

TELEDETEKCJA GEOLOGICZNA W POLSCE I NA ŚWIECIE

UKD 550.814:629.195].004.17:551+624.131''7''(091)(.../1984)(100+438)

Możliwość oderwania się od Ziemi umożliwiła geologom spojrzeć z innego punktu widzenia na jej powierzchnię. W pierwszym okresie zdalnego obserwowania Ziemi z większej odległości powstała i rozwinęła się interpretacja zdjęć lotniczych w takim zakresie, że obecnie jest to jedna z powszechnie uznanych metod badań geologicznych – w tym poszukiwawczo-geologicznych, hydrogeologicznych i inżyniersko-geologicznych.

Wykonywanie zdjęć i obserwacji powierzchni Ziemi z satelitów, a więc ze znacznie większych odległości niż z samolotów, dało początek metodzie geologicznej interpretacji zdjęć satelitarnych. W tym też sensie rozumie się w przedstawionym artykule termin: teledetekcja geologiczna.

„Każda nowa metoda w praktycznym zastosowaniu przechodzi trzy stadia – w pierwszym, nacechowanym spontanicznym rozwojem, są znamienne zbyt wygórowane, a mało uzasadnione oczekiwania. Drugie stadium jest konsekwencją pierwszego i przynosi rozczarowanie. W trzecim dopiero, gdy stoją do dyspozycji pierwsze doświadczenia i zebrany materiał, można przystąpić do racjonalnego stosowania tej nowej metody” (5). Jeśli chodzi o realia polskie, można twierdzić obecnie, że mimo pewnych przeciwności zaczyna się w Polsce wchodzić już w trzeci etap rozwoju geologicznej teledetekcji satelitarnej. Nie zmienia tego faktu spotykane jeszcze głosy upartych sceptyków. Sceptycyzm ten wypływa najczęściej z braku dostatecznej znajomości istoty problemu. Profesor Markowicz z Belgradu powiedział na jednym z posiedzeń specjalistów RWPG, że „zjawisk, form i procesów, jakie geolog obserwuje pod mikroskopem optycznym nie zobaczy okiem nieuzbrojonym w terenie. Niechaj nie szuka więc faktów widzianych gołym okiem w terenie na zdjęciach satelitarnych”. W obu rodzajach dokonywanych obserwacji inny bowiem jest rząd wielkości, inne fakty i skojarzenia, inna metodologia badań i interpretacji.

W terenie geolog widzi kompleksy skalne, typy litologiczne, a więc ma przed oczyma uogólniony obraz tych szczegółów, które może obserwować tylko pod mikroskopem. I analogicznie – zdjęcie satelitarne w stosunku do

bezpośrednich obserwacji w terenie stanowi ich uogólnienie w formie syntezy – krajobrazu i, z dużym – znacznie większym, niż się spodziewano – ujawnieniem się wpływu głębokich struktur geologicznych na powierzchnię Ziemi. Ilustracją tego jest podany w tab. I szereg wymiarowy w badaniach geologicznych, uwzględniający różne wielkości spostrzeganych obiektów w zależności od sposobu obserwacji.

Drugim czynnikiem, będącym często źródłem nieporozumień, jest trudność rozdzielenia informacji tektonicznych, odzwierciedlających się w jednej płaszczyźnie powierzchni Ziemi, a pochodzących z kompleksów skalnych, występujących na różnych głębokościach, do powierzchni Moho włącznie; na to zjawisko zwrócił uwagę J. Sokołowski (9). Wspólne badania Instytutu Geologicznego i Przedsiębiorstwa Badań Geofizycznych wskazują obecnie na możliwość wykorzystania poszczególnych transformacji wyników pomiarów grawimetrycznych i areomagnetycznych w głębokościowym rozdzieleniu poszczególnych fotolineamentów. Z obszaru Polski znane są liczne przykłady odzorowania się głębokich linii strukturalnych na zdjęciach satelitarnych nawet przez bardzo grubą powłokę utworów klastycznych czwartorzędu i trzeciorzędowego, chociaż istota tego zjawiska nie została we wszystkich szczegółach wyjaśniona. Wiele wątpliwości budzi też kreślona przez niektórych geologów sieć regmatyczna. Powszechnie zgodne jest jednak przypuszczenie, że zdjęcia satelitarne i wykonanie pomiarów z przestrzeni pozaziemskiej zezwolą na pomyślnie rozwiązanie wielu problemów tektoniki globalnej.

Rozwój badań geologicznych z zastosowaniem zdjęć satelitarnych w stosunku do innych metod był niezwykle szybki i cechowały go następujące etapy:

- pierwsza fotografia satelitarna – 1959 – Explorer 6;
- fotografie kolorowe z przestrzeni pozaziemskiej – 1965 – Gemini III – V;
- fotografie wielospektralne z przestrzeni pozaziemskiej – 1969 – Apollo IX;
- wielospektralny system fotograficzny – 1971 – Salut;
- automatyczny wielospektralny system skanerowy – 1972 – Landsat 1;

- Thematic Mapper - 1982 - Landsat 4;
- system obrazowania radarowego z satelity (SIR-A i SIR-B) 1983-1984.

W tym roku Francja projektuje umieszczenie na orbicie pierwszego satelity serii SPOT o zdolności rozdzielczej 10-20 m, powtarzalności zdjęć - w tym stereoskopowych. W najbliższych latach St. Zj. przewidują wystżelenie wielu satelitów - w tym Popsata - w celu obserwacji dryftu kontynentów i prognozy trzęsień Ziemi, a Japonia, Kanada, Indie, Brazylia i kraje zachodniej Europy planują umieszczenie własnych satelitów do obserwacji naturalnych zasobów.

Już w 1974 r., a więc zaledwie w dwa lata po wystrzeleniu automatycznego satelity Ziemi, Landsata 1, przeznaczonemu do rejestracji naturalnych zasobów, na pierwszej konferencji międzynarodowej „New Basement Tectonics” w Salt Lake City w St. Zj. wygłoszono około 30 referatów, w których podkreślono związek fotolineamentów z tektoniką podłoża.

W Polsce w ciągu zaledwie kilku lat udoskonalono metody wizualnej i analogowej analizy zdjęć satelitarnych i opracowano wiele sposobów cyfrowego przetwarzania i analizy tych zdjęć wraz z metodami klasyfikacji i wypuklenia danych. Zdjęcia satelitarne pozwalają nie tylko na bardzo szybką i taną interpretację geologicznych zjawisk statycznych, ale także na ujawnianie ich zmian zachodzących w ciągu tygodni i miesięcy. Istnieją przykłady określania perspektywicznych obszarów występowania złóż z dokładnością odpowiadającą naziemnemu zdjęciu geochemicznemu. Zdjęcie satelitarne staje się obecnie w wielu krajach podstawowym narzędziem pracy każdego geologa, stosującego współczesne metody rozwiązywania aktualnych problemów geologicznych zarówno w ujęciu globalnym, jak i regionalnym.

Rozpoczęte w Instytucie Geologicznym i na Wydziale Geologii Uniwersytetu Warszawskiego próby wprowadzenia teledetekcji geologicznej w Polsce nie zyskały jednoznacznego uznania wśród polskich geologów. W zależności od stosunku do teledetekcji geologicznej geolodzy podzielili się na cztery grupy:

1 - traktując teledetekcję geologiczną jako tworzenie dość dowolnych, pozbawionych niezbędnego naukowego obiektywizmu, często nawet zupełnie przypadkowych, konstrukcji graficznych;

2 - uznający ją jako metodę o bardzo ograniczonych zastosowaniach, którą można używać z pożytkiem tylko

Tabela I
ŚREDNIE WARTOŚCI ZDOLNOŚCI ROZDZIELCZYCH STOSOWANE W RÓŻNYCH RODZAJACH BADAŃ GEOLOGICZNYCH

Rodzaj badania geologicznego	Średnia zdolność rozdzielcza danego rodzaju badań	
	w m	w innych jednostkach SI
elektronomikroskopowe	$1 \cdot 10^{-9}$	1 nm
mikroskopowe za pomocą mikroskopu optycznego	$1 \cdot 10^{-6}$	1 μ m
makroskopowe okiem nieuzbrojonym	$1 \cdot 10^{-2}$	1 mm
aerogeologiczne za pomocą zdjęć lotniczych	$1 \cdot 10^{-1}$	1 dam
satelitarne za pomocą zdjęć satelitarnych	$1 \cdot 10^2$	1 hm

w wstępnych fazach poznania geologicznego w małych skalach dużych obszarów z dobrze odsłoniętymi skałami podłoża skalnego, a więc w Polsce przy miększej pokrywie utworów czwartorzędowych, przykrywających już rozpoznane struktury podłoża jakoby praktycznie zupełnie nieprzydatną;

3 - oceniający teledetekcję geologiczną jako jedną z pożytecznych metod badań geologicznych we wstępnych fazach ogólnego rozpoznania geologicznego dużych obszarów w małych skalach, bez względu na mięszość pokrywy czwartorzędowej, a więc w Polsce przydatną, ale tylko do teoretycznych uogólnień w skali wielkoregionalnej i światowej;

4 - wysoko oceniający przydatność teledetekcji nie tylko w sferze ogólnych rozważań teoretyczno-poznawczych na temat dużych obszarów w małych skalach, lecz także do rozpoznawania i okonturowywania w większych skalach stosunkowo niewielkich, często dotychczas nie znanych struktur podłoża, a także w określonych wypadkach do nakierowywania lokalizacji terenów do poszukiwań niektórych złóż kopalin użytecznych, a nawet do wstępnych wskazań lokalizacyjnych terenów dla większych, poważniejszych obiektów budowlanych, górniczych, ujęć wód podziemnych.

Podział ten jest zmienny. W wyniku przekonywających dowodów przedstawionych przez grupę polskich

Tabela II
ZESTAWIENIE REFERATÓW ZGŁOSZONYCH DO SEKCJI 18 - TELEDETEKCJI 27 SESJI MIĘDZYNARODOWEGO KONGRESU GEOLOGICZNEGO W MOSKWIE W 1984 R. (WG KRAJÓW I GŁÓWNEJ PROBLEMATYKI)

Liczba referatów	Kraj	Ujęcie problemu		Problemy poszukiwawczo-złożowe			Tektonika	Neotektonika i geodynamika
		ogólne (globowe)	regionalne	ropa i gaz	rudy	fazem. z innymi kopalniami		
32	ZSRR	12	20	7	11	20	32	10
10	Francja	5	5	1	1	3	5	2
8	Indie	2	6	-	2	3	5	2
2	Bulgaria	1	1	-	1	1	1	1
2	Chiny	-	2	-	1	1	1	1
2	Finlandia	-	2	-	1	2	1	1
2	Jugosławia	-	2	1	-	1	1	1
2	Kanada	2	-	1	-	-	1	-
2	Kuba	-	2	-	2	1	1	-
2	St. Zj.	2	-	1	2	2	2	-
1	Brazylia	-	1	-	-	-	1	-
1	NRD	1	-	-	-	-	1	-
1	Italia	-	1	-	-	-	1	1
1	Nepal	-	1	-	-	-	1	-
1	Nigeria	-	1	-	-	-	1	-
1	Szwecja	-	1	-	1	-	1	-
1	Węgry	-	1	-	-	-	1	-
1	Wietnam	-	1	-	-	-	1	-
1	Egipt + St. Zj.	-	1	-	-	1	-	1
1	Italia + St. Zj.	-	1	-	-	-	1	1
1	Marokko + Francja	-	1	-	1	-	1	-
1	Meksyk + ZSRR	-	1	-	-	-	1	-
1	Nigeria + Kanada	-	1	-	1	1	1	-
77	Razem	25	52	11	24	36	62	21

geologów zajmujących się teledetekcją (2–9, 13–21, 25, 26, 33), daje się zauważyć stopniowe zmniejszenie liczebności grupy pierwszej i drugiej oraz wyraźny wzrost grupy trzeciej i dość powolny wzrost grupy czwartej. Tak więc teledetekcja geologiczna wykazuje w Polsce stopniowo coraz wyraźniej swoją przydatność w badaniach regionalno-geologicznych, poszukiwawczo- i rozpoznawczo-geologicznych, a także hydrogeologicznych i inżyniersko-geologicznych.

Aby ułatwić przebieg dalszej dyskusji na temat roli teledetekcji geologicznej w Polsce i ułatwić wyciągnięcie prawidłowych wniosków z tej dyskusji, wydaje się celowe przedstawienie – choćby w krótkim zarysie – pozycji teledetekcji geologicznej w nauce światowej. W tym celu należy zauważyć, że oprócz bogatej (liczącej już tysiące pozycji) – aczkolwiek dość rozproszonej literatury (11, 12, 22–24, 27, 29–31, 34–36) bardzo dobrym, chociaż z pewnością nie pełnym, obrazem pozycji teledetekcji w światowej nauce i technice geologicznej są prace 27 Sesji Międzynarodowego Kongresu Geologicznego (1, 10, 28, 32).

Problematyka teledetekcji była na 27 Sesji Międzynarodowego Kongresu Geologicznego bardzo wyraźnie wysunięta na plan pierwszy. Już w czasie otwierającego sesję posiedzenia plenarnego przekazane uczestnikom kongresu pozdrowienia kosmonautów radzieckich z pokładu statku kosmicznego zwróciły uwagę wszystkich obecnych na problematykę teledetekcji. Była ona prezentowana nie tylko w opublikowanych abstraktach i wygłoszonych referatach osiemnastej sekcji kongresu, nazwanej po angielsku „Remote Sensing”, a po rosyjsku „Distancjonnoje zondowanie” (tab. II), lecz także w referatach międzysekcyjnego seminarium – S. 17.2; Zastosowanie metod lotniczych i satelitarnych w kartowaniu inżyniersko-geologicznym i hydrogeologicznym (tab. III). O zastosowaniach teledetekcji w rozwiązywaniu problemów poszukiwania i rozpoznawania różnorodnych złóż (zwłaszcza węglowodorów), jak też w rozwiązywaniu podstawowych problemów tektoniki globalnej wspomniano niejednokrotnie w wielu referatach i wystąpieniach w innych sekcjach, seminariach, sympozjach i kolokwiach.

Przedstawione w tab. II i III dane mogą być traktowane tylko jako bardzo ogólny obraz pozycji teledetekcji geologicznej w świecie. Obraz ten jest zniekształcony przez pozanaukowe czynniki, w wyniku których zajmujący się teledetekcją geologowie z niektórych krajów albo w ogóle nie nadesłali swoich referatów (np. z W. Brytanii), albo też nadesłali w liczbie, nie odpowiadającej rzeczywistości

poziomowi zastosowań teledetekcji w skali regionalnej i światowej (jak np. St. Zj).

Z tabel II i III wynika, że w zakresie zastosowań teledetekcji w badaniach geologicznych największą liczbę referatów przedstawili geologowie radzieccy. Ich udział (wyrażający się prezentacją $32 + 5 = 37$ referatów) stanowi 45% wszystkich referatów, dotyczących bezpośrednio teledetekcji. Na 27 Sesji Kongresu Geologicznego znaczny był udział geologów francuskich, zajmujących się teledetekcją geologiczną (10 referatów, 12,2% wszystkich referatów) oraz geologów indyjskich (8 referatów 9,8% wszystkich referatów dotyczących teledetekcji).

W sumie przedstawione na 27 Sesji Międzynarodowego Kongresu Geologicznego referaty o tematyce teledetekcyjnej pochodzą z 25 krajów. Wśród nich prezentowany był z Polski tylko 1 referat (R. Poźniak: Zastosowanie teledetekcji w badaniach hydrogeologicznych w dolinach rzecznych). Każdy geolog, znający polskie prace z zakresu teledetekcji, z przykrością stwierdza, że na 27 sesji kongresu nie referowano interesujących, znaczących prac innych polskich autorów, a zwłaszcza prac Zakładu Fotogeologii Instytutu Geologicznego.

W zestawieniu z innymi referatami, dotyczącymi teledetekcji, można stwierdzić, że polskie prace prezentują normalny, światowy poziom w tym zakresie oraz że przedstawienie ich i przedyskutowanie na światowym forum geologów wzmocniłoby pozycję naszego kraju jako eksportera nowoczesnej myśli i techniki geologicznej.

Poszczególne kolumny w tab. II i III pozwalają zorientować się w problemach podejmowanych w referatach 18 sekcji (teledetekcja) i międzysekcyjnego sympozjum 17.2.1 (Zastosowanie metod lotniczych i satelitarnych w kartowaniu inżyniersko-geologicznym i hydrogeologicznym). Przedstawiona na kongresie liczba referatów, ujmujących problemy w skali regionalnej, jest ponad dwa razy większa niż liczba referatów, poruszających ogólne problemy teledetekcji geologicznej (a więc dotyczących problemów metodologii i metodyki teledetekcji oraz opracowań o charakterze globalnym). Jak należało oczekiwać, w referatach tych zwrócono przede wszystkim uwagę na rozpoznawanie nie znanych głównych elementów tektoniki w poszczególnych regionach i ich lokalizację oraz na tektonikę skorupy ziemskiej jako całości.

Ponad jedna czwarta z ogólnej liczby referatów o teledetekcji porusza zagadnienia ruchów neotektonicznych i współczesnych ruchów skorupy ziemskiej. Aktualny (obserwowany na znacznych obszarach z daleka, w określonej skali, w danym momencie) stan powierzchni skorupy

Tabela III

ZESTAWIENIE REFERATÓW ZGŁOSZONYCH NA MIĘDZYSEKCYJNE SYMPOZJUM (S.17.2.1) –
ZASTOSOWANIE METOD LOTNICZYCH I SATELITARNYCH
DO KARTOWANIA INŻYNIERSKO-GEOLOGICZNEGO I HYDROGEOLOGICZNEGO
(WG KRAJÓW I GŁÓWNEJ PROBLEMATYKI)

Liczba referatów	Kraj	Zastosowanie teledetekcji w badaniach				
		hydrogeologicznych dla potrzeb		inżyniersko-geologicznych dla potrzeb		
		oceny warunków hydrogeologicznych	zaopatrzenia w wodę	oceny warunków inżyniersko-geologicznych i kartowania	planowania przestrzennego i prognozowania zmian	budownictwa wodnego wraz z odwadnianiem i nawadnianiem
5	ZSRR	3	2	4	4	2
2	Finlandia	–	–	2	2	–
1	Czechosłowacja	–	–	1	–	1
1	Holandia	1	1	–	–	–
1	Polska	1	–	–	–	1
10	Razem	5	3	7	6	4

ziemskiej jest wynikiem całego zespołu nie zawsze do końca szczegółowo rozpoznanych procesów działających w różnych kierunkach i w różnym natężeniu w przeszłości geologicznej i obecnie. W wyniku oddziaływania tych złożonych procesów w różnych częściach skorupy ziemskiej jej powierzchnia jest oczywiście zróżnicowana. Im młodsze są przemieszczenia względem siebie poszczególnych części skorupy ziemskiej (bloków, stref) i im większa amplituda tych przemieszczeń, tym bardziej jest zróżnicowana powierzchnia (28, 32).

Teledetekcja geologiczna jest jedną z metod stosowanych w poszukiwaniu perspektywicznych obszarów występowania dużych złóż kopalin użytecznych, a przede wszystkim złóż ropy i gazu ziemnego oraz rud. W prawie połowie referatów o teledetekcji problematyka poszukiwawczo-złożowa stanowiła jeden z głównych wątków.

W tabeli III zestawiono kierunki zastosowań teledetekcji w badaniach inżyniersko-geologicznych i hydrogeologicznych. Są to przede wszystkim: wstępne, ogólne oceny warunków hydrogeologicznych i inżyniersko-geologicznych dla potrzeb rejonizacji i kartowania hydrogeologicznego (połowa referatów międzysekcyjnego sympozjum S. 17.2.1) i inżyniersko-geologicznego (ponad połowa referatów tego sympozjum) oraz bardziej praktyczne badania dla potrzeb zaopatrzenia w wodę (zwłaszcza na obszarach półpustynnych i pustynnych), nawadniania i odwadniania, a także dla potrzeb planowania przestrzennego, prognozowania i obserwowania zmian środowiska geologicznego pod wpływem działalności człowieka.

Z przedstawionej na 27 Sesji Międzynarodowego Kongresu Geologicznego problematyki teledetekcji geologicznej na szczególną uwagę zasługuje:

1. Kosmogeologiczna mapa ZSRR w skali 1:2 500 000

Przy jej zestawianiu posłużono się setkami zdjęć satelitarnych różnych typów, m. in. Meteor, Salut, Sojuz i Kosmos. Według opinii autorów mapy zawiera ona nowy, interesujący materiał przydatny nie tylko do poznania budowy geologicznej ZSRR, ale także do rozwiązania wielu problemów geologicznych w obrębie kontynentu euroazjatyckiego oraz zagadnień geologii teoretycznej.

Największe zainteresowanie autorów mapy kierowało się ku strukturom liniowym (fotolineamentom), wskazującym na strefy nieciągłości, oraz na struktury nieliniarne (koliste, pierścieniowe itp.) zaznaczone na mapie. Na całym obszarze Związku Radzieckiego wydzielono 6 podstawowych systemów nieciągłości o kierunkach N-S i W-E (system ortogonalny) oraz WNW-ESE, NNW-SSE, NNE-SSW i ENE-WSW (systemy diagonalne).

Zidentyfikowano również 4000 struktur nieliniarnych, przy czym dla 2000 struktur określono ich charakterystykę genetyczną. W zależności od skali zdjęć wspomniane struktury cechują średnice od kilkunastu do kilkuset kilometrów. Zwrócono uwagę na znaczenie struktur nieliniarnych dla odtworzenia historii rozwoju skorupy ziemskiej, jak również na ich związki z występowaniami złóż surowców mineralnych i energetycznych.

2. Wyniki geologicznej interpretacji materiałów pozyskanych przez promy kosmiczne – „Columbia” i „Challenger” – aparatury radarowej SIR-A i podczerwonego radiometru wielospektralnego SMIR.

Pierwszy eksperyment dotyczył aparatury radarowej pod nazwą „Shuttle imaging radar – SIR-A”. Jest to system boczno wybiegający, wyposażony w antenę z aperturą syntetyczną. System ten charakteryzuje się zwiększoną zdolnością rozdzielczą w kierunku nalotu (orbity) i stałą wartością zdolności rozdzielczej w kierunku wybierania. System SIR-A charakteryzuje się następującymi para-

metrami: częstotliwość 1,3 GHz, długość fali 23 cm, polaryzacja H-H (w płaszczyźnie poziomej), kąt padania (radarowy) $50^{\circ} \pm 3^{\circ}$, szerokość pasa terenu 50 km, terenowa zdolność rozdzielcza 40×40 m, rozmiar anteny 2,1–9,6 m, całość pokrytego obszaru 10^7 km², przeciętna wysokość orbity 259 km. Dotychczas zebrano obszerny materiał, potwierdzający geologiczną czytelność lotniczych zdjęć radarowych. Możliwość umieszczenia aparatury radarowej na orbicie satelitarnej z pewnością rozszerzy grono jej potencjalnych odbiorców.

Całkowicie zaskakującym wynikiem interpretacji zdjęć SIR-A było odkrycie pogrzebanych dolin oraz elementów paleodrenażu na obszarze wschodniej Sahary. Cytowane fakty dowodzą możliwości penetracji fal radarowych przez suchy piasek oraz glebę na głębokości od 1 do 5 m. Warto zwrócić uwagę, że wspomniane doliny, które nie były dotychczas znane, nie zaznaczyły się ani na zdjęciach lotniczych, ani na cyfrowo przetworzonych zdjęciach satelitarnych Landsata. Przebiegi pogrzebanych dolin nie wykazują zbieżności z obecną siecią drenażową. Niektóre z nich dorównują lub nawet przekraczają szerokością współczesny taras zalewowy Nilu. Interpretatorzy zdjęć uważają, że wielkie pogrzebane doliny są relikami trzeciorzędowego systemu rzeczno-wschodniej Sahary, powstały one na długo przed zmianą klimatu na suchy na początku czwartorzędowego i uformowaniem się Nilu. Rozpoznanie strefy sieci rzecznej pod pokrywą piaszczystą rzuca nowe światło na lokalizację oaz, starych ośrodków cywilizacyjnych, jak również stanowi cenną informację hydrogeologiczną. Na zdjęciach SIR-A wykonanych w rejonie Bir-Kiseiba (południowy Egipt) stwierdzono także możliwości dokładnego okonturowania wapieni krystalicznych przykrytych przez wędrujące piaski. Wymienione fakty dowodzą dużej przydatności zdjęć SIR-A w geologii. Ciekawe więc wydają się plany kolejnych misji oraz sprawdzenia możliwości aparatury w warunkach europejskich.

Z kolei, wykorzystując pomiary radiometru SMIR, zidentyfikowano z orbity okołoziemskiej wiele minerałów na terenie Egiptu w obrębie skał osadowych, między innymi kaolinit i montmorillonit oraz na terenie Meksyku w obrębie skał metamorficznych: pirofyllit, dykit i diaspor. Wymienione rezultaty otwierają nowe możliwości w metodach teledetekcyjnych, stosowanych w badaniach hydrogeologicznych i poszukiwaniach surowcowych.

3. Analizy danych teledetekcyjnych w aspekcie prognozowania zjawisk sejsmicznych

Przedstawiono związki epicentrow trzęsień ziemi z fotolineamentami, zinterpretowanymi na zdjęciach satelitarnych. Na tej podstawie dla niektórych obszarów (m.in. Alp Zachodnich) opracowano mapy prognostyczne, wskazujące na tereny szczególnie zagrożone.

W Bułgarii porównanie map teledetekcyjnych, opracowanych na podstawie analizy zdjęć satelitarnych, z danymi sejsmiczności (obejmującymi epicentra oraz hipocentra wstrząsów sejsmicznych zarejestrowanych w latach 1900–1970) doprowadziło do następujących wniosków:

- duża liczba epicentrow układu się wzdłuż fotolineamentów, z których część odpowiada znanym systemom dyslokacyjnym, np. krupnińskiemu, miesteńskiemu i rozłogskiemu,

- wiele epicentrow jest zlokalizowanych w obrębie struktur wyznaczonych przez dwa lub więcej fotolineamentów. Takie epicentra skupiają się w strefach brzoźnych struktur blokowych, rzadziej natomiast w ich środkach,

- wiele epicentrow trzęsień ziemi występuje w rejonie przecięcia fotolineamentów oraz znanych dyslokacji, czyli w tzw. węzłach sejsmicznych. Miejsca takie stwierdzono

w rejonie Krupnika, Rozłoga, Czirpana, Pławdiw i in.,
– najczęściej wysoka aktywność sejsmiczna towarzyszy dyslokacjom i blokom ograniczonych fotolineamentami, wzdłuż których stwierdzono przejawy ruchów neotektonicznych,

– na terenie Bułgarii głębokość ognisk trzęsień ziemi, które są związane z fotolineamentami jest niewielka i wynosi 5–20 km, a więc jest zawarta w obrębie litosfery.

Powyższe dane wskazują na przydatność prezentowanej metody interpretacyjnej do oceny aktywności sejsmicznej. Obecnie metoda ta nie uwzględnia jeszcze zróżnicowania fotolineamentów według ich ważności (I, II rzędu itp.), charakteru oraz pozycji w strukturach blokowych; będzie to przedmiotem dalszych prac badawczych.

4. Wykorzystanie technik teledetekcyjnych przy poszukiwaniach ropy naftowej i gazu w północnym Adriatyku

Stosując skaner lotniczy, operujący w dalekiej podczerwieni, rejestrowano na powierzchni morza gaz, który wydobywał się spod dna w miejscach występowania złóż. Wskaźnikami gazu na powierzchni morza były „zimne” anomalie (różnice temperatury w stosunku do otoczenia 0,3°C) oraz charakterystyczny rozkład fototonów w kształcie „kół olimpijskich”. Głębokość Adriatyku na badanym obszarze wynosiła 50–100 m.

Równoległe do badań lotniczych przeprowadzono analizę zdjęć satelitarnych w strefie przybrzeżnej pod kątem wydzielenia struktur liniowych – fotolineamentów. Zidentyfikowane fotolineamenty poddano następnie interpolacji, przedłużając je na obszar akwenu morskiego. W rezultacie wymienionych zabiegów uchywiono związek między występowaniem punktowych anomalii gazowych a przypuszczalnymi strefami dyslokacyjnymi. Wyniki badań teledetekcyjnych zostały również zweryfikowane na tle materiałów geofizycznych oraz danych profilowań batymetrycznych. Prezentowana metoda została uznana za przydatną, tanią, szybką i efektywną w prognozowaniu występowania węglowodorów w omawianym rejonie.

Pomimo faktu, że na 27 Międzynarodowym Kongresie Geologicznym udział polskich geologów, zajmujących się teledetekcją, był ograniczony do 2 osób, wyniki ich pracy zostały zaprezentowane w stoisku PHZ-Geokart na kongresowej wystawie GEOEXPO. W części fotogeologicznej wystawy zademonstrowano Mapę fotogeologiczną Polski 1:1 000 000, mapy Karpat w skali 1:500 000, Sudetów w skali 1:200 000 oraz przykłady cyfrowego przetwarzania zdjęć satelitarnych do celów geologicznych. Materiały te zostały opracowane przez zespół pracowników Zakładu Fotogeologii IG.

Przedstawione wyżej rozważania i oceny pozwalają na wysunięcie następujących wniosków:

1. Zdjęcia satelitarne stały się obecnie podstawowym narzędziem pracy geologa, wykorzystującego nowoczesne metody w rozwiązywaniu poważnych problemów geologicznych, zarówno w ujęciu globalnym i regionalnym, jak też złożowo-poszukiwawczym, hydrogeologicznym i inżyniersko-geologicznym.

2. Zdjęcia satelitarne zezwalają na bardzo szybką i tanią interpretację ujawniających się na powierzchni Ziemi nie tylko statycznych zjawisk geologicznych, lecz także zjawisk dynamicznych, przebiegających w cyklu tygodni, miesięcy lub lat.

3. W ostatnich latach nadrobiono opóźnienie w rozwoju teledetekcji w Polsce, tak że obecnie osiągnane w kraju wyniki mogą być porównywane i uznane za równorzędne z zagranicznymi.

4. Ostatnio w związku z przerwaniem dopływu bieżących materiałów satelitarnych (wymagających stosunkowo

nieznacznych środków dewizowych) grozi polskiej teledetekcji geologicznej znowu stagnacja i wtórne zacofanie, co z całą pewnością musi się odbić negatywnie na naszej atrakcyjności eksportowej.

LITERATURA

1. Abstracts. 27-th Int. Geol. Congr. Moscow 1984 vol. 8, 9.
2. Bażyński J. – Kierunki zastosowań teledetekcji w geologii w Polsce. Pr. Inst. Geod. 1978 z. 2.
3. Bażyński J. – Zastosowanie zdjęć satelitarnych i radarowych lotniczych w planowaniu obiektów inżynierskich. Symp. IAEG 1979 t. 1.
4. Bażyński J. – Rola badań fotogeologicznych w realizacji „Programu Wisła”. Pr. Geol. 1980 nr 9.
5. Bażyński J. – Metody interpretacji geologicznej zdjęć satelitarnych wybranych obszarów Polski. Instr. Met. Bad. Geol. 1982 z. 44.
6. Bażyński J., Daniel-Danielska B., Graniczny M., Wilczyński M. – Linieamenty i kolcewyje obrazowania terytorii Polskiej Narodnej Republiki. Issled. Zemli iz Kosmosa. AN SSSR Moskwa 1982 nr 5.
7. Bażyński J., Doktor S., Graniczny M. – Mapa fotogeologiczna Polski 1:1 000 000. Warszawa 1984.
8. Bażyński J., Graniczny M. – Fotolineamenty i ich znaczenie w geologii. Pr. Geol. 1978 nr 5.
9. Bażyński J., Sokołowski J. – Wstępna fotointerpretacja geologiczna obrazu Landsat-1 obszaru między Wrocławiem a Poznaniem. Ibidem. 1976 nr 4.
10. Bush V.A., Trifonov V.G., Shulz S.S. – Systems of Eurasian active lineaments on the basis of space image interpretation. 27-th Int. Geol. Congr. Coll. 05. Rep. 5. Moscow 1984.
11. Colwell R.N. – Monitoring Earth resources from aircraft and spacecraft. NASA sp. 275 Washington D. C. 1971.
12. Colwell R.N. – Manual of remote sensing, second edition. American Society of Photogrammetry. 1983.
13. Doktor S., Graniczny M. – O możliwości wykorzystania zdjęć satelitarnych do poszukiwania złóż ropy naftowej i gazu ziemnego. Tech. Poszuk. Geol. 1982 nr 2.
14. Doktor S., Graniczny M. – Zdjęcia satelitarne jako źródło informacji pośredniej o wglębnych strukturach geologicznych. Pr. Geol. 1982 nr 12.
15. Doktor S., Graniczny M. – Fotogeologiczna analiza zdjęć satelitarnych Karpat. Kwart. Geol. 1983 nr 3.
16. Doktor S., Graniczny M. – Struktury koliste i pierścieniowe na zdjęciach satelitarnych – ich geneza i znaczenie. Pr. Geol. 1983 nr 1.
17. Graniczny M. – Przetwarzanie zdjęć satelitarnych Landsat 1 (ERTS 1) za pomocą komputera dla celów interpretacji geologicznej. Geol. za Gran. 1975 (druk 1976) nr 4.
18. Graniczny M. – Możliwości zastosowania teledetekcji lotniczej oraz satelitarnej dla sporządzania mapy utylizacji zasobów środowiska przyrodniczego. Ibidem.
19. Graniczny M. – Wybrane przykłady zastosowania technik teledetekcyjnych w badaniach geologicznych. Pr. Inst. Geod. 1978 z. 2.
20. Graniczny M. – Kompleksowa analiza fotogeologiczna na przykładzie Belchatowa. [W:] Zastosowa-

- nie teledetekcji w badaniach środowiska geograficznego. (Mat. konf.) PWN Warszawa—Łódź 1980.
21. Graniczny M. — Możliwości stosowania technik teledetekcyjnych w badaniach hydrogeologicznych. Probl. Uzdrow. 1981 z. 5—6.
 22. International Symposia on Remote Sensing of Environment. Ann. Arbor. Michigan 1962—1984.
 23. International Conferences on Basement Tectonics 1—4 (1974, 1976, 1978, 1981). Basement Tectonics Committee Inc. USGS NASA.
 24. Remote sensing in uranium exploration. Technical reports series no. 208. Intern. Atomic Energy Agency Vienna 1981.
 25. Kowalski W.C. — Badania i roboty inżyniersko-geologiczne. Wyd. UW Wydz. Geologii (Maszynopis powielany) 1963.
 26. Kowalski W.C. — Kartowanie w naukach geologicznych. [W:] Nowoczesne metody kartowania w naukach geologicznych. Warszawa 1974.
 27. Sabins F.F. — Remote sensing, principles and interpretation. San Francisco 1978.
 28. Shardanov A.N., Chernyavsky G.V. et al. — Etudes de synthese de la tectonique et de la geodinamique actuelle par les images satellites pour les recherches d'huile et de gaz. Abstr. Int. Geol. Congr. Moskwa 1984 vol. IX.
 29. Short N.M., Lowman P.D. — Earth observations from space: outlook for the geological sciences. Goddard Space Flight Center Greenbelt. Maryland 1973.
 30. Slaney V.R. — Landsat images of Canada — a geological appraisal. Geol. Surv. Paper 1981 vol. 80 no. 15.
 31. Smith W.L. — Remote sensing applications for mineral exploration. Strandsburg 1977.
 32. Smyslov A.A., Yanshin A.L. et al. — Deep crustal structure and geodynamics of the lithosphere of the USSR. 27-th. Int. Geol. Congr. Coll. 01. Rep. 1. Moscow 1984.
 33. Sokołowski J., Doktor S., Graniczny M. — Zastosowanie fotogeologicznej analizy zdjęć satelitarnych dla wyznaczania stref perspektywicznych złóż ropy naftowej i gazu ziemnego. Nafta 1984 nr 9.
 34. Taranik J.V., Trautwein Ch.M. — Integration of geological remote sensing techniques in subsurface analysis. US Geol. Surv. Open — file report 1976.
 35. Williams R.S., Carter W.D. — ERTS-1 A new window on our planet. Geological Survey Professional Paper 929 Washington 1976.

36. William T. — Pecora Memorial Symposia. 1975—1981 Sioux Falls S. Dakota.

S U M M A R Y

The beginning of the remote sensing and its position in geological sciences and technics in Poland and in the World have been discussed, especially its achievements, which had been presented during the 27-th Session of the International Geological Congress in 1984. From the consideration and evaluation of the geological remote sensing presented above one can draw the following conclusions: 1 — The remote sensing started to be nowadays the method widely applied in geological research on the global and regional scale, as well as in deposit, hydrogeological and engineering prospecting in larger scales; 2 — The geological remote sensing allows quick and cheap interpretation of geological phenomena, which appear on the Earth surface, both static and dynamic, altering through weeks, months and years; 3 — throughout the last years delay in the remote sensing development has been recovered and now the geological remote sensing in Poland are comparable with those obtained abroad.

Translated by the Authors

Р Е З Ю М Е

Представлены начала геологического теледетектирования и его позиция в геологических науках и техниках в Польше и в мире. В частности описаны представлены на 27 Сессии Международного Геологического Конгресса в 1984 г. достижения геологического теледетектирования. Из проведенных рассуждений вытекают следующие выводы: 1 — геологическая теледетекция является в настоящее время основным методом работы геолога как в общем и в региональном понимании в малом масштабе, так и в поисковом, гидрогеологическом и инженерно-геологическом понимании в больших масштабах. 2 — геологическая теледетекция делает возможной скорую и дешёвую интерпретацию статических и динамических геологических явлений на поверхности Земли, протекающих в течении недель, месяцев, лет. 3 — в течении последних лет наблюдается динамическое развитие геологического теледетектирования в Польше, так что его современные достижения соответствуют мировому уровню.