

MOŻLIWOŚĆ GEOFIZYCZNEGO PROGNOZOWANIA STREF MINERALIZACJI URANOWEJ W UTWORACH TRIASU NA OBSZARZE SYNEKLIZY PERYBAŁTYCKIEJ

UKD 550.832:553.495:551.761(438.16)

W miarę wyczerpywania się płytko zalegających złóż uranu wzrastać będzie zainteresowanie poszukiwaniem złóż występujących na większych głębokościach. W przypadku zakrytych złóż uranu, nie posiadających przypowierzchniowych aureoli geochemicznych związanych z produktami rozpadu izotopu U-238, praktycznie jedynym dotychczas stosowanym sposobem poszukiwania i rozpoznawania takich złóż były prace wiertnicze (1, 6).

Pierwsze sygnały o możliwości występowania mineralizacji uranowej w utworach triasu na obszarze syneklizy

perybałtyckiej pochodziły z otworu parametryczno-strukturalnego Pasłek IG-1 (13). Znaczna głębokość występowania stref zmineralizowanych, przekraczająca 1000 m, spowodowała, że praktyczne zainteresowanie uranonością utworów triasu pojawiło się, w obliczu kryzysu energetycznego, w połowie lat 70-tych (2). Wtedy to Instytut Geologiczny podjął systematyczne, regionalne, a także w pewnym zakresie również szczegółowe badania tego zagadnienia wykonując kilkadziesiąt otworów wiertniczych. Mimo początkowo bardzo zachęcających, aczkolwiek

przypadkowych wyników, w postaci nawiercenia kilku ciał rudnych, prowadzone prace geologiczno-poszukiwawcze nie doprowadziły do rozwiązania postawionych celów badawczych. W wyniku wykonanych prac wiertniczych stwierdzono występowanie trzech poziomów uranonośnych (ryc. 1), z których dwa pierwsze – najbardziej interesujące, okazały się być związane z mineralizacją typu piaskowcowego, natomiast trzeci najgłębszy – mający podrzędny charakter, z mineralizacją typu łupkowego (2, 3). Występowanie stwierdzonej mineralizacji piaskowcowej, jak się przypuszcza ma charakter epigenetyczny, natomiast mineralizacji łupkowej – syngenetyczny. W pierwszym przypadku występuje ona w utworach środowiska rzecznoego, natomiast w drugim – w środowisku morskim. Największe koncentracje uranu stwierdzono w II poziomie uranonośnym, który uważany jest, na podstawie wykonanych badań, za potencjalnie najważniejszy ze złożowego punktu widzenia. III poziom uranonośny, tak ze względu na typ mineralizacji uranowej, jak i znaczną głębokość występowania pozostaje poza zainteresowaniami poszukiwawczymi. Mineralizacja uranowa w I oraz II poziomie uranonośnym, związana jest z nasturanem oraz coffinitem (3), w III – nie jest dotychczas rozpoznana. Na ryc. 1 przedstawiono występowanie omawianych poziomów na tle profilu litostratygraficznego, typowego dla badanego obszaru, natomiast na ryc. 2 fragment przekroju litofacjalnego w strefie uranonośnej.

We wszystkich otworach wiertniczych wykonywano badania metodami geofizyki wiertniczej. Celem tych badań, obok rozpoznania profilu litostratygraficznego oraz wydzielenia warstw uranonośnych, było określenie perspektyw zastosowań metod geofizycznych, nie tylko otworowych, przy lokalizacji ciał rudnych (21).

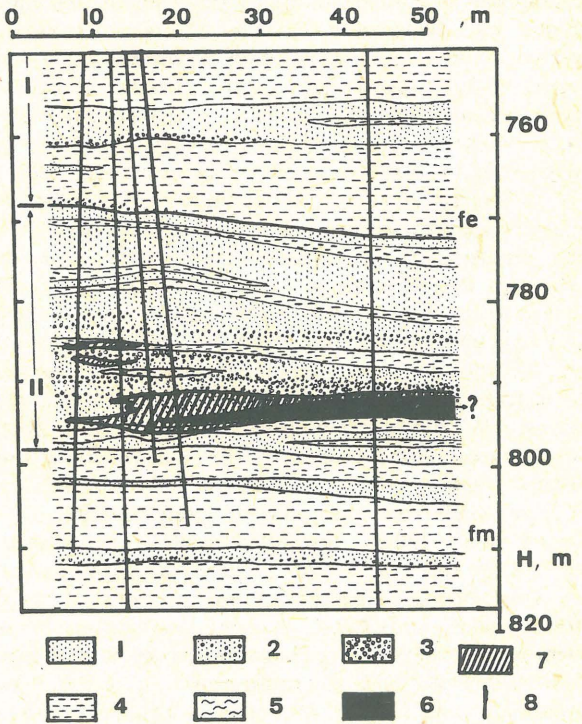
Wykonane prace geologiczno-poszukiwawcze, tak o charakterze regionalnym, jak i lokalnie pójsczegółowym,

potwierdziły występowanie na obszarze środkowej części syneklizy perybaltyckiej mineralizacji uranowej o znaczeniu złożowym. Rozległość obszaru, na którym stwierdzono występowanie mineralizacji uranowej (strefa o długości nie mniejszej niż 50 km), a także charakter tej mineralizacji, pozwala uznać utwory triasu w tym rejonie, jako podstawowy obiekt dla udokumentowania potencjalnie największych złóż uranu w Polsce. Różnorodność wykonanych badań petrograficznych, mineralogicznych, sedymentologicznych, chemicznych, a także geostatystycznych nie ujawniła dotychczas jednak żadnych szczególnych cech badanych utworów zawierających mineralizację uranową, które dałyby się praktycznie spożytkować dla właściwego i przy tym świadomego ukierunkowania dalszych prac poszukiwawczych. Ze względu na znaczną głębokość występowania stref zmineralizowanych (700–1200 m), oparcie dalszego rozpoznania, tak regionalnego, jak i szczegółowego wyłącznie na rozpoznaniu wiertniczym, jest nierealne z technicznego, a przede wszystkim ekonomicznego punktu widzenia.

Dla zapoznania Czytelnika z problematyką geologii piaskowcowych złóż uranu, w tym także ze stosowanymi dotychczas na świecie metodami ich poszukiwania i rozpoznawania, poniżej przedstawiono zasadnicze informacje dotyczące tej problematyki.

PIASKOWCOWE ZŁOŻA URANU

Zjawiska prowadzące do powstawania tzw. piaskowcowych złóż uranu, są przynajmniej od dwóch dziesięcio-

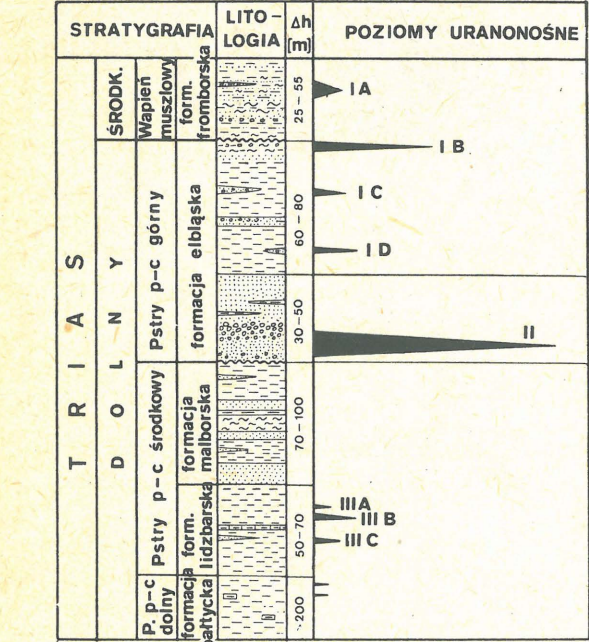


Ryc. 2. Fragment przekroju litofacjalnego w strefie uranonośnej. Symbole użyte na rycinie 2 oraz 5–8

1 – piaskowiec, 2 – piaskowiec zlepniowy, 3 – zlepniowiec, 4 – ilowiec, 5 – mułowiec, 6 – uranowe ciało rudne, 7 – aureola eU(≥50 ppm), 8 – otwory wiertnicze

Fig. 2. Part of the lithofacial section in the uranium – bearing zone. Symbols used in Figs. 2 and 5 to 8

1 – sandstone, 2 – conglomeratic sandstone, 3 – conglomerate, 4 – claystone, 5 – mudstone, 6 – uranium ore-body, 7 – aureole eU(≥50 ppm), 8 – boreholes



Ryc. 1. Występowanie poziomów uranonośnych na tle profilu litostratygraficznego badanego obszaru syneklizy perybaltyckiej. Objaśnienia dla przyjętych znaków graficznych podano przy opisie rycinie 2

Fig. 1. Occurrence of uranium-bearing beds on the background of lithostratigraphical profile of the investigated area of the Peribaltic syneclise.

Explanations of graphical marks as given in Fig. 2

leci dobrze poznane i szczegółowo opisane (6, 9, 24). Szczególnie bogate doświadczenia w tym zakresie posiadają geolodzy i geofizycy amerykańscy. W Stanach Zjednoczonych ponad 95% całkowitych zasobów uranu jest bowiem związanych z piaskowcowymi złożami tego pierwiastka. Roczna całkowita produkcja uranu z tych złóż sięgała w roku 1980 blisko 22 tys. ton U_3O_8 , z których ponad 6% eksploatowano metodą podziemnego ługowania (15).

Złoża tego typu tworzą się zazwyczaj na niewielkich głębokościach, w wyniku wytrącania się U^{+4} z utlenionych roztworów wodnych zawierających U^{+6} . Proces ten zachodzi w przypadku napotkania przez migrujące roztwory barier geochemicznych występujących w warstwach wodonośnych. Akumulacja uranu, jak i innych pierwiastków będących z nim w asocjacji np. Mo, Se, V czy As, następuje zazwyczaj na granicy oddzielającej utwory facji utlenionej od utworów facji redukcyjnej (24). W bardzo znamieny sposób traktowane jest coraz powszechniej zagadnienie obszarów źródłowych dla uranu. Problem ten, nawet dla złóż posiadających doskonałe rozpoznanie geologiczne, był i jest często przedmiotem zażartych dyskusji. Znaczący rozgłos uzyskała trwająca już od wielu lat dyskusja na temat genezy złóż piaskowcowych w Wyoming (USA), która jednak nie doprowadziła dotychczas do jednoznacznego rozstrzygnięcia (20).

Większość geologów jest obecnie zwolennikiem teorii, że złoża omawianego typu mogą posiadać w dużej części przypadków kilka obszarów źródłowych zasilających obszar akumulacji w różnych okresach czasu (7, 9). Ich obecna postać jest wynikiem powtarzających się procesów: utleniania – migracji – akumulacji. Wyrażana jest również opinia (24), że decydujący wpływ na powstanie złóż tego typu ma nie tyle ilość uranu w przemieszczających się roztworach wodnych, co istnienie warunków do jego wytrącenia, a następnie zachowania powstałych złóż (6).

Większość złóż cechuje się przy tym bardzo dużą zmiennością przestrzenną, w sposób istotny utrudniającą ich poszukiwanie i dokumentowanie. Na ryc. 3 przedstawiono za R.L. Sandefurem i D. C. Grantem (16) rozkład całkowitych zasobów liniowych* uranu wraz z dwoma przekrojami dla złoża typu roll w basenie Shirley w Wyoming (USA). Informacje o rozkładzie uranu zostały uzyskane tu w trakcie trwającego ponad 15 lat rozpoznania wiertniczego. W okresie tym wykonano w rejonie złoża 2142 (!) otwory wiertnicze, z których aż 1630 znalazło się w strefie złożowej. Otwory wiercone były średnio w siatce $25\text{ m} \times 25\text{ m}$. Głębokość występowania strefy złożowej wahała się od 90 do 150 m, zasoby całkowite ocenione zostały na 10,5 tys. ton, a wydobywalne na ponad 8 tys. ton U_3O_8 .

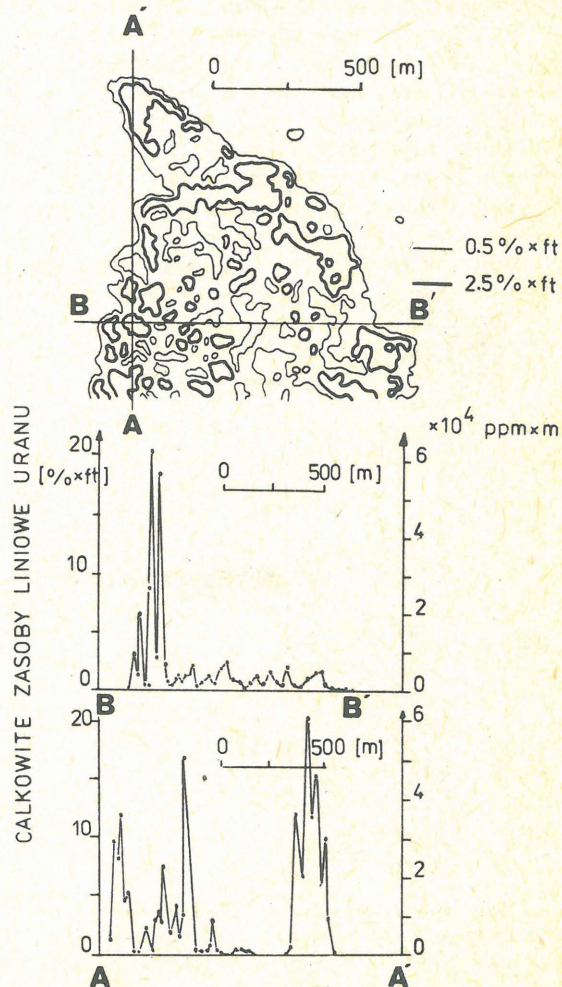
Rozpoznanie wiertnicze stanowi, i chyba zawsze stanowić będzie, podstawowy sposób poszukiwania i dokumentowania zakrytych, głęboko zalegających złóż uranu. Powierzchniowe badania geofizyczne czy geochemiczne oparte na obserwacjach obecności izotopów – produktów rozpadu izotopu U-238, w warstwie przypowierzchniowej, mogą stanowić ważne uzupełnienie metod poszukiwawczych jedynie w przypadku, gdy mineralizacja uranowa występuje na głębokościach nie przewyższających maksymalnie 200 m (14). Dotychczasowe, nieliczne zresztą, próby zastosowania również innych metod geofizycznych, w tym między innymi zdjęcia helowego ($U-238 \rightarrow \dots + Pb-206 + 8\text{ He}-4$), podejmowane przede

wszystkim w Stanach Zjednoczonych (4, 5) dla prognozowania złóż uranu występujących na większych głębokościach, nie przyniosły dotychczas pozytywnych wyników w tym względzie.

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

Charakter dotychczas realizowanych prac geologiczno-poszukiwawczych na obszarze syneklizy, stał się przyczyną tego, że w zakres dotychczas wykonywanych badań geofizycznych weszły wyłącznie badania geofizyki wiertniczej. Podstawowym wynikiem tych badań, poza realizacją rutynowych określeń profili litostratygraficznych oraz wydzielenie warstw promieniotwórczych, było stwierdzenie na podstawie wykonanych prac interpretacyjnych, obecności aureoli radowo-radonowych wokół dotychczas wykrytych ciał uranowych. Jak wykazał autor (22), geneza tych aureoli ma odmienny charakter w stosunku do genezy aureoli towarzyszących zwykle płytko zalegającym strefom zmineralizowanym. Badanie tych aureoli, może zdaniem autora, okazać się skuteczną metodą prognozowania obecności ciał uranowych pozostających poza otworami wiertniczymi.

Próby szczegółowego rozpoznania wiertniczego dwóch, spośród kilku nawierconych na obszarze syneklizy ciał uranowych, potwierdziły dużą zmienność przestrzenną koncentracji uranu, szczególnie w obrębie najbardziej



Ryc. 3. Rozkład zasobów liniowych uranu dla złoża Gas Hills w Wyoming (16)

Fig. 3. Distribution of linear uranium resources of the Gas Hills deposits, Wyoming (16)

* Całkowite zasoby liniowe (ang. total grade-thickness) określone jako $\sum q_i \cdot h_i$, gdzie q_i oraz h_i oznaczają odpowiednio koncentrację oraz miąższość warstwy „i”.

perspektywicznego II poziomu uranonośnego. Na ryc. 4 przedstawiono rozkłady koncentracji eU^{**} dla jednego z badanych ciał rudnych. Wartości eU określone zostały na podstawie ilościowej interpretacji wyników profilowań naturalnego promieniowania gamma (21).

Tak jak już wspomniano wcześniej, dotychczasowe rozpoznanie geologiczne, na które złożył się obszerny program badań petrograficznych, mineralogicznych, chemicznych, sedimentologicznych, jak i geostatystycznych, nie ujawniło dotychczas takich cech badanych utworów, które mogłyby być praktycznie wykorzystane we właściwym ukierunkowaniu dalszych prac poszukiwawczych (Bareja E., Saldan M., Strzelecki R., Szewczyk J., 1983 – praca niepublikowana). Również dane literaturowe nie wskazują na możliwość istnienia takich cech (5).

Nie ulega wątpliwości, że ewentualne dalsze rozpoznanie omawianych złóż uranu wymagać będzie wykonania znacznej liczby otworów wiertniczych. Wybór właściwych rejonów dla realizacji takich prac, będzie miał za-

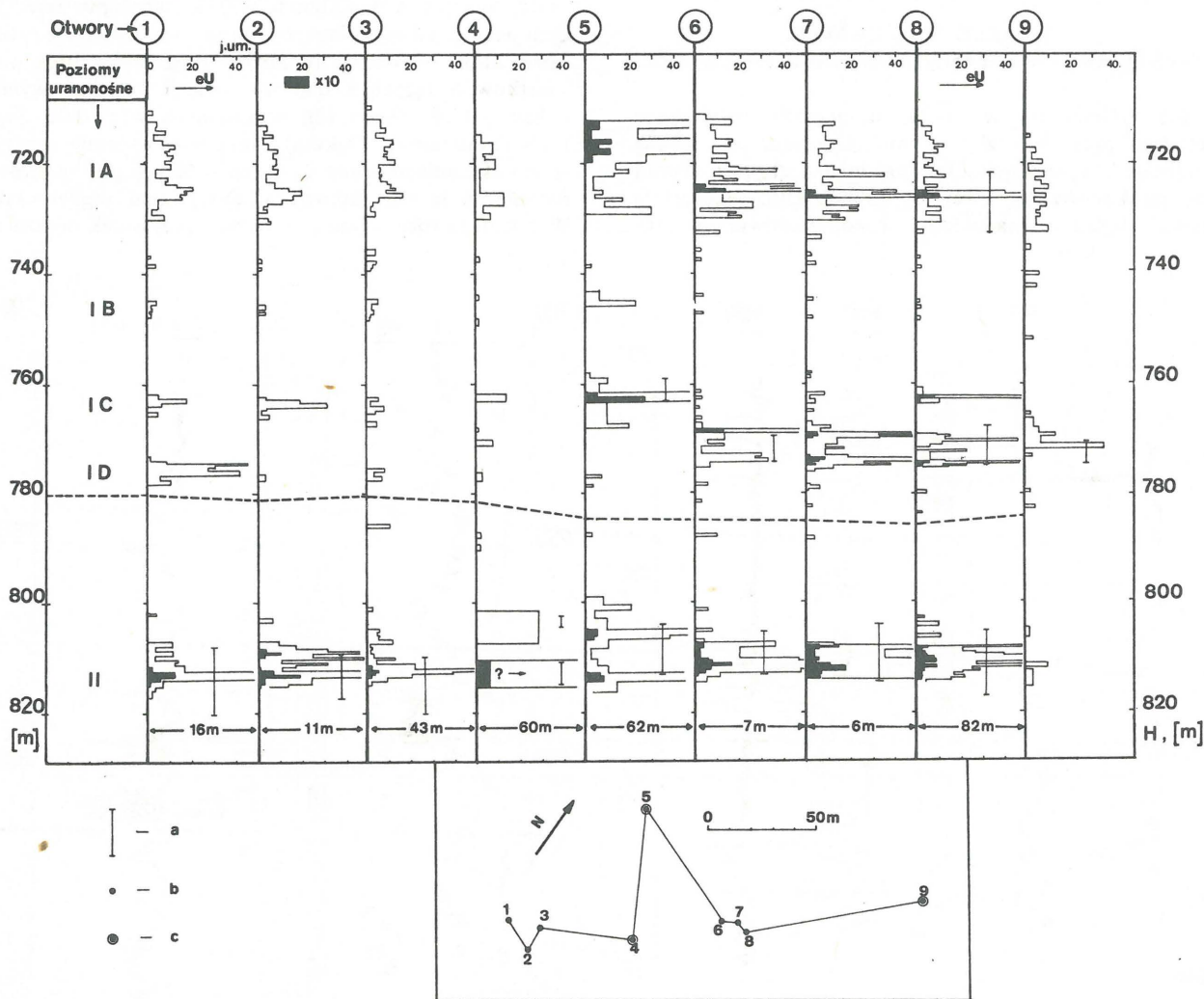
sadnicze znaczenie dla efektywności dalszych poszukiwań, a nawet dla sensowności ich podjęcia.

W celu właściwego ukierunkowania tych prac autor (21) zaproponował zastosowanie metody sejsmiki refleksyjnej śledzącej zmiany facjalne w obrębie II poziomu uranonośnego. Poniżej przedstawiono przesłanki, na podstawie których oparta została powyższa hipoteza badawcza.

WĘGLANY W UTWORACH FORMACJI ELBLĄSKIEJ

Na ryc. 5–8 przedstawiono przykłady wyników badań geofizyki wiertniczej uzyskiwanych w utworach triasu. Charakterystyczną cechą otrzymywanych wyników jest wyraźne zaznaczenie się w części otworów wiertniczych, w obrębie spągowej części formacji elbląskiej, obecności warstw wykazujących niską porowatość oraz przepuszczalność. Cechy te w sposób bardzo wyraźny wyróżniają niekiedy wspomniany fragment profilu. Przeprowadzona przez autora (21) dokładna analiza tego zagadnienia pozwoliła stwierdzić, że czynnikiem powodującym wyraźną zmianę charakteru tych warstw będących najczęściej zlepieńcami, a niekiedy piaskowcami zlepieńcowymi, jest ich epigenetyczne, węglanowe lepiszcze. Warstwy te

** eU oznacza koncentrację pierwiastka U określoną na podstawie ilości produktów rozpadu izotopu U-238, przy założeniu, że w szeregu promieniotwórczym tego izotopu zachowany jest stan równowagi promieniotwórczej (22).



Ryc. 4. Rozkład koncentracji eU określonych na podstawie badań geofizycznych w strefie występowania jednego z ciał rudnych na obszarze syneklizy perybaltyckiej

Fig. 4. Distribution of the eU – concentration determined by geophysical survey in the zone of occurrence of one of the uranium ore-body in the Peribaltic syncline area

a – odcinki z wykonanymi badaniami laboratoryjnymi rdzeni wiertniczych, b – otwory odchylone, c – otwory pionowe

a – sections with the core laboratory tests carried out, b – deviated boreholes, c – vertical boreholes

występują w bezpośrednim sąsiedztwie II poziomu uranonośnego. Łączna ich miąższość zmienia się od kilkudziesięciu centymetrów, do blisko 17 m (ryc. 8), najczęściej jednak nie przekracza 1–2 m (ryc. 5). Badania petrograficzne M. Nowickiej (praca niepublikowana) potwierdzają epigenetyczny charakter węglanowego lepiszcza, sugerując nawet istnienie kilku jego generacji. Postsedymentacyjne wypełnienie przestrzeni porowej w pierwotnie bardzo przepuszczalnych i porowatych zlepionych lub piaszczystych, prowadziło do zdecydowanej zmiany ich własności fizycznych. W rezultacie tych zmian następował wyraźny spadek porowatości neutronowych, wzrost oporności oraz prędkości fal akustycznych (ryc. 8). Szczegółowa analiza tego zagadnienia wykazała ponadto, że omawiane warstwy wykazują bardzo dużą lateralną zmienność, porównywalną ze zmiennością warstw uranonośnych.

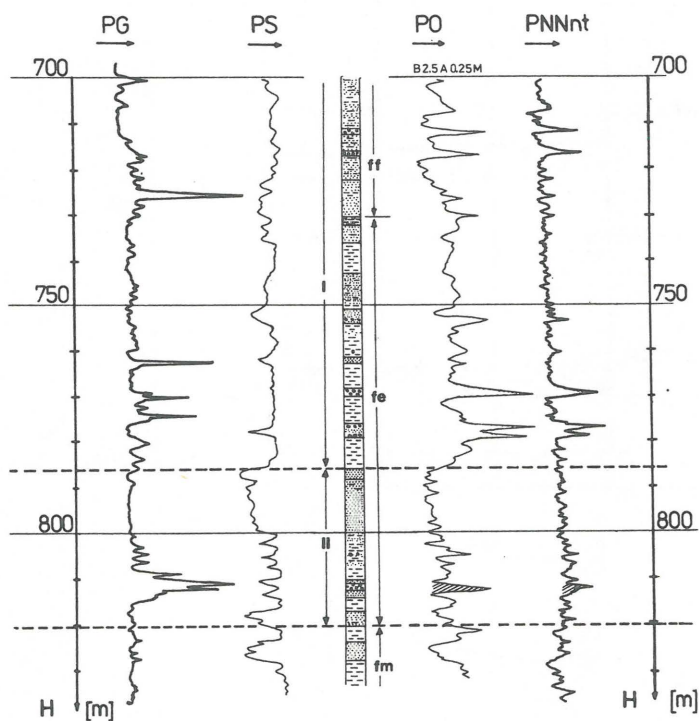
Obecność tych warstw w obrębie II poziomu uranonośnego, jest w większości przypadków cechą bardzo wyraźnie wyróżniającą omawiany fragment formacji elbląskiej (ryc. 6–8). Jest to przy tym, co zasługuje na wyraźne podkreślenie, j e d y n a dotychczas zaobserwowana cecha tych utworów, która zdaniem autora, może być śledzona bezpośrednio powierzchniami metodami geofizycznymi, w tym przypadku – sejsmiką refleksyjną.

ZWIĄZEK WĘGLANÓW Z WYSTĘPOWANIEM MINERALIZACJI URANOWEJ

E.W. Grutt (9) w znanej monografii poświęconej metodom prospekcji złóż uranu „Uranium prospecting handbook”, wyszczególniając zagadnienia dla poszukiwaczy złóż piaszczystych twierdzi: „Powszechną akceptację uzyskał pogląd o zasadniczej roli wód złożowych w pro-

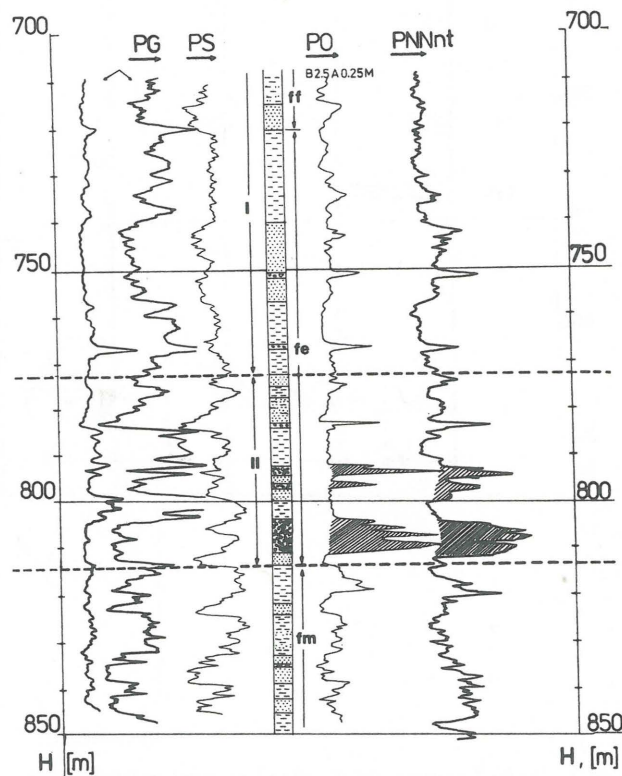
cesie tworzenia się złóż tego typu. Duże znaczenie w procesie transportu uranu mają wody typu węglanowego. Dodatkowych badań wymaga hipoteza mówiąca o tym, że uran jest najczęściej deponowany w strefie kontaktów wód facji węglanowej oraz siarczanowej (carbonate and sulphate groundwater facies). Dalszych prac tak o charakterze eksperymentalnym, jak i teoretycznym, wymaga zagadnienie wzajemnego podłoża konkrecji węglanowych oraz piaszczystych o lepiszczu węglanowym. Informacje te mogą okazać się bardzo istotnym wskaźnikiem poszukiwawczym dla złóż tego typu ... Ważne informacje mogą być również uzyskane na podstawie badań paleohydrogeologicznych obszarów uranonośnych, tak w odniesieniu do prawdopodobnych kierunków przepływu wód, jak i ich dynamiki w okresie formowania się tych złóż”.

Geochemiczne wyjaśnienie roli wód węglanowych w tworzeniu złóż uranu podane zostało przez J.I. Hagmaiera (10). Uważa on, że łatwo rozpuszczalny kompleks uranowo-węglanowy, który wykazuje stabilność w facji wód dwuwęglanowych, staje się niestabilny w sytuacji, w której kalcyt jest wytrącany w strefie mieszania się wód typu węglanowego oraz siarczanowego. Uwolniony jon uranylu jest wtedy łatwo wytrącany w warunkach redukcyjnych. Bardzo jednoznacznie na omawiany temat wypowiada się W.M. Sharp i A.B. Gibbons (17) „... występowanie kalcytu jest prawdopodobnie związane z tymi samymi procesami, które prowadzą do koncentracji uranu oraz pierwiastków będących z nim w asocjacji ...”. Jak wynika z badań G.B. Gotta (8), wykonanych w rejonie Black Hills (Południowa Dakota), obszarem wybitnie sprzyjającym akumulacji uranu są obrzeża dużych pod względem rozmiarów ławic piaszczystych o lepiszczu węglanowym. Warto tu zwrócić uwagę, że ostatni przypadek odnosi się



Ryc. 5. Typowy obraz geofizyczny utworów formacji elbląskiej (fe) ze słabo rozbudowaną strefą węglanów w obrębie II poziomu uranonośnego. Otwór KM-4

Fig. 5. Typical geophysical picture of the Elbląg formation with a slightly developed carbonate zone in within the second uranium-bearing horizon. The borehole – KM-4



Ryc. 6. Wyniki badań geofizyki wiertniczej w strefie silnego rozbudowania węglanów w obrębie II poziomu uranonośnego. Otwór P-4

Fig. 6. Results of well logging from the high developed carbonate zone within the second uranium-bearing horizon. The borehole – P-4

do złóż piaskowcowych typu „blanket”, a więc takich, jakie zdaniem R. Strzeleckiego prawdopodobnie występują właśnie w II poziomie uranonośnym na obszarze syneklizy.

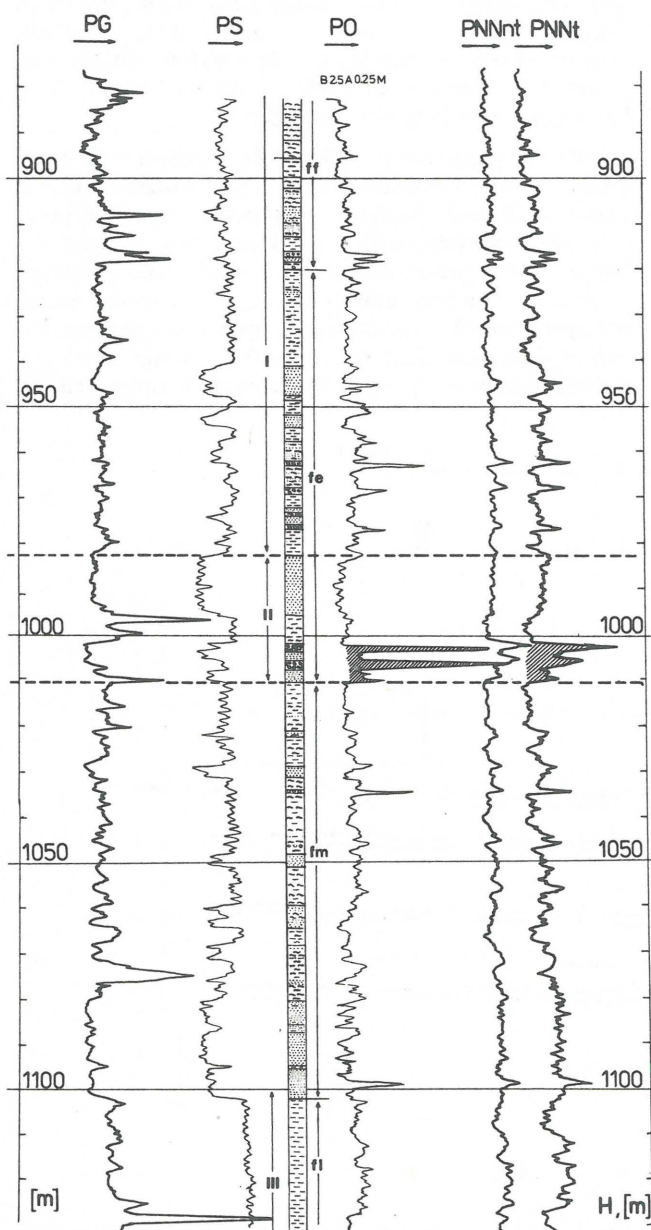
Przytoczone powyżej uwagi na temat charakteru związku między węglanowością, a występowaniem epigenetycznej piaskowcowej mineralizacji uranowej, mają bardzo ogólny charakter. Ostateczne określenie przydatności tego związku – jeśli on w badanych utworach triasu rzeczywiście występuje – dla prospekcji złóż uranu na obszarze syneklizy perybałtyckiej, może być dokonane jedynie w oparciu o materiał empiryczny. W pierwszym etapie powinny to być badania metodami sejsmiki refleksyjnej, a w następnym – prace wiertnicze.

Ze względu na stwierdzoną bardzo dużą zmienność lateralną obydwu składników, wyniki uzyskiwane z pojedynczych otworów, na co chciałby zwrócić uwagę autor, będą miały charakter informacji wskaźnikowych, a nie

prognostycznych. Zastosowanie metody sejsmicznej pozwoli natomiast, zdaniem autora, na prowadzenie przestrzennej obserwacji występowania stref węglanowych w obrębie badanej formacji, co powinno w sposób istotny pomóc we właściwym ukierunkowaniu prac wiertniczych.

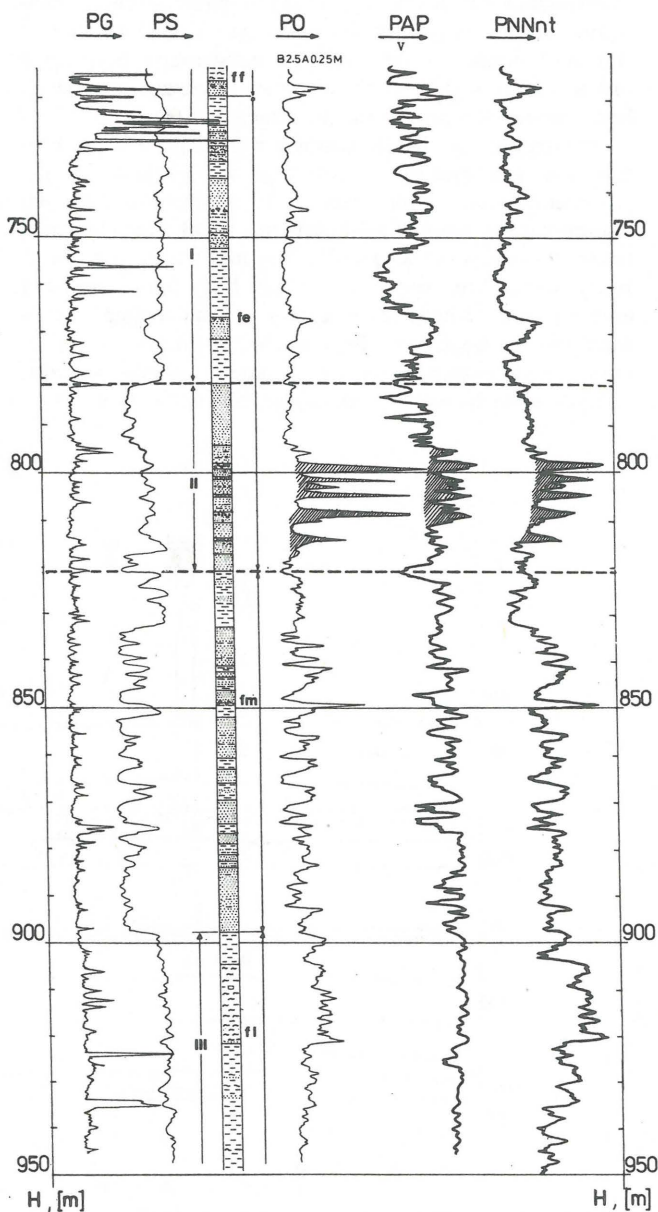
MOŻLIWOŚĆ GEOFIZYCZNEGO ŚLEDZENIA WĘGLANOWOŚCI UTWORÓW FORMACJI ELBLĄSKIEJ

Wyraźny kontrast własności fizycznych towarzyszących występowaniu w zlepieńcach lub piaskowcach lepiszcza węglanowego, szczególnie w obrębie II poziomu uranonośnego, sugerował możliwość traktowania tych utworów jako potencjalnego horyzontu odbijającego fale sejsmiczne. W celu wyjaśnienia powyższej kwestii, w jednym z otworów wiertniczych w utworach triasu wykonane



Ryc. 7. Geofizyczny obraz utworów II poziomu uranonośnego na tle własności fizycznych utworów triasu. Otwór M-2

Fig. 7. Geophysical picture of the second uranium-bearing horizon on the background of the physical properties of the Triassic formations. The borehole – M-2



Ryc. 8. Wpływ obecności węglanów w utworach II poziomu uranonośnego na własności fizyczne warunkujące możliwości powstawania odbić fal sejsmicznych. Otwór P-3

Fig. 8. Influence of the carbonate occurrence in the second uranium-bearing horizon on the physical properties conditioning possibilities of forming the seismic wave reflections. The borehole – P-3

zostało, poza standardowym zestawem pomiarów, również profilowanie akustyczne prędkości (PAP) aparaturą typu USB-21. Wyniki pomiaru wartości Δt przedstawiono na ryc. 8, zestawiając je z wynikami innych metod geofizycznych. Jak łatwo zauważyć, ze stropem wspomnianych wcześniej utworów związana jest bardzo wyraźna granica prędkości fali akustycznej. Jest to równocześnie wyraźna granica zmiany oporności elektrycznej oraz porowatości neutronowej (ryc. 6–8). Biorąc pod uwagę powyższe fakty, a także to, że utworom tym towarzyszy wzrost gęstości, można z dużym prawdopodobieństwem uważać, że omawiana granica może być lokalnie źródłem odbić fal sejsmicznych.

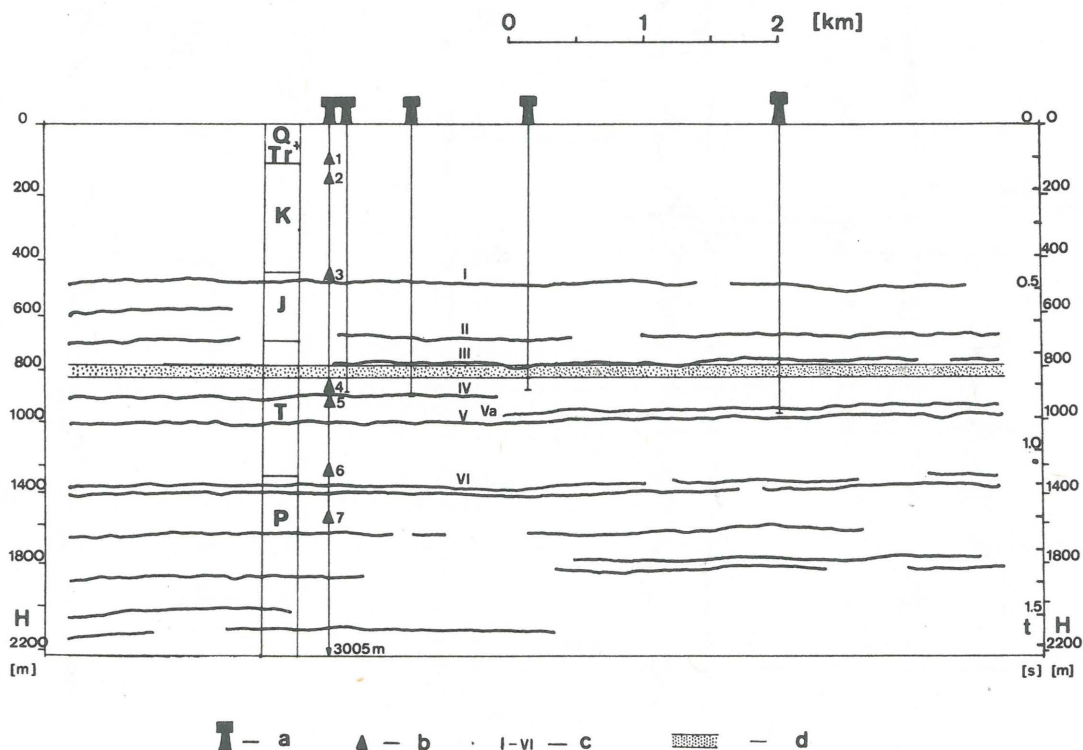
Szczegółowa analiza archiwalnych materiałów sejsmicznych z obszaru badań, uzyskanych w końcu lat 60-tych (z zastosowaniem 12-krotnego pokrycia) w ramach regionalnych badań, potwierdza zdaniem autora, możliwość uzyskiwania refleksów sejsmicznych związanych z omawianą strefą węglanowości. Na ryc. 9 przedstawiono fragment przekroju sejsmicznego uzyskanego bezpośrednio w strefie wykonanych otworów wiertniczych (odległość otworów od profilu nie przekraczała 200 m).

Przedstawione zostały również wyniki pionowego profilowania sejsmicznego wykonanego w głębokim otworze parametryczno-strukturalnym leżącym bezpośrednio na wspomnianym profilu sejsmicznym. W obrębie utworów triasu obserwowane są dwa, a lokalnie nawet trzy horyzonty odbijające, spośród których horyzont oznaczony arabską oraz rzymską cyfrą cztery, można wiązać z omawianą strefą węglanów. Przy analizie wyników sejsmicznych przedstawionych na ryc. 9 należy uwzględnić fakt, że wydzielone horyzonty odbijające, oparte są na korelacji

określonych faz rejestrowanych fal sejsmicznych, a nie ich pierwszych wystąpień. Należy też zwrócić uwagę na fakt, że cel wówczas wykonywanych badań sejsmicznych (utwory starszego paleozoiku) i związane z tym zarówno stosowane schematy obserwacji, jak i sposoby uwzględniania poprawek, powodowały jak piszą sami autorzy dokumentacji sejsmicznej (12), sztuczne pogorszenie jakości refleksów pochodzących od utworów mezozoicznych.

Uwzględniając wszystkie powyższe fakty, można z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, że zastosowanie współczesnych metod sejsmiki refleksyjnej, świadomie ukierunkowanej na badanie triasowych horyzontów refleksyjnych, pozwoli na prowadzenie przestrzennej obserwacji omawianych stref węglanowych występujących w obrębie formacji elbląskiej. Ponadto, co może mieć również istotne znaczenie dla dalszych prac poszukiwawczych, wyniki badań sejsmicznych mogą być źródłem szczegółowych informacji na temat budowy strukturalnej badanych utworów. Mogą one mieć szczególnie duże znaczenie, przy określaniu ewentualnych paleokoryt w obrębie spągowej części formacji elbląskiej, z którym również może być związana badana mineralizacja (11, 19).

W celu ostatecznego wyjaśnienia możliwości zastosowania metody sejsmicznej dla dalszych poszukiwań złóż uranu na obszarze syneklizy, zaproponowany został program badań metodycznych tak o charakterze eksperymentalnym, jak i teoretycznym. W ramach prac polowych przewidziano między innymi eksperymentalne wykonanie trójwymiarowych wysokorozdzielczych litologicznych badań sejsmicznych (high-resolution 3D seismic lithology), a także wielowariantowych modelowań sejsmicznych. W



Ryc. 9 Horyzonty sejsmiczne w strefie występowania ciał uranowych określone na podstawie badań metodą sejsmiki refleksyjnej oraz pionowego profilowania sejsmicznego (materiały archiwalne)

a – otwory wiertnicze, b – horyzonty sejsmiczne według pionowego profilowania sejsmicznego, c – horyzonty sejsmiczne według powierzchniowych badań sejsmicznych, d – II poziom uranowości

Fig. 9. Seismic horizons in the uranium-bearing ore-body zone determined by seismic reflection survey and vertical logging (archival data)

a – boreholes, b – seismic horizons according to vertical logging, c – seismic horizons according to seismic surface survey, d – the second uranium-bearing horizon

roku bieżącym przystąpiono do realizacji powyższych prac.

PODSUMOWANIE

Powyżej przedstawione zostały najistotniejsze informacje dotyczące warunków występowania mineralizacji uranowej w utworach triasu, a także wyniki dotychczas zastosowanych metod geofizycznych wraz z propozycją metodyczną dotyczącą podjęcia dalszych prac poszukiwawczych. Na podstawie szczegółowej analizy, przede wszystkim wyników badań geofizyki wiertniczej, stwierdzono, że jedyną zaobserwowaną cechą warstw uranonośnych występujących w najbardziej perspektywicznym fragmencie formacji elbląskiej, wyraźnie wyróżniającą te warstwy w badanych profilach jest występowanie wtórnej generacji węglanów. Z występowaniem ich, może być zdaniem autora, związane w sposób pośredni również występowanie stref uranonośnych.

Stosunkowo znaczna głębokość występowania mineralizacji uranowej nie będzie stanowiła w tym przypadku, wbrew dosyć powszechnej opinii, podstawowego problemu utrudniającego ewentualną eksploatację w przyszłości, omawianych złóż. Coraz powszechniej stosowane na świecie metody bezpośredniego ługowania uranu *in situ*, szczególnie łatwego w złożach typu piaszczystego (7, 23), w sposób istotny upraszcza zagadnienie eksploatacji złóż. Podstawowym i najtrudniejszym zagadnieniem pozostaje natomiast problem zastosowań efektywnych metod rozpoznania, a następnie dokumentowania złóż występujących w takich warunkach. Przedstawione w artykule w ogólnym zarysie — propozycje metodyczne odnoszące się do zastosowań wysokoczęstotliwościowego wariantu sejsmiki litologicznej, pozwolą zdaniem autora, rozstrzygnąć podstawową kwestię eksploracyjną — czy omawiane zagadnienie jest rozwiązywalne przy zastosowaniu obecnie znanych metod badawczych.

Wyjaśnienie znaczenia geologiczno-złożowego omawianej mineralizacji może mieć istotne znaczenie dla przyszłego bilansu kraju w zakresie surowców energetycznych. Uzyskanie jednoznacznej odpowiedzi wymaga prowadzenia dalszych, systematycznych, właściwie zaplanowanych i dokumentowanych badań.

LITERATURA

1. Applegate J.A., Emilia D.A. et al. — High-resolution seismic study in the Gas Hills uranium district. Wyoming. Geophysics 1982 nr 10.
2. Bareja E., Sałdan M., Strzelecki R. — Wstępne wyniki badań mineralizacji uranowej w utworach triasu w rejonie Krynica Morska — Pasłęk. Kwart. Geol. 1980 nr 4.
3. Bareja E. — Minerale uranu w utworach triasu syneklizy perybałtyckiej. Ibidem 1984 nr 2.
4. Brady B.T., Rice R.S. — Helium determinations as an exploration technique at the Ambrosia Lake uranium district. 1977 Open-file Report 77-669.
5. Daniels J.F. et al. — Borehole geophysical investigations in the south Texas uranium district. J. Res. U.S. Geol. Survey 1977 nr 3.
6. Davis J.F. — A practical approach to uranium exploration drilling from reconnaissance to reserves. [In:] Uranium exploration methods. IAEA. Vienna. 1973.
7. Galloway W.E. et al. — Depositional framework, hydrostratigraphy and uranium mineralization of the

Oakville Sandstone. Bureau of Economic Geol. Rep. 1982 nr 113.

8. Gott G.B. — Inferred relationship of some uranium deposits and calcium carbonate cement in southern Black Hills, South Dakota. Bull. USGS 1956, 1046 A.
9. Grutt E.W. — Prospecting criteria for sandstone-type uranium deposits. [In:] Uranium prospecting Handbook. IMM. London 1972.
10. Hagmaiev J.L. — The relations of uranium occurrences to ground water flow system. Earth Sc. Bull. Wyoming 1971.
11. Jaworowski K. — Pochodzenie uranu formacji elbląskiej (górną część p-c) w świetle wyników badań sedimentologicznych. Prz. Geol. 1986 nr 4.
12. Jurek M. et al. — Opracowanie badań sejsmicznych wykonanych na obszarze syneklizy perybałtyckiej. Arch. IG 1970.
13. Kanasiewicz J., Sałdan M., Uberta J. — Uranonośność piaskowca okolic Pasłęka. Biul. Inst. Geol. 1965 nr 193.
14. Kristiansson K. et al. — Evidence for nondiffusive transport of Rn-222 in the ground and a new physical model for the transport. Geophysics 1982 nr 10.
15. Kuestermeyer A.L. — Capital and operating cost estimation for milling of uranium ores. Colorado School of Mines Quarterly 1984 nr 4.
16. Sandefur R.L., Grant D.C. — Preliminary evaluation of uranium deposits. A geostatistical study of drilling density in Wyoming solution fronts. [In:] Exploration for uranium ore deposits. IAEA. Vienna. 1976.
17. Sharp W.N. et al. — Geology of uranium deposits of southern part of the Powder River Basin. Bull. USGS. 1964, 1147-D nr 47.
18. Strzelecki R. — Wyniki badań mineralizacji uranowej w triasie syneklizy perybałtyckiej. Kwart. Geol. 1980 nr 4.
19. Strzelecki R. — O sedimentacji górnej części piaskowca w syneklizie perybałtyckiej. Prz. Geol. 1985 nr 4.
20. Stuckless I.S. et al. — Labile uranium in granitic rocks. [In:] Exploration for uranium ore deposits. IAEA. Vienna 1976.
21. Szewczyk J. — Próba określenia geofizyczno-geologicznego modelu ciał rudnych dla utworów triasu syneklizy perybałtyckiej. Kwart. Geol. 1982 nr 3/4.
22. Szewczyk J. — Geneza aureoli radowo-radonowych dla uranowych ciał rudnych w utworach triasu syneklizy perybałtyckiej. Ibidem 1985 nr 3/4.
23. Szumilin M.W. i in. — Razwiedka miastorożeni uranu dla obróbki metodami podziemnymi. Nedra 1985.
24. Wright R.J. — Sandstone-type uranium deposits. [In:] Uranium deposits in Africa: Geology and exploration. IAEA. Vienna 1979.
25. Wright R.J. et al. — Gases in uranium exploration. [In:] Uranium deposits in Latin America. Ibidem 1981.

SUMMARY

While exploiting out the shallow occurring uranium deposits, interests in exploration the deep occurring deposits increase. In case of covered uranium deposits with no surface geochemical anomalies connected with the

U-238 isotope decay product, expensive and time consuming drilling operations are only hitherto existing mean to explore and reconnaissance of such deposits.

In the mid-seventies Institute of Geology initiated geological prospecting in the middle part of the Peribaltic syncline to explain possibilities of documentation of uranium deposits in the Triassic formations. As a result of the drilling operation the occurrence of three uranium-bearing beds were stated, two of them were connected with sandstone — type mineralization and the third one the lowest — with schist — type mineralization. Because of considerable depth of occurrence (700—1200 m) further explorations both regional and detailed based exclusively on drilling operations are unrealistic. To direct properly the further explorations the use of highly resolution reflection seismic survey to prospect the carbonate zones occurring in the uranium-bearing formation is proposed. According to the author these zones are also connected indirectly with the occurrence of uranium — mineralization zones. The paper presents empiric and theoretical circumstances on base of which the above hypothesis is set forth.

РЕЗЮМЕ

По мере истощения мелко залегающих месторождений урана будет увеличиваться заинтересованность в поисках месторождений расположенных на больших

глубинах. В случае закрытых месторождений урана не имеющих приповерхностных геохимических аномалий связанных с продуктами распада изотопа U-238, до сих пор единственным применяемым методом поисков и разведки таких месторождений были дорогостоящие и трудоёмкие буровые работы.

В половине семидесятых годов Геологический Институт начал ведение геолого-поисковых работ на территории центральной части перибалтийского синеклиза, для выяснения возможностей документирования месторождений урана в триасовых отложениях. В результате проведенных буровых работ было определено нахождение трёх ураноносных горизонтов; два из них были связаны с оруденением песчаникового типа, третий — находящийся ниже всех — с оруденением сланцевого типа. Из-за большой глубины их нахождения (700—1200 м) невозможно было основывание дальнейшей разведки, как региональной так и детальной, исключительно на буровых работах. Для правильного ведения дальнейших поисковых работ в этой области авторы предлагают применение высокораспределительного варианта метода рефлексии сейсмической, для исследования карбонатных зон находящихся в пределах ураноносной формации. По мнению автора, с этими зонами связано также, косвенным способом, распространение зон орудененных ураном. В статье представлены эмпирические и теоретические предпосылки, на которых основанна представлена выше исследовательская гипотеза.