

EKSPERYMENTALNE MODELOWANIE DEPOZYCJI BURSZTYNU W STREFIE PRZYBRZEŻNEJ BASENU SEDYMENTACYJNEGO

EXPERIMENTAL MODELLING OF AMBER DEPOSITION IN THE COASTAL ZONE OF SEDIMENTARY BASIN

KRZYSZTOF CZURYŁOWICZ¹, RYSZARD SAŁACIŃSKI¹

Abstrakt. W artykule zawarto wyniki obserwacji oraz wnioski odnoszące się do eksperymentalnego modelu depozycji bursztynu w strefie brzegowej basenu sedymentacyjnego. Dotyczą one zachowania się bursztynu w środowisku wód płynących, stożka napływowego oraz określono wpływ falowania na procesy redepozycji bursztynu z uformowanych osadów deltowych. Autorzy dokonali próby odniesienia obserwacji z przeprowadzonego eksperymentu do rzeczywistych uwarunkowań geologicznych występowania bursztynu, wskazując, że wyniki badań mogą być wykorzystywane w pracach kartograficzno-poszukiwawczych.

Słowa kluczowe: bursztyn, model fizyczny, basen sedymentacyjny, osady bursztynonośne, środowisko rzeczne, środowisko deltowe, warunki hydrodynamiczne.

Abstract. This paper presents observations and conclusions which apply to an experimental model of amber sedimentation in the costal zone of sedimentary basin. Observations of amber behavior in fluvial and deltaic systems are shown. Influence of waving on processes of amber redeposition from deltaic sediments are described. The authors attempted to link the observations from the modelling to real geological conditions of the occurrence of amber-bearing deposits and pointed at implicational nature of the presented examinations on the needs of cartographic and prospecting researches.

Key words: amber, physical model, sedimentary basin, amber-bearing deposits, fluvial system, deltaic system, hydro-dynamic conditions.

WSTĘP

Jedną z metod poznawczych, które weryfikują wyniki obserwacji terenowych, dostarczając jednocześnie danych do opracowań genetycznych z różnych zakresów problematyki geologicznej, są badania eksperymentalne wykorzystujące modelowanie przebiegu procesów geologicznych w określonych warunkach fizykochemicznych i dynamicznych środowiska. Umożliwia to między innymi, odtworzenie w warunkach laboratoryjnych, w zmniejszonej skali, procesów sedymentacyjnych zachodzących w środowisku

fluwialnym, deltowym i płytkomorskiej sedymentacji silikoklastycznej z udziałem bursztynu.

Możliwość śledzenia mechanizmu procesów determinujących zmienność facjalną w strefie brzegowej, z którą genetycznie powiązane są koncentracje bursztynu, jak i obserwacje przedstawione przez Sivkova i Kryłowa (1997), dotyczące warunków hydrodynamicznych depozycji bursztynu na Półwyspie Sambijskim, skłoniły autorów do opracowania eksperymentalnego modelu transportu i depozycji bursztynu

¹ Instytut Geochemii, Mineralogii i Petrografii, Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 00-089 Warszawa; e-mail: kczurylowicz@student.uw.edu.pl, ryszard.salacinski@uw.edu.pl

w środowiskach sedymentacji fluwialnej, deltowej oraz strefy przybrzeżnej. Przeprowadzone modelowanie pozwoliło także na zweryfikowanie istniejących już hipotez dotyczących genezy górnioeoceńskich nagromadzeń bursztynu. Umożliwiło również sformułowanie własnych tez, dotyczących genezy osadów bursztynonośnych, oraz wskazanie procesów sedymentacyjnych, które prowadzą do ich uformowania.

Według ogólnie przyjętych poglądów, do basenu, jakim był ówczesny eoceński zbiornik morski rozwinięty na ob-

szarze dzisiejszego Niżu Polskiego, kopalna żywica była dostarczana bezpośrednio przez odpływ powierzchniowy wód z obszarów leśnych Fennoskandii i Tarczy Ukraińskiej, porośniętych drzewami iglastymi intensywnie produkującymi żywicę. Wskutek tego, w strefie przybrzeżnej basenu, w obrębie osadów zaliczonych do sekwencji powstałych w środowisku deltowym uformowały się pierwotne nagromadzenia bursztynu o charakterze złożowym (Piwocki, Olkiewicz-Paprocka, 1987; Jaworowski, 1987; Kosmowska-Ceranowicz, Leciejewicz, 2006; Zalewska, 1974; Kasiński, Tołkanowicz, 1999).

ZAŁOŻENIA I WARUNKI PRZEPROWADZONEGO EKSPERYMENTU

Modelowanie zostało wykonane dla trzech różnych środowisk sedymentacyjnych: wód płynących, strefy stożka napływowego i strefy przybrzeżnej basenu sedymentacyjnego. Przeprowadzono je w pracowni sedymentologicznej, znajdującej się na Wydziale Geologii Uniwersytetu Warszawskiego. Doświadczalny basen sedymentacyjny o wymiarach 10 x 3 m częściowo wypełniony był piaskiem średnioziarnistym (M_z 1,56 ϕ), umiarkowanie wysortowanym (tab. 1). Rozkład uziarnienia charakteryzuje krzywa pozytywnie skośna (rozkład przesunięty w stronę frakcji drobniejszych, Sk_1 0,27), leptokurtyczna (stroma, K_G 1,48).

Prędkość przepływu wynosząca 33 cm/s uzyskana została przez odpowiednie sterowanie spadkiem hydraulicznym oraz wydolnością pomp tłoczących wodę. Efekt falowania wód zbiornika został wymuszony przez oscylacyjny ruch walca mimośrodowego, który zanurzany w wodzie generował falę o grzbiecie równoległym do linii brzegowej.

W trakcie modelowania w basenie sedymentacyjnym wykorzystano bursztyn w przedziale wielkości 0,5–2,0 cm. Były to bryłki izometryczne, formy naciekowe (sople) oraz formy szczelinowe (płytki), o zróżnicowanym stopniu obtoczenia ziaren, od kanciastych po bardzo dobrze obtoczone (fig. 1).

Badanie wykorzystujące eksperymentalny model obciążone było błędami związanymi z naturą wody stosowanej w modelu. Nie była ona bowiem obciążona materiałem niesionym w zawieszeniu. Gęstość wody płynącej w modelu rzeki oraz wody znajdującej się w zbiorniku była jednakowa (wypływ homopiknalny), co determinowało szybkie mieszanie wód przy ujściu rzeki oraz zwiększoną depozycję materiału silikoklastycznego w proksymalnej partii stożka deltowego. W reżimie rzeki w warunkach naturalnych ważnym czynnikiem jest obecność roślinności, która ma wpływ na zróżnicowanie przepływu w przekroju koryta rzecznej,

Tabela 1

Wyniki analizy granulometrycznej piasku doświadczalnego basenu sedymentacyjnego
Granulometric analysis results of the expesedimentary basin's sand

Graficzne parametry rozkładu uziarnienia wg Folka i Warda (1957)							
średnia średnica (M_z)		Odchylenie standardowe (δ_1)		Skośność (Sk_1)		Kurtoza (K_G)	
1,56		0,86		0,27		1,48	
Uziarnienie piasku [% wag.]							
>5 mm	5–2 mm	2–1 mm	1–0,5 mm	0,5–0,25 mm	0,25–0,1 mm	0,1–0,063 mm	<0,063 mm
0,09	1,11	3,65	16,90	48,16	28,00	1,17	0,20

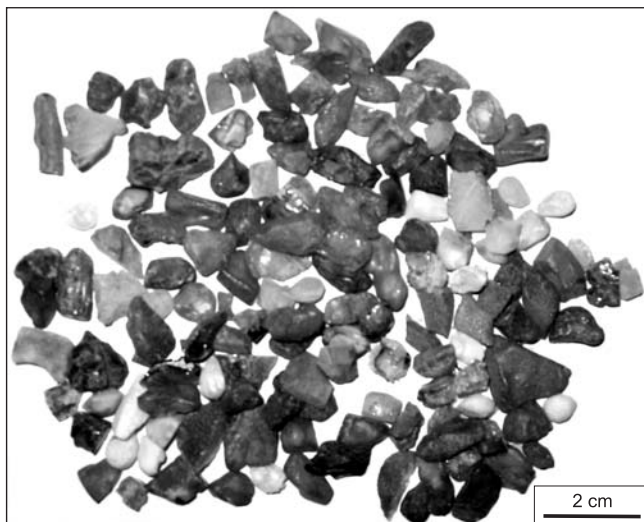


Fig. 1. Bryłki bursztynu wykorzystane w trakcie eksperymentu

Amber grains used during the experiment



a także, według opinii szerokiego grona ekspertów zajmujących się problematyką bursztynu, na lokalizację nagromadzeń bursztynu w złożach wtórnych, w środowisku fluwialnym oraz plaż nadmorskich (Masicka, 1970; Kosmowska-Ceranowicz, 2004; Sałaciński, Łazowski, 2008. W modelu nie uwzględniono roślinności.

WYNIKI MODELOWANIA W RÓŻNYCH ŚRODOWISKACH SEDYMENTACYJNYCH

ŚRODOWISKO WÓD PŁYNĄCYCH

Obserwacje zachowania bursztynu w środowisku fluwialnym były skierowane na określenie składowej jego transportu w nurcie modelu rzeki, przy ustalonej prędkości przepływu, a następnie przy jej rytmicznym spadku.

Przy przepływie wynoszącym 33 cm/s dominującą składową transportu było przenoszenie w zawieszeniu. Bursztyn nie zatrzymywał się na dnie, kontakt bryłek z podłożem koryta ograniczał się jedynie do krótkich momentów, więc można przypuszczać, że bursztyn wykonywał bardzo długie skoki saltacyjne. W przekroju koryta, w miejscach, w których wysokość słupa wody była mniejsza, w związku z formowaniem osadów budujących łączę meandrową, bursztyn był wleczony po dnie, dominującą składową transportu była więc trakcja. Rytmicznie spadającej prędkości przepływu towarzyszyła depozycja bursztynu po stronie zaprządowej rippelmarków językowych (fig. 2), w obniżeniach między grzbietami. Są to strefy, w których na skutek oderwania przyściennej warstwy prądu od dna koryta tworzy się komórka wirowa o przeciwnym zwrocie wektora prędkości w stosunku do głównego przepływu w rzece. W przypadku

rippelmarków językowych, powstających w fazie transportu rytmicznego, przepływ w obrębie komórki wirowej jest na tyle słaby, że w obniżeniach między zmarszczkami może gromadzić się tak lekki materiał jak bursztyn (fig. 3), podobnie jak detrytus roślinny.

STREFA STOŻKA NAPŁYWOWEGO

Obserwacje depozycji bursztynu w obrębie modelu stożka napływowego, którego genetycznym odpowiednikiem jest delta stożkowa uformowana przez progradację pojedynczego nasypu przyujściowego kanału rozprowadzającego wskazały, że jego koncentracje powstawały jedynie w obrębie części poniżej poziomu zbiornika (fig. 4). Bursztyn unoszony wraz z prądem rzeczny w obręb dystalnych partii delty wchodził w skład osadów zaliczonych do facji prodeltowych (fig. 5A), wykształconych jako poziomo warstwowane osady pelityczne. Duże koncentracje bursztynu występowały także u podstawy skłonu delty stożkowej, który genetycznie odpowiada przyujściowemu nasypowi kanału rozprowadzającego.

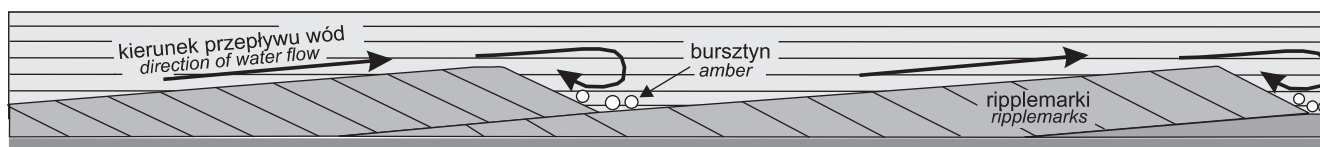


Fig. 2. Powstawanie koncentracji bursztynu w środowisku wód płynących

Formation of amber concentration in a fluvial system

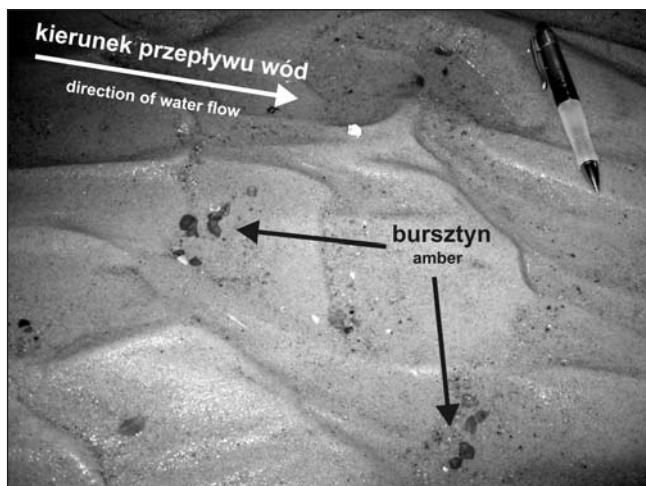


Fig. 3. Depozycja bursztynu po zaprądowej stronie zmarszczek

Amber deposition over the downcurrent side of ripplemarks

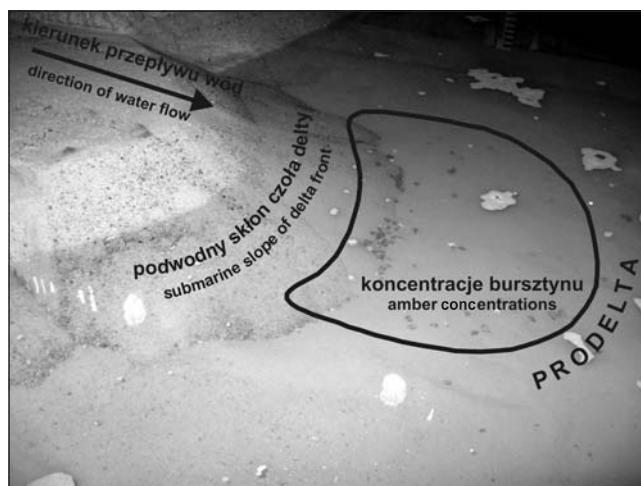


Fig. 4. Nagromadzenia bursztynu w środowisku sedymentacji stożka deltowego

Amber accumulation in a deltaic environment

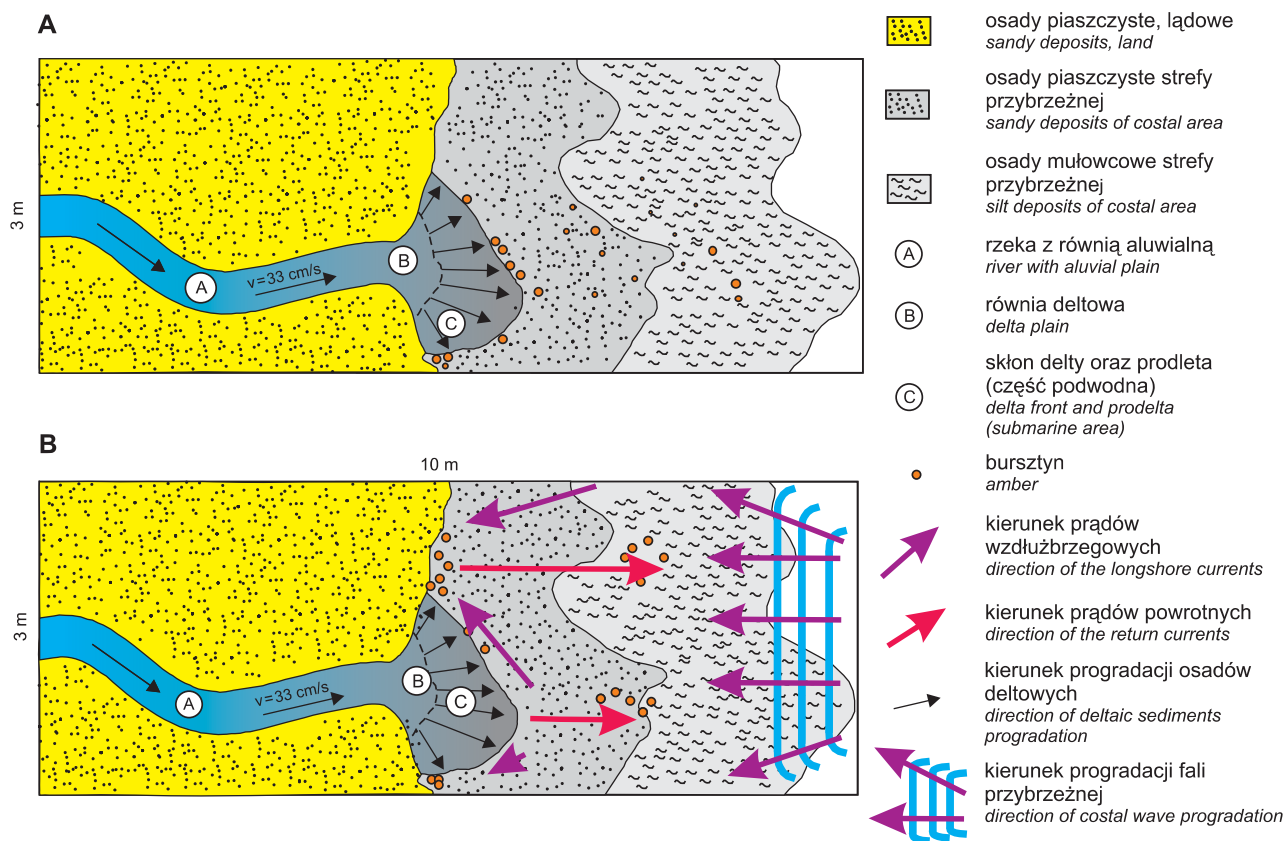


Fig. 5. Redepozycja bursztynu w strefie przybrzeżnej modelu zbiornika sedymentacyjnego

A. Lokalizacja nagromadzeń bursztynu po zakończeniu sedymentacji deltowej. **B.** Rozkład koncentracji bursztynu w strefie przybrzeżnej na skutek procesów falowania.

Amber redeposition in the coastal zone of sedimentary basin model

A. Location of amber accumulations after ending of deltaic sedimentation. **B.** Distribution of amber redeposition processes in the coastal zone as the result of waving processes.

Jak wcześniej autorzy zaznaczyli, w modelu zachodził homopiknalny wypływ wód z kanału rozprowadzającego do zbiornika. Można więc założyć, że przy wypływie hipopiknalnym – typowym dla delt formowanych w słonych zbiornikach morskich, znaczna ilość transportowanego materiału w zawieszeniu (tj. bursztyn, detrytus roślinny, minerały ilaste) uległaby rozplawieniu w postaci wachlarza po powierzchni wody zbiornika i wyniesieniu stosunkowo daleko od linii brzegowej, by następnie swobodnie opadać w toni wodnej na dno zbiornika morskiego. Uwzględniając to założenie można spodziewać się przesunięcia większych koncentracji bursztynu w kierunku facji basenowych.

STREFA PRZYBRZEŻNA BASENU SEDMENTACYJNEGO

Środowisko sedymentacji deltowej charakteryzuje się zróżnicowaną dynamiką widoczną w tempie agradacji osadów oraz przemieszczaniu się centrum depozycji materiału ziarnowego. Nie jest to wyłącznie uzależnione od przebiegu procesów sedymentacji deltowej, lecz także od erozyjno-akumulacyjnej działalności wód zbiornika morskiego wynikającej z procesów falowania (Reineck, Singh, 1973).

Dominującą składową determinującą rozkład transportu materiału ziarnowego oraz bursztynu w modelu były prądy: wzdłużbrzegowe oraz przydenne – powrotne (fig. 5B, 6). Długotrwała agradacja osadów budujących stożek napływowy, zachodząca przy zmiennym poziomie wód otwartego zbiornika, skutkowała utworzeniem linii brzegowej o zróżnicowanym przebiegu. W strefach, w których czoło fali nie było równoległe do linii brzegowej powstawały prądy wzdłużbrzegowe, którymi bursztyn był transportowany ze złożonych nagromadzeń w osadach prodeltowych oraz przyujściowych partii kanałów rozprowadzających ku położonej peryferycznie względem stożka deltowego subaeralnej zatoki (fig. 6). W zatoce tej zachodziła interferencja prądu wzdłużbrzegowego z prądem odbitym od ściany basenu, w wyniku czego w strefie tej energia falowania uległa wyga-

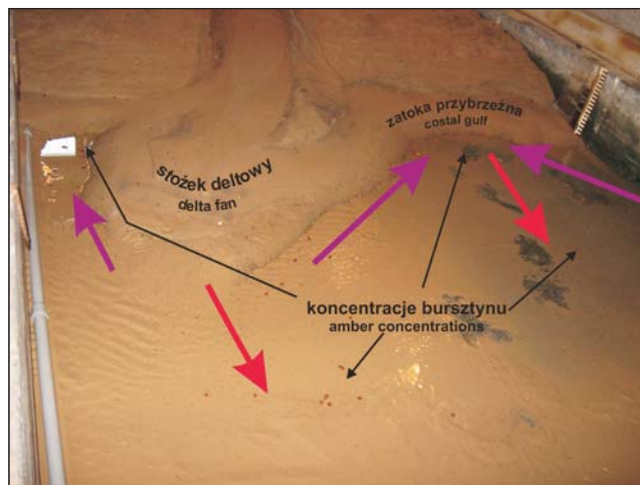


Fig. 6. Lokalizacja nagromadzeń bursztynu w strefie przybrzeżnej modelu zbiornika poddanego procesom falowania

Objaśnienia symboli patrz figura 5

Location of amber accumulations in the coastal zone of sedimentary basin model under the influence of waving processes

For explanation of symbols see Figure 5

szeniu, co z kolei sprzyjało depozycji bursztynu. Jednocześnie duża ilość wody przenoszona interferowanymi prądami przybrzeżnymi była odprowadzana przydennymi prądami powrotnymi, które znosiły bursztyn w kierunku głębszych partii modelu basenu szelfowego, wskutek czego redeponowany bursztyn może wchodzić w skład sekwencji osadów piaszczystych budujących bariery przybrzeżne (fig. 5B).

Na odcinku linii brzegowej, do której czoło fali było równoległe, bursztyn wraz z materiałem okruskowym był redeponowany w wyniku działania prądów przydennych powrotnych z osadów prodeltowych bezpośrednio w obręb modelowych facji piaszczysto-mułowcowych szelfu.

UWAGI KOŃCOWE

Przedstawione obserwacje, odnoszące się bezpośrednio do przeprowadzonego modelowania transportu i depozycji bursztynu w środowiskach sedymentacji fluwialnej i deltowej, mogą mieć odniesienie do rzeczywistych warunków geologicznych występowania bursztynu w złożach pierwotnych i wtórnych. Znane nagromadzenia bursztynu w osadach paleogeńskich zostały genetycznie powiązane z osadami: prodelty, subaeralnych zatok, czy też podwodnych partii nasypów przyujściowych kanałów rozprowadzających (Jaworowski, 1987; Kosmowska-Ceranowicz i in., 1990; Kasiński, 1997). Kolejnym przykładem, do którego można odnieść wyniki modelowania są przekroje geologiczne przez

złóże bursztynu Górka Lubartowska (Parecki, Bujakowska, 2004). Analizując je można dostrzec zarówno poziomą jak i pionową zmienność wykształcenia litologicznego serii bursztynonośnej, która prawdopodobnie jest modelowym zapisem kopalnym progradacji piasków pylastych koryta rozprowadzającego w obręb pelitycznych osadów czoła delty lub utworów prodeltowych (Jaworowski, 1987).

Obserwacje zachowania żywicy kopalnej w środowisku wód płynących można również odnieść do licznych znalezisk bursztynu w plejstocenijskich osadach fluwialnych i fluwioglacjalnych. Jednym z nich są wystąpienia bursztynu odsłaniające się na klifach w okolicy Słupska (Mojski, Orłow-

ski, 1978) oraz Ustki (Sałaciński, Szczesiak, 1999). W obrębie osadów rzecznych wypełniających rynnę rozwiniętą w glinie lodowcowej występuje bursztyn razem z detrytusem roślinnym w postaci wydłużonych soczewek. Według autorów istnieje ścisły genetyczny związek między powstawaniem koncentracji bursztynu w osadzie a modelową depozycją bursztynu przy rytmicznie spadającej prędkości przepływu. Powyższe spostrzeżenia dotyczące prawidłowości depozycji bursztynu w warunkach fluwialnych można również odnieść do wtórnych złóż bursztynu na równinie mazurskiej,

sandrze kurpiowskim oraz dolinie dolnej Narwi na obszarze północno-wschodniej Polski (Sałaciński, Łazowski, 2008).

Wskazane przez autorów środowiska sedymentacji rozwinięte w strefie płytkomorskiego zbiornika morskiego, w obrębie których występuje bursztyn, charakteryzują się specyficzną rozciągłością przestrzenną i miąższością. Znajomość następstwa pionowego i poziomego osadów może być kluczem przy prognozowaniu obszarów perspektywicznych dla występowania bursztynu, a także być przydatne w pracach kartograficzno-poszukiwawczych.

WNIOSKI

1. Bursztyn jest transportowany głównie jako obciążenie zawieszinowe, jedynie duże bryły podlegają trakcji.

2. W środowisku wód płynących bursztyn deponowany jest w strefach, w których dochodzi od oderwania przyściennej warstwy prądu od podłoża, czyli we wszelkiego rodzaju obniżeniach w dnie koryta, nad którymi prąd ulega zwolnieniu, np. w obniżeniach po zaprawdowej stronie zmarszczek.

3. Depozycja bursztynu w osadach deltowych zachodzi w części podwodnej, w obrębie sekwencji osadów zaliczanych do prodelty oraz przyujściowych nasypów kanałów rozprzodających.

4. Falowanie, układ prądów, rozmieszczenie stref dywergencji i konwergencji ruchu falowego oraz kształt linii brzegowej są elementami decydującymi o lokalizacji nagromadzeń bursztynu, wskazana jest więc analiza kierunkowych struktur sedymentacyjnych i rekonstrukcja paleoprądów, ja-

ko ważnych czynników wpływających na depozycję bursztynu w strefie przybrzeżnej.

5. Obserwacje odnoszące się do eksperymentalnego modelu depozycji bursztynu w strefie brzegowej wykazują ścisły, merytoryczny związek z hipotezą utrzymującą, że nagromadzenia bursztynu nie powinny być związane z obszarami równi deltowych, ale ze skrajnie dystalnymi partiami delt, których osady następnie były przerabiane przez falowanie i wchodziły w skład facji barierowych (Kasiński, 1997).

Podziękowania. Autorzy pragną wyrazić wdzięczność Pani Profesor Barbarze Kosmowskiej-Ceranowicz za przekazanie z kolekcji materiałów bryłek bursztynu, wykorzystanych w trakcie modelowania oraz za uwagi udzielone autorom podczas pisania artykułu. Dziękujemy także Panu dr. Marcinowi Górcie za pomoc w przeprowadzeniu badania oraz udzielenie szeregu cennych wskazówek.

LITERATURA

- FOLK R.L., WARD W.C., 1957 — Brazos river bar: a study of significance of grain size parameters. *J. Sediment. Petrol.*, **27**: 3–26.
- JAWOROWSKI K., 1987 — Geneza bursztynonośnych osadów paleogenu w okolicy Chłapowa. *Biul. Inst. Geol.*, **356**: 89–102.
- KASIŃSKI J.R., 1997 — Osady bursztynonośne paleogenu południowo-wschodniej Polski. Streszczenia i referaty. Międzynarodowe interdyscyplinarne sympozjum. Bursztyn i inne żywice kopalne: 15–17. Gdańsk 2–6 września. Oficyna Wyd. Sadyba. Warszawa.
- KASIŃSKI J.R., TOŁKANOWICZ E., 1999 — Amber in the northern Lublin Region – origin and occurrence. *W: Investigations into amber* (red. B. Kosmowska-Ceranowicz, H. Paner): 41–51. Muz. Archeol. w Gdańsku.
- KOSMOWSKA-CERANOWICZ B., 2004 — Holocenijskie nagromadzenia bursztynu w rejonie Gdańska. *Pr. Muz. Ziemi PAN*, **47**: 57–62.
- KOSMOWSKA-CERANOWICZ B., KOCISZEWSKA-MUSIAŁ G., MUSIAŁ T., MÜLLER C., 1990 — Bursztynonośne osady trzeciorzędowe okolic Parczewa. *Pr. Muz. Ziemi PAN*, **41**: 21–35.
- KOSMOWSKA-CERANOWICZ B., LECIEJEWICZ K., 2006 — Złóża bursztynu na południowym brzegu morza eoceńskiego. *W: Bursztyn: poglądy – opinie. Materiały z seminariów Amfiberyf 1994–2005*: 32–36. Wyd. Bursztynowa Hossa Gierłoccy. Gdańsk–Warszawa.
- MASICKA H., 1970 — Bursztyn i jego występowanie w obrębie Zatoki Gdańskiej. Gdańskie Towarzystwo Naukowe. Rozprawy Wydziału III, **7**: 29–49.
- MOJSKI J.E., ORŁOWSKI A., 1978 — Plejstocenijska forma rynnowa okolic Słupska. *Kwart. Geol.*, **22**, 1: 171–179.
- PARECKI A., BUJAKOWSKA K., 2004 — Dokumentacja geologiczna złóż bursztynu Górka Lubartowska w kat. D. Przed. Geol. POLGEOL. Centr. Arch. Geol., Warszawa.
- PIWOCKI M., OLKOWICZ-PAPROCKA I., 1987 — Litostratygrafia paleogenu, perspektywy i metodyka poszukiwań bursztynu w północnej Polsce. *Biul. Inst. Geol.*, **356**: 7–28.
- REINECK H.E., SINGH I.B., 1973 — Deltaic Environment. *W: Depositional Sedimentary Environments*: 264–279. Springer-Verlag, Berlin.

- SAŁACIŃSKI R., ŁAZOWSKI L., 2008 — Geologiczno-złożowe przesłanki występowania bursztynu w Polsce i rozpoznanie geologicznych warunków jego koncentracji. *Gosp. Sur. Miner.*, **24**, 4/4: 325–339.
- SAŁACIŃSKI R., SZCZESIAK A., 1999 — Występowanie bursztynu w czwartorzędowych utworach klifowych w rejonie Ustki. *W: problemy geologii, hydrogeologii i ochrony środowiska wybrzeża morskiego Pomorza Zachodniego. Przew. LXX Zjazdu Nauk. Pol. Tow. Geol., Międzyzdroje 10–12 czerwca*: 298–301.
- SIVKOV V., KRYLOV A.D., 1997 — Warunki hydrodynamiczne akumulacji osadów bursztynonośnych Półwyspu Sambijskiego. *W: Bursztyn bałtycki i inne żywice kopalne. Międzynarodowe interdyscyplinarne Sympozjum. Gdańsk, 2–6 września*: 14–15. Muz. Ziemi PAN, Warszawa.
- ZALEWSKA Z., 1974 — Geneza i stratygrafia złóż bursztynu bałtyckiego. *Biul. Inst. Geol.*, **281**: 139–173.