

ANNA STYSZYŃSKA *

NIEKTÓRE ZASADY INTERPRETACJI OBRAZU RADAROWEGO

Panoramiczny radiolokator nawigacyjny (radar) wykorzystywany w nawigacji służy do określania pozycji statku względem lądu oraz innych obiektów znajdujących się na powierzchni morza. Wymagania dokładnościowe wyznaczania pozycji statku nie są duże, zwykle nie większe niż 0,1 – 0,25 Mm (185 – 463 m). Mimo tej stosunkowo małej dokładności, obraz radaru może być wykorzystywany w celach pozanawigacyjnych, przede wszystkim dla potrzeb kartograficznych i glaciologicznych, szczególnie w słabo poznanych i trudno dostępnych rejonach polarnych, zwłaszcza tam, gdzie statki dowożą ekipy obsługujące stacje badawcze, co pozwala na systematyczne powtarzanie pomiarów.

Podstawową zaletą zdjęcia radarowego jest to, że można je wykonywać bez względu na panujące warunki oświetlenia i widoczność poziomą. Obejmować może obszary, które ze względu na swoją niedostępność, wykluczają zastosowanie metod terrafotogrametrycznych, gdzie kartowanie lotnicze jest bardzo kosztowne.

Jednocześnie praca radaru i systemu nawigacji satelitarnej pozwala uzyskać materiał wystarczający do określenia położenia klifów i barier lodowych oraz brzegów skalistych w skalach 1:100 000 i mniejszych. Stosując odpowiedni zakres pracy radaru można w szczególnych przypadkach uzyskać dokładność wystarczającą do wykreślenia bezpośrednio ze zdjęcia radarowego mapy linii brzegowej w skali 1 : 50 000 (T. S t u p a k , 1984).

Obraz radarowy jest tworzony przez kolejne poziome sondowania promieniowaniem mikrofalowym powierzchni wokół anteny umieszczonej na niewielkiej wysokości (zwykle około 15 – 25 m n.p.m.). Powoduje to istotne ograniczenie dokładności obrazu radarowego i specyficzny sposób odwzorowania obiektów na ekranie. W efekcie interpretacja obrazu radarowego jest dość trudna. Wymaga rozumienia zasad dzia-

* Dr Anna Styszyńska, Wyższa Szkoła Morska, Wydział Nawigacji, Zakład Meteorologii i Oceanografii, Al. Zjednoczenia 3, 81-345 Gdynia.

łania radaru oraz prawidłowości i ograniczeń jakie wynikają z zasad tworzenia obrazu na monitorze radarowym.

DOKŁADNOŚĆ ZDJĘCIA RADAROWEGO

W pracach kartograficznych wykorzystuje się zdjęcia fotograficzne panoramicznego ekranu radarowego. Zasady fotografowania obrazu radarowego omawia T. S t u p a k (1984). Przy prawidłowo wykonanej fotografii orientacja zdjęcia i obliczenie jego skali jest stosunkowo proste. Do zorientowania zdjęcia względem północy wykorzystuje się znacznik kursu i kreskę namiarową. Aby odtworzyć skalę zdjęcia należy znać odległość rzeczywistą między jednoznacznie zidentyfikowanymi punktami. Najwygodniejsze do tego celu są stałe kręgi odległości. Określona w ten sposób skala zdjęcia ma dokładność nie większą niż połowa szerokości kreski kręgu (dokładność skalowania znaczników podaje instrukcja przyrządu).

Każde zobrazowanie radarowe obarczone jest zniekształceniami wynikającymi przede wszystkim z charakteru obrazu radarowego. Zniekształceniami tymi obciążona jest również fotografia ekranu radaru.

Na dokładność określenia położenia punktu na ekranie wpływają zniekształcenia kątowe i odległościowe związane z pomiarem kąta i odległości do celu i echa. Opisują je rozróżnialność odległościowa, rozdzielczość kątowa radaru, błąd pomiaru odległości i błąd określenia namiaru oraz błąd przypadkowy określenia współrzędnych prostokątnych obiektu punktowego. Zagadnienia te szczegółowo omawia literatura przedmiotu (Radar w nawigacji morskiej, 1970, M. T o ł o c z k o, 1979, M. Ł u c z n i k, i J. W i t k o w s k i, 1983, T. S t u p a k i R. W a w r u c h, 1985).

Zdolność rozdzielcza radaru zależy od jego charakterystyki technicznej i zakresu pracy (maleje z jego wzrostem). W zależności od typu radaru rozróżnialność odległościowa wynosi średnio około 10 m na najmniejszym zakresie, około 40 m na zakresie 6 Mm, do około 200 m na zakresie 24 Mm, a rozdzielczość kątowa od 1° do 3° (T. S t u p a k i R. W a w r u c h, 1985). Wokół jasnych ech tworzy się poświata, która dodatkowo zmniejsza rozdzielczość obrazu, powodując zmniejszenie ostrości widzenia plamki i zlewanie się ze sobą poszczególnych ech.

Gdy wykrywany obiekt nie jest punktowy, a liniowy jak na przykład linia brzegowa, to wielkość rozdzielczości kątowej zależy od kąta padania wiązki mikrofal na sondowany obiekt. Jeżeli jest on bliski 90° to każdy element brzegu ma na ekranie wymiary zwiększone o wielkość rozróżnialności kątowej i odległościowej. Jeżeli wiązka mikrofal pada pod innym kątem to linia brzegowa jest dodatkowo rozszerzona, odwrotnie proporcjonalnie do sinusa kąta zawartego między kierunkiem impulsów sondujących, a linią brzegu. Szerokość kątowa linii brzegu w stosunku do rozdzielczości kątowej radaru wzrasta o 10% przy zmniejszeniu kąta padania mikrofal do 65° , przy 30° — o 200%, przy 20° — o 300%, i przy 5° aż o 1000% (T. S t u p a k, 1984).

IDENTYFIKACJA OBRAZU RADAROWEGO

Aby za pomocą radaru mógł być wykryty jakiś obiekt musi on znajdować się w zasięgu promieniowania radarowego, a poziom odbitego sygnału musi być dosta-

tecznie wysoki. Zależy to od parametrów technicznych radaru, właściwości ośrodka propagacji (warunki atmosferyczne) i charakterystyki obiektu (właściwości odbijania mikrofal). Obraz radaru nawigacyjnego jest odmienny od obrazów lotniczych i satelitarnych i przy jego interpretacji nie można stosować takich samych metod jak przy fotografii lotniczej.

W procesie interpretacji zdjęć lotniczych podstawowymi cechami rozpoznawczymi są kształt i wymiar obiektu, fototon (określający cech powierzchni obiektu, położenie w stosunku do środka zdjęcia), struktura obrazu fotograficznego (odzwierciedlająca charakter powierzchni obiektu), tekstura obrazu fotograficznego (odzwierciedlająca przestrzenne uporządkowanie poszczególnych elementów obrazu) oraz cienie rzucone przez dany obiekt.

Na ekranie radaru i jego zdjęciu fotograficznym echo ma inny kształt i wymiary niż obiekt, od którego pochodzi. Wiele obiektów bardzo charakterystycznych dla danego rejonu podczas obserwacji wzrokowej, bardzo trudno odnaleźć na ekranie, często nie można ich zidentyfikować lub wręcz są niewidoczne. Z kolei wiele jasnych, bardzo wyraźnych ech nie można przyporządkować żadnemu obiektowi w terenie. Echa te mogą pochodzić od prawie niewidocznych nierówności terenu. Dodatkowo zmiana miejsca obserwacji (ruch statku) wywołuje szybkie zmiany na ekranie radaru.

Echo na ekranie cechuje się określoną intensywnością świecenia (energiją), rozmiarem i kształtem. Siła echa (jasność) wiąże się z zasięgiem wykrywalności. Echo silniejsze to echo od obiektu o większej skutecznej powierzchni odbicia. Zależy to jednak od typu radaru. W starszych typach radarów (polska seria TRN) o analogowej obróbce danych, w zależności od odległości obiektu od anteny, na wskaźniku panoramicznym echa obiektów cechowały się różną jasnością (im dalej od środka ekranu tym echo słabsze). W nowszych typach urządzeń (polska seria SRN) zastosowano cyfrową obróbkę danych. W rezultacie wszystkie echa, niezależnie od odległości od centrum ekranu i rodzaju obiektu mają ten sam stopień jasności. Dla celów nawigacyjnych jest to bardzo istotna dodatnia cecha radaru, ale przy wykorzystaniu tego urządzenia dla potrzeb kartograficznych staje się wadą.

Rozmiary echa zależą od wielkości obiektu. Echa od dużych obiektów lądowych są na ekranie radaru echami dużymi, choć składają się z wielu mniejszych ech cząstkowych tworzących całość odpowiadającą zarysowi całego obiektu lub jego fragmentu.

Kształt echa obiektu małego zależy od parametrów technicznych radaru. Echa od małych obiektów są do siebie podobne. Kształt echa od dużego obiektu jest podobny do zarysu czołowej strony obiektu, to znaczy tej, która jest „widoczna” dla radaru.

Skuteczna (równnoważna) powierzchnia odbicia, która decyduje o wielkości energii odbitej od obiektu, zależy od takich czynników jak:

- wymiaru obiektu (wielkość i kształt),
- material, z którego zbudowany jest obiekt (zdolność pochłaniania mikrofal),
- kąt ustawienia powierzchni odbijających obiektu w stosunku do osi charakterystyki promieniowania,
- aspekt i struktura powierzchni odbijającej,
- długość impulsów sondujących.

Na echo od dużego obiektu składa się niezliczona ilość elementarnych ech pochodzących od drobnych płaszczyzn, o różnej sile. Na małych i średnich zakresach pracy

radaru, pomimo różnej siły ech cząstkowych, zarys czołowej strony obiektu może być dobrze widoczny. Natomiast na większych zakresach pracy nie wszystkie echa cząstkowe są widoczne, ukazują się tylko te, które są najsilniejsze w danym momencie, czyli pochodzą od powierzchni mających najlepsze właściwości odbijania. Przy czym im wyższa jest czołowa strona obiektu w stosunku do leżących głębiej jego części tym mniejsza szansa na uzyskanie echa przyominającego kształt obiektu.

Powierzchnie gładkie zachowują się jak lustro. Do anteny docierają sygnały o dużej energii (echo jest silne i wyraźne) ale pod warunkiem, że powierzchnia ustawiona jest prostopadle do kierunku rozchodzenia się mikrofal. Każda zmiana aspektu powoduje lustrzane odbicie wiązki promieniowania uniemożliwiające zarejestrowanie echa na wskaźniku. Wzrost chropowatości powierzchni powoduje rozproszenie wiązki promieniowania, co zmniejsza moc sygnału odbitego od powierzchni prostopadłej (echo jest wyraźnie słabsze), ale też umożliwia zarejestrowanie echa od powierzchni ustawionych pod pewnym kątem (echo słabe, nieciągłe, często o strukturze paciorkowatej).

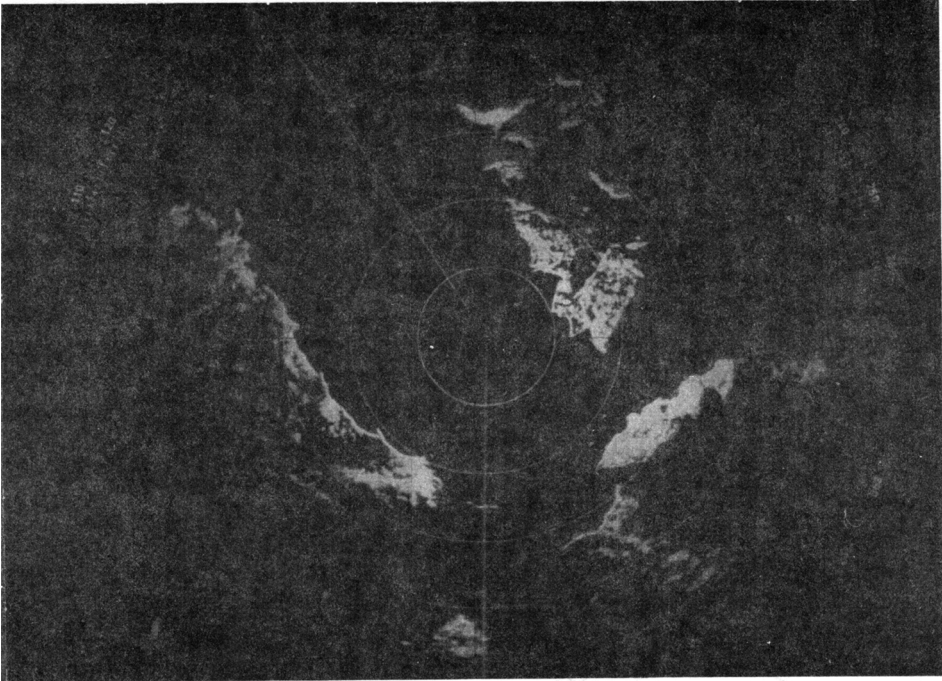
Radar zawsze pokazuje jedynie położenie powierzchni czołowych obiektów. Tak więc różne obiekty oglądane z pozycji statku mogą dawać na ekranie radaru identyczne echa (jeżeli tylko mają takie same powierzchnie odbicia), jak też takie same echa mogą pochodzić od bardzo odmiennych obiektów. Echo od jednego obiektu w zależności od charakterystyki i zakresu pracy radaru może mieć różny kształt, wielkość, jasność, „strukturę” i „teksturę” (zmiana układu rozróżniacza i zasięgowej regulacji wzmocnienia).

Każda zmiana zakresu pracy radaru pociąga za sobą zmianę zarówno skali obrazu jak i rozdzielczości kątowej i odległościowej. Echa widoczne na małym zakresie pracy radaru stają się niewidoczne na dużym. Na zakresie 3 Mm wielkość plamki na ekranie (średnica około 0,5 mm) odpowiada w terenie okręgowi o średnicy około 15 m, a więc obiekty mniejsze będą na tym obrazie niewidoczne, na zakresie 6 Mm znikają z ekranu obiekty o rozmiarach mniejszych niż 70 m. Obraz wybrzeża rejestrowany na zakresie 6 czy też 12 Mm ze względu na małą rozdzielczość kątową i odległościową stanowi jednolitą jasną linię o zaokrąglonym wyrównanym kształcie. W miarę zmniejszania zakresu dają się wyróżnić coraz to nowe szczegóły terenu. Promieniowanie mikrofalowe odbijane jest przez krawędzie szczelin i rozpadlin. Nierówności rozpraszają je w różnych kierunkach, a powierzchnie płaskie, słabo wypukłe i obniżenia terenu pozostają niewidoczne. Dlatego obraz radarowy terenu często jest inny, bardziej lub mniej urozmaicony niż w rzeczywistości. Często niepodobny do obrazu przedstawionego na mapie (ryc. 1 i 2).

INTERPRETACJA OBRAZU RADAROWEGO

Największe usługi dla potrzeb kartograficznych i glaciologicznych, morski radar nawigacyjny oddaje przy określaniu położenia klifów lodowych i linii brzegowej obszarów mało znanych lub podlegających szybkim zmianom.

Przykładową interpretację zdjęcia radarowego przeprowadzono dla fragmentu wybrzeża Zatoki Admiralicji (King George Island, Sztetlandy Południowe) obejmującego brzegi: lodowy i różnego typu skalisty. Ryc. 3, przedstawia 9-krotne powiększe-



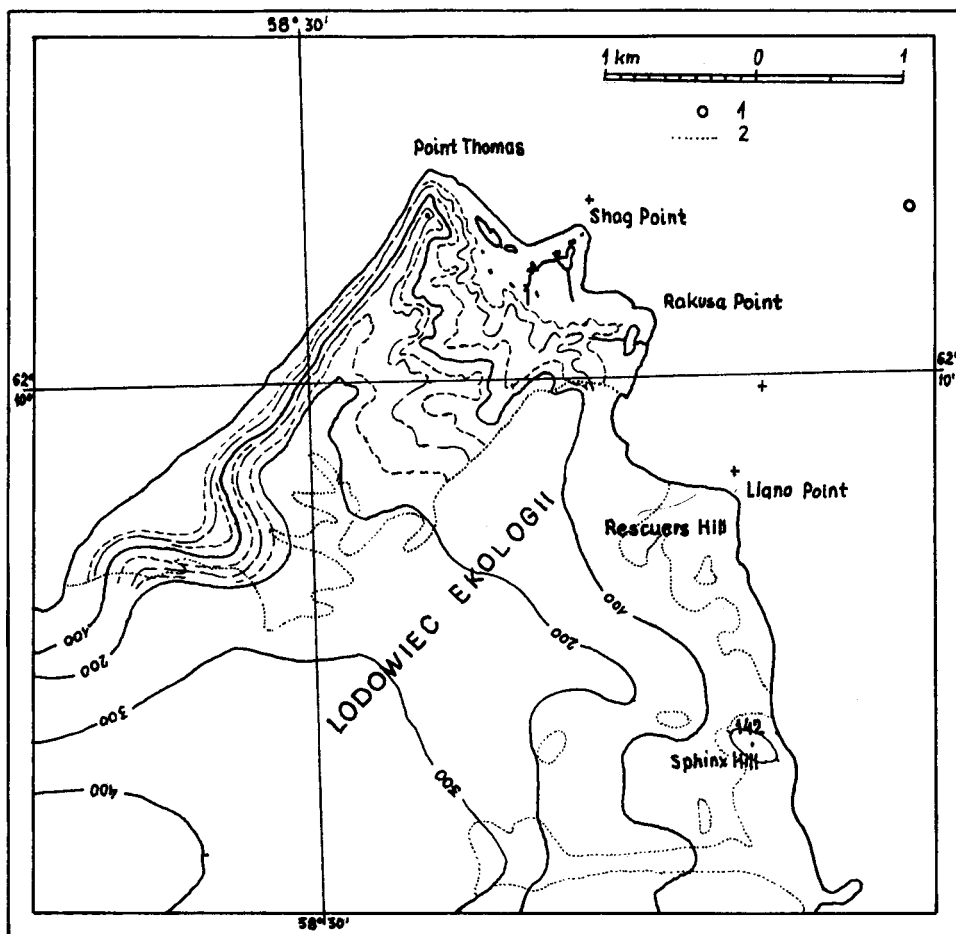
Ryc. 1. Zdjęcie radarowe Zatoki Admiralicji. King George Island - Szetlandy Południowe. Zakres 6 Mm. Pozycja statku $\varphi = 62^{\circ} 09' 04'' S$, $\lambda = 58^{\circ} 25' 04'' W$. Foto. A. Marsz. Odległość między kręgami — 1Mm

Fig. 1 Radar image of Admiralty Bay, King George - South Shetland Islands. 6 n.m. range. Ship position: $\varphi = 62^{\circ} 09' 04'' S$, $\lambda = 58^{\circ} 25' 04'' W$. Photo. A. Marsz. Distance between circles — 1 n.m.

nie fragmentu ryciny pierwszej — zdjęcia fotograficznego obrazu radarowego Zatoki Admiralicji na zakresie 6 Mm, uzyskanego za pośrednictwem radaru TRN 524.

Szczegółowej interpretacji poddano odcinek wybrzeża od Llano Point do Point Thomas (ryc. 2). Llano Point jest przylądkiem składającym się z dwóch grup wysp skalnych i rozrzuconych wokół nich licznych raf, wysepek skalnych oraz podwodnych skał. Znajdują się one względem siebie i brzegu w odległościach mniejszych od rozróżnialności odległościowej (dla TRN 524 i zakresu 6 Mm $d=45$ m), stąd na ekranie radaru nie są rejestrowane jako osobne obiekty, ale wspólnie z linią brzegową. Wszystkie razem tworzą równomierne jasne echo. Na zdjęciu radarowym obserwuje się wydłużenie linii brzegowej wskutek „utworzenia” dodatkowego „półwyspu” (ryc.3 — punkt A).

Od Llano Point do Rakusa Point ciągnie się zróżnicowany brzeg Suszczewski Cove. Częściowo skalisty brzeg terasy brzegowej przy Llano Point po około 250 m przechodzi w południową morenę Lodowca Ekologii. Brzeg moreny jest stromy, pozbawiony plaży, zbudowany z kamieni i wielkich bloków. Przed linią brzegową występuje szereg skał i bloków odsłaniających się przy niskiej wodzie. Na zapleczu brzegu występują moreny Lodowca Ekologii i wzgórze Rescuers Hill o łagodnych wypukłych zboczach. Echa od tego fragmentu brzegu są wyraźne. W rejonie tym



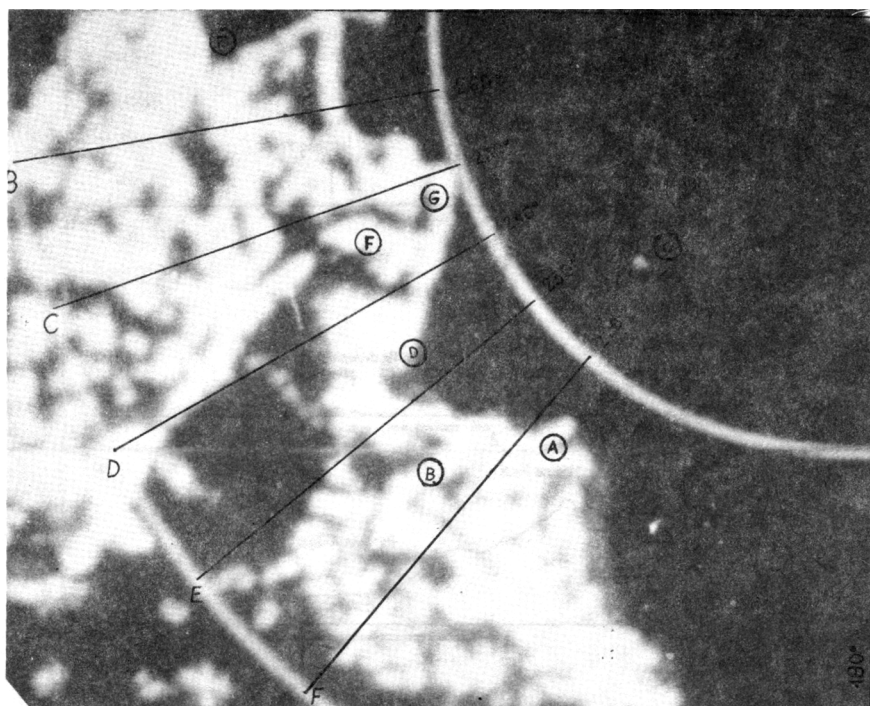
Ryc. 2. Fragment mapy Zatoki Admiralicji w skali 1:50 000 (wyd. Zakład Badań Polarnych IE PAN, 1980).

1 — pozycja statku, 2 — granica obszarów wolnych od lodu

Fig. 2. Fragment of the map of Admiralty Bay at a scale of 1:50 000 (issued by Department of Polar Research IE PAN, 1980). 1 — ship position, 2 — boundary of ice-free areas

(ryc. 4 — profil F) echo radarowe obejmuje również pas wody przed rzeczywistą linią brzegową. Spowodowane to jest z jednej strony omówionym wyżej zlewaniem się ech od skał, związanym z rozróżnialnością odległościową, a z drugiej — wzrostem szerokości kątowej linii brzegu w wyniku zmniejszania się kąta padania mikrofal do 60° — 70° (rozszerzenie echa). Między profilami E i F widoczne jest wyraźne podłużne echo (ryc. 3 — punkt B) pochodzące od północnych zboczy moreny Lodowca Ekologii.

Dalszy odcinek wybrzeża tworzy klif lodowy Lodowca Ekologii o wysokości około 40 m (ryc. 4 — profil E) dający bardzo wyraźne jasne echo. Klif ten intensywnie się cofa. Oblamują się z niego duże bloki lodowe. Dlatego przebieg linii brzegowej ulega szybkim zmianom, a w związku z tym i kształt echa radarowego. W centralnej części Suszczewski Cove na obrazie radarowym linia brzegowa tworzy jakby

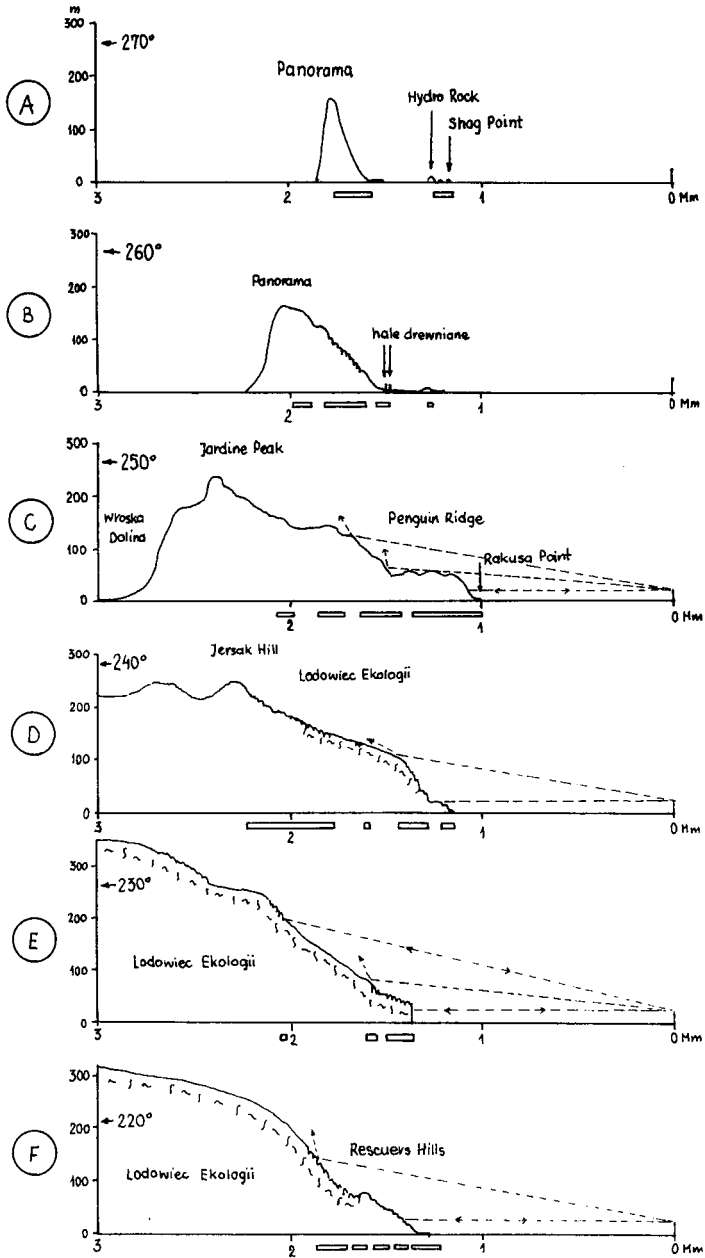


Ryc. 3. Powiększony fragment zdjęcia radarowego z ryc. 1. Skala zdjęcia 1:25 000. Objaśnienia w tekście
 Fig.3. Enlarged fragment of radar image from fig. 1. Scale 1:25 000. Description in the article

szeroki półwysep (ryc. 3 — punkt D). Utworzyły go bryły lodu oderwane od Lodowca Ekologii, które nie odplynęły z prądami pływowymi. Z kolei bardzo słabe echo występujące przed linią klifu (zwłaszcza na linii profilu E — ryc. 3) stanowi odbicie sygnału sondującego od kamienistych form akumulacyjnych o charakterze kos występujących w odległości do 200 m od klifu. Część echa pochodzi od fragmentów lodu osiadłego na kosach.

Następną część brzegu tworzy kamienista plaża ze ściętymi abrazyjnie morenami (ryc. 3 i 4 — profil D), na zapleczu przechodząca w kamienisty wał brzegowy. Występujące za wałem jezioro lagunowe, na zdjęciu radarowym pozostaje niewidoczne (ryc. 3 — punkt G). Od północy zatokę zamyka skalisty, poszarpany Przylądek Rakusy. Kąt padania mikrofal w stosunku do brzegu jest niewielki (około 40° stąd echo linii brzegowej jest szerokie i wyrównane.

W Zatoce Suszczewskiego znajduje się samotna, pionowa skała Napier o wysokości 5 m, dobrze widoczna na ekranie radarowym (ryc. 3 — punkt C). Jej lokalizacja na podstawie obrazów radarowych możliwa jest jedynie wtedy, gdy nie występują lo-



Ryc. 4. Profile hipsometryczne sondowanego radarem fragmentu wybrzeża Zatoki Admiralicji. Linie profili jak na ryc. 3. Linia przerywaną zaznaczono drogi impulsów sondujących
 Fig. 4. Height profiles of fragment of Admiralty Bay coastline sounded by radar. Lines of profiles as in fig. 3. Paths of sounding impulses are marked with dashed line

dy dryfujące. W przypadku ich wystąpienia lokalizacja skały wymaga większej liczby zdjęć (echa od lodów przemieszczają się).

Od Rakusa Point do Point Thomas brzeg jest płaski. Na zapleczu kamienistej plaży ciągnie się wał brzegowy o wysokości 2 – 4 m i głównie jego domorski stok daje echo na ekranie. Za wałem teren jest płaski, podmokły i dopiero w odległości 100–500 m pojawiają się wzgórza. Na ekranie płaski teren oazy nie daje echa. Przy Shag Point w morze wychodzi na około 200 m pasmo skał. Na zdjęcie radarowym przyładek ten wysunięty jest jeszcze bardziej w morze gdyż obraz przybrzeżnych skał i raf powoduje jego dodatkowe wydłużenie (ryc.3 — punkt H, ryc. 4 — profil A).

W pobliżu głównych zabudowań stacji obraz radarowy brzegu tworzy wgłębienie. W tym miejscu wał brzegowy rozmyty jest przez strumień, uchodzący do niewielkiego jeziora (ryc. 3 — profil E). Ten fragment brzegu nie jest wykrywany za pomocą sondowania radarowego (ryc. 4 — profil A).

Podczas obsewacji wybrzeża z większych odległości, na północ od Rakusa Point rejestrowany jest inny jego kształt. Niewidoczna pozostaje linia brzegowa i płaski teren oazy, a dopiero linia wzgórz tworzy jakby jedną głęboko wcinającą się zatokę.

Aby obiekty w głębi lądu mogły zostać zarejestrowane powinny charakteryzować się dużą skuteczną powierzchnią odbicia, a impulsy sondujące powinny padać na nie pod kątem zbliżonym do prostego. Przy istnieniu załamów, krawędzi, progów, szczelin, zerw itp. padająca wiązka promieniowania ulega rozproszeniu. Powoduje to osłabienie impulsu powracającego, aż do niemożliwości jego zarejestrowania. Z drugiej strony, tylko dzięki rozproszeniu fal w jednych punktach i ich wzmocnieniu w innych może dojść w ogóle do zarejestrowania pewnych obszarów. Przy bardzo urozmaiconej rzeźbie, o dużej liczbie wzgórz o stromych zboczach i zróżnicowanej wysokości, możliwe jest zarejestrowanie na ekranie radaru fragmentów obniżzeń, które w warunkach barku rozproszenia znajdowałyby się w strefie cienia radarowego (ryc.3 — punkt F — seria wałów morenowych i fragment północnego zbocza Doliny Ornitologów).

Na rycinie czwartej pokazano profile hipsometryczne obszaru przedstawionego na ryc.3, na liniach impulsów sondujących radaru. Pod każdym profilem zaznaczono te jego fragmenty, które na ekranie radaru dały echo. Zwraca uwagę duży obszar Lodowca Ekologii (ryc. 3 i 4 — profile D i E) nie dający echa. Lustrzane odbicia przy niewielkim kącie padania fal uniemożliwiają powrót impulsu do anteny. Podobna sytuacja ma miejsce gdy wiązka promieniowania jest równoległa do wierzchołków Penguin Ridge (profil C), moreny bocznej Lodowca Ekologii (profil D) czy Rescuers Hill (profil F).

Z przeprowadzonej interpretacji obrazu radarowego wynika, że bez znajomości mapy i obserwacji terenowych oraz znajomości zasad tworzenia się obrazu na monitorze radarowym nie jest możliwa pełna, prawidłowa analiza obrazu. Przy pomiarach odległości, nawet do dobrze zidentyfikowanych ech należy każdorazowo pamiętać o zniekształceniach ech na ekranie radaru, wynikających z charakteru samego radaru (dwustronne rozszerzenie ech o pół szerokości wiązki promieniowania i wydłużenie ech obiektów małych, spowodowane określoną długością impulsu sondującego). Stanowią one często przyczynę niepokrywania się plamki echa z zarysem obiektu według mapy.

GŁÓWNE ZASADY INTERPRETACJI RADAROWEGO OBRAZU LINII BRZEGOWEJ

Zdjęcia fotograficzne ekranu panoramicznego radiolokatora nawigacyjnego mogą stanowić dobry materiał pozwalający na rejestrację zmian w przebiegu linii brzegowej pod warunkiem prawidłowej interpretacji obrazu radarowego. Główne jej zasady można sformułować w sposób następujący.

1. Możliwość wykrycia za pomocą radaru linii brzegowej i jej odróżnienie od obiektów znajdujących się na lądzie i na morzu zależy od kształtu brzegu, budującego go materiału i jego właściwości elektrycznych oraz od długości, polaryzacji i kąta padania fali elektromagnetycznej. Od powierzchni wody odbijana jest cała padająca na nią energia, od obiektów lądowych odbija się od 1 do 5%, natomiast od lodu od 30 do 50% padającego nań promieniowania elektromagnetycznego, w zależności od rodzaju, wieku i stopnia zerodowania lodu.

2. Wszelkie przerwy widoczne w obrazie linii brzegowej wcale nie muszą być pochodzenia naturalnego, a mogą być spowodowane występowaniem cieni radarowych w miejscu obniżen osłoniętych przez wzniesienia znajdujące się na linii impulsu sondującego.

3. Duża jasność silnych ech od obiektów blisko położonych maskuje szczegóły ich budowy (zmniejszenie ostrości echa), z kolei zmniejszenie jasności obrazu spowodować może zgubienie słabych ech, które będą albo słabo widoczne, albo całkowicie znikną z ekranu (na radarach o analogowej obróbce danych).

4. W normalnych warunkach radar powinien wykryć płaski brzeg piaszczysty z odległości 3–6 Mm, a wysokie skaliste brzegi z 10–24 Mm. Aby linia brzegowa została możliwie wiernie zarejestrowana na obrazie radarowym powinna być obserwowana na możliwie najmniejszym zakresie i impuls sondujący powinien padać na nią pod kątem zbliżonym do prostego. Jeżeli kąt padania jest niewielki, to na skutek ograniczonej rozdzielczości kątowej anteny, linia brzegowa zostaje rozciągnięta w stronę morza, a nawet niewielkie deniwelacje terenu powodują powstanie głębokich cieni radiolokacyjnych.

5. Obraz wysokiego brzegu przechodzącego w płaską wierzchołną rejestrowany jest jako ostra cienka linia. Łagodnie opadający stok widoczny jest w postaci szerokiego, jednorodnego rozjaśnienia ekranu. Urwiste stoki pocięte uskokiemi odwzorowują się jako plastyczny układ wielu drobnych, różnorodnych na ogół liniowych ech, często o strukturze pasmowej.

6. Grzbiety i wierzchołki wyróżniają się powstawaniem za nimi cieni radarowych. Płaskie wierzchołki łagodnych wzgórz, podobnie jak łagodnie i równomiernie wznoszące się stoki są bardzo trudne do identyfikacji, ponieważ charakteryzują się małą skuteczną powierzchnią odbicia. Odbicia energii mikrofalowej występują od mało charakterystycznych nierówności, przy małych kątach padania większość impulsów ulega rozproszeniu i nie wraca do anteny. Tak więc, szczyty płaskich wzgórz, na wskaźniku radarowym często w ogóle nie są wykrywane, pomimo że podczas obserwacji wzrokowej mogą być bardzo charakterystyczne i łatwe do identyfikacji. Na obrazie radarowym jednoznacznie można określić jedynie położenie wzniesień o stromych ścianach znajdujących się na płaskim terenie.

7. Na radarowy obraz kopuły lodowej składa się wiele ech pochodzących od szczelin i zerw lodowych, których nie można przyporządkować żadnym konkretnym punktom w terenie.

8. Echa wewnątrz ładu różnią się kształtem, kierunkiem, położeniem, wielkością, jasnością itp. To samo wzniesienie obserwowane z różnych punktów, niekiedy leżących blisko siebie daje inne echo. Każdorazowo rejestrowane są zupełnie inne partie wzgórz. Widoczne są różne krawędzie o różnym kącie i kierunku nachylenia.

9. Niski, płaski brzeg wykrywany jest z niewielkich odległości (1–4 Mm). Często za linię brzegową mogą być brane echa pochodzące od fal morskich załamujących się na płyciźnie lub podwodnych skałach. Charakteryzują się one wyższym poziomem sygnału mikrofalowego niż echa od płaskiego brzegu.

10. Obraz płaskiego brzegu i przebieg jego linii brzegowej zależy również od chwilowego poziomu wód. Odsłaniające się, przy niskich stanach wody, mielizny mogą powodować nawet dość znaczne „migracje” linii brzegowej w kierunku morza i pozorne zwiększenie wcięcia zatok.

11. Za linię brzegową mogą zostać uznane echa pochodzące od pasm wzgórz, wydmy czy też wyższych wałów brzegowych położonych na zapleczu plaży. W rezultacie obraz linii brzegowej, płaskiego brzegu jest nieciągły. Występuje tu szereg mniejszych i większych przerw, zwłaszcza na większych zakresach pracy radaru.

12. Jeżeli na przedpołu urwistego, wysokiego brzegu, znajduje się szeroka plaża lub zalega pole lodowe, to granicę urwiska można wyznaczyć na podstawie obrazu zarejestrowanego z większej odległości lub obrazu o osłabionej jasności (regulacja wzmocnienia).

13. W przypadku, gdy odstęp między kolejnymi wałami brzegowymi są mniejsze niż rozróżnialność odległościowa radaru na danym zakresie pracy, ich echa zlewają się z sobą. W rezultacie otrzymuje się obraz zbliżony do tego jaki daje równomiernie wznoszący się teren.

14. Mniejsze wysepki, skały i wynurzone kamienie, jeżeli znajdują się bliżej brzegu niż wynosi rozdzielczość odległościowa radaru na danym zakresie, rejestrowane są nie jako oddzielne obiekty, lecz wspólnie z linią brzegową, powodując urozmaicenie i wydłużenie linii brzegowej, tworząc dodatkowe występy i półwyspy. Niskie, niewielkie skały i zanurzone kamienie mogą być niewidoczne na monitorze, ale załamujące się na nich fale mogą tworzyć bardzo podobny obraz. Na ekranie radaru tworzy się wtedy bardzo „poszarpany” obraz linii brzegowej. Bezbłędna interpretacja takiego obrazu możliwa jest tylko przy współudziale skośnych zdjęć lotniczych lub bardzo dokładnej mapy. Z kolei skały leżące dalej od brzegu, jeżeli występują na tle wysokiego brzegu, czy też bariery lodowej, lub stają się niskie przy wysokich poziomach wody mogą pozostać dla radaru niewidoczne, lub też sygnał odbity od nich jest zbyt słaby, aby został zarejestrowany.

15. Obraz linii brzegowej na ekranie radaru jest uzależniony od kąta jaki tworzą kierunek fali, z linią brzegu. Przy niewielkich wartościach tego kąta, ze względu na rozdzielczość kątową anteny, występują na zdjęciach rozciągnięcie linii brzegowej i maskowanie szczegółów. W przypadku wysokich brzegów lub dużych wysokości otoczenia, boczna obserwacja wywołuje powstawanie cieni radiolokacyjnych, a przez to znaczne zniekształcenie kształtu i wymiarów zatok.

16. Z radarową rejestracją brzegów lodowych związane są podobne problemy jak z brzegami skalnymi. Pionowe ściany barier lodowych i klifów lodowych o stopie stałe zanurzonej dobrze odbijają mikrofałę, echo radarowe jest bardzo wyraźne, zwłaszcza na małych zakresach pracy radaru (1,5 - 6 Mm). W przypadku klifów lodowych o stopie okresowo zanurzonej, echa od wynurzonej u stóp klifu plaży lub łamiących się nad nią fal zlewają się z echem od klifu, nie pozwalając na precyzyjne rozróżnienie plaży i klifu. W rezultacie otrzymuje się pewien „średni” pomiar położenia strefy brzegu. Jedynie w przypadku gdy plaża u stóp klifu jest szersza od rozdzielności odległościowej radaru interpretacja takiego zdjęcia nie stanowi problemu (A. Marsz, 1987). Jeżeli brzegi lodowe obserwowane są z większych odległości (więcej niż kilka mil), to na radarze rejestrowane są krawędzie urwiska lodowego, zwłaszcza przy dużym uszczelinieniu lodowca.

ZNIEKSZTAŁCENIA RADAROWEGO OBRAZU LINII BRZEGOWEJ WYWOŁANE RÓŻNYMI WARUNKAMI METEOROLOGICZNYMI I OCEANOLOGICZNYMI

Najważniejszymi czynnikami, które ograniczają jakość i utrudniają interpretację radarowych obrazów linii brzegowej jest falowanie i występowanie pływającego lodu zarówno morskiego jak i lądowego pochodzenia. O wiele mniej istotnym są opady atmosferyczne i mgły.

Powstające pod wpływem silnego wiatru strome fale o małej długości bardzo dobrze odbijają fale elektromagnetyczne, zwłaszcza na linii grzbietów i stokach zawietrznych. Wywołuje to stałe rozjaśnienie ekranu radarowego głównie w pobliżu centrum, a w konsekwencji zmniejszenie ostrości obrazu i maskowanie obiektów. Przy dużym poziomie echa od fal niemożliwe staje się wykrycie jakichkolwiek innych sygnałów w obszarze ich występowania, zwłaszcza echa od przybrzeżnych skał wskutek zlewania się echa fal i linii brzegowej, identyfikacja tej ostatniej jest bardzo utrudniona, a często praktycznie niemożliwa. Dodatkowo utrudnienie sprawia „rozmycie” obrazu radarowego na zdjęciu wskutek szarpnięć tubusa przy ruchu statku na fali.

Przy dużym falowaniu najsilniejsze echa mogą być związane ze strefą przyboju, która w zależności od profilu brzegu może być położona w znacznym oddaleniu od rzeczywistej linii brzegowej.

Należy także pamiętać, że obraz radaru zawsze odniesiony jest do chwilowego poziomu morza i nie ma możliwości sprowadzenia go do poziomu przedstawionego na mapie. Stąd też podczas odpływu, radarowa linia brzegowa może być przesunięta w stronę morza lub płaski brzeg pozostanie niewidoczny, a zarejestrowane zostaną echa od fali przyboju lub wyżej położonego wału brzegowego czy też pasma wydmy.

Występowanie przybrzeżnych lodów pływających silnie komplikuje analizę kształtu linii brzegowej. Zwarte pola lodowe przyciśnięte do brzegu całkowicie maskują linię brzegu i wtedy jako linia brzegowa rejestrowana jest granica przybrzeżnego pola lodowego.

Echa pojedynczych growlerów lub odłamków gór lodowych wyglądają tak samo jak echa od pojedynczych skał lub kamieni. Jeżeli znajdują się one bliżej brzegu niż

wynosi rozdzielczość radaru na danym zakresie obserwacji, to ich obecność powoduje urozmaicenie linii brzegowej przez dodatkowe ostre występy i półwyspy, które dają się stosunkowo łatwo wykryć na tle łagodnych łuków brzegu. Nie stanowi to większego problemu zwłaszcza w dzień, przy dobrej widoczności. Przy zdjęciach wykonywanych w nocy lub przy obniżonej widzialności (zwłaszcza jeśli są to osiadłe na dnie odłamki gór lodowych) interpretacja takiego obrazu może być bardzo trudna lub wręcz błędna.

W przypadku lodów dryfujących o dużym stopniu skupienia, na dużych zakresach pracy radaru, krawędź pola lodowego jest bardzo podobna do echa linii brzegowej. Płaski brzeg na takich zakresach pracy radaru, rejestrowany jest fragmentarycznie, tak samo jak lód. Jeżeli stopień skupienia lodów jest niewielki, to na małym zakresie pracy radaru echa od języków lodu widoczne są jako mozaikowe linie układające się, co prawda regularnie, ale swym wyglądem zasadniczo różniące się od ech linii brzegu.

Inne zakłócenia powodują echa gór lodowych. Góry lodowe mają różne kształty i wymiary, a co za tym idzie różnie wyglądają na ekranie radarowym. Najwyraźniejsze, najjaśniejsze echa dają duże, stołowe góry lodowe o prostopadłych ścianach i płaskich wierzchołkach, najłabsze - kopulaste góry lodowe i góry silnie zaśnieżone. Echa od gór lodowych wyglądają zwykle podobnie jak echa wysp i z nimi mogą być mylone. Prawdliwość identyfikacji można sprawdzić jedynie poprzez porównanie zdjęcia radarowego z mapą.

Zakłócenia wywołane opadami atmosferycznymi, głównie deszczu o dużym natężeniu, co w strefach polarnych zdarza się rzadko, powodują z jednej strony tłumienie mikrofal, z drugiej echa od opadów, jeżeli układają się wzdłuż brzegu, mogą pozorować występowanie dużej ilości przybrzeżnych skał.

Wymienione najważniejsze zasady interpretacji zdjęć ekranu radarowego i ograniczenia dokładności obrazu radarowego sprawiają, że metoda zdjęć radarowych nie może wyeliminować badań terenowych przy badaniu zmian linii brzegowych. Jednak umiejętne wykorzystanie zdjęć obrazu radarowego jest bardzo efektywne i oszczędne.

LITERATURA

- Łuczniak M., Witkowski J., 1983: *Morskie radary nawigacyjne*. Wydawnictwo Morskie, Gdańsk.
- Marsz A., 1987: *Brzegi lodowe*. Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Ossolineum, Warszawa - Kraków - Wrocław - Gdańsk.
- Radar w nawigacji morskiej*, 1970: Wydawnictwo Morskie, Gdańsk.
- Stupak T., 1984: *Analiza właściwości kartograficznych panoramicznych zdjęć radarowych oraz ocena ich przydatności do sporządzania map morskich*. Maszynopis rozprawy doktorskiej, Instytut Geodezji i Kartografii, Warszawa.
- Stupak T., Wawruch R., 1985: *Określanie współrzędnych geograficznych obiektów za pomocą radaru nawigacyjnego*. Zeszyty Naukowe, nr 14, Wyższa Szkoła Morska, Gdynia.
- Tołoczko M., 1979: *Zarys morskiej radiolokacji*. Wyższa Szkoła Morska, Gdynia.

ANNA STYSZYŃSKA

SOME PRINCIPLES OF INTERPRETATION OF RADAR IMAGE

Summary

Application of navigational radar images for mapping polar regions, which are not precisely mapped yet, and for studying their glaciology was presented in the article.

Simultaneous use of radar and system of satellite navigation allows to acquire data, enabling location of cliffs, ice barriers and rocky coastlines and preparation of maps at scales 1:100 000 or smaller. Studies were carried out on the fragments of coastline of Admiralty Bay, King George - South Shetland Islands.

This type of radar image is formed as a result of horizontal sounding surface around antenna, which is placed at height 15 - 20 m, with the use of microwave radiation. Location of antenna causes serious limitations in accuracy of radar image and specific way of imaging objects on the screen. Hence, interpretation of radar image is quite difficult, so it is necessary to know principles of radar work and rules of forming radar image.

The most important principles of interpretation of radar image, as well as limitations of its accuracy were described in the article. Proper application of navigational radar images for coastline mapping is effective and economical.