HALINA JANKOWSKA, JERZY BOLAŁEK

Instytut Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego

JON CHLORKOWY W WODACH POROWYCH OSADÓW DENNYCH ZATOKI PUCKIEJ

UKD 551.464.613(261.24:438.162)

Skład chemiczny wód porowych morskich osadów dennych jest jednym z elementów badań nad paleogeologicznym rozwojem mórz. Pierwsze podjęte w tym celu badania wód porowych Bałtyku pochodzą z lat 1930 – 1950 (6, 9, 13). Stosowane wówczas metody uzyskiwania wód porowych nie pozwalały na ścisłe określenie ich składu chemicznego (18). Rozwój nowych metod badawczych w latach 60-tych zapoczątkował kolejny etap bardziej szczegółowych badań (17, 12).

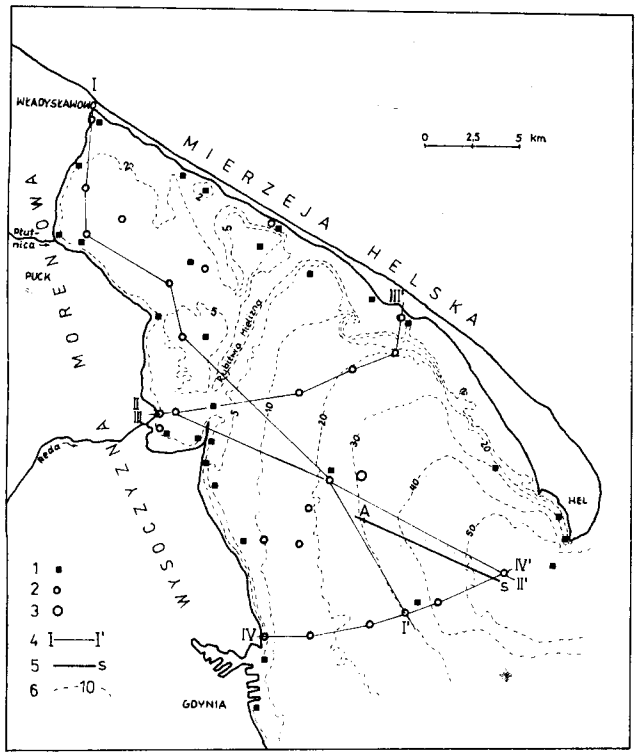
Wody porowe osadów dennych w strefie Bałtyku przyległej do polskiego wybrzeża nie były dotychczas przedmiotem odrębnych studiów. Niniejsza praca stanowi wprowadzenie do badań w tym zakresie.

Wody porowe morskich osadów dennych są wodami sedymentacyjnymi zamkniętymi w porach osadów tworzących się w czasie geologicznego rozwoju zbiornika. Pierwotny chemizm wód porowych pozostaje w związku z warunkami litologiczno-morfologicznymi, hydrochemicznymi i hydrodynamicznymi, w jakich te wody się formowały. Słone wody morskie typu chlorkowo-sodowego nadały podobny charakter wodom porowym. Jednakże pierwotny skład tych wód zmienia się w czasie, na skutek wymiany elementów chemicznych między wodą i osadem, dyfuzji, migracji wód wywołanej kompakcją osadów oraz lokalnie wskutek dopływu przez dno morskie wód o odmiennym składzie chemicznym.

Ważnym składnikiem chemicznym wód porowych osadów morskich jest jon chlorkowy. Dominuje on w składzie chemicznym i ma specyficzne właściwości. Nie tworzy trudno rozpuszczalnych związków z makroskładnikami wody morskiej, nie akumuluje się w organizmach morskich, a jego rozmieszczenie jest niezależne od chemicznego i biogenicznego składu osadów dennych (2). Ponadto pierwiastek ten dzięki dużej rozpuszczalności jego soli prawie nie występuje w osadach dennych, lecz 97 – 99% jego całkowitej zawartości przypada na wody porowe (17). Chlor praktycznie nie uczestniczy w procesach adsorpcji (11). Biorąc pod uwagę powyższe właściwości chloru można uznać, że czynnik modyfikujący pierwotną jego zawartość w wodach porowych, jakim jest wymiana elementów chemicznych między wodą i osadem, nie odgrywa tu większej roli. Oczywiście pomijamy tak specyficzne warunki, gdy w osadach zalegających w dnie zbiornika występują utwory solne. Istotny wpływ na zmianę stężeń jonu chlorkowego w wodach porowych mają procesy dyfuzji, migracji wywołanej kompakcją i podmorski dopływ wód o innym składzie chemicznym, co pozostaje w związku z tym, że chlor jest bardzo aktywnym migrantem hydrochemicznym.

CHARAKTERYSTYKA REJONU BADAŃ

Badania jonu chlorkowego były prowadzone w wodach porowych osadów dennych Zatoki Puckiej. Zachodnia (wewnętrzna) część Zatoki Puckiej aż po Rybitwią Mieliznę ma charakter płytkowodnej laguny z lokalnymi przegłębieniami dna, natomiast część wschodnia (zewnętrzna) cechuje się znacznie większymi głębokościami i równomiernym obniżaniem się dna w kierunku wylotu ku Zatoce Gdańskiej (ryc. 1). Reżim hydrologiczny Zatoki Puckiej kształtuje się głównie pod wpływem otwartego morza oraz dopływu wód powierzchniowych (3, 15).



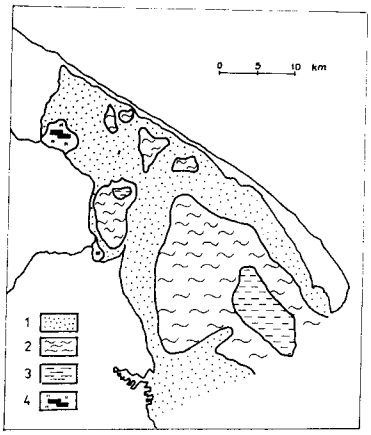
Ryc. 1. Mapa dokumentacyjna rejonu badań

1 — punkty badania wód przydennych, 2 — punkty badania wód porowych, 3 — wiercenie „Petrobaltic", 4 — przekroje hydrochemiczne, 5 — przekrój sejsmoakustyczny, 6 — izobaty

Fig. 1. The map of studied region

1 — nearbottom water samples, 2 — pore water samples, 3 — „Petrobaltic" borehole, 4 — hydrochemical cross-section, 5 — seismoacoustic cross-section, 6 — isobaths

Na dnie zatoki występują różnorodne osady. Są to piaski o różnej granulacji, muły, iły i utwory organiczne (8, 14). Ich rozmieszczenie na powerzchni dna pozostaje w dość wyraźnym związku z morfologią (ryc. 2). Utwory piaszczyste zalegają wzdłuż brzegów zatoki oraz na rozległych płyciznach, zwłaszcza w jej zachodniej części. Osady aleurytowe wypełniają obniżenia w płytkowodnej części akwenu oraz wyścielają jego dno w części wschodniej. W najgłębszym rejonie, u wylotu do Zatoki Gdańskiej zalega pokrywa osadów pelitowych. Przy zachodnim brzegu zatoki odsłaniają się w dnie utwory limniczno-bagienne, miejscami przykryte kilkucentymetrową warstwą piasków drobnoziarnistych. Występują one na przedłużeniu ujść rzeki Redy i Płutnicy. Miąższość osadów dennych można ocenić na podstawie wyników badań sejsmoakustycznych, wykonanych przez Państwowy Instytut Geologiczny Oddz. w Sopocie oraz wiercenia wykonanego przez Przedsiębiorstwo Poszukiwań Ropy i Gazu na Morzu Bałtyckim „Petrobaltic". Zarówno profil sejsmoakustyczny jak i wiercenie są zlokalizowane we wschodniej części Zatoki Puckiej (ryc. 1). Z badań sejsmoakustycznych wynika, że miąższość osadów ilasto-piaszczystych, związanych z kolejnymi stadiami rozwoju zbiornika wynosi od kilkunastu metrów do nieco ponad 20 m, a ich spąg ma rzędną ok. —57 m ppm (ryc. 3). Wiercenie „Petrobalticu" zakończono na głęb. 31,8 m i nie osiągnęło spągu czwartorzędu. Autorom udostępniono jedynie opis litologiczny, co nie wystarcza do wyznaczenia granic stratygraficznych. Wydaje się jednak, że wyraźna granica erozyjna na głęb. 29,6 m, rozdzielająca osady piaszczysto-aleurytowe od zastoiskowych i morenowych stanowi strop plejstocenu na rzędnej ok. —60 m ppm.



Ryc. 2. Osady denne Zatoki Puckiej (wg 8, 14 i badań własnych)

1 — piaski, 2 — aleuryty, 3 — pelity, 4 — torfy

Fig. 2. Map of the Puck Bay bottom sediments (acc. 8, 14, completed)

1 — sands, 2 — aleurites, 3 — pelites, 4 — peats

Do zachodniego brzegu Zatoki Puckiej przylega plejstoceńska wysoczyzna morenowa z głęboko wciętymi w nią pradolinami Redy i Płutnicy. Północny i północno-wschodni brzeg stanowi piaszczysta Mierzeja Helska.

MATERIAŁY I METODYKA BADAŃ

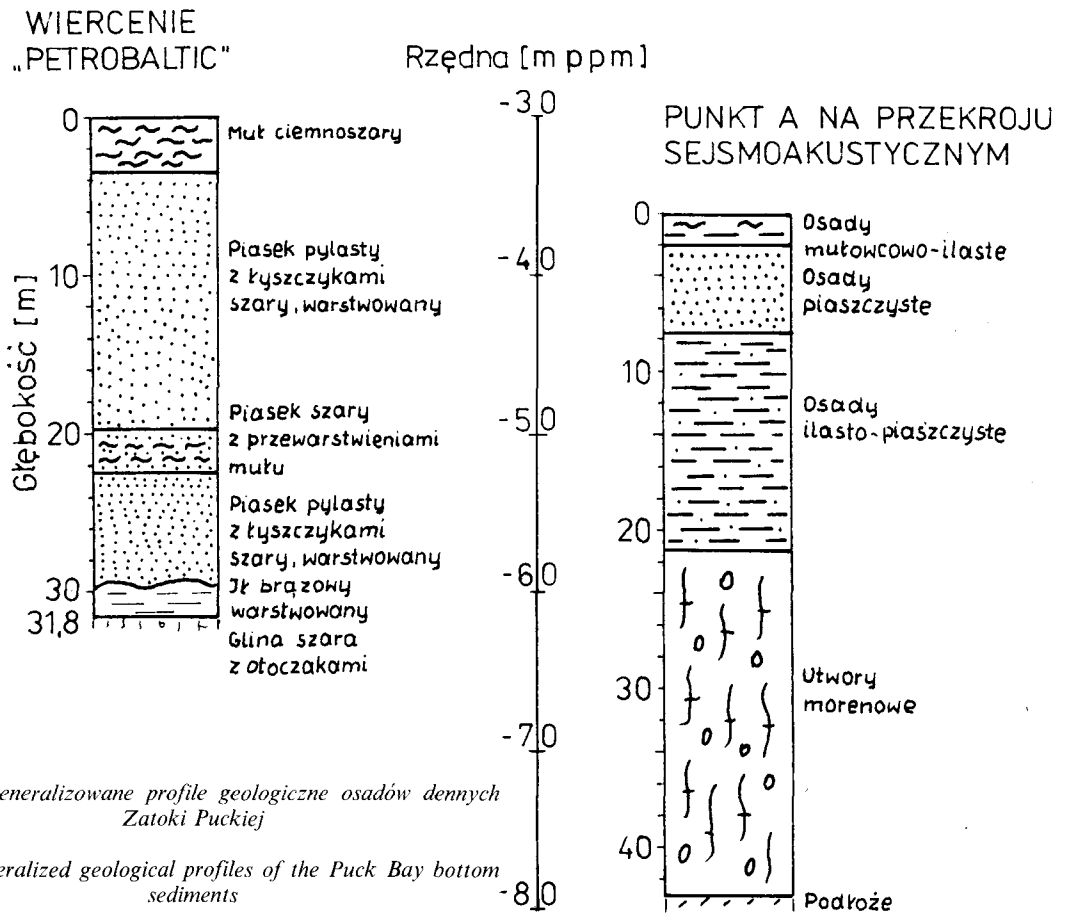
W 1987 r. pobrano rdzenie osadów dennych w 26 punktach Zatoki Puckiej (ryc. 1). Osady pobierano ze statku za pomocą rury GOIN. Uzyskano rdzenie o długości od kilkunastu centymetrów do 110 cm, które bezpośrednio po wyjęciu dzielono na 5 cm odcinki przeznaczone do odciskania wód porowych. Do czasu badań laboratoryjnych (ok. 6 godz.) rdzenie przechowywano w temperaturze 4°C.

Wody porowe odciskano w laboratorium metodą niskociśnieniową gazowo-mechaniczną (1). W uzyskanych 183 próbach wód porowych oznaczono chlorki metodą Mohra-Knudsena poprzez miareczkowanie azotanem srebra wobec chromianu potasowego (5). Dla porównania wykonano oznaczenia chlorków w wodzie porowej z rdzenia o długości 460 cm z środkowej części Zatoki Gdańskiej, udostępnionego przez Katedrę Geomorfologii i Geologii Czwartorzędu Uniwersytetu Gdańskiego.

Do opracowania rozkładu stężeń chlorków w wodach przydennych Zatoki Puckiej wykorzystano 263 wyniki oznaczenia jonu chlorkowego z 29 punktów pomiarowych (ryc. 1). Badania te prowadził Zakład Oceanografii Fizycznej i Zakład Chemii Morza Instytutu Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego w latach 1986—1988.

REZULTATY BADAŃ

Stężenia jonu chlorkowego w wodach przydennych Zatoki Puckiej w okresie pomiarowym wahały się od 1,85 do 5,05 g/dm^3, przy czym wartości poniżej 3,50 g/dm^3 i powyżej 4,51 g/dm^3 wystąpiły tylko 15 razy, co stanowi-



Ryc. 3. Zgeneralizowane profile geologiczne osadów dennych Zatoki Puckiej

Fig. 3. Generalized geological profiles of the Puck Bay bottom sediments

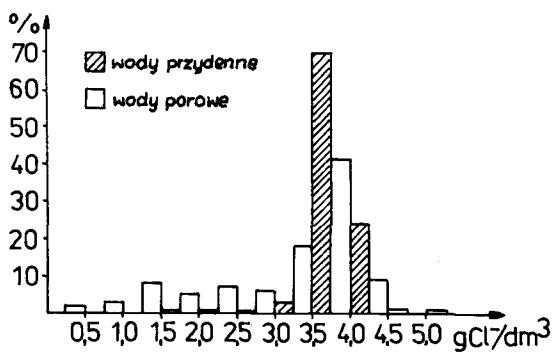
ło ok. 6% wszystkich uzyskanych wyników. Najwięcej wartości stężeń chlorków mieściło się w zakresie 3,51 – 4,00 g/dm^3 (70,3% danych) (ryc. 4).

W rozkładzie poziomym jonu chlorkowego w warstwie wód przydennych obserwuje się wyższe stężenia w głębokowodnej części zatoki, a niższe w strefie płytkowodnej (ryc. 5). Większe zawartości chlorków w części głębokowodnej są spowodowane napływem bardziej zasolonych wód morskich z Zatoki Gdańskiej. W okresach nasilonego napływu chlorki osiągają stężenia 4,5 – 5,0 g/dm^3. Natomiast w płytkowodnym rejonie zatoki zasolenie, a tym samym ilość chlorków jest uwarunkowana intensywnością wymiany wód z wodami strefy głębokowodnej oraz dopływem rzecznym, przy czym oddziaływanie wód rzecznych jest ograniczone do strefy przyujściowej (15). Przykładem może być ujście Płutnicy, gdzie stężenie jonu chlorkowego w latach 1986 – 1988 wynosiło średnio 3,04 g/dm^3, a wysładzający wpływ rzeki miał niewielki zasięg.

Wody porowe w warstwie osadów dennych objętych badaniami charakteryzują się stężeniami chloru 0,37 – 4,24 g/dm^3. W stosunku do wód przydennych zwiększa się udział niższych wartości stężeń. Na przedział stężeń 3,01 – 3,51 g/dm^3 przypada 18% danych, a w zakresie 3,51 – 4,00 g/dm^3 mieści się tylko 41,5% wyników (ryc. 4).

W profilu pionowym osadów dennych zawartości chlorków w wodach porowych z reguły maleją wraz z głębokością. W warstwie osadu 0 – 5 cm zmieniają się one od 2,43 do 4,28 g/dm^3. Najniższe wartości wystąpiły w rejonach przybrzeżnych koło Władysławowa i przy ujściu Redy, a najwyższe powyżej 4,0 g/dm^3 w południowo-wschodniej części akwenu (ryc. 6).

W rozmieszczeniu chlorków w wodach porowych



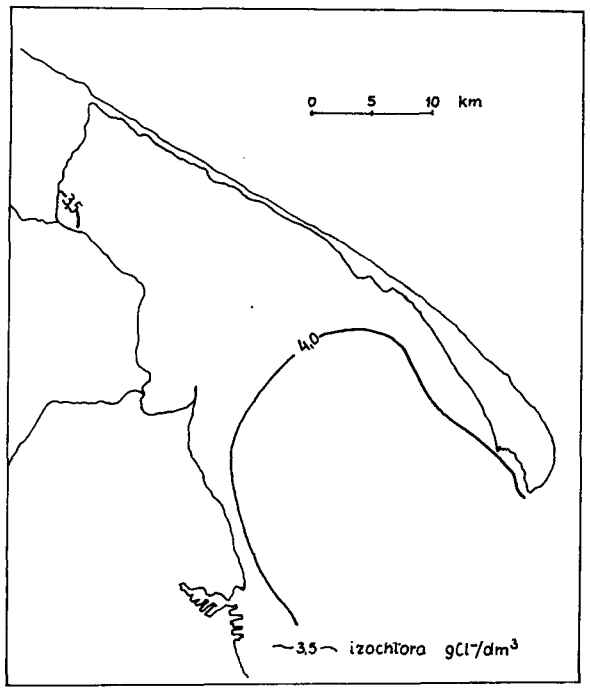
Ryc. 4. Histogram rozkładu jonu chlorkowego w wodach przydennych i porowych

Fig. 4. Distribution of chloride ion in the nearbottom and pore waters

warstwy osadu 0 – 25 cm, w rejonach wylotów pradolin Redy i Płutnicy pojawia się izochlora o wartości 2,0 g/dm^3, a stężenie chlorków wyższe od 4,0 g/dm^3 występuje jedynie w sąsiedztwie krańca Mierzei Helskiej (ryc. 7).

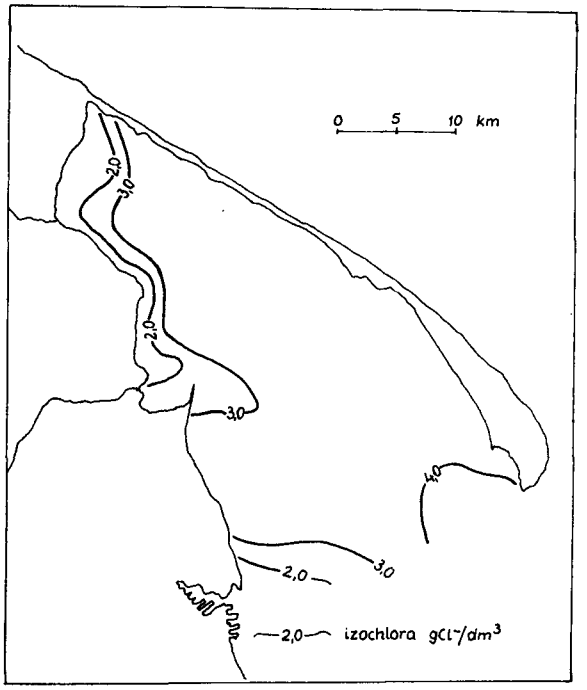
W wodach porowych na głęb. 40 – 45 cm następuje dalsze zmniejszanie się zawartości clorków, szczególnie w części dna przyległej do brzegu wysoczyzny. W horyzoncie tym pojawia się izochlora 1,0 g/dm^3, a stężenia 4,0 g/dm^3 i większe już nie występują (ryc. 8). W miarę wzrostu głębokości izochlory 1,0 i 2,0 g/dm^3 obejmują coraz szersze rejony dna zachodniej części akwenu.

We wszystkich przeanalizowanych warstwach osadu, zawartość chlorków w wodach porowych rośnie od



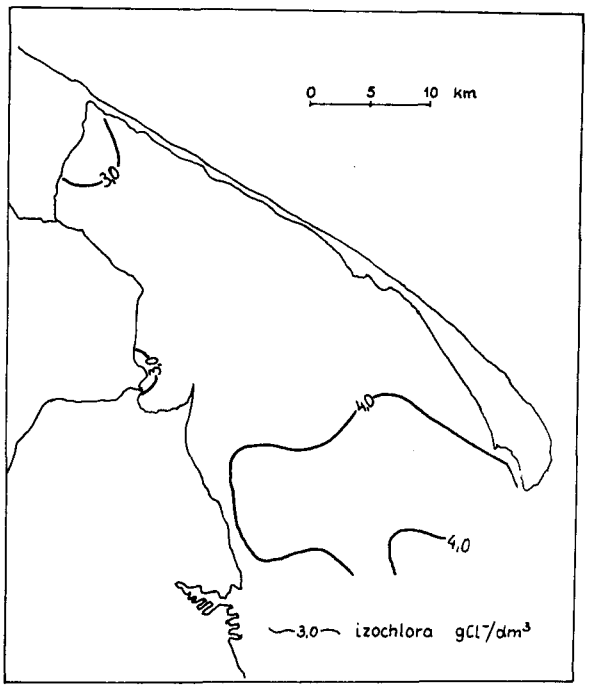
Ryc. 5. Rozmieszczenie jonu chlorkowego w wodach przydennych

Fig. 5. Chloride ion. distribution in the nearbottom waters



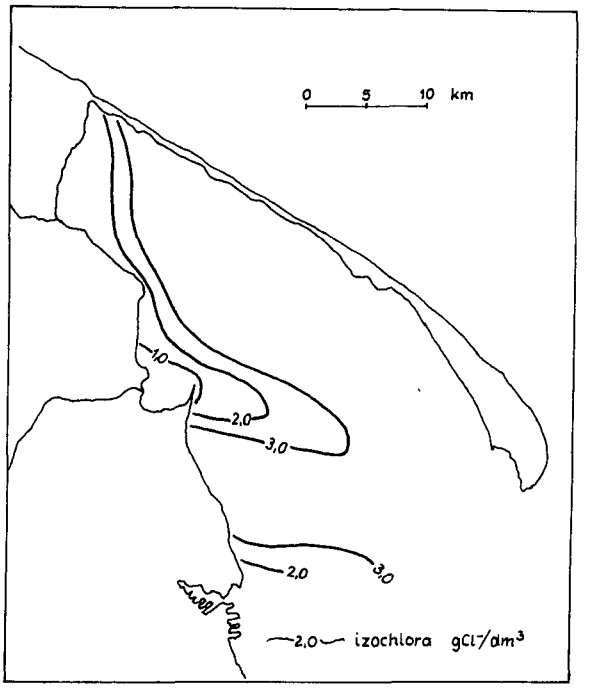
Ryc. 7. Rozmieszczenie jonu chlorkowego w wodach porowych na głęb. 20—25 cm

Fig. 7. Chloride ion distribution in the pore waters at depth 20—25 cm



Ryc. 6. Rozmieszczenie jonu chlorkowego w wodach porowych na głęb. 0—5 cm

Fig. 6. Chloride ion distribution in the pore waters at depth 0—5 cm



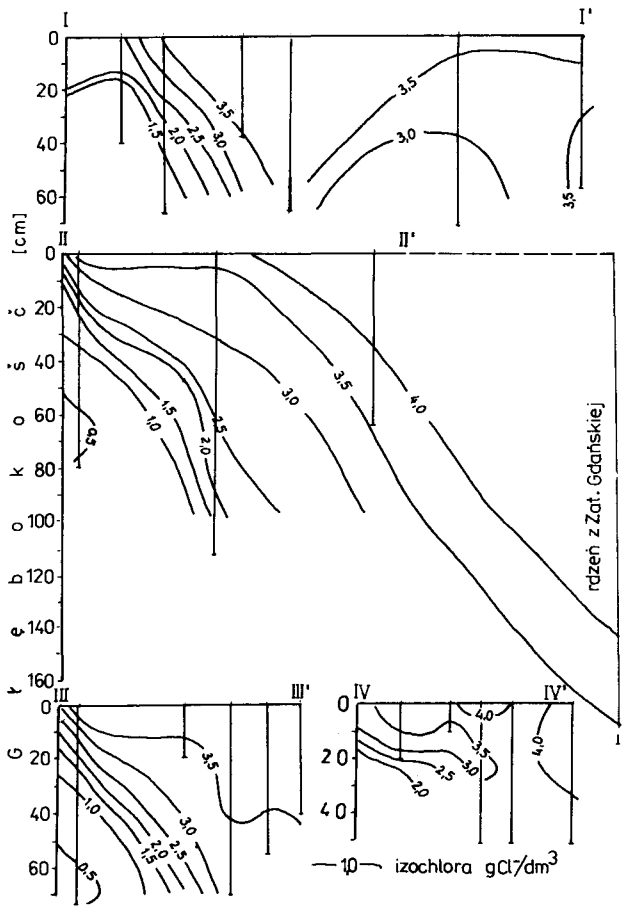
Ryc. 8. Rozmieszczenie jonu chlorkowego w wodach porowych na głęb. 40—45 cm

Fig. 8. Chloride ion distribution in the pore waters at depth 40—45 cm

zachodniego brzegu zatoki w kierunku wschodnim, co wyraźnie widać na przekrojach (ryc. 9).

W porównawczym rdzeniu z centrum Zatoki Gdańskiej zawartości chlorków w wodach porowych zmieniają się od 4,82 do 2,20 g/dm^3 i podobnie jak w Zatoce Puckiej maleją wraz z głębokością. Jednakże stężenia o wielkości powyżej 4,0 g/dm^3 utrzymują się aż do głęb. 140 cm, powyżej 3,0 g/dm^3 — do głęb. 280 cm i do końca rdzenia są zawsze większe od 2,0 g/dm^3 (ryc. 9, przekrój II—II).

Nierównomierny rozkład stężeń chlorków w wodach porowych w profilu pionowym osadów Zatoki Puckiej obrazuje gradient ΔCl wyrażony w g/dm^3/cm, na podstawie którego wydzielono następujące rejony dna zatoki (ryc. 10).



Ryc. 9. Rozmieszczenie jonu chlorkowego w wodach porowych na wybranych przekrojach

Fig. 9. Chloride ion distribution in the pore waters from selected sections

I. rejon, w którym stężenie jonu chlorkowego jest praktycznie stałe, a gradient ΔCl jest mniejszy od 0,01 g/dm^3/cm;

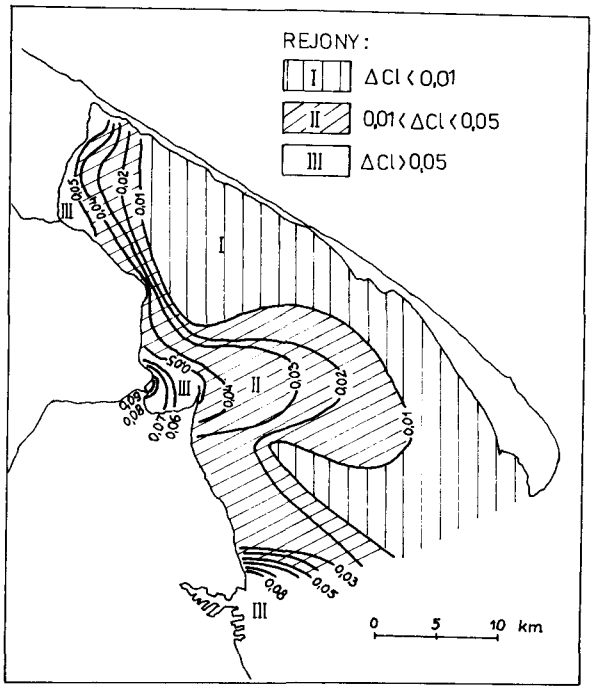
II. rejon, w którym stężenie jonu chlorkowego łagodnie maleje wraz z głębokością, a gradient ΔCl zawiera się w przedziale od 0,01 do 0,05 g/dm^3/cm;

III. rejon, w którym stężenie jonu chlorkowego szybko maleje wraz z głębokością, a gradient jest większy od 0,05 g/dm^3/cm.

Posługując się klasyfikacją Schoellera (11) przebadane wody przydenne i porowe można zaliczyć do następujących typów: silnie chlorkowe (powyżej 4,96 g Cl^-/dm^3), średnio chlorkowe (1,24 – 4,96 g Cl^-/dm^3), oligochlorkowe (0,53 – 1,24 g Cl^-/dm^3) i chlorkowe normalne (poniżej 0,53 g Cl^-/dm^3). Wody przydenne należą w 99% do typu średniochlorkowego, a sporadycznie do silnie chlorkowego. Wody porowe reprezentują trzy typy: średniochlorkowy, oligochlorkowy i chlorkowy normalny. W wydzielonym rejonie I są to wyłącznie wody porowe średniochlorkowe, w rejonie II pojawiają się oprócz nich wody oligochlorkowe, a w rejonie III występują wody średniochlorkowe, oligochlorkowe i chlorkowe normalne.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wykazały przestrzenne zróżnicowanie stężeń jonu chlorkowego w wodach porowych. Ogólną prawidłowością jest zmniejszanie się jego zawartości wraz z głębokością. Zależność tę obserwuje się również w innych rejonach Morza Bałtyckiego i wiąże się z wysładzającym wpływem wód lodowcowych na reżim hydrochemiczny morza w jego przeszłości geologicznej (9, 10, 18).



Ryc. 10. Gradienty stężenia jonu chlorkowego w wodach porowych (g Cl^-/dm^3/cm)

Fig. 10. Gradients of the chloride ion concentrations in the pore waters (g · Cl^-/dm^3/cm)

Wody porowe w osadach Zatoki Puckiej mają ogólnie niższe zawartości chlorków niż wody porowe w przebadanym rdzeniu z Zatoki Gdańskiej. Ponadto pionowy profil stężenia tego jonu w wodach porowych Zatoki Gdańskiej jest bardziej wyrównany niż w Zatoce Puckiej, a gradient wyrażający spadek stężenia jest niewielki i wynosi 0,005 g/dm^3/cm. Przyczyną takiego zróżnicowania mogą być m.in. różne ciśnienia słupa wody wynikające z głębokości obu akwenów i różnice w zasoleniu wody wynikające z głębokości obu akwenów i różnice w zasoleniu wód przydennych. Zatoka Gdańska jest zbiornikiem głębszym i bardziej zasolonym niż Zatoka Pucka, a zatem większe ciśnienia wspierają grawitacyjne przemieszczanie się słonych wód przydennych w głąb osadu.

Ważnym czynnikiem doprowadzającym do wyrównania stężeń chlorków w wodach porowych jest czas, w kórym przebiegają procesy dyfuzji chloru i migracji wód związanej z kompakcją osadów. Określony eksperymentalnie współczynnik dyfuzji chloru dla osadów Bałtyku jest niewielki i wynosi $3 \cdot 10^{-10}$ m^2/s (18). Wiek obu akwenów można porównać tylko w przybliżeniu, bowiem problem ten jest nadal otwarty. W świetle prac dotyczących genezy Bałtyku (7, 16) zaistnienie Zatoki Puckiej jako zbiornika morskiego można wiązać dopiero z transgresją litorynową. Jest więc ona akwenem młodszym od Zatoki Gdańskiej i procesy dyfuzji i migracji, modyfikujące pierwotne sężenia jonu chlorkowego w wodach porowych trwały tu krócej.

Wpływ wód przydennych na wody porowe przejawia się wyrównaniem stężeń chlorków w wodach obu tych środowisk. W Zatoce Puckiej sięga on przeważnie na głęb.

10–15 cm. Z porównania rozkładu chlorków w wodzie przydennej i porowej w warstwie osadu 0–5 cm (ryc. 5, 6). widać, że lokalnie istnieją w tym względzie wyjątki (np. w sąsiedztwie Władysławowa i ujścia Redy).

Niskie stężenia chlorków w wodach porowych Zatoki Puckiej w wydzielonych rejonach II i III sugerują, że te rejony dna były w przeszłości w zasięgu wysładzającego, intensywnego dopływu rzecznego. Analiza okrzemek z osadów dennych nie potwierdza takiego wysłodzenia (materiały Zakładu Geologii Ogólnej i Morskiej UG – nie publikowane). Wysłodzenie wód porowych w tych rejonach jest najprawdopodobniej związane z obecnością słodkich wód podziemnych pod dnem zatoki, będących kontynuacją serii wodonośnych rozwiniętych na przyległej wysoczyźnie. Na możliwość ich występowania w przybrzeżnych rejonach dna Bałtyku zwrócono uwagę już wcześniej (4). Obszar dna zatoki leżący w zasięgu II i III rejonu jest prawdopodobnie strefą podmorskiego drenażu tych wód i rozciąga się na odległość ok. 4 km od brzegu wysoczyzny w płytkowodnej części zatoki oraz do ok. 12 km w jej części głębokowodnej (ryc. 10). Ostateczne wyjaśnienie tego zagadnienia wymaga dalszych badań, w szczególności rozpoznania warunków hydrogeologicznych pod dnem zatoki.

LITERATURA

1. Bolałek J. – Studia i Mater. Oceanolog. KBM PAN 1988, t. 54 s. 131–142.
2. Brusiłowski S.A., Łaptiewa L.A. – Kompleksnyjne issliedowanije Kaspijskowo morja, t. 5. 1976.
3. Cyberski J., Jankowska H. – Zesz. Nauk. Wydz. BiNoZ Uniw. Gdańskiego Oceanografia, 1984 t. 10 s. 5–33.
4. Dowgiałło J., Kozerski B. – Studia i Mater. Oceanolog. KBM PAN, 1975 t. 11 s. 56–66.
5. Grasshof K. – Methods of seawater analysis. Veslag Chemie, Weinheim – New York, 1976.
6. Grippenberg S. – 5-th Hydrological Conf. Baltic States, Helsinski, 1934.
7. Gudelis W.K., Jemielianow J.M. (red.) – Geologia Morza Bałtyckiego, Wyd. Geol., 1982.
8. Jurowska Z., Kroczka W. – Mapa osadów dennych południowej części Morza Bałtyckiego 1:500 000, Wyd. Geol., 1979.
9. Kullenberg B. – On the salinity of the water contained in marine sediments. Göteborg, 1952.
10. Kullenberg B. – Tellus, t. 6. 1956.
11. Manheim F.T. – Chemical Oceanography, 1976 t. 6 s. 115–186.
12. Macioszczyk A. – Hydrogeochemia. Wyd. Geol., 1987.
13. Mikkelsen V.M. – Bull. Geol. Soc. t. 13. Denmark, 1956.
14. Musielak S. – Zesz. Nauk. Wydz. BiNoZ Uniw. Gdańskiego Oceanografia 1984 t. 10 s. 35–58.
15. Nowacki J. – Zesz. Nauk. Wydz. BiNoZ Uniw. Gdańskiego Oceanografia, 1984 t. 10 s. 67–96.
16. Rosa B. – Analiza morfologiczna dna Południowego Bałtyku. Toruń, 1976.
17. Szyszkina O.W. – Gieochimija morskich i okieaniczeskich iłowych wod. Wyd. Nauka Moskwa, 1972.
18. Szyszkina O.W., Pawłowa G.A. i in. – Okieanołogija, 1980 t. 20 w. 3 s. 513–519.

SUMMARY

The subject of the paper is the spatial distribution of chloric ion in pore water from the Puck Bay (western part of the Gdańsk Bay). The subject of investigation was assumption pore water to 110 cm depth which was analysed in 5 cm intervals. Concentration of chloric ion in this water was between 0.37 and 4.24 g/dm^3.

The overall pattern in the vertical distribution of chloride is its descrease with depth. The distribution of chloride in pore water was produced as gradient $\Delta Cl/dm^3/cm$. On the basis of this parameter there have been separated three regions of the bay bottom:

I – $\Delta Cl < 0.01$; II – $0.01 < \Delta Cl < 0.05$ and III – $\Delta Cl > 0.05$. In regions II and III there appears freshing pore water of oligochloric and chloric normal type.

The generally low concentration of chloride in pore water is conditioned by the bay genesis. The spatial differentiation of gradient within the bottom, is according to the authors, connected with the existenca of fresh ground water under the bay bottom, which might be the zone of their drainage.

Translated by authors

РЕЗЮМЕ

В статье рассматривается пространственное распределение хлор-иона в иловых водах Пуцкой бухты (западная часть Гданьского залива). Исследованиями охвачен верхний слой донных отложений мощностью до 110 см. Анализ хлористости иловых вод проведено в 5-см слоях осадков.

Содержание хлор-иона в иловых водах изменяется от 0,37 до 4,24 г/дм^3 и, как правило, падает с глубиной. Резкое уменьшение хлористости с глубиной наблюдается в западной части бухты в прибрежных районах дна, прилегающих к моренной возвышенности. Хорошим показателем измененния хлорности является вертикальный градиент ΔCl (г/дм^3/-/см), который позволил выделить три района: I-ый $\Delta Cl < 0{,}01$; II-й $0{,}01 < \Delta Cl < 0{,}05$; III-й $\Delta Cl > 0{,}05$. Во II-м и III-м районах происходит опреснение иловых вод.

В общем невеликие содержания хлор-иона в иловых водах Пуцкой бухты связаны с генезисом акватории, а резкое падение хлористости в западных районах дна связано, по мнению авторов, с субмаринной разгрузкой пресных подземных вод.

Перевод авторов