

HYDROGEOLOGICZNE KRYTERIA POSZUKIWAŃ NAFTOWYCH W PÓLNO-CNO-WSCHODNIEJ POLSCE

UKD 550.8:551.491.4:551.73/.76:553.982(438—18)

Wyniki badań wód w NE Polsce wykonanych przez Instytut Geologiczny były już parokrotnie opracowywane. Wyczerpujące opracowanie hydrochemiczne i hydrodynamiczne otworu Tcz przedstawili już w 1965 r. B. Areń i S. Depowski (1). W tym samym roku S. Depowski, J. Królička i B. Łaszcz (4) dokonali pierwszego omówienia regionalnych zmian mineralizacji i innych cech chemicznych wód w powiązaniu z objawami naftowymi. Dwa lata później H. Jarząbek-Gałązkowa i B. Wrotnowska (7) opracowały pierwszą zbiorczą mapę mineralizacji wschodniej części antyklizy mazurskiej. W 1968 r. S. Depowski i S. Tyski (5) przedstawili szczegółowo udokumentowany obraz hydrochemii i objawów naftowych w syneklizie perybałtyckiej. I wreszcie ostatnio, L. Bojarski (2) zaprezentował opracowanie dynamiki wód w syneklizie perybałtyckiej.

W przedstawionych poniżej rozważaniach wykorzystano dane zawarte w wymienionych publikacjach. Stanowią one połowę materiałów w tej pracy, pozostała część, to analizy i pomiary dotychczas niepublikowane, wykonane przez Przedsiębiorstwo Poszukiwań Naftowych w Pile. Warunki litologiczne występowania wód wynikają z prac B. Arenia i S. Depowskiego (1) o syneklizie podlaskiej, T. Horna, P. Karnkowskiego i H. Tarnowskiego (6) oraz J. Stumulaka (9) o wierceń Płońsk 1, S. Depowskiego i S. Tyskiego (5) oraz S. Tyskiego (10) o syneklizie perybałtyckiej (5).

Najniższym piętrzem wodonośnym jest zwietrzała mechanicznie przystropowa strefa prekambryjskiego cokołu krystalicznego platformy wschodnioeuropejskiej. Hydrogeologicznie nie była ona badana i w

dalszej części artykułu nie będzie omawiana. Kambrjskie piętro wodonośne tworzą piaskowce przewarstwione pakietami łupków ilastych. Miąższość serii wynosi od około 200 m w syneklizie perybałtyckiej do ponad 500 m w okolicy Warszawy. Średnia porowatość piaskowców równa się około 21%, średnia przepuszczalność około 50 mD.

Piętro wodonośne ordowicko-sylurskie o miąższości około 40 m występuje w silnie porowatych wapieniach na pograniczu ordowiku i syluru. Hydrogeologicznie nie jest jeszcze zbadane w stopniu wystarczającym do przedstawienia nawet wstępnej syntezy. Wody prekambru, kambru i ordowiku rozdzielone między sobą najwyższymi pakietami ilastymi i mułowcami oddzielone są od wyższego piętra (również nierozpoznanego hydrogeologicznie wapienia podstawowego cechsztynu, miąższości kilkudziesięciu metrów) grubą parusetmetrową serią ilastego syluru. Wspomnieć trzeba, że ta ekranująca seria syluru leży tylko nisko w syneklizie perybałtyckiej, syneklizie podlaskiej i w synklinorium warszawskim, natomiast na skłonach antyklizy mazurskiej wapień podstawowy spoczywa bezpośrednio na kambrze.

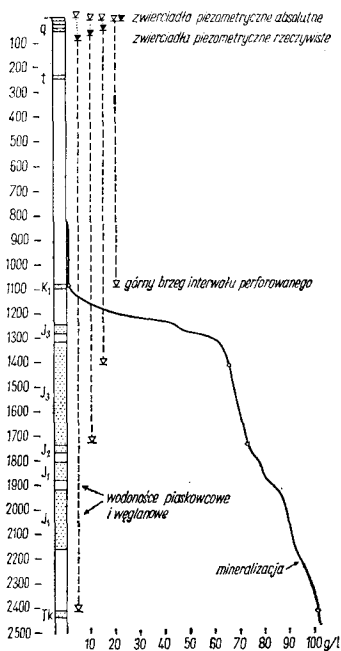
Występujący wyżej, otulony ewaporatami cechsztyńskimi dolomit główny o miąższości parudziesięciu metrów, charakteryzuje się porowatością poniżej 1% i przepuszczalnością mniejszą od 1 mD. Mimo tych niezachęcających parametrów wody dolomitu głównego były często badane, przeważnie ze względu na dostrzeżoną w rdzeniach podwyższoną zawartość bituminów.

Następne piętro wodonośne tworzy pakiet bądź pakiety piaskowców w środkowym pstrym piaskowcu,



Ryc. 2. Mapa hydrostatyczna. Izoliniami przedstawiono zwierciadło wód w utworach czwartorzędowych, m n.p.m. Liczby przy wierceniach oznaczają wyliczony poziom piezometryczny absolutny m n.p.m.

Fig. 2. Hydrostatic map. Contour lines show water table in the Quaternary formations in metres above sea level. Numbers at bore holes mean the calculated absolute piezometric level in metres above sea level.



Ryc. 1. Kształtowanie się zwierciadeł piezometrycznych, rzeczywistych i absolutnych na przykładzie wiercenia Pk 4.

Fig. 1. Formation of piezometric water tables, both real and absolute, exemplified by bore hole Pk 4.

o miąższości nie przekraczającej 30 m, podścielone i przykryte mięszką serią ilasto-mułowcową. Średnia porowatość tego wodonosia wynosi 15%, a przepuszczalność około 110 mD. Wyżej (na pograniczu kajpru dolnego i górnego) występuje poznany głównie w synklinorium warszawskim wodonosny pakiet piaskowców o miąższości 30–50 m, o średniej porowatości 17% i przepuszczalności około 220 mD. Wody kajpru poznane zostały zaledwie w paru wierceniach.

Następny ważniejszy wodonosiec tworzą liczne grube pakiety piaskowce o łącznej miąższości ponad 150 m, występujące w piaskowcowo-mułowcowej serii liasu. Średnia porowatość piaskowców liasu wynosi około 21%, zaś przepuszczalność około 420 mD. Piaskowce i wapień piaszczyste o miąższości 20–40 m występujące w kielowej i batonie są wodonosiem o gorszych parametrach hydrogeologicznych. Porowatość wynosi średnio zaledwie 10%, przepuszczalność 80 mD.

Bezpośrednio nad piaskowcami środkowojurajskimi leży potężna, miejscami sięgająca 500 m seria wapieni oksfordu o porowatości około 18% i przepuszczalności 45 mD. Najwyższym zaś przed kenozoicznym wodonosiem są piaski albu górnego, miejscami cenomanu o miąższości dochodzącej do 100 m. Średnia ich porowatość wynosi 22%, zaś przepuszczalność 2300 mD. Od kolejnego wodonosia, oligoceńskiego, kredowe pietro wodonosne oddzielone jest mięszką (na niemal 1000 m) piaszczem miękkich, marglistych wapieni, gaz i opok. Przy powierzchni wody występują w cienkich (od kilku do kilkunastu metrów), nieciągłych poziomach piaszczystych wieku czwartorzędowego.

Wszystkie omówione powyżej wodonośce zawierają wody naporowe o zwierciadle stabilizującym się niezmiennie w pobliżu powierzchni ziemi. Wszystkie zatem (od kambru po czwartorzęd) tworzą jeden układ hydrauliczny. Teoretycznie więc wyrównanie ciśnień może się odbywać w miejscach połączeń wodonośców. Ale połączenia wodonośców występują rzadko, przeważnie na anteklizie mazurskiej, zaś wyrównanie ciśnień jest zjawiskiem powszechnym. Z tej przyczyny wykluczyć należy szczeliny uskoku jako możliwe drogi pionowej wędrowki wód. Uskoki na rozpatrywanym obszarze są zresztą rzadkie, niekiedy zaś, jak w mezozoiku syneklizy perybałtyckiej w ogóle nie spotykane.

Z dalszych rozważań nad chemizmem okaże się, iż anomalie chemiczne rozmieszczone są piętrowo, nawet tam, gdzie rozdzielające je serie mułowcowe lub ilaste nie są rozcięte uskokiem. Takie rozmieszczenie anomalii może spowodować tylko wędrowka jonów przez skały, określane potocznie jako wodonięprzepuszczalne. Jeżeli zaś przez te utwory odbywa się wędrowka jonów, to jest zupełnie prawdopodobne, że w warunkach dużej różnicy ciśnień może odbywać się także wędrowka wody związanej. I w ten sposób cały układ wodonośny od kambru aż po czwartorzęd można rozpatrywać jako hydrauliczną całość, w której wyrównanie ciśnień dokonuje się nawet przez skały ilaste.

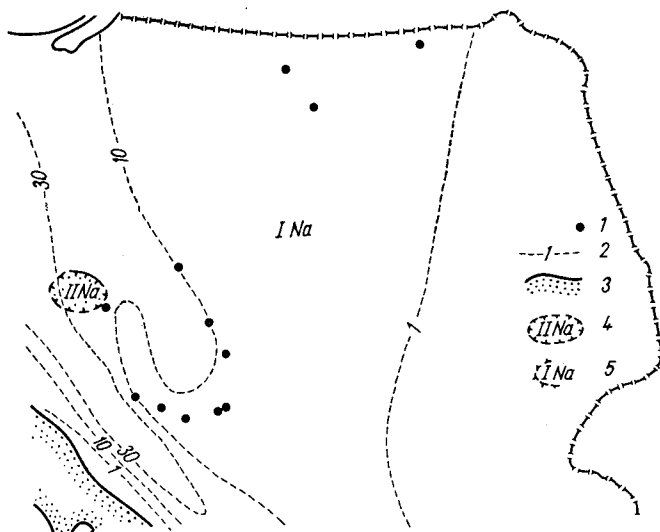
Na przykładzie wiercenia Płk-4 (ryc. 1) widać wszakże, że zwierciadło piezometryczne, które dalej będzie zwane piezometrycznym rzeczywistym, leży tym niżej, im niżej znajduje się badany interwał. Wraz z głębokością rośnie bowiem mineralizacja, a z mineralizacją ciężar właściwy wody. Słup ciężkiej wody w rurach równoważony jest przez lżejszą wodę poza rurami. Tylko słodkie wody, np. kredowe stabilizują się w poziomie zwierciadła słupa wody znajdującej się poza rurami. Dla tego poziomu proponuje się nazwę absolutnego poziomu piezometrycznego. Wyliczenia absolutnego poziomu piezometrycznego przeprowadzono na podstawie wzoru:

$$N = \frac{n \cdot g}{1 + 0,0007M}$$

gdzie: N — wysokość absolutnego poziomu piezometrycznego liczona od górnego brzegu badanego interwału, n — wysokość rzeczywistego poziomu piezometrycznego liczona jak wyżej, g — laboratoryjnie wyznaczone ciężar właściwy wody w rurach, M — średnia ważona mineralizacja wody w g/l mierzona od rzeczywistego poziomu piezometrycznego do górnego brzegu interwału perforowanego.

Według podanego wzoru wyliczono zwierciadła absolutne dla otworów, w których przy okazji opróbowania stabilizowano zwierciadło. Teoretycznie dla każdego otworu wyliczone zwierciadła powinny leżeć na jednakowej wysokości. W praktyce dostrzega się jednak pewne różnice wynikające zarówno z niedokładności stabilizowania, jak i trudności dokładnego wyliczenia średniej ważonej mineralizacji wody. Duże znaczenie ma też poprawność laboratoryjnego wyznaczenia mineralizacji wody w rurach oraz czas stabilizowania. W miarę upływu czasu następuje bowiem w słupie wody wypełniającej rury proces zmniejszania się mineralizacji w kierunku zwierciadła ustabilizowanego. Z tego powodu wartość „ g ” ze wzoru przestaje być charakterystyczna dla całego słupa wody.

Wyliczone absolutne zwierciadło piezometryczne uśredniono, odrzucając w razie istnienia kilku różnych pomiarów w tym samym otworze pomiary wyraźnie odbiegające od pozostałych. Uśrednione wyniki naniesiono na ryc. 2, na której niezależnie przedstawiono z pomocą izohips ukształtowanie najwyższego zwierciadła wód czwartorzędowych. Uzależnienie wyliczonych absolutnych zwierciadeł piezometrycznych od ukształtowania zwierciadła wód czwartorzędowych jest niemal jednoznaczne. Oznacza to, że wody

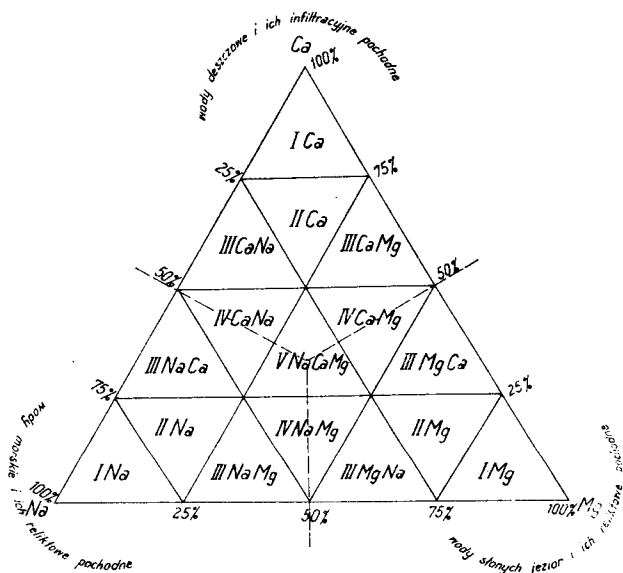


Ryc. 3. Wody kredy dolnej.

1 — wiercenia wykorzystane do konstrukcji mapy, 2 — izolinie mineralizacji w g/l, 3 — zasięg wodonośca, 4 — wody typu II Na, III Na Ca lub III Na Mg wg L. Cimaszewskiego, perspektywiczne pod względem ropy (wykropkowane anomalie udokumentowane, niewykropkowane — anomalie domniemane), 5 — wody typu I Na wg L. Cimaszewskiego, nie perspektywiczne.

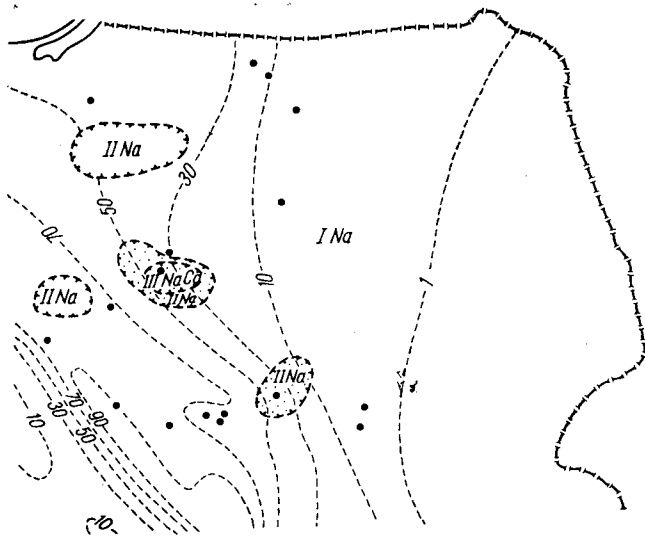
Fig. 3. Water of the Lower Cretaceous formations.

1 — drillings used for construction of map, 2 — contour lines of mineralization in g/l, 3 — extent of aquifers, 4 — waters of II Na, III Na Ca, or III Na Mg types according to L. Cimaszewski, which are promising in search for oil (dotted are documented anomalies, non-dotted — supposed anomalies), 5 — water of I Na type (according to L. Cimaszewski), which are not promising in search, for oil.



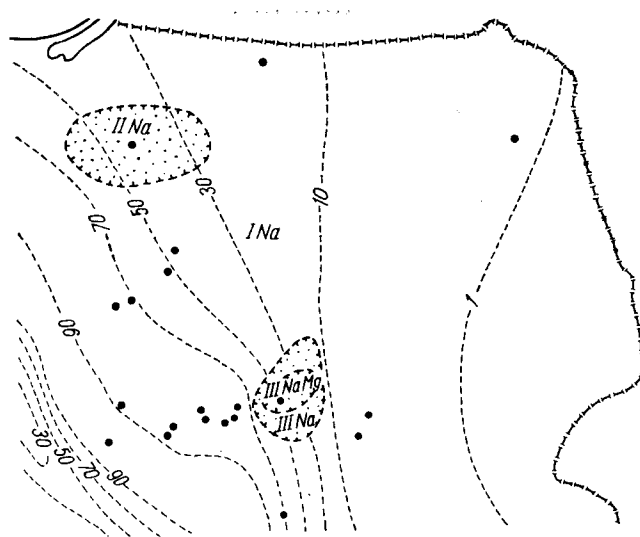
Ryc. 4. Klasyfikacja kationowa wód wg L. Cimaszewskiego uzupełniona genetyczną interpretacją autorów.

Fig. 4. Classification of waters according to L. Cimaszewski along with a proposal of the authors to use it in determination of genesis.



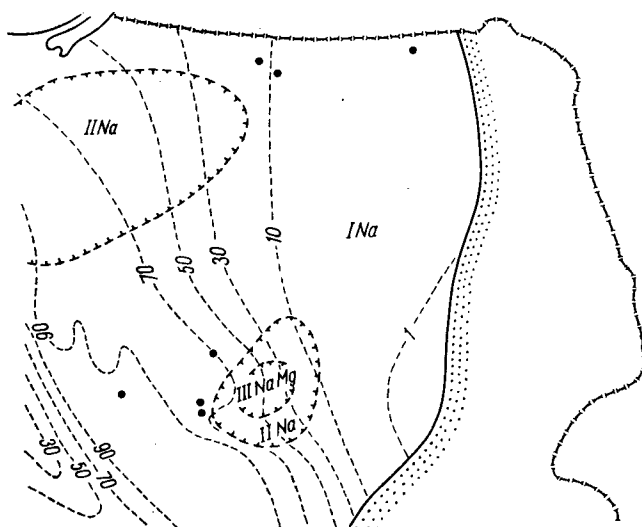
Ryc. 5. Wody jury górnej. Objaśnienia jak na ryc. 3.

Fig. 5. Water of the Upper Jurassic formations. Explanations as in Fig. 3.



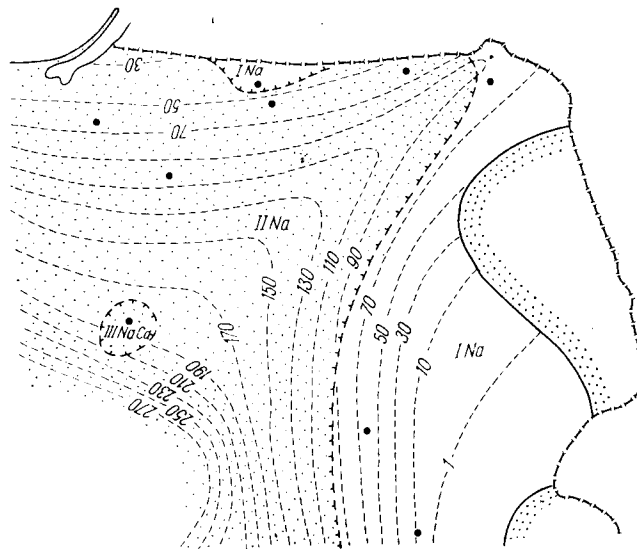
Ryc. 6. Wody jury środkowej. Obj. jak na ryc. 3.

Fig. 6. Water of the Middle Jurassic formations. Explanations as in Fig. 3.



Ryc. 7. Wody jury dolnej. Obj. jak na ryc. 3.

Fig. 7. Water of the Lower Jurassic formations. Explanations as in Fig. 3.



Ryc. 8. Wody dolnego triasu. Obj. jak na ryc. 3.

Fig. 8. Water of the Lower Triassic formations. Explanations as in Fig. 3.

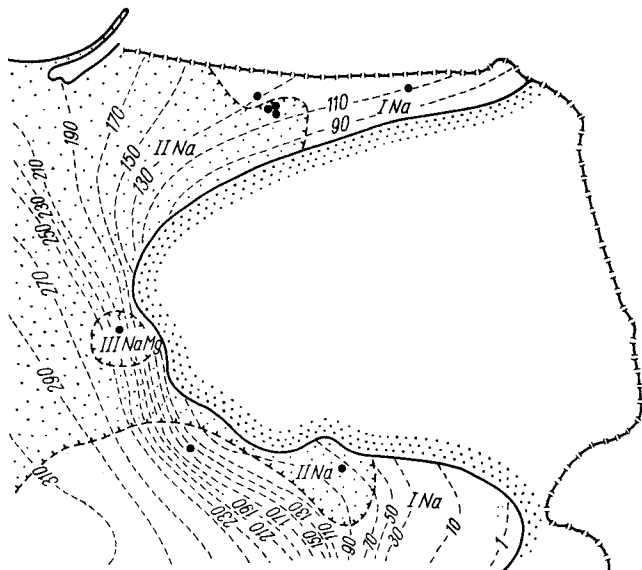
czwartorzędowe i trzeciorzędowe należą również do układu hydraulicznego, jednoczącego wszystkie przedkenozoiczne piętra po kambr włącznie. Dlaczego zresztą piętra wodonośne kenozoiczne miałyby być wyjątkami? Wynika z tego następny wniosek, iż wody pięter starszych, leżących poniżej poziomu morza, znajdują się w całkowitym bezruchu.

Nierówne ukształtowanie zwierciadła (ryc. 2) przyczynia się tylko do zaistnienia ruchu wód występujących nad lub niewiele pod średnim zwierciadłem rzek drenujących obszar. Ponieważ wody znajdują się w bezruchu (cienka, przypowierzchniowa warstewka wód ruchliwych omijamy) niemożliwa jest jakakolwiek infiltracja z powierzchni, gdyż wody powierzchniowe lżejsze są od głębszych. Powracając jeszcze do wyliczeń absolutnego zwierciadła piezometrycznego (ryc. 2) wspomnieć można, że wysokie położenie

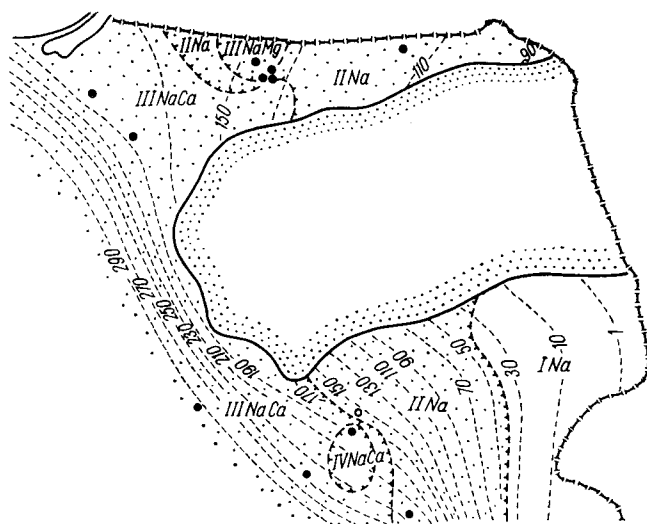
zwierciadeł absolutnych w wierceniach Pak, Bce, Ktn-1, Tcz, Łhw, wyższe od zwierciadła wód czwartorzędowych w bezpośrednim otoczeniu, tłumaczy się ciśnieniem lateralnym, przewodzoną z tym dalszej odległości, im głębiej znajduje się opróbowany interwał.

Udowodnione w ten sposób zjawisko bezruchu wód oraz zjawisko pionowej wędrowki przez ilaste i margliste utwory, tzw. „wodnieprzepuszczalne” warunkują upodobnienie się obrazów hydrochemicznych kolejnych spoczywających nad sobą wodonośców.

Wodonośiec kredowy (ryc. 3) zawiera bardzo słabo zmineralizowane wody o suchej pozostałości poniżej 30 g/l na całym obszarze platformowym. Jest to mniej niż wynosiło pierwotne zasolenie morza kredowego, które przez analogię z zasoleniem mórz dzisiejszych można ocenić na 30—35 g/l. Hipotezę wy-



Ryc. 9. Wody dolomitu głównego. Obj. jak na ryc. 3.
Fig. 9. Water of the Main Dolomite. Explanations as in Fig. 3.



Ryc. 10. Wody kambru. Obj. jak na ryc. 3.
Fig. 10. Water of the Cambrian formations. Explanations as in Fig. 3.

słodzenia przez infiltrację wód powierzchniowych należy zdecydowanie odrzucić zarówno z powodu przedstawionych wyżej trudności hydrodynamicznych, jak i hydrochemicznych.

Przeprowadzenie ostatniej tezy wymaga przedstawienia kationowej klasyfikacji wód L. Cimaszewskiego dokonanej na podstawie procentowego udziału w sumie wszystkich kationów, milivali sodu, wapnia i magnezu (ryc. 4). Klasyfikację L. Cimaszewskiego można wykorzystać dla określenia genezy wód. Okazuje się, że wody o przewadze sodu nad innymi kationami (ryc. 4) gromadzące się przy wierzchołku Na są albo morskimi o normalnej i obniżonej słońkości (poniżej 30–35 g/l), albo pochodzącymi od nich podziemnymi, nieraz silnie zmetamorfizowanymi wodami reliktowymi. Tu również mieszczą się bardzo słabo zmineralizowane wody podziemne, o mineralizacji 30–0,5 g/l powstałe przez wysłodzenie dyfuzyjne wód reliktowych.

Przy „wapniowym” wierzchołku trójkąta gromadzą się znów bardzo słabo zmineralizowane (ok. 0,05 g/l) wody atmosferyczne i pochodzące od nich, także słabo zmineralizowane (0,1–2 g/l) wody, potocznie zwane „słodkimi”, mieszczące się głównie w czwartorzędowym piętrze wodonośnym. I wreszcie, przy „magnezowym” wierzchołku trójkąta spotyka się wody mórz o wysokiej słońkości (ok. 300 g/l), powstające przez odparowywanie powierzchniowe zbiornika, do którego dopływają wciąż świeże wody morskie normalnej słońkości, przykładem współczesnym takiego zbiornika jest Zatoka Kara-Bogaz Morza Kaspijskiego. Przykładem z epok minionych jest morze cechsztyńskie na ziemiach polskich. Stąd w dolomicie głównym mieszczą się w znacznej jego części do dziś (poza przedstawionymi tu mapkami) reliktowe, zmetamorfizowane wody tego morza, należące do klas II-Mg, III-Mg—Na, III-Mg—Ca, IV—Na—Mg i V—Na—Ca—Mg.

Trzeba jeszcze zwrócić uwagę, iż schemat przedstawiony na ryc. 4 jest jednocześnie schematem zmetamorfizowania wód. Jeżeli procentową zawartość milivali jonu Na w stosunku do sumy trzech głównych kationów oznacza się symbolem $rNa\%$, to $rNa\%$ obecnych wód morskich wynosi 75% $rNa\%$ wód morskich i oceanicznych z czasów trzeciorzędowych, kredowych i malmskich również 75%; z czasów doggeru, liasu i górnego triasu 74%; permu dolnego i karboonu 73%; dewonu 72% i kambru 70%.

Ponieważ proces metamorfizmu wód w sferze kationów polega na wzroście udziału jonów Ca, czym niższy jest miernik $rNa\%$ (tylko w wodach reliktowych mórz o normalnej słońkości — wyklucza się wody infiltracyjne) tym bardziej zmetamorfizowana woda.

Wody klasy I—Na nie są wobec tego zmetamorfizowane ($rNa\%$ większe od 75%). Zmetamorfizowane są wody klas III—Na—Ca, II—Na i III—Na—Mg ($rNa\%$ między 75 a 50%) i bardzo zmetamorfizowane reliktowe wody klas IV—Ca—Na, V—Na—Ca i IV—Na—Mg ($rNa\%$ mniejsze od 50%). Wśród wód z utworów kredowych przedstawionych na ryc. 3 występują wyłącznie niemal wody klasy I—Na o mineralizacji, z wyjątkiem synklinorium brzeżnego mniejszej od 30 g/l. Są to więc niemal wyłącznie niezmetamorfizowane, silnie dyfuzyjnie wysłodzone wody reliktowe. Brak wśród nich wód infiltracyjnych. Perspektywy zachowania się węglowodorów w ilościach przemysłowych w partiach wód wysłodzonych dyfuzyjnie są małe, ponieważ węglowodory (choć wolniej niż składniki rozpuszczone) również dyfundują ku górze. Natomiast w wodach o mineralizacji powyżej 30 g/l w zachodniej części ryciny, gdzie wysłodzenie dyfuzyjne jest minimalne, istnieją szanse zachowania się złóż węglowodorów o wartości przemysłowej.

Wody utworów malmskich (ryc. 5) zawierają liczne ośrodki metamorfizmu. Ośrodki te są szczególnie perspektywiczne. Za perspektywiczne naftowo należy zresztą uznać cały obszar po zachodniej stronie izol linii 30 g/l rozdzielającej w przybliżeniu obszary silnie dotknięte procesem dyfuzji molekularnej od niewysłodzonych dyfuzyjnie. W malmie podobnie jak w kredzie i piętrach niższych wód infiltrujących z powierzchni (obecnie lub w przeszłości) nie napotkano. Dla porządku trzeba powiedzieć, że widoczne na mapie w jej NW części klasy wód II—Na nieudokumentowane wierceniami, wysłowano ze względu na stwierdzone istnienie takich wód bezpośrednio wyżej lub niżej malmu. Tak samo postępowano przy opracowaniu map pozostałych pięter.

Wody utworów jury środkowej (ryc. 6) i dolnej zachowują te same ośrodki metamorfizmu, wyspowo tkwiące wśród wód niezmetamorfizowanych. Jedynie coraz dalej na E przesuwa się izol linia mineralizacji 30 g/l, którą, jako mineralizację wód oceanicznych, oddzielającą wody wysłodzone dyfuzyjnie od niewysłodzonych uznano za umowną wschodnią granicę obszaru perspektywicznego naftowo.

W wodonoścach triasu dolnego (ryc. 8), dolomitu głównego (ryc. 9) i kambriu (ryc. 10) występują prze-ważnie zmetamorfizowane wody klas II-Na, III-Na-Ca, III-Na-Mg, a nawet (w kambrze) IV-Ca-Na. Strefa niezmetamorfizowanych wód klasy I-Na odsunęła się daleko na E, w stronę płytszego położenia pięter wodonośnych. Daleko na E przesunęła się także umowna granica obszaru perspektywicznego, za jaką uznano izolinię mineralizacji 30 g/l.

Tyle o perspektywach roponośności z punktu wi-dzenia genezy, zmineralizowania i zmetamorfizowa-nia wód. Z rozważań wynikało, iż perspektywiczne są wszystkie warstwy zbiornikowe po kredę włącznie, chociaż w miarę wznoszenia się w profilu stratygra-ficznym obszaru perspektywiczne kurczą się na wschodzie.

L I T E R A T U R A

1. Areń B., Depowski S. — Przejawy gazu w eokambrze obniżenia podlaskiego. Kwart. geol. 1965, nr 1.
2. Bojarski L. — Warunki hydrogeologiczne w syneklizie perybałtyckiej. Prz. geol. 1969, nr 4.
3. Cimaszewski L. — Anomalie hydrochemicz-ne złóż naftowych. Geofiz. Geol. naft. 1967, nr 7—9.

S U M M A R Y

Water of both Mesozoic and Palaeozoic aquifers is in a stagnating state. According to mineralization and specific weight, water level is stabilized at a depth of several to 100 metres below the uppermost water table in the Quaternary formations. In any case it is balanced by a water column calculated from the uppermost table in the Quaternary up to the upper edge of the perforated or uncovered interval. Chemical composition of water excludes any infiltration of surface water both at present and in the past. The Cretaceous and Jurassic formations disclose relict, mainly non-metamorphosed water, whereas waters in the Triassic and Palaeozoic formations are metamorphosed. The upper aquifers display diffuse freshwater. From Cambrian to Cretaceous all aquifers are thought to be oil-bearing, provided that the promising areas with the aquifers decrease westward as they rise in the stratigraphical section.

4. Depowski S., Króliczka J., Łaszcz B. — Występowanie węglowodorów na Niżu Polskim w świetle wyników badań hydrochemicznych. Kwart. geol. 1965, nr 1.
5. Depowski S., Tyski S. — Budowa geologiczna syneklizy perybałtyckiej i warunki występowania bituminów. Prz. geol. 1968, nr 7.
6. Horn T., Karnkowski P., Tarnowski H. — Budowa geologiczna i perspektywy roponośności synklinorium warszawskiego. Geofiz. i Geol. naft. 1964, nr 10—12.
7. Jarząbek-Gałązka H., Wrotnowska B. — Strefowość hydrochemiczna wschodniej części Niżu Polskiego. Prz. geol. 1967, nr 12.
8. Pazdro Z. — Wody podziemne regionu gdańskiego. Prz. geol. 1958, nr 6.
9. Stemplak J. — Komunikat o wierceniu Płońsk 1. Kwart. geol. 1957, nr 2.
10. Tyski S. — Nowe dane z wierceń Bartoszyce i Gołdap. Prz. geol. 1962, nr 4—5.

Р Е З Ю М Е

Воды мезозойских и палеозойских водоносных горизонтов залегают в состоянии покоя. В зависимости от степени их минерализованности, влияющей на удельный вес, их зеркало устанавливается на глубине от нескольких метров до 100 м ниже самого высокого уровня вод в четвертичных отложениях. Однако во всех случаях оно уравнивается столбом воды, от самого верхнего четвертичного зеркала до верхней границы перфорированного или вскрытого интервала. Их химизм исключает возможность инфильтрации вод с земной поверхности так в настоящее время, как и в прошлом. В меловых и юрских породах распространены реликтовые, как правило неметаморфизованные воды, в триасовых и палеозойских породах — обычно метаморфизованные. Верхние водоносные горизонты содержат воды, определенные диффузией. Перспективными на нефть являются все водоносные ярусы с кембрия по мел, однако перспективные районы в отдельных горизонтах сокращаются с востока, по мере повышения в стратиграфическом разрезе.