

ZASTOSOWANIE W ZSRR DOKŁADNYCH BADAŃ GRAWIMETRYCZNYCH PRZY BEZPOŚREDNIACH POSZUKIWANIACH ZŁÓŻ ROPY I GAZU

UKD 550.831:553.981,982(47)

W ostatnich latach w ZSRR podjęto próbę zastosowania dokładnych badań grawimetrycznych w bezpośrednich poszukiwaniach złóż ropy i gazu. Metodyczno-doświadczalne profilowe zdjęcia grawimetryczne wykonano na trzech złożach rozpoznanych pracami wiertniczymi. Wychodząc z parametrów fizycznych złóż, stosując ETO, przeprowadzono obliczenia efektów anomalnych, pochodzących od przemysłowych zasobów ropy i gazu, w celu porównania tych efektów z wynikami badań grawimetrycznych.

Jednym z doświadczalnych obiektów, objętych grawimetrycznym zdjęciem profilowym było Bierzciańskie złożo ropy i gazu w rejonie Przedkawkazja (2). Wiąże się ono z płaską brachyantykliną zaznaczającą się już w utworach kredy górnej (ryc. 1), jej kierunek rozciągłości — południkowy. Przybliżone wymiary — 28×11 km. Kąt upadku skrzydła zachodniego około $1,5^\circ$, natomiast wschodniego ok. 3° . Przemysłowe zasoby złoża zalegają w utworach albu (kreda dolna) zawierających cienkie warstwy piaskowców. Ciśnienie złoża w okresie eksploatacji obniżało się z 285 do 165 atm. Kontakt ropy i gazu występował na głębokości 2846. Efektywna miąższość kolektorów roponośnych z przemysłową zawartością ropy wynosiła 50 m. Piętro gazonośne o miąższości 115 m razem z aureolą rozprzestrzenienia osiągało miąższość 500 m. Gęstość gazu — $0,14$ g/cm³, wraz z kondensatem wynosiła $0,8$ g/cm³. Średni współczynnik gazonośności kolektorów 80%.

Wykorzystując ustalone na podstawie wyników wierceń parametry rozpoznanego złoża ropy i gazu, stosując elektroniczną maszynę liczącą „Strieła 4” obliczono wielkości efektów grawitacyjnych na powierzchni ziemi dla modelu trójwymiarowego. W zależności od zmian miąższości pokładu produktywnego wyraża się on ujemną anomalią siły ciężkości $0,21$ — $0,48$ mgala. Obliczony efekt grawitacyjny łatwo można zarejestrować współcześnie stosowanymi, precyzyjnymi grawimetrami.

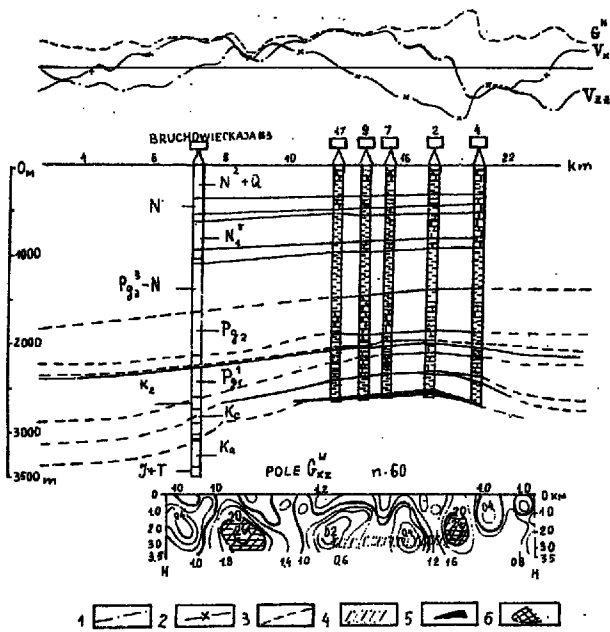
Przeprowadzono również metodyczno-doświadczalne dokładne pomiary grawimetryczne na złożach ropy i gazu Mangyszłaku, położonych na wschodnim wybrzeżu Morza Kaspijskiego. Na wspomnianym obszarze objęto badaniami geofizycznymi dwa złoża oznaczone umownie przez autora (4) nr 1 i nr 2. Wyniki wykonanych wierceń wykorzystano

dla ustalenia parametrów fizycznych badanych złóż, jak i skał najbliższego otoczenia. Dla złóż Mangyszłaku gęstość gazu wynosi $0,16$ — $0,22$ g/cm³, zaś ropy $0,8$ — $0,8$ g/cm³.

Złożo nr 1 występuje w brachyantyklinie wydłużonego kształtu o wymiarach 24×8 km o amplitudzie 120 m. Sumaryczny efekt wszystkich warstw roponośnych wynosi około 300 m. Ponadto poziomo roponośne posiadają aureole gazowe. Przeprowadzone obliczenia efektów anomalnych pochodzących od struktury i złoża ropogazonośnego dla modelu trójwymiarowego z wykorzystaniem danych wykonanych wierceń, stwierdziły iż wielkość efektu grawitacyjnego w środkowej części struktury jest równa $+0,78$ mgala, zaś złoża $-0,45$ mgala. Różnica między anomalią obserwowaną w obrazie wykonanych zdjęć grawimetrycznych i wyznaczonym tłem regionalnym stanowi resztkowy efekt anomalny nad strukturą równy $+(0,6-0,8)$ mgala i odpowiednio minimum związane ze złożem o amplitudzie — $(0,3-0,6)$ mgala. Dostatecznie dobra zgodność obliczonych i pomierzonych efektów anomalnych siły ciężkości pozwala wnioskować, iż minimum grawimetryczne wywołane jest przemysłowymi zasobami złoża ropogazonośnego.

Złożo nr 2 znajduje się w tej samej strefie tektonicznej, co złożo nr 1, na przedłużeniu wspólnego fałdu brachyantyklinalnego. Przybliżony zarys złoża nr 2 posiada wymiary 10×50 km. Struktura brachyantyklinalna o amplitudzie 150 m zaznacza się w utworach kredy dolnej. W złożu nr 2 wyodrębniono trzy oddzielne piętra pokładów produktywnych: górnego — gazonośnego (na głębokości 200—900 m), średniego — roponośnego (1000—1500 m) i dolnego — ropogazonośnego (1500—2000 m). Sumaryczna efektywna miąższość górnego — gazonośnego piętra wynosiła 90 m, średniego — roponośnego 146 m i dolnego — ropogazonośnego 50—100 m (ryc. 2).

Teoretyczne obliczenia efektów anomalnych przy przyjęciu efektywnych gęstości badanego złoża nr 2 wskazują, iż gazowe pokłady o sumarycznej miąższości 50 przy średniej głębokości występowania równej 500 m wywołują anomalię — $0,37$ mgala. Natomiast pokład roponośny o miąższości 100 m przy głębokości zalegania 1000—2500 m powoduje utworzenie się anomalii równej $-(0,20-0,30)$ mgala.



Ryc. 1. Profil geologiczno-geofizyczny wg W. F. Kononkowa.

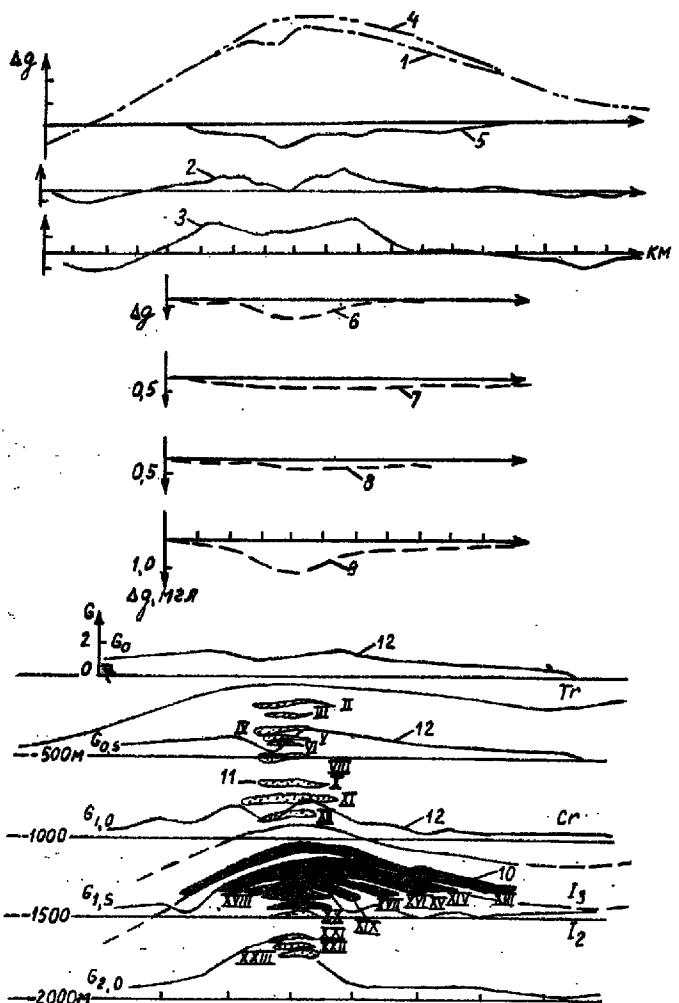
1—3 składowe pola siły ciężkości, 4 — kontury złoża w polu całkowitego gradientu, 5 — złożo, 6 — maksimum całkowitego gradientu pionowego.

Zarejestrowane pomiarami pole grawitacyjne nad złożem nr 2 charakteryzuje się wyraźną dodatnią, asymetryczną anomalią siły ciężkości o amplitudzie około 4 mgali. W części środkowej struktury na tle dodatniej anomalii Bouguera wydziela się w sposób przejrzysty minimum grawimetryczne o amplitudzie około -0,5 mgala. Przy zestawieniu wykresów anomalii reszkowych z przekrojem geologicznym stwierdzono, iż szerokiemu na 3—3,5 km minimum o wartości -0,2 mgala odpowiadają obszarowo rozczłonkowane horyzonty ropoślone, a bardziej wąska anomalia o amplitudzie -0,5 mgala odpowiada horyzontom gazośnym.

Badania grawimetryczne związane z poszukiwaniami złóż ropy i gazu należy realizować w dwu etapach. W pierwszym etapie wykonuje się grawimetryczne zdjęcie powierzchniowe o równomiernym rozmieszczeniu punktów pomiarowych. Głównym jego celem jest wykrycie i udokumentowanie lokalnych struktur geologicznych. Gęstość takiego zdjęcia zależy od rozmiarów i głębokości zalegania rozpoznawanych obiektów geologicznych.

W drugim etapie dla oceny perspektywiczności występowania ropy i gazu w obrębie struktur wykrytych pracami geofizycznymi wykonuje się bardzo dokładne grawimetryczne zdjęcie profilowe. Zadaniem tych badań jest stwierdzenie i udokumentowanie minimum grawimetrycznych, związanych z przemysłowymi nagromadzeniami ropy i gazu.

W ZSRR wykonano badania grawimetryczne na omówionych trzech złożach przy użyciu grawimetrów GAK-7T. Grawimetryczne zdjęcie profilowe realizowano z zastosowaniem prac geodezyjnych tyżając profile i wykonując niwelację dla określenia wysokości stanowisk pomiarowych. W ten sposób ostateczny błąd anomalii uzależniony jest głównie od dokładności wykonania samych obserwacji grawimetrycznych. Zdjęcie wykonano przy wzajemnym odstępach profili od 2 do 2,5 km z uwzględnieniem ich przedłużenia na odległość 0,5—1 km poza kontury badanej struktury. Odstęp między punktami gra-



Ryc. 2. Rezultaty badań grawimetrycznych na złożu nr 2.

1 — obserwowana anomalia siły ciężkości, 2 — anomalia uzyskana przy zastosowaniu metody wariacji ($R=2$ km), 3 — wykres drugich pochodnych siły ciężkości, 4 — obliczona anomalia siły ciężkości, 5 — anomalia reszkowa siły ciężkości, 6 — obliczona krzywa siły ciężkości od II do XII gazośnych warstw, 7 — obliczona krzywa siły ciężkości od XIII do XVIII ropoślonych warstw, 8 — obliczona krzywa siły ciężkości od XIX do XXIII ropoślonych warstw, 9 — sumaryczna krzywa siły ciężkości, 10 — pokłady ropoślone, 11 — pokłady gazowe, 12 — wykresy całkowitego gradientu pionowego obliczone dla różnych głębokości.

wimetrycznymi wynosił 100—200 m. W celu zwiększenia dokładności prac wykonywanych grawimetrami GAK-7T stosowano odpowiednią metodykę pomiaru, eliminującą częściowo nieliniowy wpływ zmian dryftu. Punkty osnowy zdjęcia zakładano w ten sposób, aby znajdowały się w miejscach załamania zmiany dryftu stosowanego aparatu. W obrębie badanego złoża bierzańskiego wykonane zdjęcie profilowe charakteryzuje się błędem określenia anomalii równym $\pm 0,04$ mgala. Ogólnie w bezpośrednich poszukiwaniach złóż ropy i gazu niezbędne jest wykonywanie szczegółowych zdjęć grawimetrycznych z zapewnieniem określenia anomalii siły ciężkości z dokładnością nie mniejszą niż $\pm(0,05-0,1)$ mgala.

Ustalenie na podstawie wyników wierceń parametrów fizycznych oraz zasobów przemysłowych omawianych złóż umożliwiły wykonanie ścisłej interpretacji geofizycznej. Dla każdego złoża oddzielnie stosując ETO, określono efekty grawitacyjne związane z występowaniem węglowodorów, a następnie dokonano porównań z wynikami profilowych badań grawimetrycznych.

W szczególności w szerokim zakresie przeprowadzono interpretację dla złoża nr 2. Wyniki tych prac ilustruje ryc. 2. Wykresy od 6 do 9 przedstawiają efekty grawitacyjne trzech produktywnych pięter złoża: górnego — gazonośnego (6), średniego — roponośnego (7) i dolnego — ropogazonośnego (8). Sumaryczny efekt grawitacyjny produktywnych pokładów ropy i gazu ilustruje wykres 9. Amplituda ujemnej anomalii siły ciężkości przekracza tu wartość 0,5 mgala.

Zespół wykresów od 1 do 5 (ryc. 2) obrazuje metody i wyniki interpretacji zdjęcia grawimetrycznego. Oprócz krzywej pola obserwowanego (1) sporządzono wykresy drugich pochodnych siły ciężkości (3) oraz anomalii resztkowych (5). Na uwagę zasługuje sposób określenia anomalii resztkowych siły ciężkości dla zdjęcia profilowego. Oddzielenia tła anomalnego związanego z budową samej struktury od wpływów wywołanych złożem ropogazowym dokonano z zastosowaniem szeregu Lagrange'a. Prace rachunkowe wykonano przy użyciu elektronicznych maszyn liczących, zasięg wydzielonych anomalii resztkowych odpowiada w przybliżeniu konturom złoża nr 2.

Metodą interpretacji wyników pomiarów grawimetrycznych najbardziej zalecaną przy wykrywaniu produktywnych pokładów ropy i gazu jest metoda W. M. Bieriezkina (1) — analitycznego obliczania całkowitego gradientu pionowego. Stosowano ją zarówno przy opracowaniu rezultatów zdjęcia grawimetrycznego i bierzańskiego złoża ropogazonośnego (ryc. 1), jak i Mangyszłaku (ryc. 2). Prace rachunkowe realizowano z zastosowaniem elektronicznej maszyny liczącej typu B.E.S.M.-2. Zaletą wspomnianej metody jest możliwość określenia na podstawie wykresów całkowitego gradientu pionowego siły ciężkości G przybliżonego zasięgu granic złoża, jak i oceny głębokości jego zalegania. Nad strukturami antyklinalnymi i brachyantyklinami, zawierającymi produktywne zasoby ropy i gazu na wykresach całkowitego gradientu stwierdza się występowanie lokalnych minimum grawimetrycznych, ograniczonych z obu stron maksimumi.

Dodatnie anomalie (ryc. 1) odpowiadają w przybliżeniu granicom poziomego zasięgu złoża. Natomiast obliczenie całkowitego gradientu poziomego G w dolnej półprzestrzeni dla złoża nr 2 pozwoliło prześledzić charakter zmian pola anomalnego wraz ze wzrostem głębokości. Na wykresach całkowitego gradientu na różnych poziomach (ryc. 2) widać jak lokalne minimum przejawia się coraz bardziej intensywnie postępując od powierzchni do centrum zalegania pokładów. Natomiast zmniejsza się wraz ze wzrostem dalszych głębokości. Na poziomie — 2000 m na wykresie zanika ujemna anomalia, a pozostaje tylko dodatnia, odpowiadająca istniejącemu wyniesieniu. Badania strefy zmniejszania się intensywności i zaniku ujemnej anomalii grawimetrycznej w obrazie całkowitego gradientu poziomego na różnych poziomach pozwala ustalić przybliżony zasięg głębokościowy złoża.

Pozytywne rezultaty metodyczno-doświadczalnych prac grawimetrycznych wykonanych na wielu znanych złożach ropogazonośnych pozwoliły przystąpić do realizowania w ZSRR w rejonie Mangyszłaku i Usturtu analogicznych badań na strukturach objętych pracami geofizycznymi, a nie rozpoznanych wierceniami poszukiwawczymi. Dokładnymi badaniami grawimetrycznymi objęto siedem takich struktur. W wyniku przeprowadzonej interpretacji wykonanych prac cztery struktury wytypowano jako perspektywiczne ze względu na występowanie ropy i gazu. Wykonane po badaniach geofizycznych wiercenia poszukiwawcze potwierdziły występowanie zasobów przemysłowych węglowodorów w trzech strukturach (tiengińska, kurganbajska, arstanowska).

W chwili obecnej podobne próby zastosowania metody grawimetrycznej przy bezpośrednich poszukiwaniach ropy i gazu są prowadzone również w Stanach Zjednoczonych. Fakt ten potwierdza sam tytuł zbiorowego opracowania (nie wygłoszonego) geofizyków amerykańskich T. H. Mc Cullona i C. E. Corbata: „Wykrywanie zbiorników naftowych przy zastosowaniu wysokoczułej grawimetrii” (3). Dokładnymi badaniami grawimetrycznymi objęto wybrane obiekty o łącznej powierzchni około 1000 km² rejonów tak bogatych w ropę, jak Los Angeles w Kalifornii. Pozytywnych wyników badań grawimetrycznych należy oczekiwać na obszarach płytkiego występowania zbiorników w niezrodowanych utworach kenozoicznych, o dużej miąższości pokładów ropogazonośnych. Należy jednakże pamiętać również o tym, iż ujemne anomalie grawimetryczne o małej amplitudzie mogą pochodzić od zmian litologicznych, a więc i gęstościowych utworów trzeciorzędu i czwartorzędu, zmian nie związanych z węglowodorami.

WNIOSKI

1. Omówione w artykule wyniki metodyczno-doświadczalnych badań grawimetrycznych wykonanych w ZSRR potwierdzają tak od strony teoretycznej, jak i praktycznej celowość zastosowania grawimetrii przy bezpośrednich poszukiwaniach przemysłowych nagromadzeń ropy i gazu.

2. Dokładne badania grawimetryczne mogą mieć zastosowanie w poszukiwaniach zarówno złóż ropogazonośnych, jak i oddzielnie występujących zbiorników ropy lub gazu. Z danych gęstościowych oraz uzyskanych rezultatów badań przeprowadzonych w ZSRR wynika, iż pokłady gazowe posiadają większy wpływ na powstawanie ujemnych anomalii grawimetrycznych niż złoża ropy o tej samej miąższości i głębokości zalegania.

3. Uważa się za wskazane wykonanie metodyczno-doświadczalnych badań na istniejących złożach gazu (np. rejonu lubaczowskiego) w celu potwierdzenia możliwości zastosowania w Polsce metody grawimetrycznej przy poszukiwaniach zbiorników z nagromadzeniami węglowodorów. Stosowane w kraju grawimetri Sharpe'a o wysokiej dokładności zapewniają dokumentowanie anomalii o amplitudzie 0,2—0,5 mgala, które mogą pochodzić od przemysłowych złóż ropy i gazu.

4. Należy jednak mieć na względzie ograniczone możliwości stosowania metody grawimetrycznej do bezpośrednich poszukiwań złóż ropy i gazu, zwłaszcza na obszarach objętych halokinazą. Trudności mogą się wiązać z rozdzielaniem różnych wpływów grawitacyjnych, gdyż zarówno struktury solne, jak i złoża węglowodorów wywołują ujemne anomalie.

LITERATURA

1. Bieriezkina W. M. — Metod analityczeskogo prodożeniya pojnogo wiertikalnogo gradienta siły tiazesti dla izuczeniya raspriedeleniya wozmusczzajuszczich mass w tołszcze ziemnoj kory. Izw. Wyższ. ucz. zaw. „Gieologija i razwiedka”, 1968, nr 12.
2. Kononkow W. F. — Riezultaty grawimetriczeskoi razwiedki s celiu priamych poiskow na Bierieżanskom gazokondensatnom miestorożdienii Priedkawkazia. Nieftiegaz. gieologija i geofizyka, 1970, nr 12.
3. Mc Collon T. H., Corbato C. E. — Petroleum Reservoir Detection through High Resolution Surface Gravimetry. 8th World Petroleum Congress Synopses, Moscow, 13—19 June, 1971.
4. Popow W. A. — Primienienije wysokotocznoj grawirazwiedki s celiu priamych poiskow miestorożdienii niefti i gaza. Razw. geofiz., 1970, nr 42.