

## KONTYNENTALNE OSADY CHLORKOWE W GÓRNYM CECHSZTYNIE POLSKI

UKD 552.53:551.736.3(438)

Utwory cyklu PZ4 na terenie Polski cechuje wydatny udział materiału terygenicznego przy całkowitym braku osadów węglanowych i ograniczeniu występowania siarczanów (14, 15). Dominacja klastyków nad ewaporatami zaznacza się szczególnie w profilach dwu ostatnich subcykli: PZ4d i PZ4e (14, 15), których łączna miąższość sięga 100 m w rejonie Czaplinka (por. 14). Ewaporaty, reprezentowane tu przez zubry bądź zailone sole kamienne, są podstawą rozdzielenia w osiowych partiach bruzdy środkowopolskiej wyższej części cyklu PZ4 na subcykle PZ4c-e (13, 14, 15). Brak zachowanych ewaporatów w brzeżnej części zbiornika uniemożliwia podobny podział i występujące tam serie klastyków nazwano formacją rewalską (11, 13, 14). Utworom solnym subcykli PZ4d-e przypisywano pochodzenie kontynentalne (1, 14, 15) opierając się głównie na niskiej zawartości bromu (poniżej 20 g/t), znacznie niższej od wartości 30–50 g/t, przyjmowanej za graniczną dla utworów morskich (4–6) oraz przewadze ilościowej klastyków w profilu i analizie strukturalno-teksturalnej skał.

Celem prezentowanej pracy jest przedstawienie na podstawie zachowanego materiału rdzeniowego, pełnej charakterystyki wzmiankowanych chlorków, bliższa analiza warunków ich powstawania oraz określenie możliwości korelacji. Autor serdecznie dziękuje dr R. Wagnerowi za udostępnienie wielu danych odnośnie zawartości bromu. Omówienie pozostałych ogniw solnych cyklu PZ4 wraz z dyskusją nad znaczeniem utworów chlorkowych w stratygrafii i odtworzenie warunków sedymentacji górnego cechsztynu, zostanie przedstawione we wspólnie przygotowywanej pracy.

#### CHARAKTERYSTYKA UTWORÓW CHLORKOWYCH

Materiał analityczny stanowiły zachowane fragmenty rdzeni solnych, kilku–kilkunastocentymetrowej długo-

ści, z 6 otworów wiertniczych (ryc. 1), z których 5 jest zlokalizowanych w północnej części basenu cyklu PZ4, w pobliżu osi bruzdy środkowopolskiej, natomiast otwór Czeszewo IG1 jest położony w partii południowej, gdzie brak innych ogniw cyklu PZ4 uniemożliwia przypisanie chlorków do określonego subcyklu. Zbadano makroskopowo skały oraz występujące struktury i tekstury zaś próbki punktowe dostarczyły informacji o zawartości bromu (ryc. 3). Analiza danych umożliwiła przedstawienie syntetycznych profili badanych sekwencji wraz z interpretacją genetyczną (ryc. 2).

#### Utwory subcyklu PZ4d

Rdzenie solne tego subcyklu stanowią większość materiału badawczego (ryc. 2). Występują tu brunatne i czerwone, półprzezroczyste do nieprzezroczystych, sole zailone (rejon Czaplinka) przewarstwiające się w okolicach Bydgoszczy (otw. Bydgoszcz IG1, Piła IG1, Wyrzysk IG1 – ryc. 1, 2), z czerwonymi zubrami. Oba typy skał cechuje zmienna wielkość kryształów halitu oraz częste pojawianie się soczew soli wielokryształicznej wtórnej o nieregularnych zarysach kryształów, zwykle zubożonej w  $\text{H}_2\text{O}$ . W zubrach szczególnie obficie występują drobne okruchy czerwonych i brunatnych  $\text{H}_2\text{O}$  oraz gruzły i smugi anhydrytu, często ze skupieniami  $\text{H}_2\text{O}$ .

Osady solne przedzielone są warstwami czerwono-brunatnych, bezteksturalnych  $\text{H}_2\text{O}$  i  $\text{H}_2\text{O}$  zmiennej grubości, od kilku cm do 1,5 m. Powszechne są w nich drobne, automorficzne kryształy halitu, co nadaje im czasem cechy  $\text{H}_2\text{O}$  solnych. Rzadziej – otwór Bydgoszcz IG1 (ryc. 1, 2) – pojawiają się w nich kilkucentymetrowej średnicy kawerny wypełnione solą wielokryształiczną wtórną. Sporadycznie w pakietach bardziej mułowcowych można dostrzec drobne warstwowanie soczewkowe (otwór Wyrzysk IG1 – ryc. 2).

Przeciętna zawartość bromu w próbkach jest niska (ryc. 3), zmienia się od 3 g/t w otworze Wyrzysk IG1 do 9 g/t w Czaplunku IG2. Najniższa punktowa zawartość

wynosi 0, zaś najwyższa – 40 g/t w Czaplinku IG2 (ryc. 2).

### Utwory subcyklu PZ4e

Jedyny zachowany odcinek rdzenia z chlorkami tego subcyklu pochodzi z otworu Czaplinek IG1 (ryc. 1, 2). Stwierdzono tu 4 m serię czerwonych, bezteksturalnych ilomułowców solnych z automorficznymi kryształami halitu oraz 1 m grubości pakiet czerwono-brunatnych, półprzezroczystych do nieprzezroczystych soli zailonych, złożonych głównie z soli wielokryształicznej wtórnej.

Zawartość bromu w halicie z ilów wynosi 3–7 g/t, natomiast w soli zailonej wzrasta do 19 g/t (ryc. 2).

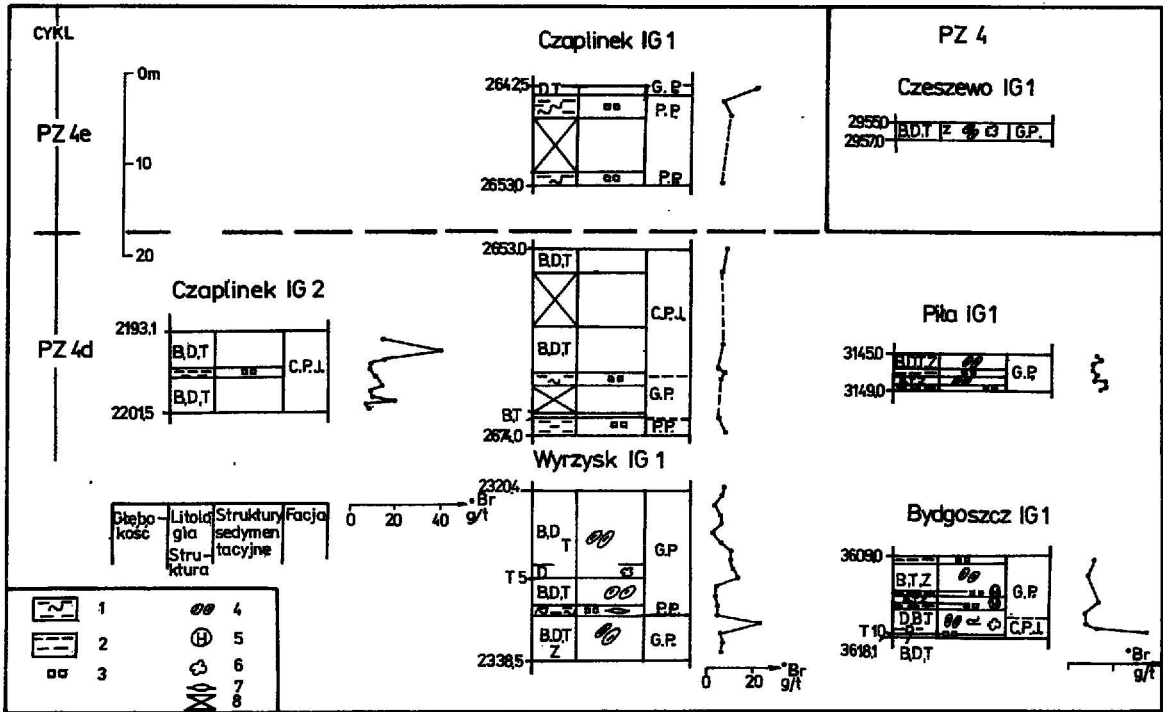
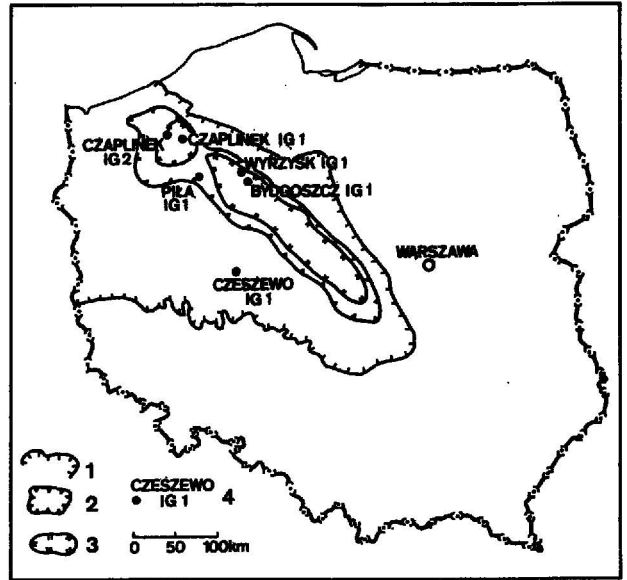
Podobny wykształceniem do osadów subcyklu PZ4d jest 2 m grubości pakiet chlorków z otworu Czeszewo IG1 (ryc. 2). Tworzą go czerwono-brunatne zuby z gruzłami anhydrytu, okruchami ilowców i soczewkami soli wielokryształicznej wtórnej. Zawartość bromu (ryc. 2, 3) jest nieco wyższa niż w poprzednio opisywanych utworach i wynosi 21–22 g/t.

Ryc. 1. Lokalizacja zbadanych otworów wiertniczych z kontynentalnymi utworami chlorkowymi cechsztynu

1–3 – zasięgi występowania utworów cechsztynu (wg 15): 1 – współczesny zasięg występowania osadów solnych subcyklu PZ4a, 2 – pierwotny zasięg występowania utworów subcyklu PZ4d oraz 3 – subcyklu PZ4e, 4 – otwory wiertnicze

Fig. 1. Locational map of studied bore holes with continental chlorides of Zechstein

1–3 – extents of Zechstein deposits (according 15): 1 – Recent extent of chlorides of PZ4a subcycle, 2 – primary extent of PZ4d deposits and 3 – of PZ4e sediments, 4 – bore hole studied



Ryc. 2. Syntetyczne profile kontynentalnych osadów solnych cechsztynu w zbadanych otworach wiertniczych

Fig. 2. Synthetic profiles of Zechstein continental chlorides

1 – ilomułowiec, 2 – ilowiec, 3 – automorficzne kryształy halitu, 4 – okruchy ilowców, 5 – kawerny z halitem, 6 – gruzły anhydrytu, 7 – warstwowanie soczewkowe, B – sól różnokryształiczna, D – sól wielokryształiczna, T – substancja ilasta w soli, T10 – warstewka ilowca grubości 10 cm, Z – zuby, PP – płytkie przybrzeże, GP – głębsze przybrzeże, CPJ – centralne partie jeziora

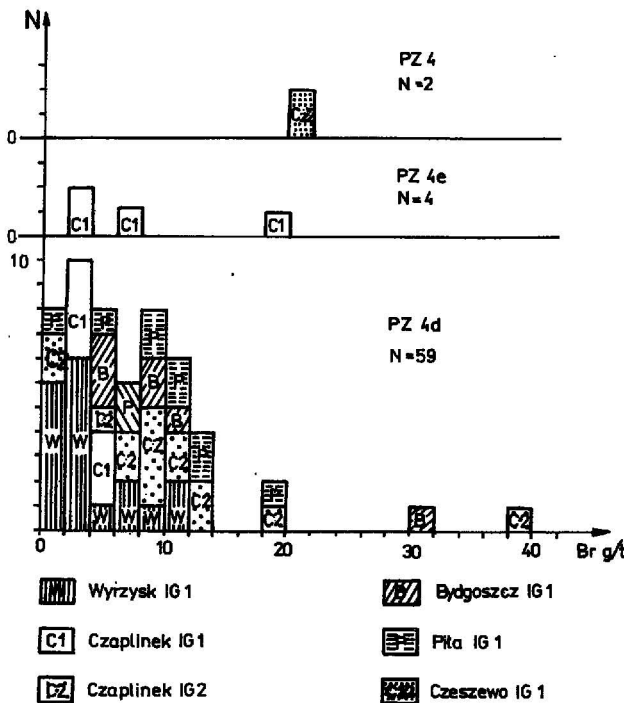
1 – clayey siltstone, 2 – claystone, 3 – autigenic halite crystals, 4 – claystone fragments, 5 – caverns infilled with halite, 6 – anhydrite nodules, 7 – lense bedding, B – polymorphic halite, D – giant-size secondary halite, T – clay admixture, T10 – claystone bed 10 cm thick, Z – zubers, PP – shallow nearshore, GP – deeper nearshore, GPJ – central part of salt lake

## WARUNKI POWSTAWANIA LĄDOWYCH OSADÓW CHLORKOWYCH

Niska zawartość bromu w chlorkach, powszechne występowanie soli wtórnej, świadczące o złożonych i wieloetapowych procesach akumulacji i diagenetyzacji chlorków oraz dominacja klastyków w profilu wskazują na odmienne od morskiego środowisko powstawania omawianych osadów. Nikły udział siarczanów, tylko w formie rozproszonych gruzłów, wyklucza również obszary zazębiana się wpływów morza i lądu, jakimi są współczesne sebhry brzegowe z ich panwiami solnymi, gdzie siarczany stanowią często główny składnik osadu (7, 9, 16). Wymienione cechy odpowiadają dość dokładnie własnościom osadów, składanych w śródlądowych zbiornikach solnych tzw. jeziorach solnych (saline lakes — por. 2, playa lakes — 8, 10, salt pan — 9), występujących na obszarach typu playa.

Wobec dość powszechnego i zarazem swobodnego używania w literaturze terminu „playa” wyjaśnienia wymaga, w jakim znaczeniu jest on stosowany w niniejszej pracy. Autor używa go w sensie bliższym wersji A.C. Kendalla (7) jako określenia śródkontynentalnego zbiornika depozycji ewaporatów, zasilanego okresowo wyłącznie wodami lądowymi. Warto zaznaczyć, że w terminologii polskiej (por. 3, s. 330) błędnie zdefiniowano „playa” jako rodzaj powierzchniowych inkrustacji solnych, zbudowanych z mieszaniny soli i pelitu bądź halitu i węgla wapnia — nie zaś jako typ środowiska sedymentacji, co podkreśla monograficzne opracowanie J.T. Neala (10).

Na obszarze playa, uznawanym za synonim sebhry kontynentalnej, można wyróżnić dwie główne strefy (7): jezioro solne o zmiennym zasięgu i głębokości, w którym następuje strącanie większości ewaporatów oraz równię



Ryc. 3. Rozkład zawartości bromu w próbkach punktowych soli

N — liczba pomiarów, W — skrót nazwy otworu wiertniczego

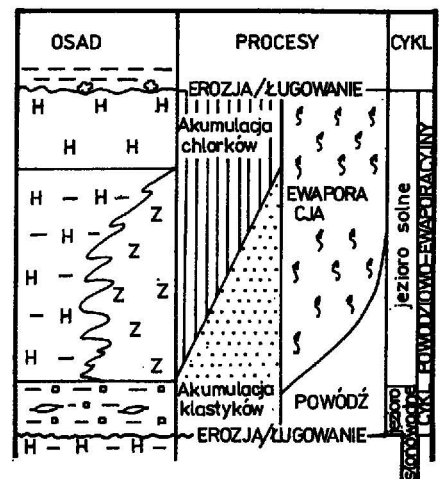
Fig. 3. Bromine distribution in salt samples

N — amount of analysis, W — first letter of bore hole name

brzegową ze skomplikowanym systemem cieków powierzchniowych, stożków aluwialnych, wydym itp. Sedymentacją na obszarze playa rządzi cykl powodziowy (4, 7, 8, 10). Na terenie szeroko rozumianej równi brzegowej jeziora solnego cykl ten formuje rozwiniętą sieć cieków stałych i okresowych, pozostawia okruczowe osady koryt, równi zalewowych i stożków aluwialnych, poddawane po opadnięciu wód często intensywnej przeróbce eolicznej. W utworach równi brzegowej ewaporaty pojawiają się rzadko, głównie w postaci pokryw na powierzchni osadu i tuż pod nią. Strącane są z solanek, podnoszonych z poziomu wód gruntowych ku powierzchni kapilarnie lub wskutek ssącego działania ewaporacji (2, 7, 12). Szanse zachowania się pokryw, szczególnie złożonych z chlorków, są niewielkie, gdyż każda kolejna fala powodziowa eroduje początkowo znaczną część wcześniej złożonych osadów, a przede wszystkim wszelkie inkrustacje.

Odmienne sytuacja przedstawia się w jeziorach solnych playa, gdzie gromadzą się wody powodziowe. Schemat powstawania cyklu powodziowo-ewaporacyjnego osadów w jeziorze o typie chlorkowym (tzn. główny produkt ewaporacji to chlorki — por. 4, 9) przedstawiono na ryc. 4.

Cykl rozpoczyna powierzchnia erozyjna, utworzona przez niszczące działanie wkraczającej na obszar częściowo osuszonego jeziora wysokoenergetycznej fali powodziowej. Na działanie mechaniczne fali nakłada się ługowanie chemiczne starszych soli przez rozcieńczone roztwory. Po kulminacji fali następuje zmniejszenie prędkości przepływu, spadek siły nośnej prądów i szybkie „zrzucanie” z zawiesiny dużych ilości przyniesionych klastyków. Powstaje warstwa bezteksturalnego iłu lub mułu, zaś efektem działalności epizodycznych prądów są drobne zmarszczki, utrwalone w postaci warstwowań soczewkowych. Jest to stadium jeziora słonowodnego. W następującym po opadach i powodzi okresie suszy obniża się stopniowo poziom wód w jeziorze wskutek ewaporacji i wzrasta koncentracja jonów. Przy niedoborze w wodach jeziora jonów  $\text{CO}_3^{2-}$  i znacznej przewodzie jonów  $\text{Cl}^-$  i  $\text{SO}_4^{2-}$  powstają tzw. neutralne solanki typu Na—K—Mg—Ca—Cl (4), z których szybko jest strącany jon siarczanowy w formie gipsu, potem zaś rozwija się sedymentacja chlorków, odpowiadająca stadium jeziora solnego.



Ryc. 4. Model cyklu sedymentacyjnego chlorkowego jeziora solnego typu playa; objaśnienia jak na ryc. 2

Fig. 4. Model of sedimentary cycle in chloride salt lake of playa; explanations as in fig. 2

Strącaniu halitu towarzyszy akumulacja pelitu, zarówno wychwytywanego z solanki przez tworzące się kryształy, jak i opadającego swobodnie z zawiesiny. Jego ilość jest głównie funkcją odległości od brzegu jeziora — im bliżej brzegu, tym więcej zawiesiny ilastej jest dostarczonej strumieniami bądź nawianej z równi brzegowej. Czasem znaczne ilości pyłu mogą się pojawić w centralnych partiach zbiornika wskutek działania silnych, długotrwałych wiatrów z lądu. Efektem tych zjawisk jest warstwa soli zailonych w częściach centralnych jeziora, zaś zubrów — w partiach brzeżnych. Utwory te, szczególnie zubry, zawierają przyniesione z brzeżnej strefy wysychającego jeziora gruzły siarczanowe oraz okruchy ilowców, będące fragmentami zwiłków błotnych. W miarę zamierania sieci okresowych strumieni maleje ilość dostarczanych klastyków, stąd też w centrum wysychającego jeziora może powstać seria względnie czystej soli kamiennej (halitytu) a niejednokrotnie również soli potasowej w przypadku osiągnięcia odpowiednich stężeń solanek. Na odsłoniętych partiach dna jeziora osady chlorków zostają przykryte cieniutką warstewką nawianego pyłu. Kolejna pora opadów rozpoczyna erozję znacznej części złożonych osadów, szczególnie w strefie brzeżnej, nowy cykl powodziowo-ewaporacyjny.

### ŚRODOWISKA SEDYMENTACJI BADANYCH CHLORKÓW CECHSZTYNU

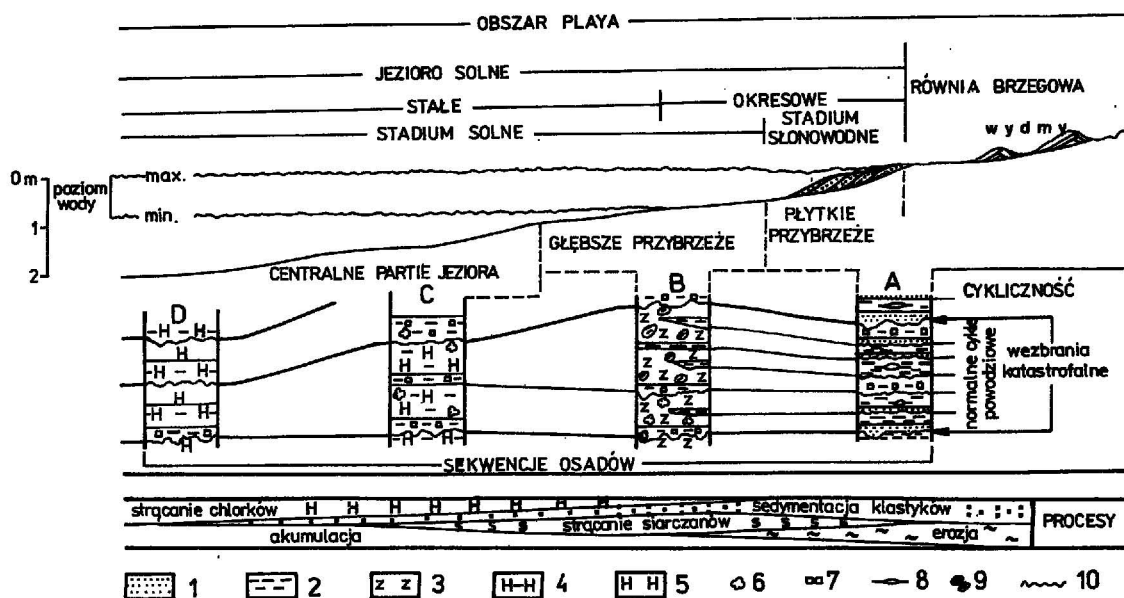
Znajomość opisanych procesów pozwala odtworzyć sekwencje osadów w różnych partiach jeziora chlorkowego playa (ryc. 5) i powiązać je z omówionymi profilami cechsztynu.

Profile skrajnych partii równi brzegowej i płytkiego, okresowo odsłanianego przybrzeża (ryc. 5, profil A) są podobne, różni je głównie udział materiału grubookruchowego i wyrazistość śladów erozji. Tworzą je rzeczne sekwencje piaszczysto-ilaste typowe dla równi aluwial-

nych (3), rejestrujące każdy cykl powodziowy. Ewaporaty występują tu sporadycznie, zwykle w postaci skupień siarczanów a szanse zachowania ich *in situ* są niskie wobec intensywnej erozji osadów podczas powodzi. Odpowiedniki tej strefy playa udokumentowano w obrębie utworów formacji rewalskiej, obramowującej bądź przykrywającej ogniwa ewaporatowe cyklu PZA (11).

Strefa głębszego przybrzeża zmniejszającego zasięg jeziora solnego zdominowana jest przez fację zubrów (ryc. 5, B). W miarę obniżania się poziomu wody strefa ta nabiera cech bardziej płytkowodnych, część wcześniej osadzonych chlorków może zostać zniszczona epizodycznymi opadami, co prowadzi do dodatkowej koncentracji iłu w powstających potomnych solankach. Solanki te bardzo szybko uzyskują stan nasycenia względem halitu wskutek wtórnego wzbogacenia w jony chlorkowe, lecz powstający z nich halit jest wydatnie zubożony w brom do zawartości 0–10 g/t. Utworzona policykliczna mieszanina iłu i halitu, określana jako zuber, zawiera okruchy zwiłków błotnych i gruzły siarczanów dostarczone z odsłanianego i erodowanego przybrzeża. W profilu osadów omawianej strefy są rejestrowane wyraźniej w postaci ciągłych przewarstwień pelitów jedynie niektóre, intensywniejsze stadia powodziowe, stąd brak pełnej korelacji z cyklami wydzielanymi w profilu płytkiego przybrzeża (ryc. 5, profile A, B). Ponadto wahania ilości, składu i stężeń solanek w złożonym osadzie prowadzą do ługowania części chlorków i powstania skupień soli wtórnej, co w znacznym stopniu zaciera pierwotne struktury i tekstury.

Najbardziej zbliżone do modelu cyklu powodziowo-ewaporacyjnego są profile osadów centralnej części jeziora solnego (ryc. 5, profile C–D). W normalnej sekwencji, od stadium słonowodnego po solne, występują pelity, sole zailone i czyste halityty, zaś w partiach osiowych, gdzie w sposób nieprzerwany następował wzrost stężeń solanek — nawet sole potasowe. Zawartości



Ryc. 5. Model sedymentacji i sekwencji osadów w jeziorze solnym na obszarze playa

1 — piaski, 2 — muły i ility, 3 — zubry, 4 — zailona sól kamienna, 5 — sól kamienna czysta (halityt), 6 — gruzły siarczanowe, 7 — automorficzne kryształy halitu, 8 — warstwowanie soczewkowe, 9 — okruchy ilowca (zwiłki błotne), 10 — powierzchnie erozyjne i ługowania

Fig. 5. Model of sedimentation and deposit sequences in playa salt lake

1 — sands, 2 — silts and clays, 3 — zubers, 4 — clayey rock salt, 5 — pure rock salt (halite), 6 — sulphate nodules, 7 — autigenic halite crystals, 8 — lense bedding, 9 — mudflakes, 10 — surface of erosion and/or dissolution



bromu w chlorkach mogą tu sięgać nawet 40 g/t (por. ryc. 2, otw.: Bydgoszcz IG1, Czaplinek IG2), gdyż zjawiska wtórnego ługowania soli bądź znacznego rozcieńczenia solanek wodami opadowymi, są rzadkie. Profile rejestrują jedynie fazy wymiany wód w całym zbiorniku, wywołane katastrofalnymi powodziąmi, stąd nikłe możliwości korelacji z cyklami brzeżnych partii jeziora (por. ryc. 5, profile A—B).

Przedstawiona analiza rozmieszczenia osadów w obrębie zbiornika typu playa umożliwia dokładne określenie środowisk powstawania badanych profili cechszynu. Osady subcyklu PZ4d w rejonie Czaplinka i Bydgoszczy (ryc. 2) utworzyły się w głębszych partiach jeziora solnego — facje centralne i głębszego przybrzeża, natomiast z okolic Piły i Wyrzyska — w brzeżnych strefach zbiornika. Zachowany odcinek utworów subcyklu PZ4e z Czaplinka reprezentuje facje płytkowodne, podobnie jak dyskusyjna wiekowo seria chlorków z otworu Czesze-wo IG 1 (ryc. 2).

### WNIOSKI

Analiza sedymentologiczna zachowanych odcinków profili z ewaporatami cyklu PZ4 umożliwiła:

— dokumentację serii chlorkowych, uznawanych za osad kontynentalny,

— określenie warunków powstawania tych utworów na podstawie opracowanych modeli cyklu powodziowo-ewaporacyjnego (ryc. 4) i rozmieszczenia facji (ryc. 5) w zbiorniku ewaporacyjnym typu playa — uformowały się one w partiach centralnych i przybrzeżnych jeziora solnego,

— przedyskutowanie problemu korelacji cykli sedymentacyjnych w różnych partiach jeziora solnego a tym samym możliwości łączenia wydziałów litologicznych w ogniwa stratygraficzne,

— przy sedymentologicznej analizie całego zbiornika subcyklu PZ4d-e wiele wydziałów ma zapewne znaczenie lokalne i winny zostać ujęte w większe sekwencje, odzwierciedlające główne etapy rozwoju basenu (tzw. event stratigraphy).

Opracowane metody analizy mogą znaleźć zastosowanie w badaniach innych, zawierających chlorki, kontynentalnych formacjach ewaporatowych Polski np. w utworach triasu.

### LITERATURA

1. Czapowski G. — *Prz. Geol.*, 1988 nr 4 s. 241—243.
2. Eugster H.P., Hardie L.A. — [W:] A. Lerman (éd.). *Lakes: Chemistry, Geology and Physics*. Springer Verlag, 1978 s. 237—239.
3. Gradziński A., KostECKA A. i in. — *Zarys sedymentologii*. Warszawa 1986.
4. Hardie L.A. — *Amer. Jour. Science*, 1984 vol. 284 nr 2 s. 193—240.
5. Holser W.T. — *Second Symp. on Salt*, 1966 vol. 1 s. 248—275.
6. Holser W.T., Wilgus Ch.K. — *N.Jb.Min. Mh.*, 1981 Bd. 6 s. 267—276.
7. Kendall A.C. — [W:] R.G. Walker (ed.). *Facies Models*. Second Edition. *Geoscience Canada Reprint Series*, 1984 nr 1 s. 259—296.
8. Last W.M. — *Sedimentology*, 1989 vol. 36 nr 1 s. 109—123.
9. Lowenstein T.K., Hardie L.A. — *Ibidem*, 1985 vol. 32 nr 5 s. 627—644.
10. Neal J.T. — *Playas and dried lakes. Occurrence and development*. *Benchmark Papers in Geology*, 1975 vol. 20 s. 411.
11. Pieńkowski G. — *Prz. Geol.*, 1989 nr 5 s. 237—247.
12. Pueyo Mur J.J. — *Rev. del Inst. de Invest. Geol.*, 1979 vol. 33 s. 5—56.
13. Wagner R. — *Prz. Geol.*, 1986 nr 5 s. 250—254.
14. Wagner R. — *Bull. Pol. Acad. Sci. Earth Sci.*, 1987 vol. 35 nr 3—4 s. 265—273.
15. Wagner R. — *Kwart. Geol.*, 1988 nr 1 s. 33—52.
16. Warren J.K. — *Sedimentology*, 1982 vol. 29 nr 5 s. 609—639.

### SUMMARY

Some core materials of Uppermost Zechstein evaporites from central Poland (subcycle PZ4d-e, Fig. 1—3), suspected as continental in origin, were analyzed, using the elaborated models of the playa salt lake sedimentation and facies relations (Fig. 4—5). The chloride deposits of PZ4d age, mainly clayey salt rocks and "zubers", had formed in deeper central and nearshore salt lake parts and chlorides of PZ4e subcycle originated in shallower, nearshore lake zone. The possibilities of correlations of sedimentary cycles within playa salt lake were discussed and it was concluded, that establishing a proper event stratigraphy scheme, universal for all sedimentary basin of Uppermost Zechstein in Poland, needs a detail sedimentary analysis and revision of all described till now stratigraphic units.

### РЕЗЮМЕ

Проанализированы буровые керны эвапоритов верхнего цехштейна с территории центральной Польши (субциклы PZ4d-e, рис. 1—3), считающихся континентальными отложениями, с использованием разработанных моделей осадконакопления и фациальных соотношений в пределах соляного озера типа плайя (рис. 4—5). Хлоридные осадки субцикла PZ4d, состоящие из каменной соли с примесью глинистого вещества и зуберов, образовались в центральных более глубоких и прибрежных частях соляного озера, а хлориды субцикла PZ4e возникли в мелководной прибрежной зоне. Обсуждаются возможности корреляции седиментационных циклов в пределах соляного озера плайя. Установлено, что разработка на основе принципов „стратиграфии событий” стратиграфической схемы для всего осадочного бассейна верхнего цехштейна в Польше нуждается в тщательном сedymentологическом анализе и ревизии ранга выделяемых до сих пор стратиграфических подразделений.