerwca 2004.
- KRZYMIŃSKA J., DOBRAKCI R., MIOTK-SZPIGANOWICZ G., SEIDLER J. & DOBRAKCI R. 2011 – Changes of palaeoenvironment recorded in the Late Glacial and Holocene deposits of the middle coast of the Southern Baltic Sea based on biostratigraphical research. *Grzybowski Foundation Special Publications*, 17: 104–105.
- KRZYMIŃSKA J. & NAMIOTKO T. 2012 – Late Glacial and Holocene Ostracoda of the Gulf of Gdańsk, the Baltic Sea, Poland. *Int. Rev. Hydrobiol.*, 97: 301–313.
- KRZYMIŃSKA J. & NAMIOTKO T. 2013 – Quaternary Ostracoda of the southern Baltic (Poland): taxonomy, palaeoecology and stratigraphy. *Polish Geol. Institute Spec. Pap.*, 29.
- MANGERUD J., SVEND T., BERGLUND B.E. & DONNER J.J. – 1974 – Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification. *Boreas*, 3: 109–128.
- MIOTK-SZPIGANOWICZ G., UŚCINOWICZ SZ., PRZEZDZIECKI P. & JEGLIŃSKI W. 2009 – Reconstruction of the palaeo – land scapes of the southern Baltic. [W:] *MACHU Final Report 2009*, Nr 3; www.machuproject.eu.
- SVENSSON N.O. 1991 – Late Weichselian and Early Holocene shore displacement in the central Baltic Sea. *Quatern. International.*, 9: 7–26.
- UŚCINOWICZ SZ. 2003 – Relative sea level changes, glacio-isostatic rebound and shore displacement in the southern Baltic. *Polish Geol. Institute, Spec. Pap.*, 10.
- UŚCINOWICZ SZ. & ZACHOWICZ J. 1991 – Objąsnienia do Mapy Geologicznej Dna Bałtyku 1 : 200 000 *Arkusz Leba, Słupsk*. Państw. Inst.Geol., Warszawa.
- UŚCINOWICZ SZ. & ZACHOWICZ J. 1994 – Objąsnienia do Mapy Geologicznej Dna Bałtyku 1 : 200 000 *Arkusze: Gdańsk, Elbląg, Głębka Gdańska*. Państw. Inst.Geol., Warszawa.
- WIKTOR K., WĘSŁAWSKI J.M. & ŻMIJEWSKA M.I. 1997 – Biogeografia morza. *Wyd. Uniw. Gdańskiego*, Gdańsk.
- WOJCIECHOWSKI A. 2008 – Ewolucja jezior przybrzeżnych Niziny Gardzieńsko-Lebskiej na tle rozwoju środkowego wybrzeża Bałtyku w świetle badań malakologicznych. *Landform Analysis*, 7: 154–171.
- ZAWADZKA E., MIOTK-SZPIGANOWICZ G., KRZYMIŃSKA J. & WITAK M. 2005 – Badania rzeźby dna i analizy biostratigraficzne osadów jeziornych przybrzeża mierzei jeziora Lebsko. *Geologia i geomorfologia Półwyspu południowego Bałtyku 6*. Pom. Akad. Pedagog., Słupsk: 105–119.