

## Wybrane przykłady zastosowania technik teledetekcyjnych w badaniach geologicznych

W niniejszym artykule przedstawiono przykłady zastosowania dwóch różnych technik teledetekcyjnych, a mianowicie lotniczych obrazów termalnych oraz wielospektralnych obrazów satelitarnych, stosowanych dla rozwiązywania różnorodnej problematyki geologicznej. Pierwsza część artykułu prezentuje spostrzeżenia dotyczące interpretacji obrazów termalnych w rejonie Bełchatowskiego Zagłębia Węglowego, w drugiej natomiast poruszono zagadnienia związane z interpretacją obrazów satelitarnych w rejonie Kujaw.

Obrazy termalne rejonu Bełchatowa zostały wykonane przez Instytut Geodezji i Kartografii za pomocą szwedzkiej aparatury AGA THP-1, rejestrującej promieniowanie elektromagnetyczne o długości 2—5,6  $\mu\text{m}$ .

Zobrazowany obszar obejmował powierzchnię przeszło 300  $\text{km}^2$ , rozciągającą się wzdłuż złoża węgla brunatnego. Obrazy termalne zostały przetestowane pod kątem przydatności do celów obserwacji płytkiego występowania zwierciadła wody gruntowej. W rejonie Bełchatowa, w związku z powstającą kopalnią odkrywkową, prowadzi się na szeroka skalę intensywne prace odwadniające, co w efekcie doprowadzi do powstania ogromnego leja depresyjnego. Rozwój tego zjawiska chcemy śledzić kontynuując nasz eksperymentalny program, polegający na interpretacji kolejnych zobrazowań rejestrujących zmiany zachodzące w hydrogeologii tego rejonu.

Pierwsze zobrazowanie zostało wykonane przed rozpoczęciem prac odwodnieniowych, to znaczy latem 1975 roku. Wykonano je około godziny po zachodzie słońca. Jak wiadomo, zakres informacji zawartych w obrazie termalnym jest uzależniony w zasadniczy sposób od pory dnia, w jakiej wykonano zobrazowanie. Dlatego też porę wykonania obrazów termalnych ustala się w ścisłym związku z celem, jakiemu obrazy mają służyć.

Wydaje się, że w przypadku Bełchatowa, gdzie głównym celem zobrazowania termalnego były obserwacje hydrogeologiczne, osiągnięto optywalne warunki wykonania obrazów termalnych. O tej porze doby podmokłe obszary dolinne i zagłębienia bezodpływowe charakteryzowały się w stosunku do pozostałego obszaru wyraźnie ciemniejszymi fototonami,

co odpowiadało temperaturze niższej niż temperaturze przyległych terenów. Lustro wody powierzchniowej odwzorowało się natomiast najjaśniejszym fototonem, co świadczy, że temperatura wody była wyższa w porównaniu do innych obiektów. Bardzo ciepłe były również wszelkie obiekty zbudowane z asfaltu, cegły, betonu, jak na przykład drogi, zabudowania i temu podobne. Bardzo wyraźnie jest widoczna na obrazach termalnych szata roślinna. Znacznie jaśniejszym fototonem wyróżniały się od otoczenia obszary leśne. Równocześnie stwierdzono, że podczerwień termalna zezwala na pewną penetrację tych obszarów. Mianowicie w tych przypadkach, gdy na terenach leśnych występowały podmokłe zagłębienia bezodpływowe, odwzorowały się one bardzo wyraźnie na obrazach termalnych, co nie zawsze dało się zauważyć na interpretowanych równoległe zdjęciach panchromatycznych. Nieco cieplejsze wydały się być również niektóre wzniesienia terenu, co było najprawdopodobniej związane z wpływem nasłonecznienia w ciągu dnia. Na podstawie obrazów termalnych opracowano geologiczną mapę fotointerpretacyjną w skali 1 : 25 000. Mapa ta nasuwa szereg wniosków. Wszelkie elementy związane z płytkim występowaniem zwierciadła wody gruntowej zostały przedstawione na obrazach termalnych bardzo wyraźnie i charakteryzowały się znacznie ciemniejszym fototonem (niższa temperatura). W tym zakresie obrazy termalne wykazały swoje zalety w stosunku do zdjęć panchromatycznych. Informacje uzyskane dzięki interpretacji obrazów termalnych, dotyczyły głębokości występowania zwierciadła wody gruntowej do 1,5 metra, a fragmentarycznie do 2 metrów. Informacje te potwierdzono pomiarami zwierciadła wody gruntowej w 50 studniach gospodarskich, rozlokowanych na całym obszarze objętym zobrazowaniem termalnym.

Obrazy termalne dostarczyły niewiele informacji z zakresu litologii. Uzyskane w wyniku interpretacji dane nie wniosły zasadniczo nic nowego w stosunku do uprzednio wykonanych map geologicznych tego rejonu. Stosunkowo niewiele danych uzyskano również interpretując obrazy termalne pod kątem tektoniki badanego obszaru. W trakcie prac stwierdzono jednak występowanie szeregu fotolineamentów, które nie zaznaczyły się na innych materiałach (zdjęciach panchromatycznych i w podczerwieni fotograficznej). Z uwagi na ciemniejszy fototon, fotolineamenty zostały prawdopodobnie odwzorowane poprzez strefę wilgotności na powierzchni terenu. Wydaje się również, że powiązanie dużej skali obrazów termalnych z ich stosunkowo niską zdolnością rozdzielczą nie zezwoliło na pełniejszą ocenę przebiegu fotolineamentów w tym rejonie. Jak wynika z powyższego, największa przydatność obrazów termalnych odnosi się do możliwości obserwacji występowania płytkiego zwierciadła wody gruntowej. Praktyka wykazuje również, że pomimo niewąt-

pliwych zalet, interpretacja obrazów wykonanych w zakresie podczerwieni termalnej napotyka wiele trudności. W związku z tym podczerwień termalna nie jest, ani prawdopodobnie nie będzie w przyszłości, techniką ogólnego zastosowania w badaniach fotogeologicznych, w przeciwieństwie do techniki zdjęć wielospektralnych lub obrazów radarowych, które w wyniku jednorazowego nalotu umożliwiają zebranie większego zasobu informacji.

Latem 1976 roku przeprowadzono w rejonie Bełchatowa nalot na znacznie większym obszarze, obejmującym przeszło 1200 km<sup>2</sup>. Tym razem wykonywano małoskalowe zdjęcia panchromatyczne oraz zdjęcia w zakresie podczerwieni fotograficznej. Materiały te zostały zinterpretowane, a następnie porównane z interpretacją obrazów termalnych z 1975 roku i zdjęć panchromatycznych z 1963 roku. W trakcie analizy porównawczej zaznaczono miejsca osuszenia gruntów na podstawie zmian fototonalnych. Stwierdzono również zaniki niektórych niewielkich zbiorników wodnych oraz zmiany linii brzegowej w szeregu innych. Na tej podstawie wykreślono strefę osuszanej powierzchni, która zarysowała się w formie zbliżonej do elipsy na obszarze o powierzchni przeszło 60 km<sup>2</sup>, mającej punkt centralny w pobliżu budującej się elektrowni Rogowiec. Osuszana strefa jest powierzchniowym odzwierciedleniem wpływu rozwijającego się leja depresyjnego wód podziemnych. Oczywiście odwzorowanie się tego zjawiska na powierzchni terenu jest możliwe do zaobserwowania z pewnym opóźnieniem czasowym w stosunku do aktualnego zasięgu leja. Niemniej jednak informacje te są bardzo interesujące z uwagi na możliwości uzupełnienia danych punktowych z wierceń. W latach następnych prace na tym obszarze będą kontynuowane.

Odmienny przykład zastosowania technik teledetekcyjnych w badaniach geologicznych stanowi interpretacja obrazów satelitarnych z rejonu Kujaw pod kątem identyfikacji struktur kolistych. Stwierdzono bowiem, że formy te na równi z fotolineamentami są cennym źródłem informacji na temat budowy geologicznej podłoża. Często są one również nazywane strukturami pierścieniowymi, owalnymi, łukowatymi itp. Jednocześnie podkreśla się atrakcyjność tych struktur, zwłaszcza z uwagi na to, że mogą być one wskaźnikami miejsc występowania intruzji skał magmowych w podłożu, wysadów solnych lub struktur będących pułapkami ropy naftowej i gazu ziemnego. Od strony interpretacyjnej stwierdzono, że struktury koliste stanowią rodzaj anomalii, podkreślonej na zdjęciu przez zespół cech powierzchniowych, obejmujących układ drenażu, morfologię i roślinność. Interpretacja danych satelitarnych z rejonu Kujaw obejmowała obrazy przekazane przez dwa satelity amerykańskie typu Landsat oraz zdjęcia fotograficzne z radzieckiego statku kosmicznego Sojuz-22.

Zdjęcia i obrazy satelitarne zostały wykonane za pomocą techniki wielospektralnej, w zakresie widma widzialnego oraz podczerwieni fotograficznej. W trakcie prac okazało się, że wykorzystanie obrazów wielospektralnych miało kluczowe znaczenie przy identyfikacji struktur kolistych. Interpretację przeprowadzono wizualnie, na odbitkach z poszczególnych wyciągów spektralnych oraz na obrazie uzyskanym z przeglądarki addytywnej. Przeglądarka addytywna jest podstawowym urządzeniem umożliwiającym interpretację zdjęć wielospektralnych. Urządzenie to zezwala na jednoczesną projekcję 2—4 wyciągów spektralnych (negatywów lub pozytywów) na jeden ekran, na którym następuje nałożenie poszczególnych obrazów. Poszczególne wyciągi spektralne są rzutowane przez różne filtry, co powoduje powstanie na ekranie obrazu barwnego. Kombinację filtrów, wyciągów spektralnych i natężenie światła można zmieniać w dość szerokich granicach, co w efekcie zezwala niejednokrotnie na wydobycie wielu informacji, niemożliwych do bezpośredniego zaobserwowania na filmie panchromatycznym czy też barwnym. Interpretację kompozycji barwnych można prowadzić wprost na ekranie przeglądarki addytywnej lub też uzyskany na ekranie obraz można sfotografować w celu późniejszej, szczegółowej interpretacji. Dla obrazu satelitarnego Landsat (2104—09080) wykonano w przeglądarce addytywnej szereg różnych kompozycji w barwach nierzeczywistych a następnie od-fotografowano je z monitora. Za najbardziej przydatne do interpretacji struktur kolistych uznano trzy kompozycje:

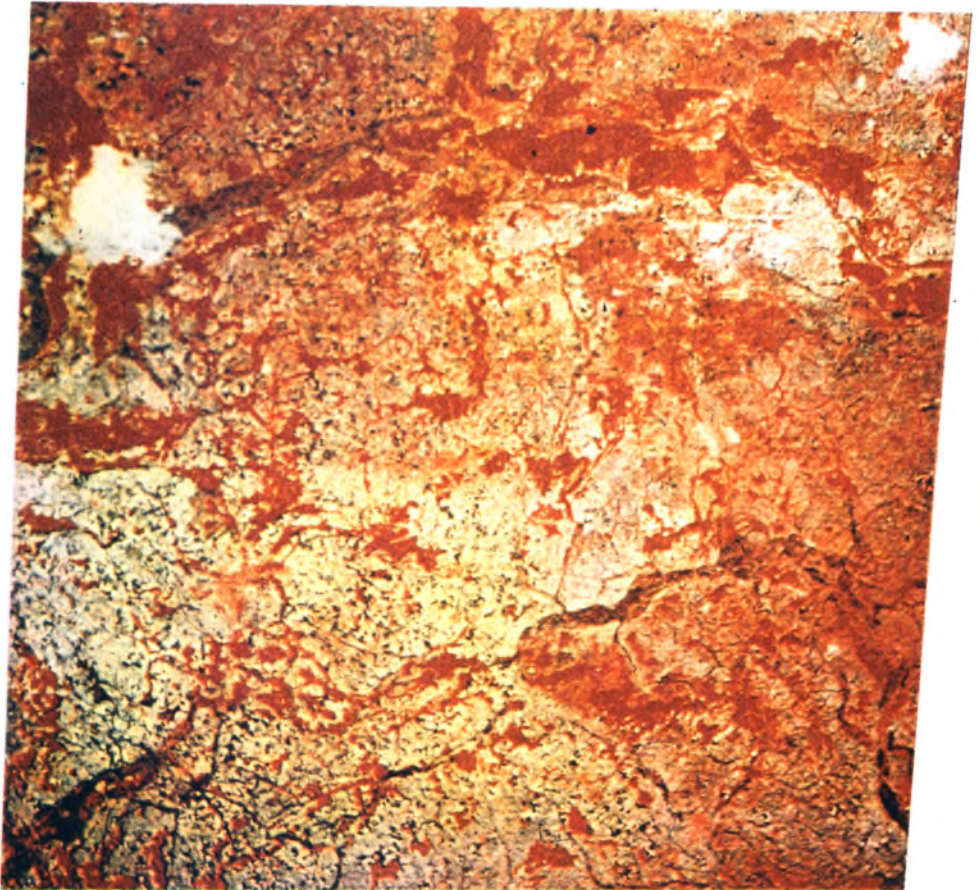
1) pozytyw wyciągu spektralnego 0,6—0,7  $\mu\text{m}$  (zakres czerwony) rzutowany przez filtr biały oraz negatyw wyciągu spektralnego 0,8—1,1  $\mu\text{m}$  (zakres podczerwieni fotograficznej) rzutowany przez filtr czerwony (rys. 1);

2) pozytyw wyciągu spektralnego 0,6—0,7  $\mu\text{m}$  rzutowany przez filtr czerwony oraz pozytyw wyciągu spektralnego 0,8—1,1  $\mu\text{m}$  rzutowany przez filtr zielony (rys. 2);

3) negatyw wyciągu spektralnego 0,6—0,7  $\mu\text{m}$  rzutowany przez filtr zielony oraz negatyw wyciągu spektralnego 0,8—1,1  $\mu\text{m}$  rzutowany przez filtr czerwony.

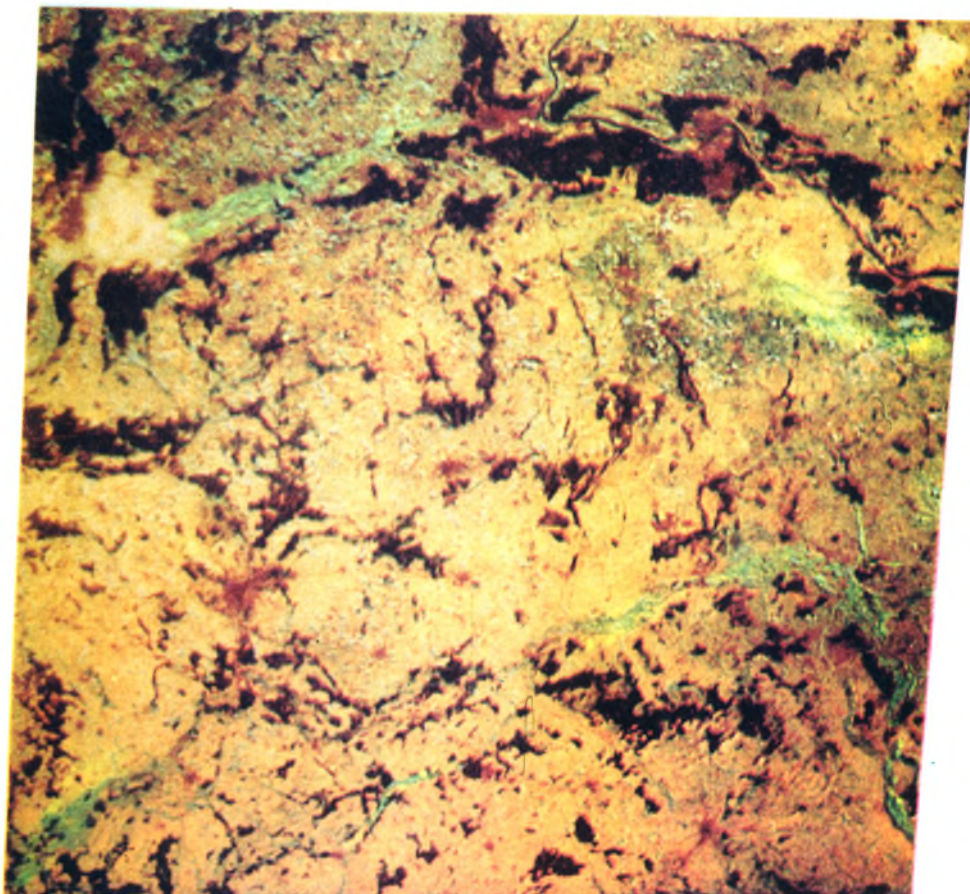
Na wymienionych kompozycjach osiągnięto maksymalne wzmocnienie wizualnego efektu obrazu w odniesieniu do podkreślania interpretowanych form kolistych.

Na badanym obszarze zinterpretowano łącznie 40 struktur kolistych o średnicach wahających się od jednego do około pięciu kilometrów. W następnym etapie zinterpretowane struktury naniesiono na mapę geologiczną w skali 1 : 500 000. Okazało się wówczas, że lokalizacja 10 zinterpretowanych struktur pokryła się z lokalizacją znanych wysadów solnych w Wapnie, Inowrocławiu, Górze, Damasławku, Mogilnie, Izbicy,



**Rys. 1. Kompozycja barwna obrazu satelitarne Landsat (2104-09080) odfotografowana z monitora przeglądarki addytywnej 1<sup>2</sup>S przedstawiająca pozytyw czerwonego wyciągu spektralnego rzutowanego przez filtr biały oraz negatyw podczerwonego wyciągu spektralnego rzutowany przez filtr czerwony**

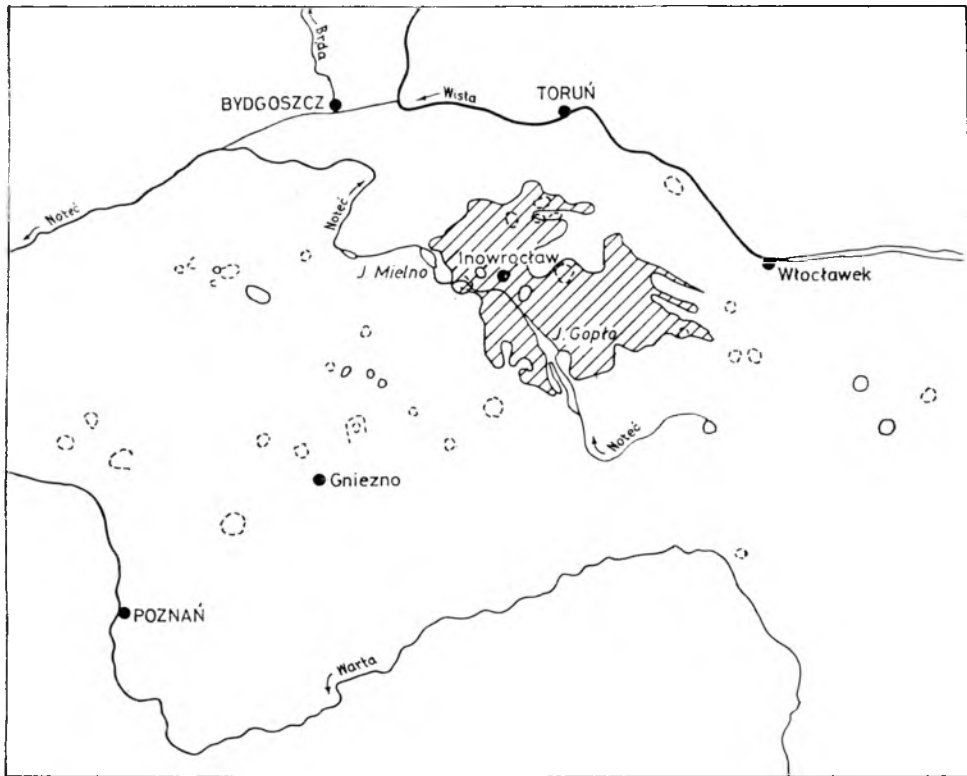




**Rys. 2. Kompozycja barwna Landsat (2104-09080) otrzymana z zestawienia pozytywu czerwonego wyciągu spektralnego rzutowanego przez filtr czerwony oraz pozytywu podczerwonego wyciągu spektralnego rzutowanego przez filtr zielony**







- Struktury koliste zinterpretowane ponad znanymi wysadami solnymi
- ⊖ Inne struktury koliste
- ▨ Anomalia „chlorkowa”

Rys. 3. Szkic fotointerpretacyjny z rejonu Kujaw

Lubieniu i Łaniętach (rys. 3). W świetle powyższych wyników wydaje się, że pozostałe struktury są bardzo istotne dla określenia kierunków eksploracji geologicznej. Nie należy jednak automatycznie utożsamiać wszystkich pozostałych 30 zinterpretowanych struktur z nierozpoznanymi wysadami solnymi, nie można też jednak wykluczyć, że takie prawdopodobieństwo istnieje. W celu uwiarygodnienia otrzymanych wyników, zinterpretowane struktury koliste porównano z mapą grawimetryczną w skali 1 : 500 000. W tym przypadku stwierdzono dużą zbieżność trzech struktur z silnymi anomaliami ujemnymi, w rejonie Mogilna (poza udokumentowanym wysadem) i Brześcia Kujawskiego. Wiele innych struktur jest natomiast zlokalizowanych na obszarach o mniej zróżnicowanych anomaliach. Porównanie z mapą geologiczną zwraca z kolei

uwagę na zbieżność lokalizacji zinterpretowanych form kolistych ze strukturami antyklinalnymi w rejonie Rogoźna oraz Aleksandrowa Kujawskiego.

Niewątpliwie, w dalszych pracach należy brać pod uwagę wymienione powyżej przykłady korelacji, wyników interpretacji ze strukturami podłoża, aczkolwiek ich pochodzenie i odzwierciedlenie na powierzchni nie jest w pełni wyjaśnione. Podobne zagadnienie poruszał W.D. Carter (1974) prezentując wyniki badań przeprowadzonych w Luizjanie (USA). W konkluzji nie przedstawił on jednak jednoznacznych wyjaśnień dotyczących genezy omawianych zjawisk. Bardzo interesujące wnioski wypływają z rozważań M.D. Baranieckiej (1975). Między innymi autorka zwraca uwagę na możliwość występowania młodych ruchów tektonicznych w rejonie wysadów solnych, a w związku z tym na redukcję ogólnej miąższości kolejnych ogniów czwartorzędu na osi wysadu oraz omijanie strefy osiowej wysadu przez różnowiekowe facje rzeczne, zbiornikowe i zastoiskowe — czyli facje różnych obniżen czwartorzędowych. Na tej podstawie można również spodziewać się występowania wyżej wymienionych facji wokół wysadów solnych. W związku z tym wydaje się, że łączny efekt działania procesów tektonicznych oraz sedymentacyjnych, rzutujących bezpośrednio na strukturę współczesnego drenażu, mógł stać się cechą rozpoznawczą wysadów, „widzianych” w postaci form kolistych z 1000 kilometrowej wysokości podkładu satelity. W tej sytuacji niepoślednią rolę odgrywa synoptyczny charakter zdjęcia satelitarnego, obrazującego uogólnienie cech krajobrazu na powierzchni Ziemi.

Interesująco przedstawia się również kwestia zinterpretowanej na zdjęciu anomalii tonalnej, rozciągającej się na powierzchni około 600 km<sup>2</sup> w rejonie przyległym do Inowrocławia. Anomalia ma kształt nieregularny i charakteryzuje się ciemniejszym fototonem na zdjęciach wykonanych w zielonym i czerwonym zakresie spektrum oraz podczerwieni fotograficznej. Początkowo sądzono, że ma ona związek ze zwiększoną wilgotnością w tym rejonie lub z sezonowym stanem roślinności. W trakcie interpretacji okazało się jednak, że anomalia powtórzyła się na wszystkich rodzajach zdjęć wykonanych w różnych okresach czasu, to znaczy w listopadzie 1973 r. (Landsat 1), maju 1975 r. (Landsat 2) oraz sierpniu 1976 r. (Sojuz 22).

Obszar, na którym występuje anomalia, charakteryzuje się zróżnicowaną budową geologiczną. Występują na nim gliny zwałowe moreny dennej oraz gliny zwałowe, piaski i żwiry moren czołowych. Miąższość utworów czwartorzędowych jest bardzo zmienna, tak samo jak poziom zwierciadła wód gruntowych. Zatem ani stosunki wodne ani litologia nie wykazują widocznego, bezpośredniego związku z anomalią. W tej sytuacji zwrócono uwagę na współzależności podane przez A.R. Barringera

(1973), który obniżenie wartości albedo w zakresie podczerwieni fotograficznej wiąże ze wzrostem zawartości chlorków w chlorofilu. Wszystko wskazuje na to, że w rejonie Inowrocławia nastąpił podobny przypadek. Zasięg anomalii mógłby więc odzwierciedlać rozprzestrzenianie się chlorków na skutek migracji wód. Potwierdzeniem tego są również dane przedstawione na mapach mineralizacji wód podziemnych w tym rejonie. Wykazują one stężenie chlorków w wodzie sięgające miejscami 10 g/l.

Podane powyżej informacje mają charakter wstępny. Wymagają one dalszych prac w rozszerzonym cyklu interpretacyjnym, przy wykorzystaniu taśm z cyfrowym zapisem obrazu, zawierających znacznie więcej informacji oraz bardziej dokładnych badań na urządzeniach analogowych. Wydaje się jednak, że już na podstawie opisanych przykładów wykazano, że odpowiednia obróbka i interpretacja obrazów satelitarnych może dostarczyć wiele interesujących informacji dla dalszych badań geologicznych.

#### L I T E R A T U R A

- Baraniecka M.D., 1975, *Zależność wykształcenia osadów czwartorzędowych od struktur i dynamiki podłoża w środkowej części Nizy Polskiego*. Z Badań Czwartorzędu w Polsce. Biuletyn I G nr 288 Tom 16, Warszawa.
- Barringer A.R., 1973. *Remote Sensing Techniques for Mineral Discovery*. The Surveillance Science Remote Sensing of the Environment Boston.
- Carter W.D., 1974, *EROS Program and ERTS I Satellite Applications to Geophysical Problems*. Proceeding of the Symposium in Constance, May 1973, Berlin.

#### МАРЕК ГРАНИЧНЫ

### ВЫБРАННЫЕ ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНИК ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

#### Резюме

В статье представлены замечания относительно применения двух разных техник дистанционного зондирования Земли — тепловой аэросъемки и много-спектральных космических снимков для решения разнородной геологической проблематики. Геологическая интерпретация тепловых снимков представлена на примере Белхатовского угольного бассейна. Тепловые снимки были испытаны в этом случае с точки зрения пригодности для целей наблюдения приповерхностного выступления зеркала грунтовых вод. Информации такие особенно су-

ществены в связи с возникновением в этом районе открытых разработок и проводимыми осушительными работами.

Тепловые снимки в районе Белхатова были выполнены летом 1975 года около одного часа после заката солнца. Кажется, что относительно гидрогеологических наблюдений были достигнуты оптимальные условия изображения местности. В это время дня подмокшие долинныи поверхности и бессточные понижения характеризовались относительно остальных поверхностей отчетливо более темными фототонами, свидетельствующими о низшей температуре по сравнению с прилегающими площадями.

Информации, полученные путем интерпретации, касались выступления зеркала грунтовых вод до глубины 1,5 м, фрагментами до 2 м. Информации эти подтверждено измерениями зеркала грунтовых вод в 50 хозяйских колодцах, расположенных на всей территории охваченной тепловой аэросъемкой. На этой основе составлено фотоинтерпретационную карту в масштабе 1 : 25 000. На сколько тепловые снимки предоставили богатый материал, касающийся гидрогеологии, то информации на тему литологии и тектоники были довольно скудные по сравнению с ранее составленными геологическими картами этого района.

Помимо несомненных достоинств геологическая интерпретация тепловых инфракрасных изображений встречает много трудностей. В связи с этим тепловая аэросъемка не является и вероятно не будет техникой всеобщего применения в фотогеологических исследованиях как многоспектральные техники или радар, позволяющие однократно в сумме собрать большее количество информации.

Летом 1976 года приведено в районе Белхатова съемку на значительно большей территории. На этот раз выполнено мелкомасштабные панхроматические снимки в ближнем инфракрасном диапазоне. Материалы эти были интерпретированы, а затем сравнены с интерпретацией тепловых снимков с 1975 года и панхроматических снимков с 1963 года.

Во время сравнительного анализа выделено места осушения грунта на основе фототональных изменений и изменений охвата небольших водоемов. На этой основе вычерчено зону осушаемой поверхности, которая изобразилась в форме близкой эллипса на территории свыше 60 км<sup>2</sup>. Интерпретационная осушенная зона представляет на поверхности влияние развивающейся депрессионной воронки. Конечно воспроизведение этого явления на поверхности является возможным для наблюдения с некоторым временным опозданием по отношению к актуальному охвату воронки.

Вторым примером применения техник дистанционного зондирования в геологических исследованиях является интерпретация космических снимков Landsat 1 и 2, а также Союза — 22 с точки зрения идентификации круговых структур. Интерпретацию произведено визуально на отпечатках из отдельных спектральных диапазонов и на аддитивном проекторе. На исследуемой территории интерпретировано в общем 40 круговых структур диаметрами от одного до около пяти километров. На следующем этапе интерпретировано структуры нанесенные на геологическую карту. Оказалось тогда, что локализация 10-ти интерпретированных структур покрылась с локализацией известных соляных куполов. В свете вышеуказанных результатов кажется, что остальные структуры являются довольно существенными для определения направлений геологических исследований.

С целью удостоверения полученных результатов интерпретированные круговые структуры сравнено также с гравиметрическими картами, что подтвердило в свою очередь совпадение ряда структур с сильными отрицательными

аномалиями. Перечисленные примеры корреляции результатов интерпретации со структурами основания несомненны, несмотря на то, что их происхождение и отражение на поверхности не вполне выяснено.

Интересно представляется также вопрос интерпретации тональной аномалии, распространяющейся на поверхности около 600 км<sup>2</sup> в районе прилегающем к Иноврславу. Аномалия имеет нерегулярную форму и характеризуется более темным фототонном на снимках отдельных спектральных диапазонов. После анализа разных архивных материалов установлено, что охват аномалии правдоподобно отражает распространение хлоридов в результате миграции вод. Подтверждением этого являются также данные представленные на картах минерализации грунтовых вод в этом районе. Показывают они насыщение хлоридов в воде, достигающее местами 10 г/л.

Поданные выше информации имеют вступительный характер. Требуют они дальнейших работ в расширенном цикле интерпретации. Кажется однако, что уже на основе описанных примеров соответствующая обработка и интерпретация космических снимков может предоставить много интересной информации для дальнейших геологических исследований.

Перевод: Róża Tołstikowa

MAREK GRANICZNY

## SOME EXAMPLES OF APPLICATION OF REMOTE SENSING IN GEOLOGICAL RESEARCH

### Summary

This article is devoted to the evaluation of the applicability of different remote sensing techniques, i.e. aerial photography, infrared thermal imagery and multi-spectral satellite imagery in various branches of geological research. The geological interpretation of thermal imagery has been presented on the basis of investigations carried out in the Bełchatów brown coal region (a strip mine under construction). The information content of thermal imagery has been tested as to its applicability for surveying changes in the ground water level. Reliable information on the falling ground water table in the vicinity of the excavation pits is of vital importance for local authorities.

Thermal images of the Bełchatów region were acquired on a summer evening of 1975, about one hour after sunset. The above timing seems to be optimal for the acquisition of imagery for hydrogeological interpretation. Wet valleys and areas without outflow are depicted on the imagery in tones considerably darker than the surrounding dry areas. Differences in ground temperature are thus clearly observable.

Interpretation procedures aimed at defining the areas where the first level of ground water is less than 1.5 m (in some places less than 2 m) below the surface.

In order to confirm the results of the interpretation, the water level has been measured in 50 farmers' wells uniformly distributed over the investigated area.

An important conclusion has been reached on the basis of these investigations: thermal imagery, being a good source of hydrogeological information, does not bear any significant information for lithological or tectonic research.

In spite of some assets, the future applicability of the infrared portion of the spectrum for geological interpretation does not seem very promising.

Another wide scale data gathering project was carried out in the Bełchatów region during the summer of 1976. Small scale panchromatic pictures and infrared imagery of the area were obtained. The results of the interpretation of this new material were compared with the findings based on the interpretation of infrared imagery acquired in the summer of 1975 and panchromatic pictures from 1963.

The progress in unwatering the mine was traced on the basis of phototon changes and changes in the aerial extent of small water bodies in the region. The results of interpretation were drawn on the map which shows an ellipsoidally shaped surface area of approximately 60 sq.km and depicts the extent of the growing subsurface depression. Time lapse between changes occurring in ground water level due to unwatering activities and the resulting surface changes have to be taken into account.

The identification of circular anomalies on satellite imagery (acquired by Landsat 1 and 2 and Sojuz-22) is another example of the application of remote sensing techniques to geological research. Interpretation based on the visual examination of prints from individual spectral bands and elaboration by means of an additive viewer resulted in the identification of 40 circular anomalies, 1 to 5 km in diameter. Comparison with existing maps has demonstrated that the location of 10 of the identified anomalies corresponds with known salt domes.

The results of these preliminary investigations indicate the usefulness of this method for defining areas for further geological exploration. The correlation of the detected circular anomalies with gravimetric anomalies was also established. Circular anomalies identified on satellite imagery undoubtedly correspond with subsurface geological structures, not much can be said, however, about the provenance of these anomalies.

An extensive tonal anomaly of about 600 sq. km. has been identified in the vicinity of Inowrocław. An irregular shape in dark phototones can be observed very clearly in different spectral bands. Comparison with various archival materials indicates that the extension of this tonal anomaly probably illustrates the migration of chlorides in ground waters. Confirmation of this theory was found in maps showing the mineralisation of ground water in the area. The chloride content of this water is, in some places, as much as 10 g/l.

The results presented above are only preliminary; further research is necessary.

The interpretation of satellite imagery is undoubtedly a powerful tool for future geological research.

Translation: Wiesława Sujkowska

MAREK GRANICZNY

## LES EXEMPLES CHOISIS D'APPLICATION DES TECHNIQUES DE TÉLÉDÉTECTION DANS LA RECHERCHE GÉOLOGIQUE

## R é s u m é

L'article présente des observations sur l'application de deux différentes techniques de la télédétection visant la résolution de divers problèmes géologiques; les images aériennes thermales en infrarouges et les images multispectrales de satellite. L'interprétation géologique des images thermales a été présentée à l'exemple du Bassin Houiller de Bełchatów. Les images thermales y ont été testées en vue de l'évaluation de leur utilité pour les observations d'existence de nappes aquifères peu profondes. Ces informations sont particulièrement importantes à cause de l'établissement dans cette région d'une mine à ciel ouvert et des travaux de drainage qu'on y exécute.

La visualisation thermique dans la région de Bełchatów a été effectuée en été 1975 dans une heure environ après le coucher du soleil. Il parait qu'on a obtenu les conditions optimales de visualisation par rapport aux observations hydrogéologiques. A cette heure les terrains humides de vallées et les bassins sans drainage se caractérisaient par rapport aux terrains voisins, par des phototons sensiblement plus foncés — „plus froids”, ce qui montre que leur température était inférieure à celle des terrains environnants.

Les informations interprétées concernaient l'existence de la nappe d'eau souterraine jusqu'une profondeur de 1,5 m. et parfois de 2,0 m. Ces informations ont été affirmées par la mesure de la profondeur de nappe d'eau souterraine dans 50 puits de fermes dispersés sur toute la région couverte par la visualisation. C'est sur cette base qu'une carte de photo-interprétation à échelle de 1 : 25.000 a été élaborée. Si les images thermales ont donné un riche matériau hydrogéologique, les informations sur la lithologie et la tectonique étaient restreintes par rapport aux cartes géologiques de cette région préalablement élaborées.

Malgré ses certains avantages, l'interprétation géologique de l'infrarouge thermal rencontre plusieurs difficultés. C'est pourquoi l'infrarouge n'est pas et ne sera probablement pas dans l'avenir une technique généralement appliquée pour les études photogéologiques comme les techniques multispectrales ou le radar qui permettent d'assembler en une seule fois un nombre important d'informations.

En été 1976 on a exécuté dans la région de Bełchatów un vol photographique sur un terrain plus grand qu'avant. Cette fois on a effectué des photos panchromatiques de petite échelle ainsi que des photos en proche infrarouge. Ces matériaux ont été interprétés et ensuite comparés avec l'interprétation des images thermales de 1975 et des photos panchromatiques de 1963.

ges and changes in the aerial extent of small water bodies in the region. The

En cours de l'analyse comparative on a marqué, en base des changements phototonaux et des changements du rayonnement des petits réservoirs d'eau, les lieux d'assèchement de terrains. Sur cette base on a dessiné une zone de superficie asséchée qui s'est présentée sous forme ressemblante à une ellipse de surface supérieure de 60 km<sup>2</sup>. Après l'interprétation la zone asséchée illustre sur la surface l'influence d'un entonnoir de dépression qui se développe. Il est évident

que la projection de ce phénomène sur la surface n'est possible à observer qu'avec un certain retard dans le temps par rapport à l'étendue actuelle d'entonnoir.

Le deuxième exemple d'application des techniques de télédétection pour les recherches géologiques c'est l'interprétation des images de satellite Landsat 1 et 2 ainsi que Sojuz 22 en l'identification des structures circulaires. Cette interprétation était effectuée par la méthode visuelle sur les copies des extraits spectraux respectifs et à l'aide d'une visionneuse additive. Sur le terrain étudié on a interprété ensemble 40 structures circulaires de diamètre entre 1 et 5 kilomètres environ. Le rapport des structures interprétées sur la carte géologique constituait l'étape suivante on a constaté que la localisation de 10 entre ces structures étaient identiques à la localisation des soulèvements salins connus. En lumière de ces résultats il semble que les autres structures sont très importantes pour la détermination des orientations d'exploration géologique.

Afin d'authentifier les résultats obtenus, les structures circulaires interprétées ont été aussi comparées avec les cartes gravimétriques ce qui par la suite a confirmé la convergence de certaines structures avec les fortes anomalies négatives. Les exemples déjà cités de corrélation des résultats d'interprétation avec les structures de soussol ne font aucun doute mais leur origine et reflet sur la surface ne sont pas tout à fait éclaircis.

Le problème d'anomalie tonale interprétée dont l'étendue dans la région voisine d'Inowrocław atteint 600 km<sup>2</sup> environ, est aussi intéressant. Cette anomalie en forme irrégulière se caractérise par le phototon foncé sur les photos des extraits spectraux particuliers. Après avoir analysé les différents matériaux d'archives on a constaté que l'étendue de cette anomalie illustre la propagation de chlorures par suite d'une migration des eaux. Cela a aussi été confirmé par des données présentées sur les cartes de minéralisation des eaux souterraines dans cette région. Ces données montrent la concentration de chlorures en eaux allant parfois jusqu'à 10 g/l.

Les informations données ci-dessus n'ont qu'un caractère préliminaire. Elles exigent de nouveaux travaux d'un cycle d'interprétation élargi. Il semble néanmoins que sur la base des exemples déjà cités le traitement et l'interprétation nécessaires des images de satellite peuvent fournir de nombreuses informations intéressantes pour de nouvelles recherches géologiques.

Traduction: Bohdan Jakubowski