

Prof. dr M. K. POLSZKOW  
Wszechzwiązkowy Naukowo-Badawczy  
Instytut Geofizyczny (WNIIG Geofizyka)

## Osiągnięcia geofizyki radzieckiej

Rozwój geofizycznych metod poszukiwawczych w ZSRR datuje się od pierwszych lat istnienia państwa radzieckiego. Obecnie zakres geofizycznych metod poszukiwawczych w ZSRR jest ogromny, szerszy niż w Stanach Zjednoczonych A.P. Rozmiary badań geofizycznych stosowanych przy poszukiwaniu ropy naftowej w Stanach Zjednoczonych w 1964 r. wyrażały się pracą 4400 grupo-miesięcy, a w ZSRR 6000 grupo-miesięcy.

W 50 rocznicę Wielkiej Socjalistycznej Rewolucji Październikowej można stwierdzić, że prace geofizyczne w ZSRR stanowią jedną z głównych metod badań skorupy ziemskiej, zwłaszcza przy rozpoznaniu struktur mogących zawierać nagromadzenia ropy naftowej i gazu oraz przy poszukiwaniu złóż stałych surowców mineralnych.

Za początek prac geofizycznych w przemyśle naftowym przyjmuje się rok 1925. W pierwszym etapie dążono do stworzenia podstaw teoretycznych i opracowania technicznych metod badań geofizycznych oraz metodyki obserwacji polowych poprzez prace doświadczalno-metodyczne. W pierwszym okresie prowadzono więc prace na niewielką skalę (10 grup geofizycznych w 1928 r.) i to wyłącznie w wybranych rejonach roponośnych.

Zapoczątkowanie w latach 20-tych prac w zakresie geofizyki poszukiwawczej w ZSRR wiąże się z nazwiskami Łazariewa, A. P. Zaborowskiego, P. M. Nikiforowa, Ł. M. Sorokina, G. A. Gamburcewa.

W drugim etapie, w związku z uprzemysłowieniem kraju i koniecznością rozpoznania nowych złóż ropy naftowej, obserwujemy silny rozwój prac geofizycznych związanych z poszukiwaniem ropy naftowej. W 1940 r. w przemyśle naftowym ZSRR pracowało 77 polowych grup geofizycznych (w tym 23 grupy sejsmiczne) i 43 przemysłowe grupy geofizyczne. Wykonano w tym czasie zdjęcia magnetyczne, a także obserwacje wahadłowe i zdjęcia wagą skręceń na obszarach takich, jak Nizina Nadkaspjska i Nizina Nadkurińska, Ust-Urt, Kara-Kum, Podkawkazie, Nizina Zachodniosyberyjska i liczne inne. Metodę sejsmiczną, zwłaszcza refleksyjną z dobrymi wynikami stosowano dla rozpoznania struktur lokalnych w rejonie uralsko-embieńskim, w zapadlisku dnieprowsko-donieckim i w innych rejonach. W okresie lat 1935—1940 przy

pomocy metod geofizycznych stwierdzono 80 struktur oraz przygotowano do głębokich wierceń 47 struktur perspektywicznych noszących cechy roponośności. W strukturach przygotowanych metodami geofizycznymi odkryto 10 złóż ropy naftowej.

W trzecim etapie, który pokrywa się z latami Wielkiej Wojny Ojczyźnianej (1941—1945), pomimo warunków wojennych zakres prac geofizycznych nadal wzrastał i w 1945 r. w porównaniu z 1940 r. osiągnął 150%. Prace geofizyczne w tym okresie były skoncentrowane przede wszystkim we wschodniej części kraju i miały głównie charakter prac szczegółowych. W tym czasie metodami geofizycznymi stwierdzono 175 struktur i przygotowano do wierceń 95 struktur. Ta ostatnia wartość stanowi 39% ogólnej ilości struktur przygotowanych wszystkimi metodami geologiczno-poszukiwawczymi. W latach 1941—1945 w strukturach przygotowanych metodami geofizycznymi odkryto 20 złóż ropy naftowej.

W czwartym etapie zaznacza się wyraźny wzrost zakresu prac geofizycznych. Badania geofizyczne w latach 1946—1956 prowadzono na wielkich przestrzeniach ZSRR w różnorodnych warunkach geologicznych i klimatycznych. W tym też czasie znacznie wzrosły wymagania odnoszące się do metod geofizycznych.

W latach powojennych przed geofizyką naftową szczególnie ostro wystąpił problem poszukiwań struktur o małych amplitudach, a także rozpoznawania dolnych pięter strukturalnych w pokrywie osadowej i badań struktur o skomplikowanej budowie w wielu rejonach. W czwartym etapie przy pomocy metod geofizycznych stwierdzono ponad 600 struktur, a do rozpoznania przygotowano 812 struktur. W tym też czasie w strukturach przygotowanych metodami geofizycznymi odkryto prawie 200 nowych złóż ropy i gazu. Dla omawianego etapu charakterystyczny jest też rozwój regionalnych badań sejsmicznych. Badania te zaczęto w związku z programem Międzynarodowego Roku Geofizycznego (MRG) i międzynarodowej współpracy geofizycznej. Największy rozwój tych badań nastąpił jednak w następnym etapie.

Piąty etap (1959—1965) charakteryzuje się dalszym intensywnym wzrostem zakresu regionalnych i szczegółowych badań geofizycznych. W tym okresie zakończono regionalne zdjęcia grawimetryczne i aeromagnetyczne całego obszaru ZSRR. W kompleksie badań regionalnych do wielkiego znaczenia doszły metody geoelektryczne i sejsmiczne, pozwalające na ilościową interpretację anomalii geofizycznych. Kompleksowe stosowanie metod, opracowanie nowych, bardziej opłacalnych zasad prowadzenia prac regionalnych (np. sondowania punktowe, metoda refrakcyjna, sejsmika morska i rzeczna) pozwoliło na znaczne rozszerzenie kręgu rozwiązywanych zadań geologicznych i objęcie badaniami regionalnymi obszernych terytoriów.

Regionalne badania geofizyczne pozwoliły na wyjaśnienie charakteru strukturalnego stref przejściowych między kontynentami i oceanami oraz między obszarami fałdowymi i platformowymi. Wyjaśniono stosunki strukturalne pomiędzy obszarem zakaukaskim i Kaukazem, oraz pomiędzy Krymem i Kaukazem a masywami górskimi Półwyspu Bałkańskiego. Regionalne badania geofizyczne zostały szeroko wykorzystane przy zestawianiu różnych rodzajów map strukturalnych, tektonicznych, perspektywicznych i innych.

Przy pomocy regionalnych badań geofizycznych w obszarach ropo-nośnych stwierdzono szereg nowych rejonów o wysokiej perspektywiczności. W ich obrębie przy pomocy szczegółowych prac poszukiwawczo-rozpoznawczych odkryto wiele dużych złóż ropy naftowej i gazu. Do takich obszarów zaliczają się: Nizina Zachodniosyberyjska, Mangyżlak Południowy, Turkmenia, zapadlisko dniewrowsko-donieckie, zapadlisko peczorskie, Północny Kaukaz i inne.

Prace geofizyczne prowadzone na obszarach ropo-gazonośnych w ciągu ostatniej siedmioletki pozwoliły na przygotowanie 1610 struktur do głębokich wierceń poszukiwawczych, co stanowi 70% ogólnej ilości struktur rozpoznanych w tym okresie. W okresie 1959—1965 r. w strukturach przygotowanych przy pomocy prac geofizycznych odkryto 53% wszystkich stwierdzonych złóż ropy naftowej i gazu. Obecnie w wielu obszarach perspektywicznych ropy naftowej i gazu przygotowanie struktur do głębokich wierceń odbywa się wyłącznie przy pomocy metod geofizycznych. Do obszarów tych należą: Nizina Zachodniosyberyjska, rejon Uchta — Peczora, Jakucja, Białoruś i niektóre inne.

### SEJSMIKA

Przed Socjalistyczną Rewolucją Październikową prace sejsmiczne nie były prowadzone. Początki sejsmiki, jako jednej z metod geofizycznych zastosowanych do poszukiwań i rozpoznania złóż surowców mineralnych, wiążą się z dwudziestymi latami obecnego wieku. W pierwszym okresie rozwoju sejsmiki opierała się na przesłankach i podstawach teoretycznych sejsmologii jako nauki o trzęsieniach Ziemi, która w tym czasie miała już duże osiągnięcia. Do rozwoju sejsmologii wielki wkład wnieśli uczeni rosyjscy na czele z Golicynem.

Badania sejsmiczne nastawione na poszukiwania ropy naftowej po raz pierwszy w Związku Radzieckim zastosowano w 1929 r. W tym czasie odpowiednio do poziomu teoretycznego metod i aparatury stosowano tylko metodę refrakcyjną. Badano przy tym i wykorzystywano tylko pierwsze impulsy.

Mysł o wykorzystaniu odbitych fal sejsmicznych do badania budowy geologicznej została wypowiedziana przez wynalazcę radzieckiego W. S. Wojuckiego jeszcze w 1923 r. Jednakże istniejąca wówczas aparatura i stosowane metody zapisu uniemożliwiały zrealizowanie tej idei, co nastąpiło nieco później. Przedsięwzięciem tym kierował akademik G. A. Gamburcew, który w ogóle odegrał ważną rolę w rozwoju sejsmiki.

W 1935 r. skonstruowano pierwsze krajowe aparaty sejsmiczne. Począwszy od tego okresu metoda refleksyjna zaczyna być szybko wprowadzana do praktyki i zajmuje wiodące miejsce w kompleksie rozpoznawczych prac sejsmicznych zmierzających do odkrycia ropy naftowej i gazu. W 1940 r. w Związku Radzieckim pracowały 23 grupy sejsmiczne, co stanowiło 30% ogólnej liczby grup geofizycznych. W 1939 r. przystąpiono pod kierownictwem G. A. Gamburcewa do realizacji badań w oparciu o korelacyjną metodę refrakcyjną. Metoda ta nieco później została rozbudowana i znalazła szerokie zastosowanie.

W latach 1929—1940 przy pomocy sejsmiki zbadano liczne struktury, w których nawiercono następnie złoża ropy i gazu. Do nich zaliczają się:

Buzowny w Azerbajdżanie, Kułsary i Narmundanak w Kazachstanie oraz Niebitdag w Turkmenii.

W 1940 r. sejsmika była już szeroko stosowana w wielu obszarach Związku Radzieckiego, a w szczególności w Azerbajdżanie, w Turkmenii, jak również w zapadlisku nadkaspjskim i w obwodzie Emby. Na tych obszarach prace sejsmiczne górowały wśród metod geofizycznych, zwłaszcza w badaniach szczegółowych, prowadzonych w celu przygotowania rejonów do głębokich wierceń. W tymże czasie wykonano również dość znaczne prace w „drugim Baku”.

Po wybuchu Wielkiej Wojny Ojczyźnianej tempo rozwoju sejsmiki wyraźnie zmalało. Jednakże nawet w tych trudnych warunkach kontynuowano prace nad udoskonaleniem metodyki badań sejsmicznych. W tym właśnie okresie opracowano podstawy metody korelacji fal załamanych i przy jej zastosowaniu wykonano pierwsze prace polowe. Zapoczątkowano prace nad metodyką sejsmiki morskiej i przystąpiono do realizacji prac sejsmicznych w warunkach pustynnych. Na obszarach nie objętych działaniami wojennymi wykonano znaczną część zaplanowanych prac polowych. Wyniki prac sejsmicznych były podstawą a czasem jedynym materiałem do lokalizacji wierceń rozpoznawczych. Wyniki prac sejsmicznych pozwoliły na znaczne zmniejszenie liczby głębokich wierceń nieodzownych dla rozpoznania badanych obiektów. Badania sejsmiczne wykonane w czasie Wielkiej Wojny Ojczyźnianej przyczyniły się do wielkiego ilościowego i jakościowego skoku w rozwoju metodyki badań, który nastąpił wkrótce po zakończeniu wojny.

W latach powojennych (1946—1958) w sejsmice zaznacza się coroczny wzrost zakresu badań. Od 1948 r. rozpoczyna się planowe badanie Niziny Zachodniosyberyjskiej i rejonów północnego Podkaukazu. Od tegoż roku zaczęto badania amfiteatru irkuckiego. Z latami 1950—51 wiążą się początki prac w rejonach Ust-Urtu i Mangyszłaku, na obszarze Jakucji, Podkarpacia i innych. Najszerzej jednak w tym czasie rozwinięto prace sejsmiczne w obszarze wołżańsko-uralskim, na Nizinie Zachodniosyberyjskiej i na północnym Podkaukazu.

Podstawowym zadaniem sejsmiki w tym okresie było badanie ogólnego zarysu wglębnej budowy wielkich obszarów, a także poszukiwania i rozpoznanie struktur lokalnych. Rozwiązanie zagadnień regionalnych stanowiło najbardziej aktualne zadanie dla słabo poznanych obszarów: Niziny Zachodniosyberyjskiej, Ust-Urtu i innych. Powolne tempo rozpoznania regionalnego tych obszarów nie zabezpieczało ogólnych potrzeb w zakresie prac poszukiwawczo-rozpoznawczych. W związku z tym w omawianym okresie opracowano i wprowadzono do praktycznego zastosowania na szeroką skalę metodykę zdjęć powierzchniowych przy pomocy sondowań sejsmicznych. Warunkiem stosowalności takiej metodyki było śledzenie fal w oparciu o dynamiczną lub kinetyczną charakterystykę fali odbitej lub załamanej. Zdjęcia przy pomocy sondowań sejsmicznych z powodzeniem prowadzono na Zachodniej Syberii, na obszarze Ust-Urtu i innych. Grupy sejsmiczne wyposażone w samoloty wykonywały w ciągu jednego sezonu zdjęcia regionalne na dziesiątkach tysięcy km<sup>2</sup>.

W 1949 r., w celu zbadania wglębnej budowy skorupy ziemskiej, w północnym Tian-Szaniu wykonano pierwsze głębokie sondowania sejs-

smiczne. Po raz pierwszy prześlędzono fale odbite od strefy bazaltowej i od powierzchni Mohorovičića. W następnych latach prace te kontynuowano na innych obszarach.

Poszukiwania i rozpoznanie struktur lokalnych prowadzono na wszystkich obszarach perspektywicznych ropy i gazu. Najbardziej aktualnym zagadnieniem w tym czasie było rozpoznanie sejsmiczne połogich struktur platformowych, i to w pierwszej kolejności na obszarze wołżańsko-uralskim. Zagadnienie to z powodzeniem rozwiązywano na platformie zachodniosyberyjskiej i przedkaukaskiej, natomiast na platformie wschodnioeuropejskiej spotkano się z poważnymi trudnościami. Najważniejsze z nich polegały na trudnościach śledzenia powierzchni odbicia, co było tym bardziej kłopotliwe, że przy połogich strukturach większe były wymagania w zakresie dokładności pomiarów, co jest bardzo istotne dla określenia lokalizacji struktur o małych amplitudach.

Pomyślny rozwój metodyki zapewniało lepsze niż w poprzednich okresach wyposażenie grup sejsmicznych. Produkcja krajowych 24-kanalowych aparatów sejsmicznych została zapoczątkowana w 1940 r., 26-kanalowych w 1951 r. i 48-kanalowych w 1955 r. Dzięki temu wszystkie grupy sejsmiczne mogły przejść na zapis wielokanałowy.

W omawianym okresie na obszarach platformowych stwierdzono i przekazano do opracowania przy pomocy głębokich wierceń setki struktur. Amplituda, przy której stwierdzano jeszcze strukturę na obszarach młodych platform, wynosiła 20÷25 m, a na starych platformach — 40÷50 m. Uzyskano też pierwsze pozytywne rezultaty badań prowadzonych metodami sejsmicznymi horyzontów podsolnych w obszarach solonożnych (zapadlisko prypeckie i nadkaspjskie). Pewne wyniki uzyskano również w badaniu struktur o skomplikowanej budowie. Opracowano metodykę masowych sondowań przestrzennych, zapewniających wykonanie zadań w szczególnie skomplikowanych warunkach tektonicznych strefy wewnętrznej zapadliska przedkarpackiego.

W okresie lat 1946—1958 opracowano podstawy metody i aparaturę dla regulowanego odbioru kierunkowego oraz wypróbowano ją w różnych warunkach. Najwięcej takich prac wykonano w podurskiej strefie aktiubińskiej, gdzie osiągnięto dobre wyniki pomimo skomplikowanych warunków tektonicznych. Obiecujące rezultaty otrzymano na strukturach rafowych Baszkirii (rafa staro-kazankowska). W obszarach platformowych wyniki prac eksperymentalnych nie były tak przekonywujące, lecz wskazały na możliwość uzyskania bardziej szczegółowych danych niż przy zastosowaniu zwykłej odmiany metody fal odbitych. Z tym okresem wiąże się początek planowego rozwoju metod fal poprzecznych i przemiennych.

Równoległe z doskonaleniem metodyki badań połowych rozwijała się metodyka interpretacji. W tym czasie kontynuowano badania sejsmiczne również dla potrzeb poszukiwań rud, chociaż metoda ta, podobnie zresztą jak w poprzednim okresie, była rozwijana głównie dla potrzeb przemysłu naftowego i gazowego. Największy zakres prac sejsmicznych w obszarach rudonośnych wykonano w krzyworskim zagłębiu rud żelaza. Prace te doprowadziły do ustalenia położenia skał serii krzyworskiej, określenia jej kontaktów z gnejsami i granitami, zbadania reliefu skał podłoża i in. Wyniki prac zostały potwierdzone wierceniami. W wymienionych

badaniach pomyślnie wypróbowano aparaturę o wysokich częstotliwościach, opracowano specjalnie dostosowaną do warunków metodykę prac polowych i interpretacji materiałów. Po raz pierwszy w sejsmice rudnej wyniki badań przedstawiono w postaci map typów zmienności fal oraz map i wykresów prędkości granicznych.

Rezultatem prac sejsmicznych na obszarze Kurskiej Anomalii Magnetycznej było opracowanie mapy izohips skał krystalicznych, mapy stref rozwoju prekambru, wydzielenie pokładów żelazonośnych kwarcytów i strefy bogatego okruszcowania. Mapy superpozycji fal, analizy zapisów interferencyjnych i charakterystyki pochłaniania fal pozwoliły na uzyskanie wiarogodnej informacji, dotyczącej kontaktów skupień rudy z innymi skałami prekambru. Na złożach rud żelaza kontynuowano badania w Centralnym Kazachstanie (Kardżał w 1949 r.), w rejonie kołpaszewskiego złoża rud żelaza (1957 r.) i w zasięgu złoża irbińskiego (1958 r.).

Na złożach rud metali nieżelaznych badania sejsmiczne prowadzono w tym okresie w Tadżykistanie, Uzbekistanie, Kazachstanie, w Kruszcowym Ałtaju, Uralu. W rejonie dżezkazgańskiego złoża miedzi stwierdzono możliwość stosowania metody refrakcyjnej do śledzenia granic różnych typów wydzieliń litologicznych w paleozoiku. Rejon ten podzielono na 3 odcinki o różnej budowie geologicznej. Po wykonaniu prac doświadczalnych na złożach siarczkowych Uralu Południowego i Środkowego (złoża: Sibaj, kabińskie i ajwińskie) zarysowała się możliwość rozwiązania zagadnień pośrednich, pomocnych przy poszukiwaniach złóż danego typu. Polegały one na śledzeniu stref kontaktów, z którymi wiąże się okruszcowanie. Systematyczne badania przy rozpoznaniu złóż boksytowych prowadzono w rejonie tychwińskim i turgajskim. W rejonie północno-oneskim prowadzono prace o charakterze przemysłowym. Doprowadziły one do stwierdzenia pokładu boksytu o znaczeniu gospodarczym.

Zapoczątkowany w okresie powojennym szybki wzrost prac sejsmicznych kontynuowano w pierwszym okresie siedmioletki w latach 1959—1965. W tym ostatnim roku liczba grup sejsmicznych doszła do 890, co prawie dwukrotnie przekracza liczbę grup pracujących w tym samym czasie w Stanach Zjednoczonych A.P., zajmujących po ZSRR drugie miejsce pod względem zakresu prac sejsmicznych. Rozwojowi prac sejsmicznych towarzyszyło zwiększenie ich zakresu na obszarach Syberii Zachodniej, Jakucji, Mangyszłaku i rejonów Środkowej Azji.

W czasie siedmioletki kontynuowano rozwój i doskonalenie metod sejsmicznych. Metoda regulowanego odbioru kierunkowego, do której opracowania przystąpiono już przed tym okresem, stała się teraz metodą przemysłową, stosowaną dla rozwiązywania różnorodnych zadań geologicznych. Jej zastosowanie znacznie podwyższyło efektywność rozpoznania sejsmicznego, zwłaszcza przy badaniu struktur o skomplikowanych kształtach, a także poziomów skał osadowych, w szczególności przykrytych seriami solonośnymi. W licznych przypadkach metodę tę zastosowano do zbadania reliefu powierzchni podłoża krystalicznego, np. na południowym skłonie zrębu tatarskiego w rejonie baszkirskim, gdzie oprócz powierzchni podłoża poznano też częściowo budowę utworów bawlińskich. Udoskonalono i zastosowano metodę grupowania geofonów i wybuchów, opartą na badaniu spektrum obrazu falowego.

W okresie siedmioletki znacznie posunęło się naprzód opracowanie

metodyki fal poprzecznych i przemiennych. Ta ostatnia jest stosowana głównie do śledzenia reliefu podłoża. Przy pomocy metody fal poprzecznych otrzymano już pewne wyniki geologiczne, np. w jednym z rejonów Tatarskiej ASRR prześlędzono horyzont, znajdujący się na głębokości około 2 km, z dokładnością  $\pm 5$  m. W skali doświadczalnej prowadzono próby wykorzystania dynamicznych własności fal sejsmicznych do uzyskania wskazówek o występowaniu złoża ropy naftowej lub gazu w różnego typu strukturach, w tym również w strukturach o małej amplitudzie.

Przeprowadzono próby jednego z układów sumowania sygnałów sejsmicznych na taśmie magnetycznej, pochodzących z kilku źródeł. W układzie tym wzbudzenie sygnałów odbywa się przy pomocy generatora iskrowego.

Regionalne badania sejsmiczne w znacznym stopniu udoskonalono dzięki metodzie korelacji załamanych fal sejsmicznych, a także dzięki metodzie głębokich sondowań sejsmicznych. W szczególności opracowano sposób uwzględniania ugięcia fali refrakcyjnej dla zwiększenia dokładności otrzymywanych wyników. W celu badania głębokich warstw skorupy ziemskiej zastosowano również metodę fal odbitych. Opracowano metodykę i aparaturę pozwalającą na badania powierzchni podłoża i wglębnych warstw skorupy, włączając powierzchnię Mohorovičića, przy wykorzystaniu danych z rejestracji naturalnych trzęsień Ziemi. Zastosowano układ obserwacji nieciągłych, których celem jest podwyższenie wydajności grup sejsmicznych. W celu stwierdzenia skupień wzbogaconej rudy na obszarze Kurskiej Anomalii Magnetycznej stosuje się modyfikacje metody fal załamanych.

Siedmiolatka 1959—1965 charakteryzuje się bardzo wyraźnym skokiem w dziedzinie doskonalenia metod, aparatury sejsmicznej i wykwiipowania grup sejsmicznych w nową aparaturę. W tym okresie szeroko stosowano zapis magnetyczny. Wprowadzono nowe filtry częstotliwościowe o zmiennych częstotliwościach granicznych w dużych interwałach i z regularnymi krzywiznami charakterystyk. Zastosowano równoczesną programowaną i automatyczną regulację wzmocnienia z możliwością kierowania czasami działania automatów. Opracowano aparaturę do sumowania sygnałów sejsmicznych na taśmie magnetycznej i do wzbudzania ich bez użycia materiałów wybuchowych, a także aparaturę dla sumowania niesynchronicznego z zastosowaniem wzajemnej korelacji sygnałów. Udoskonalono aparaturę do pracy wg metody regulowanego odbioru kierunkowego i zaopatrzono ją w zapis magnetyczny.

W tymże czasie wprowadzono automatyczne opracowanie zapisów sejsmicznych i konstrukcję przekrojów sejsmicznych. Do tego celu wykonano kilka przyrządów działających na zasadzie wykorzystania magnetycznych lub elektrycznych linii opóźniających oraz lamp oscyloskopowych.

W celu opracowania danych sejsmicznych wykorzystuje się także uniwersalne elektronowe maszyny matematyczne. Opracowuje się konstrukcję aparatury do cyfrowego zapisu sygnałów sejsmicznych.

W okresie siedmiolatki przy zastosowaniu metod geofizycznych przygotowano do głębokich wierceń 1600 struktur, co stanowi 70% ogólnej ilości przygotowanych struktur.

Sejsmika przyczyniła się do odkrycia największego obszaru ropo- i gazonośnego, jakim jest Nizina Zachodniosyberyjska, odegrała też znaczną rolę przy odkryciu złóż w Mangyślaku. Bez tej metody poszukiwania struktur byłyby praktycznie niemożliwe w takich obszarach, jak np. na obszarze depresji Kubania, równiny za rzeką Terek, Jakucji. Dalsze doskonalenie metodyki i aparatury pozwoli na rozwiązanie wielu innych zagadnień.

### GEOFIZYKA MORSKA

Morskie badania sejsmiczne rozpoczęto w 1941 r. w przybrzeżnej strefie Półwyspu Apszerońskiego ze środków finansowych instytucji geofizycznych Azerbajdżanu. Te pierwsze prace doświadczalne prowadzono w oparciu o aparaturę i metody stosowane w tym czasie na lądzie. Po ich udoskonaleniu, pod koniec Wielkiej Wojny Ojczyźnianej można już było rozwiązywać wiele zagadnień z zakresu poszukiwań i rozpoznawania struktur ropo-gazonośnych na morzu, przy głębokościach 60÷70 m. Sejsmika morska zajęła należne jej miejsce w kompleksie prac geologiczno-poszukiwawczych złóż ropy naftowej i gazu na Morzu Kaspijskim.

Po zakończeniu wojny znacznie wzrosło tempo jakościowego i ilościowego rozwoju sejsmiki morskiej. Na rozwój morskiej geofizyki wpłynęło nie tylko rozwiązanie szeregu zagadnień teoretycznych i techniczno-metodycznych, specyficznych dla morza, lecz również ogólny postęp konstrukcji aparatów oraz teorii i metodyki geofizyki. Szczególnie duże znaczenie dla geofizyki morskiej ma opracowanie pływających urządzeń odbiorczych, tj. linii geofonów z odbiornikami piezoelektrycznymi, zainstalowanymi w oleju. Udoskonalono również metodykę wybuchów — wprowadzono sposób wybuchów podwieszonych. Do użytku morskiej geofizyki zastosowano radiowo-geodezyjne sposoby ustalania współrzędnych miejsc wybuchów i obserwacji.

Wzajemne oddziaływanie tych udoskonaleń doprowadziło do znacznego podwyższenia jakości zapisów sejsmicznych. Sejsmika osiągnęła możliwość prowadzenia badań przy dowolnej głębokości morza i każdej odległości od brzegu. Wyraźnie wzrosła wydajność pracy.

Do praktycznej działalności w sejsmice morskiej wprowadzono metodę korelacji fal załamanych, a w okresie Międzynarodowego Roku Geofizycznego wykonano badania o szerokim zakresie metodą głębokich sondowań sejsmicznych.

W okresie planu siedmioletniego (1959—1965) kontynuowano rozwój i doskonalenie sejsmiki morskiej. Skonstruowano i wprowadzono do pracy specjalną morską aparaturę sejsmiczną (stacja sejsmiczna MSS-58), a nieco później również stacje zapisu magnetycznego. Udoskonalono odbiorniki piezometryczne i morskie linie geofonów. Opracowano metodykę wywoływania wybuchów z pokładu statku przy pomocy ciągniętej za nim linii ładunków. Do użytku w morskich badaniach sejsmicznych wprowadzono metodę regulowanego odbioru kierunkowego.

W celu przesłedzenia podłoża na głębokościach 10÷12 km zastosowano rejestrację korelacyjną uśrednionych sygnałów sejsmicznych przy pomocy stacji sejsmicznej z sumowaniem sygnałów. Do badań osadów dennych zastosowano metodę geolokacji ultradźwiękowej.

Zbudowano specjalne statki geofizyczne, przy których pomocy można prowadzić prace nie tylko na morzach wewnętrznych, lecz również na oceanach.

Radzieckie grupy sejsmiczne wykonały wiele badań morskich za granicą — w Polsce, w NRD (Morze Bałtyckie), koło Szpicbergenu, na Morzu Karaibskim w pobliżu Kuby, a także w Zjednoczonej Republice Arabskiej (Morze Śródziemne), w Indii i na Oceanie Wielkim.

Aparatura i oprzyrządowanie opracowane dla sejsmiki morskiej znalazły zastosowanie po wprowadzeniu pewnych zmian również w badaniach sejsmicznych na rzekach.

Wyniki geologiczne geofizyki morskiej są bardzo rozległe i różnorodne. Obejmują one cały krąg zagadnień — począwszy od ogólnej rejonizacji tektonicznej do szczegółowych badań struktur lokalnych i poszczególnych odcinków tych struktur. Pozwoliły one na przeprowadzenie rejonizacji tektonicznej Morza Kaspijskiego. W zasięgu proggu apszerońskiego stwierdzono serię fałdów brachyantyklinalnych, o amplitudzie do 1000 m i kątach upadu na skrzydłach do  $5^\circ$ . Łańcuch tych fałdów łączy roponośne struktury Archipelagu Apszerońskiego na zachodzie i wyspy Czeleken na wschodzie.

W północnej platformowej części Morza Kaspijskiego stwierdzono także szereg wyniesień. Niektóre z nich są kontynuacją (w kierunku morza) struktur roponośnych Zachodniego Kazachstanu. W najbardziej północnej części morza przy pomocy sejsmiki odkryto ponad 10 wysadów solnych oraz dwa duże wyniesienia w utworach podsolnych.

Kompleksowe badania geofizyczne pozwoliły na przeprowadzenie rejonizacji Morza Azowskiego. Wydzielono tu trzy główne elementy — południowy skłon prekambryjskiej tarczy ukraińskiej, obszar platformy epihercyńskiej i indoło-kubański rów brzeżny. W obrębie platformy epihercyńskiej wydzielono depresyjną strefę północnoazowską, wał azowski i południowy skłon platformy. W każdym z tych elementów stwierdzono wyniesienia lokalne w utworach kredy i trzeciorzędu. Struktury fałdowe Morza Azowskiego znajdują się na przedłużeniu ropo-gazonośnych struktur Kubania Zachodniego i są wysoko perspektywiczne dla poszukiwań ropy naftowej i gazu.

Kompleks badań geofizycznych wykonanych na Morzu Czarnym pozwala na wydzielenie dwu głównych obszarów tektonicznych — zapadliska czarnomorskiego, pokrywającego się z głębiami tego morza, i obrzeżenia kontynentu, obejmującego szelf i skłon kontynentalny. W zapadlisku czarnomorskim miąższość skorupy ziemskiej jest silnie zredukowana, w centralnej części wynosi 10–24 km. Nie ma tu strefy „granitowej”, a miąższość serii osadowych dochodzi do 10–15 km. Morskie prace sejsmiczne pozwoliły na przesłedzenie zamknięcia ku zachodowi megantyklinorium kaukaskiego. W południowo-wschodniej części Morza Czarnego zbadano przedłużenie zapadliska kolchidzkiego; wydzielono tu trzy strefy tektoniczne z głębokimi rozłamami.

W Morzu Bałtyckim przesłedzono osiową część starego obniżenia nadbałtyckiego, pograżającego się od brzegów Łotwy w kierunku Zatoki Gdańskiej. Na południowo-wschodnim skłonie, w zasięgu szelfu, stwierdzono duże wyniesienia w utworach dolnego paleozoiku, które mogą być interesujące dla poszukiwań ropy naftowej i gazu. Ważne są szczególnie

struktury ciągnące się pod dnem morza, na przedłużeniu rozłamów strefy Niemna, w których na lądzie stwierdzono roponośność ordowiku. Perspektywiczne wyniesienia stwierdzono też na zachodniej krawędzi obniżenia, w rejonie Zatoki Gdańskiej.

Prace sejsmiczne na Morzu Barentsa pozwoliły na wykonanie przekroju przez północną część ropo-gazonośnej prowincji timańsko-peczorskiej. Jej główne strefy tektoniczne wychodzą na wybrzeże i mają przedłużenie na szelfie. Na przedłużeniu zapadliska peczorskiego i Wielkiej Ziemi stwierdzono położenie antyklinalne ugięcia w utworach permu. Możliwe, że odpowiadają one strukturom zamkniętym, znajdującym się na dużej głębokości. Na wschodnim skraju zapadliska Wielkiej Ziemi, w utworach permu i karbonu, stwierdzono duże wyniesienie warandajskie. Uzyskane materiały świadczą o istnieniu równoleżnikowego wyniesienia na wyspie Kołgufew.

W Morzu Karskim zbadano budowę geologiczną utworów mezo-kenozoiku w zasięgu Zatoki Obskiej i Tazowskiej. Stwierdzono tam duże, położone wyniesienia, tworzące się na brzegach i w centralnej części zapadliska chadutejskiego, perspektywiczne dla poszukiwań ropy i gazu. W Zatoce Jenisejskiej i w dolnym biegu Jeniseju, na zachodnim skłonie Tajmyru, w utworach paleozoiku, stwierdzono duże wyniesienie krestowskie, a na południe od niego — strefę fałdów obcięta głębokim rozłamek. Tworzy ona północny brzeg uściowego zapadliska jenisejskiego, perspektywicznego pod względem złóż ropy i gazu.

Wyniki badań w Morzu Ochockim pozwalają na przypuszczenie istnienia wielkiego ropo-gazonośnego basenu kenozoicznego. Na południowo-zachodnim jego brzegu, u wybrzeży Sachalinu, stwierdzono struktury sprzyjające nagromadzeniom ropy i gazu. Występują one wśród osadów trzeciorzędowych, w morskim przedłużeniu roponośnej strefy Sachalinu.

## GEOELEKTRYKA

Pierwsze badania w Rosji nad zastosowaniem elektryczności w geologii rozpoczęto już w końcu ubiegłego stulecia. Praktyczne prace z zastosowaniem metod elektrycznych w geologii na obszarze ZSRR wykonano w 1924 r. Ich rozwój był stosunkowo szybki. Już w 1925 r. przy rozpoznawaniu geoelektrycznym pracowało około 20 grup specjalistycznych. Szczególnie silny rozwój badań geoelektrycznych nastąpił w 1932 r. Stosując metody rozpoznania geoelektrycznego dokonano szeregu odkryć na Półwyspie Kolskim i na Uralu.

Metody rozpoznania elektrycznego zostały rozwinięte w latach 1930—1940 przez takich badaczy radzieckich, jak A. J. Zaborowski, L. M. Alpin, W. J. Dachnow i A. P. Krajew. W 1939 r. L. M. Alpin opracował teorię metody sondowań dipolowych, której szerokie zastosowanie zaczyna się od 1948 r., po skonstruowaniu we WNIIG pierwszej polowej stacji elektryczno-rozpoznawczej. Skonstruowanie jej pozwoliło na wyraźne podwyższenie efektywności ekonomicznej i geologicznej metod geoelektrycznych przy rozwiązywaniu zadań rozpoznania złóż ropy naftowej i gazu.

Wielki rozwój geoelektryki rudnej nastąpił po wojnie. Udoskonaleniem istniejących metod geoelektrycznych i opracowaniem nowych zajmują się następujące placówki: Wszechzwiązkowy Naukowo-Badawczy

Instytut Geofizyki Rozpoznawczej (WIRG), Świerdłowski Instytut Górniczy, Instytut Fizyki Ziemi AN ZSRR i in. W pierwszych latach powojennych opracowano w nich nowe metody prac geoelektrycznych, jak polaryzacji wzbudzonej (1948—1949), międzyotworowego prześwietlania falami radiowymi (1948—1949), potencjałów kontaktowych (1950), ładunku (1946—1947). W latach 1950—1952 rozpoczęto prace nad opracowaniem metod amplitudowo-fazowych przy użyciu fal radiowych, prace geoelektryczne w ruchu i szeregu innych. Rozwinięto wiele innych dziedzin geoelektryki, jak np. układ jednobiegunowy elektrod, metodyka badań polowych przy wykorzystaniu procesów przejściowych i in. Skonstruowano aparaturę i opracowano podstawy teoretyczne dla metody polaryzacji wzbudzonej, opracowano wariant otworowy w ramach metody procesów przejściowych i in. Należy zaznaczyć, że geoelektrycy wnieśli niemały wkład w zabezpieczenie kraju w główne rodzaje stałych surowców mineralnych.

W metodach geoelektrycznych stosowanych przy poszukiwaniach złóż ropy naftowej i gazu zaznaczył się wyraźny „skok jakościowy” na początku lat 50-tych w związku z opracowaniem nowych metod wykorzystujących zmienne i nie ustalone pola elektromagnetyczne. W 1948 r. we WNIIG przystąpiono do opracowania metody prądów tellurycznych, opierającej się na poznaniu zmian naturalnego pola elektrycznego Ziemi. Jednocześnie przygotowano specjalną aparaturę do wykonania badań metodą prądów tellurycznych. Prace te zostały uwieńczone seryjną produkcją stacji typu STT-59.

W 1949 r. uczony radziecki A. J. Tichonow dał teoretyczne uzasadnienie do badań budowy głębokiej na podstawie parametrów naturalnego pola elektromagnetycznego Ziemi. Jednocześnie dał on podstawy teoretyczne sondowania magnetotellurycznego, rozwinięte później przez jego uczniów i następców. Metoda ta opiera się na jednoczesnych pomiarach wariacji pola magnetycznego i elektrycznego Ziemi.

W tym samym czasie we WNIIG rozpoczęto opracowywanie metod opartych na wykorzystaniu naturalnych pól elektromagnetycznych. Są to: sondowania częstotliwościowe i sondowania metodą stabilizacji pola.

Rozwój nowych metod geoelektrycznych wykorzystujących zmienne pola elektromagnetyczne sprzyjał znacznemu rozszerzeniu w ostatnim dziesięcioleciu zakresu prac geoelektrycznych przy badaniach regionalnych oraz przy poszukiwaniach złóż ropy naftowej i gazu. W 1965 r. w ZSRR nowe metody geoelektryczne stosowało już 139 grup badawczych.

Badania geoelektryczne prowadzone są na różnych obszarach Związku Radzieckiego — od brzegów Morza Bałtyckiego po Sachalin — i od Morza Białego do Kazachstanu, Uzbekistanu i Turkmenii. W ostatnich latach stosuje się głównie nowe metody rozpoznania elektrycznego.

Metody magnetotelluryczne są stosowane przede wszystkim na trudno dostępnych obszarach północnych. Sondowania metodą stabilizacji pola stosowane są na obszarach platformowych, gdzie w serii skał osadowych występuje ekran wysokooporowy.

Szerokie zastosowanie nowych metod geoelektrycznych w badaniach regionalnych, w powiązaniu z innymi metodami geofizycznymi, pozwoliło na rejonizację tektoniczną zachodniej części Niziny Zachodniosy-

beryjskiej, zapadliska kańsko-tasiejewskiego, amfiteatru irkuckiego, zapadliska timańsko-peczorskiego, części zapadliska dniewrowsko-dnieckiego, obniżenia polsko-litewskiego i niektórych obszarów Kazachstanu. Stosowanie metod geoelektrycznych umożliwiło znaczne zmniejszenie pracochłonnych, kosztownych prac sejsmicznych.

### GRAWIMETRIA

Praktyczne zastosowanie metody grawitacji do rozpoznania geologicznego i jej rozwój zaczyna się od 1921 r. Wyniki pierwszych prac grawimetrycznych z miejsca wykazały dużą ich wartość dla geologii i zachęciły do dalszego prowadzenia zdjęć grawimetrycznych oraz zastosowania ich w poszczególnych obszarach dla rozwiązania licznych zadań geologicznych. Zakres prac grawimetrycznych, zwłaszcza przy zastosowaniu metody wagi skręceń, powiększał się z roku na rok, a jednocześnie rozwijała się teoria geologicznej interpretacji uzyskanych wyników (P. P. Łazariew, B. Numierow, Ł. M. Nikiforow, Ł. W. Sorokin, A. F. Sadowski i in.).

W początkach II wojny światowej w zasadzie zakończono przeglądowe zdjęcie wahadłowe całego kraju. Jednocześnie zdjęcie grawimetryczne szeroko wykorzystywano do rejonizacji tektonicznej i do poszukiwań struktur, mogących zawierać kolektory ropy naftowej i gazu. Szczególnie korzystne było zastosowanie grawimetrii do poszukiwań wysadów solnych w roponośnej prowincji Emby na Ukrainie. W rejonie Emby przy pomocy zdjęcia grawimetrycznego wagą skręceń stwierdzono i rozpoznano dziesiątki wysadów solnych, z których część okazała się roponośna.

W latach 1935—1937 przystąpiono do produkcji krajowych wag skręceń. W celu wykonania szczegółowych i półszczegółowych zdjęć grawimetrycznych równoległe z wagami skręceń w latach 1939—1940 zaczęto stosować grawimetry statyczne.

W okresie Wielkiej Wojny Ojczyźnianej zakres prac grawimetrycznych nie tylko nie zmniejszył się, lecz znacznie się rozszerzył. Jednakże zdjęcia wahadłowe z powodu niskiej dokładności ustąpiły miejsca zdjęciom przy pomocy grawimetrów i wag skręceń. W tym samym czasie pracami grawimetrycznymi objęto nowe roponośne rejony nad Wołgą, w Baszkirii, Tatarskiej ASRR i w strefie przeduralskiej. Objęto nimi również obszary rudonośne Środkowej Azji, Uralu, Kazachstanu i Syberii. W wyniku tych prac odkryto wiele nowych złóż ropy naftowej, gazu, metali z grupy żelaza i metali nieżelaznych.

Pod koniec ostatniej wojny i w latach następnych zaczęto w większym stopniu stosować grawimetry zarówno zagraniczne, jak i krajowe. W okresie lat 1944—1947 opracowano i wprowadzono do użytku sprężynowe grawimetry metaliczne — GKM, w latach 1947—1950 sprężynowe astatyzowane grawimetry metaliczne — KKA i kwarcowe grawimetry nieastatyzowane — SH<sub>3</sub>, wreszcie w latach 1950—1951 opracowano nieastatyzowany grawimetr kwarcowy GK.

Szerokie zastosowanie grawimetrów statycznych pozwoliło na wielokrotne podwyższenie wydajności w pracach grawimetrycznych i na znaczne rozszerzenie kręgu zadań geologicznych, rozwiązywanych przy

pomocy tej metody. W związku z tym, już w latach 50-tych zaczęto realizację zdjęć grawimetrycznego w skali 1:200 000 i 1:100 000. W pierwszej kolejności wykonano zdjęcia obszarów roponośnych i perspektywicznych pod względem ropo- i gazonośności. Zadania o charakterze poszukiwawczym rozwiązywano przy pomocy bardziej szczegółowych zdjęć grawimetrycznych.

Rezultaty zdjęć grawimetrycznych wykorzystywano dla poznania głębokiej budowy skorupy ziemskiej, rejonizacji tektonicznej i petrograficznej obszarów geosynklinalnych i platformowych, do kartowania geologicznego obszarów zakrytych, przy poszukiwaniach struktur perspektywicznych pod względem ropo-gazonośności, przy badaniu zagłębi węglowych dla szczegółowego uchwycenia granic zagłębia i określenia miąższości serii produktywnych, przy poszukiwaniach i rozpoznawaniu złóż rud. Przy poszukiwaniach głęboko zalegających złóż rud stosowano metody grawimetrii podziemnej, co pozwoliło na zmniejszenie liczby wierceń i wyrobisk górniczych, a tym samym obniżenie kosztów rozpoznania złóż.

W tym czasie rozpoczęto również prace grawimetryczne na morzu dzięki zastosowaniu grawimetrów dennych oraz grawimetrów pokładowych. Wiele wysiłku włożono w utworzenie oporowych sieci grawimetrycznych I i II klasy. Ostatnia siedmiolatka charakteryzuje się intensywnym rozwojem prac w zakresie doskonalenia aparatury i metodyki pomiarów, co zapewnia wysoką dokładność i efektywność interpretacji uzyskanych wyników.

Zwiększenie dokładności grawimetrów i zdjęcia grawimetrycznego sprzyjało jeszcze szerszemu stosowaniu opisywanej metody przy poszukiwaniach złóż rud i struktur ropo-gazonośnych, w tym również położonych struktur o małej amplitudzie. Szczególnie dużymi osiągnięciami uwieńczone zostały poszukiwania złóż rud żelaza, chromitów, rud ołowiu i innych metali nieżelaznych oraz metali grupy żelaza.

Obecnie rozwój grawimetrii koncentruje się na opracowaniu i wprowadzeniu do użytku aparatury grawimetrycznej o wysokiej czułości i automatyzacji zarówno w procesie pomiarów polowych, jak i przy opracowaniach i interpretacji geologicznej wyników. Zastosowano automatyczne obliczenia dla określenia wpływu reliefu na obraz grawimetryczny, przy czym relief brany był wprost ze zdjęć lotniczych. Opracowano programy i metody szerokiego wykorzystania elektronowych maszyn matematycznych do wszechstronnej kompleksowej interpretacji danych uzyskiwanych z prac grawimetrycznych. Udoskonalenie aparatury grawimetrycznej i metod pomiaru siły ciężkości stały się silnym bodźcem do rozwoju teorii rozpoznania grawimetrycznego i metod interpretacji wyników.

## MAGNETYKA

Metoda magnetyczna była pierwszą spośród zastosowanych metod geofizycznych. Jej skrytalizowanie jako metody poszukiwań i rozpoznania surowców mineralnych nastąpiło w końcu XIX w. W latach 1871—1878 J. N. Smirnow wykonał zdjęcia magnetyczne europejskiej części Rosji. Zdjęcie wykazało ogromną unikalną anomalie magnetycz-

ną w centrum europejskiej części Rosji — Kurską Anomalię Magnetyczną (KMA).

Dla rozwoju magnetyki w ZSRR duże znaczenie miały prace profesora byłego Petersburskiego Instytutu Górniczego W. J. Baumana. W 1921 r. na terenie KMA zastosowano pierwszy krajowy magnetometr (typ magnetometru Dekolonga), przeznaczony specjalnie do rozwiązywania zadań geologicznych. Na dużą skalę prowadzono zdjęcia magnetyczne, opracowano ich metodykę, przeprowadzono szereg badań teoretycznych związanych z ich interpretacją.

1937 r. zapoczątkowano generalne zdjęcia magnetyczne obszaru ZSRR w celu zbadania ogólnych właściwości i rozmieszczenia na powierzchni Ziemi elementów pola magnetycznego. W rezultacie tych badań w końcu lat 30-tych znaczna część kraju pokryta była punktami obserwacji absolutnych, średnio 1 punkt na 400 km<sup>2</sup>, połączone ciągami oznaczeń względnych o odległościach między punktami  $\pm 2$  km.

W okresie Wielkiej Wojny Ojczyźnianej naziemne zdjęcia magnetyczne były dużą pomocą dla wykonania zdjęcia geologicznego, koniecznego dla poszukiwań i rozpoznawania złóż surowców strategicznych na Uralu, w Azji Środkowej i na Syberii.

W 1936 r. A. A. Łogaczew opracował metodę rejestracji ciągłej pola magnetycznego przy użyciu samolotu. Po ostatniej wojnie metoda aeromagnetyczna ukształtowała się już jako samodzielny kierunek rozpoznania magnetycznego. Na początku lat 50-tych, wraz z pojawieniem się aeromagnetometrów z sondami ferrytowymi, aeromagnetyka staje się jedną z metod wiodących wśród regionalnych badań geofizycznych. Przy pomocy zdjęcia aeromagnetycznego w skali 1:200 000 w ciągu ubiegłej siedmiolatki zbadano praktycznie cały obszar Związku Radzieckiego. Stwierdzono szereg bardzo dużych złóż rud żelaza na Uralu, w zapadlisku turgajskim, Syberii Zachodniej i Wschodniej oraz na innych obszarach. Współ z innymi metodami geofizycznymi i geologicznymi udało się doprowadzić do oceny ropo-gazonośności licznych prowincji geologicznych. Wyniki zdjęcia aeromagnetycznego wykorzystano do rejonizacji tektonicznej obszarów, kartografii geologicznej i poszukiwań różnych surowców mineralnych.

W ostatnich latach przystąpiono do zdjęcia hydromagnetycznego. Skonstruowano kilka typów morskich magnetometrów protonowych, z powodzeniem wprowadzonych następnie do produkcji. Aeromagnetometry protonowe są w ostatnich latach szeroko stosowane, pozwalają one na powiązanie względnych pomiarów aeromagnetycznych z absolutnymi wartościami pola magnetycznego. Przy pomocy tych przyrządów w latach 1962—1964 utworzono oporową sieć aeromagnetyczną ZSRR. Obecnie podstawową metodę badań stanowią zdjęcia aeromagnetyczne w skali 1:50 000 i większej. Opracowano liczne modyfikacje metody magnetycznej. Np. oprócz zwykłego zdjęcia naziemnego i aeromagnetycznego zaczęto prowadzić badania magnetycznej gradientometrii, karotażu magnetycznego, kopalnianego rozpoznania magnetycznego, badań paleomagnetycznych, badań wariacji magnetycznych — mających na celu podział anomalii na kruszcowe i bezkruszcowe. Przeprowadzono wokółłożowe pomiary własności magnetycznych skał, mające w tym przypadku charakter metody poszukiwawczej.

## GEOFIZYKA PRZEMYSŁOWA

Metody badań geofizycznych stosowane w dokumentacji otworów wiertniczych i odgrywające ważną rolę w poszukiwaniach, rozpoznaniu i eksploatacji surowców mineralnych tworzą odrębną dziedzinę geofizyki rozpoznawczej — geofizykę przemysłową (wiertniczą).

Dla rozwiązania niektórych zagadnień geologii przemysłowej badania geofizyczne po raz pierwszy zastosowane zostały przez D. W. Gołubiatnikowa w 1906—1913 r. na złożach ropy naftowej Bibi-Ejbert, a następnie Surachany (Baku). Były to badania geotermiczne w wierceniach.

We wrześniu 1929 r. zaczęto stosować przy badaniach wierceń naftowych w Groźnym a wkrótce potem i w Baku oporowy karotaż elektryczny. Począwszy od 1931 r. badania oporności rozszerzono przez stosowanie pomiarów potencjałów samoistnej polaryzacji. Obie te metody do dziś są zasadniczymi metodami przy zestawianiu przekrojów geologicznych w otworach. W latach 1931—1933 karotaż elektryczny zaczęto stosować w ZSRR w całym przemyśle naftowym. W 1934 r. wszystkie otwory wiercone dla potrzeb przemysłu naftowego badano tą właśnie metodą.

Szerokie zastosowanie karotażu elektrycznego w ZSRR stało się możliwe dzięki pracom radzieckich geologów (D. W. Żabrow, W. A. Sielski, S. N. Szańgin, W. W. Denisiewicz i in.) pod kierownictwem D. W. Gołubiatnikowa i J. M. Gubkina. Należy zaznaczyć, że w Stanach Zjednoczonych A.P. karotaż elektryczny zaczęto stosować w rok po rozpoczęciu tych prac w ZSRR.

W ciągu pierwszych pięciolatek przemysł krajowy opanował seryjną produkcję aparatury i przewodów karotażowych, wyposażenia i innych materiałów stosowanych do geofizycznych badań otworów. Wprowadzenie karotażu elektrycznego przyczyniło się do szybkiego rozwoju innych metod geofizycznych. Rozpoczęto prace zakrojone na szeroką skalę, zmierzające do skonstruowania nowych rodzajów przemysłowej aparatury geofizycznej, opracowania teorii i metodyki interpretacji uzyskiwanych wyników. Jednocześnie wprowadzano inne metody geofizyczne, nastawione na rozwiązanie szeregu zagadnień technicznych, związanych z eksploatacją wierceń.

W 1936 r. zastosowano w Groźnym (G. S. Morozow, G. N. Stroicki, K. I. Bondarenko) boczny próbnik strzałowy. Tym samym zapoczątkowano pobieranie próbek ze ścian otworów przy pomocy przyrządów opuszczanych na przewodzie karotażowym. Opracowane w Baku (S. J. Litwinow i in.) i w Groźnym (G. S. Morozow, G. N. Stroicki i in.) strzałowe perforatory z zapłonem elektrycznym, opuszczane do otworu na przewodzie karotażowym, od 1935 r. całkowicie zastąpiły niedoskonałe perforatory mechaniczne, używane dla otwierania pokładów naftowych. Grupy geofizyczne przeprowadzają również torpedowanie w otworach wiertniczych.

W czasie Wielkiej Wojny Ojczyźnianej prowadzono nadal prace produkcyjne na podstawie wyników badań geofizycznych wierconych otworów. Pomimo wyjątkowo trudnych warunków przerzucania wierceń do wschodnich obszarów kraju i niedoboru kadry, oraz pomimo trudności

ci z zaopatrzeniem, zakres przemysłowych badań geofizycznych w okresie wojny wzrósł półtorakrotnie. W tym czasie nie przerwano też prac teoretycznych, metodycznych i konstrukcji aparatury do nowych metod karotażu. Na podstawie prac Ł. M. Alpina i S. G. Komarowa opracowano i w czasie wojny wprowadzono do użytku metodę sondowania bocznego. Z jej pomocą pomyślnie rozwiązano sprawę określania oporności właściwej pokładów, wykorzystywaną do oceny kolektorów i ich własności.

Rozszerzenie kompleksu badań geofizycznych nastąpiło dzięki wprowadzeniu nowych, bardziej efektywnych metod (RK, mikrosondy i in.). Spośród metod badania otworów rozwiniętych w ciągu ostatnich lat należy wymienić karotaż geochemiczny. Jest to metoda o wyjątkowych perspektywach, w jej skład wchodzi karotaż gazowy, analiza luminescencyjna i karotaż mechaniczny. Opracowano półautomatyczne aparaty do karotażu gazowego, obecnie są one produkowane seryjnie. Przy pomocy tych aparatów wykonuje się na dużą skalę badania karotażu gazowego w otworach. Uzyskane wyniki są szczególnie cenne w badaniu przy pomocy wierceń rozpoznawczych słabo zbadanych przekrojów.

Ważnym krokiem w nowym wyposażeniu technicznym było skonstruowanie samobieżnych stacji karotażowych z półautomatycznym zapisem typu PKS. W ślad za tym rozpoczęto prace zmierzające do skonstruowania agregatów do automatycznego zapisu diagramów karotażowych.

Zasadniczy zwrot w dziedzinie doskonalenia pomiarów został dokonany przez skonstruowanie w 1950 r. we WNIIG laboratorium do automatycznego zapisu fotograficznego krzywych karotażu (typ AKS/Ł-50). Produkcja tych stacji zapoczątkowała upowszechnienie automatyzacji przemysłowych prac geofizycznych w ZSRR. W oparciu o te stacje konstruuje się szereg innych, doskonalszych automatycznych agregatów.

W ubiegłej siedmiolatce największą uwagę geofizycy radzieccy zwracali na udoskonalenie teorii metod, znalezienie sposobów interpretacji w różnorodnych warunkach geologicznych, a także na skonstruowanie aparatury do jednoczesnego pomiaru kilku parametrów, przy tym odpornej na wysokie temperatury i zdolnej do pracy w warunkach wysokich ciśnień.

Badania geofizyczne wierceń naftowych i gazowych obejmują obecnie karotaż elektryczny (metoda oporności i metoda PS), karotaż radioaktywny, pomiar średnicy, karotaż gazowy. Jako uzupełnienie karotażu elektrycznego w produktywniej części przekroju stosuje się często sondowanie boczne (BSE) i pomiary przy pomocy mikrosond.

W otworach z zatłoczoną płuczką, nasyconą roztworem solnym stosuje się trójelektrodowy karotaż boczny. Karotaż boczny ułatwia ocenę oporności skał, wydzielenie w przekroju cienkich pokładów i określenie ich granic. Diagramy mikrosond są wykorzystywane przede wszystkim do wydzielenia kolektorów i określania miąższości pokładów.

Karotaż radioaktywny stosuje się głównie w przekrojach skał węglanowych i w przekrojach o przewodze skał porowatych. Obecnie wprowadzane są nowe metody — karotaż indukcyjny i akustyczny. Znacznie ulepszona została technika i metodyka karotażu gazowego. Z reguły wykonywana jest analiza chromatograficzna pozwalająca na oznaczenie

składu badanych gazów (metan, etan, propan, butan, pentan, heksan i dalsze ciężkie węglowodory).

Wyniki karotażu wykorzystywane są do korelacji profili wierceń, uzyskiwania dokładniejszej charakterystyki litologicznej pokładów i ich głębokości, stwierdzania kolektorów, oceny ich ropo-gazonośności i uzyskiwania danych wyjściowych do obliczania zasobów ropy naftowej i gazu.

Wydzielanie kolektorów i ocena ich własności jest łatwa w przypadku silnie porowatych piaskowców i skał węglanowych. W piaskowcach ilastych, skałach szczelinowatych i w kolektorach węglanowych, wyrażonych przez skały o niskiej porowatości oraz w utworach naprzemianegłych, składających się ze skał zwięzłych z przewarstwieniami porowatych, wydzielanie kolektorów i ocena ropo-gazonośności są skomplikowane. Opracowano więc metodę wydzielania i oceny kolektorów szczelinowatych dla konkretnych przypadków. Zgodnie z tą metodą szczelinowatość określona jest przez porównanie danych karotażu elektrycznego z danymi karotażu neutron-gamma.

Obecnie na podstawie danych karotażu, oprócz miąższości kolektora, możliwe jest określenie również jego najważniejszych własności, jak ropo-gazonośność, porowatość i przepuszczalność pokładu. Ocena przepuszczalności kolektorów na podstawie karotażu jest zadaniem najtrudniejszym.

W wierceniach produkcyjnych do kontroli miejsca kontaktu gazu i wody oraz kontaktu ropy i wody w otworach zarurowanych stosuje się metody karotażu radioaktywnego w celu kontroli produkcji złoża. Określanie kontaktu woda-ropa dokonuje się według danych karotażu neutron-gamma, niekiedy w nawiązaniu do karotażu neutron-neutron.

Przy niskiej mineralizacji wód pokładowych (poniżej 50 g/l) w pokładach niejednorodnych stosuje się metodę wzbudzonej aktywności z zastosowaniem sodu. Ostatnio do tego celu wykorzystuje się również karotaż neutronowy ze źródłem wzbudzania neutronów.

Rozwiązywanie zagadnień teoretycznych karotażu i interpretacji pomiarów zostało znacznie ułatwione dzięki opracowaniu modelu siatkowego, elektrycznego integratora karotażowego.

Karotaż stosuje się szeroko przy wierceniach węglowych. Badania geofizyczne prowadzi się we wszystkich zagłębieniach węglowych ZSRR.

Metody geofizyczne stosuje się również przy badaniu wierceń prowadzonych w ramach poszukiwań rud i innych surowców mineralnych. Do kompleksu badań geofizycznych tych wierceń należą metody karotażu elektrycznego, radioaktywnego i magnetycznego. Wśród metod elektrycznych równoległe z metodą opornościową stosowane są metody kontaktów ślizgowych, potencjałów naturalnych i wzbudzonych, potencjałów elektrodowych, sondowania bocznego. Spośród metod radioaktywnych stosuje się karotaż gamma, neutron-gamma (NGK), neutronowo-termiczny (NIKT) i neutronowy nadtermiczny, metodę aktywności wzbudzonej, selektywny gęstościowy karotaż gamma-gamma i karotaż foton-neutronowy. Prócz tego mierzy się temperaturę i średnicę otworów. Stosuje się ponadto szeroko czynności związane z kontrolą stanu technicznego otworów, jak pomiary temperatury w wierceniach wraz z głębokością, pomiary krzywizny otworu, określanie miejsc przypiływu wody przy pomocy rezystiwimetru i in. Spośród tych prac szczególną uwagę

zwrócono na badania prowadzone przy pomocy izotopów promieniotwórczych w celu określania miejsc zaniku płynu, kontroli hydroperforacji podkładu i inne.

Opracowano i wyprodukowano przyrządy działające w otworach przy temperaturze do 200°C. Dalsze zadania w tej dziedzinie zmierzają do opracowania urządzeń kompleksowych i aparatury do nowych typów karotażu przy temperaturze 200—250°C oraz pojedynczych przyrządów o wytrzymałości do 350°, do badań otworów prowadzonych do głębokości 15 km. Prowadzi się prace nad skonstruowaniem przewodów odpornych na temperatury do 200—250°C przy jeszcze większej ich długości. Skonstruowano boczne próbniki strzałowe (15 i 30 ładunków na jednej sondzie) typu MSG-75 i MSG-90. Przy odpowiednim wyposażeniu próbniki te mogą działać w temperaturze do 180°C i przy ciśnieniu do 800 atmosfer. Prowadziło się też badania w celu opracowania bocznego próbniaka wierzącego. Próbnik taki, typu SG-110 o średnicy 110 mm, jest zdolny do pobierania jedną sondą 10 próbek. Znajduje się on w stadium wprowadzania do użytku. Ostatnio skonstruowano aparaturę nowego typu — próbnik pokładowy na przewodzie karotażowym.

W ostatnich latach najważniejszym sposobem otwierania pokładów jest perforacja kumulatywna. Około 70 cm wszystkich kolumn rur przestrzeliwuje się perforatorem kumulatywnym. Obecnie istnieje około dwudziestu typów i rozmiarów perforatorów kumulatywnych o różnym przeznaczeniu. Perforatory kumulatywne po specjalnym ich wyposażeniu mogą działać przy temperaturze do 180° i ciśnieniu do 800 atm. Skonstruowano i z powodzeniem zastosowano perforatory kumulatywne, dostosowane do jeszcze wyższych temperatur i ciśnień. Prowadzi się dalsze badania nad udoskonaleniem perforatorów kumulatywnych i skonstruowaniem nowych ich typów.

Stosowanie wielkiej liczby metod wykorzystujących różnorodne własności fizyczne skał i surowców mineralnych wyraźnie zwiększa zakres uzyskiwanych informacji. Dlatego też na obecnym etapie szczególnego znaczenia nabierają badania nad opracowaniem urządzeń, algorytmów i programów do automatycznego opracowywania uzyskiwanych pomiarów geofizycznych i ich interpretacji przy pomocy szybko działających elektronowych maszyn matematycznych. Z drugiej strony ścisły związek metod geofizyki przemysłowej z procesami wydobywania, a także kontrola eksploatacji złóż ropy naftowej i gazu rodzi poważne zadania w dziedzinie opracowania nowych metod badania otworów eksploatacyjnych, zabezpieczania efektywnych sposobów otwierania pokładów i kontroli stanu technicznego wierceń.

M. K. ПОЛШКОВ

#### УСПЕХИ СОВЕТСКОЙ ГЕОФИЗИКИ

##### Резюме

Автор дает краткий очерк развития геофизических исследований в СССР, концентрируясь в основном на вопросах методики исследований и конструкции аппаратуры и оборудования для проведения геофизических работ.

В развитии геофизики в СССР можно выделить шесть этапов:

- послереволюционный, по 1930 г.
- с ок. 1930 г. по начало Великой Отечественной Войны (т.е. по 1941 г.)
- период Великой Отечественной Войны (1941 по 1945 г.)
- с 1946 по 1958 г.
- с 1959 по 1965 г.
- с 1966 года по настоящее время.

Развитие геофизики определялось запросами нефтяной и рудной геологии.

Почередно скарактеризованы сейсмические (в том числе также морской сеймики), электроразведочные, гравиразведочные и магниторазведочные (в том числе аэромагнитные) методы, а также методы промысловой геофизики.

---

M. K. POLSHKHOV

#### ACHIEVEMENTS OF GEOPHYSICS IN THE SOVIET UNION

##### Summary

The author gives a short review of development of geophysical researches in the USSR, particularly taking into account the problems of research methods and of construction of instruments used in geophysical surveys.

In the history of these researches 6 periods have been distinguished:

- from 1917 to about 1930,
- from about 1930 to the World War II (1941),
- the period of the World War II (1941—1945),
- from 1946 to 1958,
- from 1959 to 1965,
- from 1965 to the present day.

The development of geophysics is due mainly to the requirements of petroleum geology and ore geology. Among others, there are discussed achievements in seismic methods (including marine seismics), in geoelectrical, gravimetical, magnetical (also aeromagnetical) methods, and in drilling geophysics.