

JÓZEF BAŻYŃSKI

[528.77:629.785:621.398]:55(438)

Kierunki zastosowań teledetekcji w geologii w Polsce

Stosowane od 50 lat w geologii zdjęcia lotnicze w dużym stopniu ułatwiły pracę, ale zasadniczy sposób zbierania informacji pozostał bez zmian. Geolog zbierał informacje o budowie skorupy ziemskiej przede wszystkim w terenie przemierzając kilometr po kilometrze badany obszar. Nanosząc swe informacje na mapę tworzył szczegółowy model budowy geologicznej. Była to praca żmudna, uciążliwa i kosztowna. Ogólny schemat pracy geologa kartografa możemy wyrazić krótko: od szczegółu do ogółu.

Pojawienie się już pierwszych zdjęć satelitarnych dowiodło dużej ich przydatności do celów geologicznych.

Spontaniczny rozwój różnych metod interpretacji tych zdjęć nastąpił w 1972 r. po wystrzeleniu automatycznego statku kosmicznego Landsat, przeznaczonego do zbierania danych o naturalnych zasobach Ziemi. Stwierdzono, że na obszarach odkrytych zdjęcia satelitarne zezwalają na opracowanie map w skalach 1 : 1000 000 przy czym nakład pracy i koszt zostały zredukowane do około 1/10 kosztów dotychczasowych.

Zdjęcia satelitarne jako obiektywny obraz zezwalają na przedstawienie ogólnych zarysów budowy geologicznej. Znając ogólne założenia budowy geologicznej oraz związki jakie zachodzą między sposobem litologicznego wykształcenia odpowiednich skał i ich struktur tektonicznych a możliwością występowania odpowiednich złóż kopalin użytecznych możemy wytypować obszary do ukierunkowanych badań szczegółowych. W ten sposób odwrócone zostały zasady organizacyjne pracy geologa: od ogółu do szczegółu. Fakt ten ma zasadnicze znaczenie ekonomiczne. Przez znaczne ograniczenie prac geologicznych szczegółowych i skierowanie ich tylko na obszary surowcowo najbardziej perspektywiczne, nakłady pracy i finansowanie robót geologicznych zostały zasadniczo zredukowane.

W pierwszych latach wykorzystywania zdjęć satelitarnych wiele firm amerykańskich, które miały ułatwiony dostęp do tych zdjęć, wykupiło duże obszary terenu na których istniało największe prawdopodobieństwo

występowania określonych kopalin, szczególnie ropy naftowej, co zostało wstępnie potwierdzone na zdjęciach wykonanych z satelitów. Obecnie zdjęcia satelitarne są ogólnie dostępne i chyba nie ma już w tej chwili państwa, które by nie wykorzystywało je w mniejszym lub większym stopniu.

Zdjęcia satelitarne, w odróżnieniu od lotniczych, wykonywane są z wielokrotnie większych wysokości najczęściej w granicach 200÷1000 km. Z tej dalekiej perspektywy przy jednakowym oświetleniu ogromnych obszarów podkreślone zostają pewne bardzo subtelne rysy krajobrazu powierzchni Ziemi, spowodowane głębszą budową geologiczną. Budowa ta poprzez różnice litologiczne i układ elementów tektonicznych ma wpływ na ukształtowanie form powierzchni, rozkład wilgotności, temperatury i odwodnienia, a pośrednio na rodzaj i stan wegetacji.

W wyniku działania przedstawionych wyżej czynników na zdjęciach satelitarnych uwidacznia się szereg elementów liniowych zwanych fotolineamentami, z których wiele (po wyeliminowaniu linii pochodzenia antropologicznego) wiąże się ze strukturą tektoniczną. Tak więc, poza dużym ułatwieniem prac geologicznych na obszarach odkrytych, na których skalne podłoże występuje na powierzchni terenu, i na których to obszarach możemy wykreślać granice litostratygraficznych jednostek geologicznych, również na obszarach zakrytych, na których lite podłoże skalne znajduje się pod płaszczem utworów młodszych, zdjęcia satelitarne oddają duże usługi. Wynika to z faktu że w miarę stopniowego rozpoznania budowy geologicznej okazuje się, że rola tektoniki nieciągłej jest coraz większa. Z liniami tektonicznymi jako ze strefami rozluźnień, spękań, uskoków lub rozłamów wiąże się genetycznie występowanie wielu kopalin użytecznych. Wszystko wskazuje na to, że rola uskoków w tworzeniu się pułapek dla ropy i gazu jest znacznie większa niż dotychczas przypuszczano.

Omawiając kierunki rozwoju badań teledetekcyjnych w Polsce należy również uwzględnić olbrzymi postęp technologiczny jaki został osiągnięty na świecie w ostatnich dziesięciu latach w zakresie metod pozyskiwania i interpretacji zdjęć satelitarnych. Omawianie zagadnień technicznych nie jest celem niniejszego artykułu, dla uzyskania jednak pełnego obrazu należy podkreślić, że fakt wprowadzenia fotografii i obrazów wielospektralnych w zakresie widma widzialnego i pozawidzialnego oraz rozwinięcie ogromnych możliwości interpretacyjnych analogowych i cyfrowych spowodowało, że metody teledetekcyjne znalazły już szerokie zastosowanie w poszukiwaniach surowcowych na całym świecie. W artykule „Nowe techniki zachęcają do stosowania zdjęć Landsat” (*Aviation Week and Space Technology*, October 17, 1977) podano, że wprowadzenie zdjęć satelitarnych umożliwiło odkrycie nowych złóż ropy

naftowej o wartości miliarda dolarów i złóż innych surowców o wartości kilkuset milionów. Oceniając ten fakt należy mieć na względzie, że satelity Landsat 1 i 2 są eksperymentalne a technologia interpretacji znajduje się jeszcze w okresie rozwoju.

Biorąc powyższe pod uwagę należy się spodziewać, że zdjęcia satelitarne znajdą w przyszłych latach powszechne zastosowania dla większości geologicznych badań podstawowych i surowcowych. Już przy innej okazji wspomniałem, że obszar Polski jest pod względem przypowierzchniowej geologii dobrze poznany i dlatego w tym zakresie zastosowanie zdjęć satelitarnych nie może przynieść rewelacyjnych rezultatów. Również większość przypowierzchniowych złóż jest poznana. Obecnie badania koncentrują się nad poznaniem głębszej budowy geologicznej i tu analiza fotolineamentów i struktur kolistych może przynieść wiele korzyści dla geologii. Wykonane wstępne prace interpretacyjne w tym zakresie są bardzo obiecujące. Zgodność interpretacji fotolineamentów sprawdzono na dobrze rozpoznanych obszarach, na których wykonano wiele wierceń i badań geofizycznych. W Sudetach np. uzyskano zgodny przebieg szeregu fotolineamentów z udokumentowanymi uskokiemi. Wiele jednak fotolineamentów wskazuje na nowe elementy tektoniki, które wymagają wyjaśnienia. W rejonie Bełchatowa szereg fotolineamentów zostało potwierdzonych szczegółowymi badaniami surowcowymi, a przede wszystkim geologiczno-inżynierskimi. Uskoki, które są geologicznym odpowiednikiem omawianych fotolineamentów spowodowały konieczność zmiany lokalizacji elektrowni.

W czasie opracowania dokumentacji geologiczno-inżynierskich brak było jeszcze zdjęć satelitarnych z obszaru Polski i dlatego nie mogły one być wykorzystane do oceny podłoża budowlanego. Wynika stąd jednak, że odpowiednia interpretacja zdjęć satelitarnych może być wykorzystana w niektórych przypadkach i w naszych warunkach nawet dla tak dokładnych badań jak rozpoznanie geologiczno-inżynierskie. Poza tym wyniki interpretacji zdjęć satelitarnych porównano z mapami tektonicznymi opracowanymi przez kilku autorów. Porównanie to wskazuje jednoznacznie na fakt, że duża zgodność ogólnych tendencji tektonicznych i pokrycie się wielu uskoków przemawia za wyborem tej mapy, której autor wybrał nieciągły styl budowy tektonicznej tego obszaru. Na innym obszarze interpretacja zdjęć satelitarnych zezwoliła na potwierdzenie hipotezy dotyczącej dynamiki rozwoju tektoniki badanego obszaru, a także na wyciągnięcie wniosków o kierunkach poszukiwań surowcowych.

Z tych względów realizując polecenie kierownictwa Centralnego Urzędu Geologii, Instytut Geologiczny zgromadził istniejące obecnie zdjęcia satelitarne Polski, a ich analiza fotogeologiczna jest włączona do głównych tematów badań podstawowych i poszukiwań.

Obecnie analizę zdjęć satelitarnych wykonuje się wizualnie wykorzystując przede wszystkim papierowe kopie czarno-białe poszczególnych kanałów zdjęć wielospektralnych, lub ostatnio kompozycje barwne. W najbliższym czasie należy się spodziewać rozszerzenia zakresu interpretacji zdjęć satelitarnych przez zastosowanie odpowiedniej aparatury. Ośrodek Przetwarzania Obrazów Lotniczych i Satelitarnych Instytutu Geodezji i Kartografii (OPOLiS — IGiK) udostępnił już elektroniczny analizator zdjęć. Wstępne rozpoznanie możliwości interpretacyjnych tego urządzenia pozwala sądzić, że będzie ono bardzo pomocne przy geologicznej interpretacji fragmentów zdjęć powiększonych do skali 1 : 100 000 i większej. Podczas przeglądów wybranych zdjęć satelitarnych uzyskano wzmocnienie przebiegu szeregu liniowych form w pokrywie czwartorzędowej, zróżnicowanie tonalne zezwalające na okonturowanie i ocenę stopnia zmineralizowania wód gruntowych i uwypuklenie zjawisk geodynamicznych wskazujących na przejawy nowej i współczesnej tektoniki.

Za granicą, w różnych ośrodkach, a przede wszystkim w amerykańskim Instytucie Geologicznym rozwijane są bardzo intensywnie na urządzeniach interaktywnych takie techniki interpretacji zdjęć satelitarnych jak elektroniczne wzmacnianie obrazu, wagowanie między kanałami, klasyfikacja, wzmocnienie nasycenia i intensywności barwy, detekcja zmian i szereg innych. Zastosowanie tych technik będzie możliwe po uruchomieniu urządzenia interaktywnego w OPOLiS — IGiK.

W najbliższych latach należy się spodziewać intensyfikacji interpretacji wizualnej osnowy tektonicznej, gdyż każde nowe zdjęcie satelitarne wykonane w innej porze roku przy innym oświetleniu i w innych warunkach meteorologicznych dostarcza wielu nowych szczegółów. Rozwijając prace nad wykorzystaniem zdjęć satelitarnych Instytut Geologiczny zamierza nadrobić również nasze opóźnienia w stosowaniu zdjęć lotniczych, gdyż jak dotychczas tylko drobny odsetek geologicznych prac zdjęciowych we wszystkich jednostkach był wykonywany na zdjęciach lotniczych. Sprzyja temu znaczne przyspieszenie realizacji zamówień w wyniku zmian organizacyjnych wprowadzonych przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii.

Jako jeden z głównych kierunków wykorzystania zdjęć lotniczych trzeba wymienić tektoniczną analizę obrazów radarowych. Prace te traktowane są jako doświadczalne mimo, że obejmą stosunkowo duży obszar Polski, co wynika z dużej wydajności aparatury radarowej i znacznej swobody tej metody w odniesieniu do warunków meteorologicznych. Zdjęcia te będą wykonane w skali około 1 : 100 000 i będą stanowić ogniwo pośrednie między zdjęciami satelitarnymi i fotografiami lotniczymi.

Trzecim kierunkiem działania w najbliższych latach w zakresie wykorzystania zdjęć lotniczych będzie szersze wykorzystanie dla celów geo-

logicznych zdjęć z dużych wysokości (w małych skalach). Zdjęcia te muszą być jednak wykonane w okresach o najmniejszym pokryciu roślinnością, a więc późną jesienią lub wczesną wiosną. Planowanie prowadzenia prac interpretacyjnych na tego rodzaju materiale jest często zawodne z tego powodu, że może zdarzyć się, że w kilku kolejnych latach w tych okresach nie wystąpią odpowiednie warunki meteorologiczne umożliwiające wykonanie zdjęć. Pierwsze prace na obszarach testowych wykonane na materiale dostarczonym przez OPOLiS — IGiK są bardzo zachęcające. Wyniki tych analiz będą wykorzystane w celu szybkiego ich wdrażania do wszystkich prac kartograficznych, a szczególnie dla geologicznego zdjęcia w skali 1 : 50 000.

Następnym kierunkiem prac w geologii będzie szersze zastosowanie obrazów termalnych. Pozytywne wyniki uzyskano przy zastosowaniu zdjęć termalnych rejestrujących promieniowanie o długościach fali 2,5 — 5,0 μm dla śledzenia zmian występowania wód gruntowych w Bełchatowskim Okręgu Węglowym. Wiąże się również nadzieje z zastosowaniem techniki termalnej do poszukiwań gorących źródeł. Interesujące perspektywy badań geologicznych rysują się także przed innymi metodami teledetekcyjnymi takimi, jak rejestracja promieniowania nadfioletowego oraz mikrofalowego czy luminescencji. W miarę uzyskiwania możliwości technicznych prace w tych kierunkach będą rozwijane.

Powyżej zostały naszkicowane jedynie główne problemy związane z zastosowaniem współczesnych technik teledetekcyjnych w geologii. Szalenie szybko przebiegający postęp techniczny w teledetekcji spowoduje z pewnością potrzebę szybkiej i stałej korekty zamierzeń. Mimo olbrzymiego rozwoju różnych i coraz bardziej skomplikowanych, ale też coraz bardziej kosztownych metod analizy zdjęć do celów geologicznych znajdujemy się w fazie eksperymentowania i to mimo faktu, że metody te znajdują już stosunkowo szerokie zastosowanie przynosząc konkretne efekty ekonomiczne.

ЮЗЕФ БАЖИНСКИ

НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В ГЕОЛОГИИ В ПОЛЬШЕ

Резюме

Кроме большого облегчения геологических работ на открытых площадях, на которых горные основания выступают на поверхность, и на которых можем вычерчивать границы литостратиграфических геологических единиц, также на закрытых площадях, где горные основания находятся под покровом более молодых отложений, космические снимки оказывают большие услуги.

Выполняемые на территории Польши предварительные фотоинтерпретационные работы указывают на совпадение интерпретации фотолинементов с тектоникой основания. Имея в виду большие расходы на бурение и геофизические исследования, проверка соответствия была произведена на территории геологически хорошо разведанной. Анализ соответствия произведен в Судетах, в районе Белхатова, предгорья Карпат и в других местах. До сих пор анализ космических снимков производился визуальным методом. В ближайшее время следует ожидать увеличения объема техник интерпретации космических снимков путем применения соответствующей аппаратуры. Предварительное распознавание интерпретационных возможностей электронного анализатора снимков в OPOLIS — IGiK разрешает судить, что будет он полезным при геологической интерпретации фрагментов снимков увеличенных до масштаба 1 : 100 000 и больше.

Во время осмотра выбранных космических снимков получено усиление ходов ряда линейных форм в четвертичном покрове, тональное дифференцирование, разрешающее на очертание и на оценку степени минерализации грунтовых вод, а также выделение геодинамических явлений, указывающих на проявление новой и современной тектоники.

В настоящее время покрытие Польши спутниковыми снимками Landsat не полное, а кроме того каждая новая космическая съемка, выполненная в другое время года, при ином освещении и в иных метеорологических условиях, предоставляет много новых существенных для геологии подробностей. Это направление исследований будет в ближайшие годы развиваться в связи с рядом тем охватывающих распознавание более глубоких структур в Польше, а также с разведкой полезных ископаемых.

В рамках интерпретации космических снимков планируются исследовательские работы на интерактивном анализаторе, охватывающие применяющиеся в настоящее время за границей методы усиления элементов снимков важных с геологической точки зрения.

Одновременно с геологическими исследованиями на космических снимках следует упомянуть, как об одном из важных направлений работ, с расширением применения аэроснимков в геологической картографии, а также о тектоническом анализе радарных снимков, которые по заказу Геологического института будут выполнены весной 1978 г. Снимки эти будут выполнены в масштабе около 1 : 100 000 и будут составлять промежуточное звено между космическими снимками и аэроснимками. В таком же приблизительно масштабе будут выполнены панхроматические аэроснимки с большой высоты весной или поздней осенью, т.е. в оптимальных для геологии условиях. Снимки, выполненные в эти времена года, содержат значительно больше геологических информации и их пригод-

ность для геологического картирования бует большая. Кроме того снимки с больших высот не содержат лишнего балласта деталей непригодных во время картирования для карты в масштабе 1 : 50 000.

Следующим направлением работ в геологии будет более широкое применение тепловой аэросъемки, между прочим, для определения влияния осушения, термального загрязнения грунтовых вод и обнаруживания горячих источников.

По мере возможности будут начаты исследовательские работы с применением ультрафиолетовой и микроволновой части спектра и люминесценции.

Перевод: Róża Tolstikowa

JÓZEF BAŻYŃSKI

REMOTE SENSING TECHNIQUES IN THE GEOLOGICAL RESEARCH IN POLAND

Summary

Satellite imagery is a useful tool in geological research, both in areas with thick sedimentary deposits and in areas with primary rock on the surface.

Preliminary results of the interpretation of satellite imagery of Polish territory show a good correlation of photolineaments with subsurface tectonics.

Due to the high cost of bore-holes and geophysical investigations, correlation analysis was performed for those areas for which very detailed geological maps already existed: for the Sudety Mountains, the Bełchatów Region, the Carpatian Foreland and some other areas. The results obtained hitherto are based on visual interpretation of satellite imagery. More advanced interpretation techniques are expected to be available in the near future.

The Multi Color Data System, an electronic device for analog classification, recently purchased by OPOLiS — IGiK, seems to offer interesting opportunities for geological investigations of satellite images blown-up to scales of 1 : 100 000 and larger. Promising results have already been achieved during short test runs:

- the enhancement of some linear features in the quarternary cover,
- the classification of grey tones, permitting the delineation of some geological boundaries and the evaluation of the mineralization level of ground water,
- the enhancement of some geodynamic phenomena indicating neotectonics.

Coverage of the territory of Poland with interpreted Landsat imagery is far from satisfactory. Moreover, every new Landsat scene, taken at a different time of the year, with different illumination and in a different meteorological situation than the previous one, supplies new and important details for geological interpretation. The above mentioned line of research will be pursued systematically in the years to come, particularly for investigations of deep geological structures and for mineral prospecting.

Planned experiments with an interactive, digital classification system will

include various techniques for the enhancement of important geological features appearing on satellite imagery and on aerial photography.

Broader interpretation of aerial photography in the elaboration of geological maps is one of the important tasks of the Geological Institute.

The gap between the scales of aerial photography and those of aerial imagery will be bridges by radar imagery. In the spring of 1978, radar images on the scale of 1:100 000 will be available for interpretation at the Geological Institute. The data will be used for the elaboration of tectonics. High altitude, panchromatic aerial photography on a similar scale will be acquired during the spring or late fall, i.e. in the optimal season for obtaining remotely sensed data for geological investigations. High altitude photographs are free of unnecessary details and therefore suitable for the elaboration of geological maps to the scale of 1:50 000.

Wider application of thermal imagery, in particular for solving such problems, as:

- detection of changes in ground water level,
- thermal pollution of ground waters,
- detection of thermal springs, is foreseen in the near future.

The Institute of Geology is also planning to undertake preliminary investigations on the applicability in the ultraviolet and microwave portions of the spectrum in geological research.

Translation: Wiesława Sujkowska

JÓZEF BAŻYŃSKI

LES CHAMPS D'APPLICATION DE LA TÉLÉDÉTECTION POUR LA GÉOLOGIE EN POLOGNE

Résumé

Les photos de satellite non seulement facilitent les travaux géologiques sur les terrains ouverts où le sous-sol rocheux se présente à la surface et où il est possible de tracer les limites litho-stratigraphiques des unités géologiques mais elles sont aussi très utiles sur les terrains couverts où le sous-sol rocheux solide se trouve sous la nappe de formations ultérieures.

Les travaux préliminaires de photointerprétation exécutés en Pologne prouvent la concordance d'interprétation de photo-linéaments avec la tectonique du sous-sol. Vu les coûts importants du forage et des recherches géophysiques la vérification de cette concordance a été effectuée sur les terrains géologiquement très bien reconnus. L'analyse de la concordance a été faite dans les Sudètes, dans la région de Bełchatów, aux pieds des Carpates et sur d'autres terrains. L'analyse des photos de satellite a été effectuée jusqu'à présent par la méthode visuelle mais dans le proche avenir on peut s'attendre à un développement des techniques d'interprétation de telles photos grâce à l'utilisation d'un appareillage moderne. L'examen préliminaire des possibilités d'interprétation d'un analyseur électronique de photos installé au Centre de Traitement des Photos Aériennes et de Satellite de

l'Institut de Géodésie et Cartographie (OPOLIS-IGiK), permet de juger que l'utilité de cet appareil pour l'interprétation géologique de parties des photos agrandies jusqu'aux échelles de 1 : 100.000 et plus grandes sera très utile.

Au cours de la révision des photos de satellite choisies on a obtenu un renforcement de l'allure des nombreuses formes linéaires dans la carapace quaternaire, une différenciation de ton permettant de tracer les contours et d'évaluer le niveau de la minéralisation des eaux souterraines ainsi que la mise en relief des phénomènes géodynamiques indiquant la présence de la tectonique contemporaine nouvelle.

Le recouvrement actuel du territoire de la Pologne par les photos de satellite Landsat n'est pas complet, d'autre part, chaque nouvelle photo de satellite prise en une autre saison avec une autre éclairage et dans d'autres conditions météorologiques fournit aux géologues de nombreux éléments nouveaux et importants. Cette orientation de recherches sera poursuivie et développée dans les années à venir en vue un nombre de thèmes englobant la reconnaissance des structures plus profondes en Pologne et la prospection des matières premières.

Dans le cadre d'interprétation des photos de satellite on prévoit des études à l'aide d'un analyseur interactif portant sur les méthodes — déjà appliquées à l'étranger — de renforcement des éléments de photos, important du point de vue géologique.

Parallèlement aux études géologiques sur les photos de satellite, il faut citer en tant qu'orientations importantes de travaux le développement de l'utilisation des photos aériennes dans la cartographie géologique et de l'analyse tectonique des images de radar. Ces travaux seront effectués au printemps 1978 à la demande de l'Institut Géologique. Les images en question seront exécutées à l'échelle de 1 : 100.000 environ et constitueront l'intermédiaire entre les photos de satellite et les photos aériennes. Approximativement à la même échelle, au printemps ou en automne — donc dans les conditions optimales pour les besoins géologiques — seront exécutées à grande hauteur les photos aériennes panchromatiques. Les photos prises durant ces saisons renferment beaucoup plus d'informations géologiques et leur utilité pour la cartographie géologique est plus importante. En outre les photos prises à grande hauteur ne comprennent pas d'éléments superflus pour la construction d'une carte à échelle de 1 : 50.000.

Une autre orientation dans les travaux en géologie consistera à l'application plus large des images thermales pour la détermination de l'influence de l'essorage, de la contamination thermique des eaux souterraines et de la détection des sources chaudes.

Au fur et à mesure des possibilités les études basées sur l'application d'une partie ultraviolette et d'une partie à micro-ondes du spectre ainsi que de la luminescence seront entreprises.

Traduction: Bohdan Jakubowski

