

ANDRZEJ CIOŁKOSZ
STANISŁAW MULARZ

553.66:528.711.4.029.672

Badanie powierzchniowych zmian termiki gruntu rejonu złoża siarki w Grzybowie metodą termowizyjną

Wydobywanie siarki metodą podziemnego wytapiania powoduje duże zmiany w termice górotworu w rejonie prowadzonych robót górniczych. Szczególnie wyraźnie zaznaczają się one w środowisku wodnym, obejmującym zarówno wody podziemne, jak i powierzchniowe. Wyznaczenie wielkości i zasięgu zmian termiki górotworu jest bardzo istotne z punktu widzenia właściwej gospodarki złożem i terenami przyległymi. W konwencjonalnych metodach, stosowanych dotychczas, w badaniach tej termiki wykorzystuje się bezpośrednio, punktowe pomiary temperatury. Są to metody mało dokładne i uciążliwe w realizacji. Dlatego też Instytut Geodezji Górniczej i Przemysłowej AGH wspólnie z Instytutem Geodezji i Kartografii podjęły próbę zastosowania metody bezkontaktowej, jaką jest termowizja, do wyznaczenia rozkładu temperatury powierzchni gruntu w rejonie kopalni siarki w Grzybowie. Metoda ta, dostarczając informacji o wielkości emisji promieniowania podczerwonego, umożliwia ze stosunkowo dużą dokładnością i wiarygodnością wyznaczenie pól temperatur na powierzchni badanych obiektów.

Do zarejestrowania informacji o obiektach i zjawiskach zachodzących na powierzchni ziemi, a dostarczanych za pomocą długofalowego promieniowania podczerwonego, zastosowano urządzenie AGA Thermoprofile Model THP-1. Analizuje ono i zamienia na obraz widzialny promieniowanie elektromagnetyczne o długości fal 2 do 4,6 μm , emitowane przez badany obiekt.

Thermoprofile Model THP-1 składa się z dwóch części: urządzenia analizującego (skanera) oraz urządzenia obrazującego. Promieniowanie podczerwone emitowane przez badane obiekty, po przejściu przez wirujący z prędkością 16 obrotów na sekundę obiektów germanowy, pada na detektor podczerwieni, którym jest kryształ antymonku indu. W detektorze tym zostaje wytworzony sygnał elektryczny o natężeniu proporcjonalnym do ilości padającego promieniowania. Po wstępnym wzmocnieniu sygnał ten zostaje przesłany do urządzenia obrazującego, które jest wyposażone w dwa niezależne monitory. Pierwszy z nich wielkość promie-

niowania podczerwonego analizowanego wzdłuż określonego pasa przedstawia w postaci linii o modulowanej amplitudzie, drugi natomiast — w postaci linii prostej, lecz o modulowanej jasności. Wskazania tego monitora są fotografowane za pomocą kamery szczelinowej, w której prze-suwa się ze stałą prędkością film fotograficzny.

Thermoprofile Model THP-1 został umieszczony na pokładzie statku powietrznego w ten sposób, że podłużna oś skanera była równoległa do osi samolotu. Wówczas, wskutek ruchu samolotu, za każdym kolejnym obrotem obiektywu przeszukującego był analizowany inny fragment terenu. Powstające na ekranie linie o modulowanej jasności zostają za każdym razem odwzorowane na kliszy fotograficznej i sumując się tworzą bezklatkowy termalny obraz terenu oddany w tonach achromatycznych. Taka rejestracja pozwala tylko na jakościową interpretację rozkładu temperatury na powierzchni badanego terenu.

Zobrazowanie termalne obszaru kopalni wykonano w dniu 16. 12. 1975 r. za pomocą opisanego urządzenia AGA Thermoprofile Model THP-1, umieszczonego na pokładzie samolotu Ił-14. W celu zapewnienia zobrazowania najszerszego pasa terenu zdecydowano wykonać loty z maksymalnego pułapu określonego wyrażeniem:

$$h_{\max} = \frac{V_{\max}}{0,36},$$

gdzie h_{\max} — maksymalna wysokość fotografowania, V_{\max} — maksymalna prędkość samolotu.

Samolot Ił-14 mógł poruszać się z prędkością maksymalną $V_{\max} = 300$ km/h, co zdeterminowało wysokość lotu, która wyniosła 833 m.

Między wysokością lotu a szerokością obrazowanego pasa terenu istnieje także ścisła zależność równa

$$B = 2h \cdot \operatorname{tg} \frac{\omega}{2},$$

gdzie B — szerokość obrazowanego pasa terenu, h — wysokość fotografowania, ω — kąt wybierania skanera (w analizowanym przypadku $\omega = 80^\circ$).

A zatem przy zachowaniu powyższych wartości wysokości i prędkości lotu szerokość zobrazowanego pasa terenu wyniosła 1398 m.

Biorąc pod uwagę kształt i rozmiary pola górniczego zdecydowano wykonać trzy szeregi obrazów o wzajemnym pokryciu poprzecznym około 15%, przy czym osie lotów biegnęły z południowego wschodu na północny zachód. Obszar zobrazowany termalnie ma kształt zbliżony do prostokąta o powierzchni około 30 km².

Zobrazowanie termalne obszaru kopalni zostało wykonane w godzinach wieczornych przy temperaturze powietrza około +3°C. Cały teren był

pokryty warstwą śladowej ilości śniegu. Otrzymane termogramy doprowadzono do przybliżonej skali 1 : 40 000 i zmontowano w postaci termoszkicu, przypominającego swym wyglądem panchromatyczne zdjęcie lotnicze. Zasadnicza różnica między zdjęciem a termogramem tkwi w znaczeniu tonu obrazu. O ile w przypadku zdjęcia panchromatycznego ton ten wyraża jasność spektralną obiektów, o tyle w przypadku termogramu jest on funkcją temperatury obiektu i emisyjności jego powierzchni. Uogólniając można powiedzieć, że obiekty o niższych temperaturach mają na termogramie tony ciemne, natomiast obiekty cieplejsze są jaśniejsze. Ta zasada jest jednak do pewnego stopnia zmodyfikowana zdolnością emisyjną obiektu, która może w dużym stopniu zmieniać fototon termalnego obrazu obiektów o takiej samej temperaturze. Oznacza to, że jeżeli zdolność emisyjna określona współczynnikiem emisji danego obiektu jest mniejsza niż innego, to mimo jednakowej temperatury obu obiektów, pierwszy z nich będzie miał ciemniejszy ton na obrazie termalnym niż drugi.

Na termogramie obrazującym obszar kopalni wystąpiły różne tony, od bardzo ciemnych, prawie czarnych, aż do zupełnie białych. Te efekty tonalne są uwarunkowane zarówno temperaturą obrazowanych obiektów, jak też właśnie zdolnością emisyjną ich powierzchni. Zgodnie z generalną zasadą obrazowania w podczerwieni najwyższą temperaturę mają obiekty, których ton obrazu jest zupełnie biały. W analizowanym przypadku taki ton mają zbiorniki wód technologicznych, w których woda ma temperaturę kilkudziesięciu stopni Celsjusza, rowy odprowadzające wodę z obszarów pól górniczych, a także rurociągi doprowadzające podgrzaną wodę do otworów eksploatacyjnych.

Jasne tony, lecz znacznie ciemniejsze od wyżej wspomnianych, mają na termogramie lasy, które zwykle, o tej porze dnia, są cieplejsze od pól ornych zobrazowanych w ciemnym tonie. Jasny ton mają wreszcie doliny potoków oraz niektóre tereny położone na polach górniczych lub w ich pobliżu.

Łąki dolinne położone na zalewowych terasach rzek i potoków mają z reguły na termogramach fototon ciemny, uwarunkowany zarówno temperaturą gruntu, jak i wielkością jego współczynnika emisji promieniowania podczerwonego. Na termogramie pola górniczego obraz łąk ma jasny fototon, a więc inny niż zwykle. Próbę wytłumaczenia tego faktu podjęto w niniejszej pracy.

Obszar objęty obrazowaniem termalnym jest położony na lekko nachylonym stoku o południowej ekspozycji. Rozcięty jest on kilkoma ciekami o wyraźnie zaznaczonych dolinach. Różnice wysokości bezwzględnej w obrębie analizowanego obszaru dochodzą do 55 m. Centralną część badanego terenu zajmuje kopalnia z czterema polami górniczymi. W rejonie

tych pól wystąpiły deformacje powierzchni terenu w postaci niecek poeksploatacyjnych o różnej głębokości, dochodzącej miejscami do $5 \div 7$ m, zmieniających pierwotną konfigurację terenu.

Analiza obszarów o podniesionej, w stosunku do otoczenia, termice wykazuje dość wyraźny związek z rzeźbą terenu. Wyraża się on wystąpieniem miejsc cieplejszych w dolinach głównych cieków odwadniających badany obszar. Jest to szczególnie łatwe do zaobserwowania na przykładzie Potoku Koniemłockiego, który sam odprowadza ciepłą wodę z rejonu pól eksploatacyjnych. Ciepła woda potoku ma na obrazie ton biały, natomiast łąki w dolinie potoku mają jaśniejszy fototon w stosunku do pól ornych. Warto dodać, że w warunkach naturalnych ton termalnego obrazu łąk dolinnych jest zawsze ciemny, tzn. są one zimniejsze niż tereny przyległe. Mamy więc w tym przypadku do czynienia ze swego rodzaju inwersją termiczną, wskazującą na zaburzenie naturalnych warunków termiki gruntu.

Podobne zjawiska termiczne wystąpiły w dolinach dwóch innych potoków, z których pierwszy stanowi dopływ rzeki Wschodniej w górnym jej biegu (na pld. od miejscowości Wola Żyzna), drugi natomiast odwadnia pola górnicze odprowadzając wody do Zbiornika Adamówka. Z wyjątkiem górnego biegu Potoku Koniemłockiego, przypadającego na teren bezpośrednio graniczący z rejonem kopalni, anomalie termiczne w dolinach cieków obserwuje się na zewnątrz rejonu bezpośredniej eksploatacji w odległościach dochodzących nawet do $4 \div 6$ km. Pozostałe obszary zinterpretowane jako cieplejsze w stosunku do otoczenia nie wykazują związku z siecią dolinną. Występują one zarówno na łagodnych stokach, jak też i na terenach względnie płaskich.

W budowie geologicznej rozpatrywanego obszaru biorą udział utwory paleozoiczne, trzeciorzędowe i czwartorzędowe. Złoże siarki występuje w obrębie węglanowej serii chemicznych utworów trzeciorzędowych przykrytych warstwą utworów ilastych (iły krakowieckie) o miąższości dochodzącej do stukilkudziesięciu metrów. Na nich zalegają gliniasto-piaszczyste utwory czwartorzędowe. Serie tych utworów stanowią piaski i żwiry występujące głównie w północnej i wschodniej części rozpatrywanego obszaru oraz gliny piaszczyste, pylaste, a także pyły zajmujące jego część południowo-zachodnią. Lokalnie spotyka się tu także utwory mułowe, torfy oraz utwory rumoszowe. Średnia miąższość utworów czwartorzędowych wynosi około $8 \div 10$ m, lokalnie osiągając ponad 20 m, przy czym miejscami nie występują one zupełnie.

Z hydrogeologicznego punktu widzenia na badanym obszarze wyróżnia się dwa poziomy wodonośne. Pierwszy, o napiętym zwierciadle, występuje w utworach serii złożowej i podścielających ją piaskach baranowskich, drugi natomiast, o zwierciadle swobodnym, w utworach czwartorzędowych.

Z bezpośrednich badań hydrogeologicznych i badań analogowych wynika, że w obrębie poziomu trzeciorzędowego nastąpiło odwrócenie przepływu wód w serii chemicznej i podłożowej w północnej części obszaru złoża, w strefie alimentacji tego horyzontu. Kierunki przepływów w południowej części serii chemicznej pozostały w zasadzie nie zmienione, a jedynie wzrosły wielkości przepływów. Zmiany reżimu wodnego w obrębie horyzontu trzeciorzędowego zostały spowodowane działalnością kopalni, wyrażającą się powstaniem stożka represji w rejonie eksploatacji, wywołanego zatłaczaniem gorących wód.

Przebieg hydroizohips czwartorzędowego zwierciadła wody w generalnym zarysie nawiązuje do sytuacji morfologicznej badanego terenu. W ukształtowaniu swobodnego zwierciadła wody dużą rolę odgrywa drenaż istniejących cieków powierzchniowych. Oznacza to, że są one zasilane z tego horyzontu. Mamy tu zatem do czynienia z możliwością rozprowadzania wód technologicznych, przedostających się do czwartorzędu, na znaczne obszary położone w zachodniej części zlewni rzeki Czarnej.

Analiza aktualnych materiałów hydrogeologicznych dotyczących głębokości czwartorzędowego zwierciadła wody oraz lokalizacji miejsc o wyższej temperaturze gruntu wskazuje, że występują one tylko tam, gdzie głębokość do wody nie przekracza 2 m, niekiedy tylko osiągając wartości 2÷5 m. Wynika z tego, że zakłócenia termalne obserwowane na termogramach zachodzą tylko w przypowierzchniowych warstwach gruntu, a więc żadną miarą nie oddają zjawisk termicznych zachodzących w złożu. Potwierdzeniem tego są również ciemne obszary obserwowane w obrębie pól eksploatacyjnych i ich najbliższego sąsiedztwa. Wprawdzie obecność tych plam na termogramie została spowodowana usunięciem zewnętrznej warstwy gleby, co wpłynęło na znaczne obniżenie współczynnika emisji promieniowania podczerwonego przez te partie terenu, jednakże uwzględniając wielkość tego współczynnika należy stwierdzić, że termalny obraz terenu bezpośrednio nad eksploatowanym złożem nie jest jaśniejszy niż terenów otaczających. A zatem zjawiska termiczne zachodzące w złożu nie znajdują bezpośredniego odbicia na powierzchni terenu.

Analiza obrazów termalnych na tle mapy miąższości czwartorzędu wykazuje pewną zgodność występowania stref cieplejszych w miejscach mniejszej miąższości utworów czwartorzędowych i o lepszych właściwościach filtracyjnych (przewaga utworów piaszczysto-żwirowych). Na szczególną uwagę zasługuje zjawisko występujące w górnym biegu Potoku Koniemłockiego. Dolina tego cieku, wypreparowana w ilastych utworach trzeciorzędowych, wyścielona jest warstwą osadów aluwialnych, których obramowanie stanowią wychodnie podłoża ilastego. Obraz termalny znakomicie koresponduje z powierzchniowym konturem tych wychodni, wskazując na podgrzanie li tylko utworów wodonośnych, gdyż penetracja wód poza ich

obręb jest niemożliwa na skutek izolującego charakteru iłów.

Podgrzanie wód w horyzoncie czwartorzędowym nastąpiło zatem albo w wyniku przebicia się wód technologicznych przez udrożnioną warstwę trzeciorzędu, albo też na skutek infiltracji tych wód wydobywających się na powierzchnię podczas erupcji.

Obserwowane zmiany chemizmu wód poziomu czwartorzędowego, wyrażające się wzrostem mineralizacji ogólnej osiągającej wartość do 2000 mg/l, a także wzrostem zawartości siarczanów do 300÷500 mg/l, a lokalnie przekraczających nawet 2000 mg/l, swoim zasięgiem dobrze korespondują z zaobserwowanymi zmianami termiki gruntu. Świadczy to również o technologicznym pochodzeniu wód horyzontu czwartorzędowego w badanym rejonie, co znalazło potwierdzenie w obrazie termalnym.

Warto dodać, że przed rozpoczęciem eksploatacji wody poziomu czwartorzędowego na rozpatrywanym obszarze odpowiadały w całości normie obowiązującej dla wód pitnych, a zatem zawierały poniżej 3,12 mg/l siarczanów i poniżej 500 mg/l części mineralnych. Badaniami hydrochemicznymi stwierdzono także obecność siarkowodoru zarówno w ciekach powierzchniowych oraz w niektórych miejscach poziomu czwartorzędowego.

Badania zmian termalnych w rejonie otworowej kopalni siarki za pomocą lotniczych obrazów termalnych były przeprowadzane w naszym kraju po raz pierwszy. Miały one charakter badań rekonesansowych, których celem było określenie rodzaju zjawisk możliwych do uchwycenia tym sposobem. Otrzymane za pomocą kamery termalnej obrazy terenu zawierają wiele informacji niemożliwych do zarejestrowania żadnym innym sposobem. Genezy niektórych informacji nie można jednak jednoznacznie określić, na skutek nakładania się zarówno czynników przyrodniczych, jak i antropogenicznych. Niemniej z analizy otrzymanych termogramów wynika, że wbrew oczekiwaniom, nie można za ich pomocą lokalizować obszarów penetracji gorących wód technologicznych w samym złożu siarki. Wyraźne odzwierciedlenie w obrazie termalnym znajdują natomiast takie obiekty kopalniane, jak: zakłady ogrzewcze, rurociągi, zbiorniki wód złożowych, a także rowy prowadzące ciepłą wodę. Ponadto na termogramie wyraźnie zaznaczają się wody gromadzące się w zapadliskach erupcyjnych. Obiekty te są źródłem emisji ogromnej ilości promieniowania podczerwonego, powodując znaczne nagrzanie otaczających warstw powietrza. Efektem tego jest rozmazanie konturów obrazów obiektów. Jasna otoczka tworząca się wokół bardzo ciepłych obiektów maskuje je uniemożliwiając prowadzenie poprawnej interpretacji.

Z analizy otrzymanych termogramów wynika, że zarejestrowane anomalie termiczne zachodzą przede wszystkim w obrębie utworów czwartorzędowych i związane są głównie z przedostawaniem się do nich podgrzanych wód technologicznych. Jak wynika z badań hydrogeologicznych i hy-

drochemicznych wody te są również skażone chemicznie. A zatem, możliwość zaobserwowania na lotniczych obrazach termalnych wszystkich miejsc o podwyższonej temperaturze pozwala określić zasięg wpływu kopalni na środowisko geograficzne, głównie na wody pierwszego horyzontu i cieki powierzchniowe.

Przeprowadzone badania miały głównie charakter technologiczny. Chodziło bowiem o stwierdzenie, czy i w jakim stopniu lotnicze obrazy termalne nadają się do badań zjawisk towarzyszących eksploatacji siarki metodą podziemnego wytapiania.

Recenzował doc. dr Józef Bażyński

Rękopis złożono w Redakcji w październiku 1976 r.

АНДЖЕЙ ЦИОЛКОШ
СТАНИСЛАВ МУЛЯЖ

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕРМИКИ ГРУНТА РАЙОНА МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕРЫ В ГЖИБОВЕ МЕТОДОМ АНАЛИЗА ТЕПЛОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Резюме

Добыча серы методом подземного вытапливания ведет к изменениям в термике горных пород. Отмечаются они особенно интенсивно в водной среде. Знание величины и охвата изменений является особенно важным с точки зрения правильного распоряжения месторождением, а также прилегающей территорией.

Для определения поверхностных изменений термики грунта на территории серной шахты „Гжибув” ИГиК вместе с ГМА (Горно-металлургическая академия) применил материалы тепловой аэросъемки, полученные на борту самолета с высоты 840 м с помощью прибора Thermoprofile модель ТНР-1 шведской фирмы АГА. Съемка была выполнена в декабре 1975 года, при температуре воздуха около 3°C. Полученные термограммы послужили для определения мест с повышенной температурой по отношению к окружающей среде. Одновременно произведено изучение геологических, гидрологических и гидрохимических материалов. Сравнение этих материалов с тепловыми изображениями выявило факт, что на этих последних в виде светлых пятен видны те места, где воды технически загрязненные серными соединениями проникли через слой третичных илов и сплывают по их кровле, покрытой слоем четвертичных отложений толщиной до двадцати метров. Итак, с помощью тепловых изображений можно проследить влияние серной шахты на водную окружающую среду и её загрязнение, нельзя зато определить мест эксплуатации сероносного месторождения.

ANDRZEJ CIOŁKOSZ
STANISŁAW MULARZ

INVESTIGATION OF SURFACE THERMIC CHANGES OF GROUND
IN THE REGION OF SULPHUR LEDGE IN GRZYBÓW
BY THERMOVISION METHOD

Summary

Sulphur extraction by the method of underground melting causes changes in thermal conditions of orogen. They are strongly marked in water environment. Knowledge of dimensions and extent of these changes is very important from the view-point of proper ledge and adjacent terrain economy.

For determination of surface thermic changes of ground at the area of sulphur-mine „Grzybów” IGiK in common with AGH used aerial thermal images obtained from the height 840 m by means AGA Thermoprofile THP-1. These images were recorded in December 1975, under air temperature of 3°C. The acquired thermograms were of service for determination of places with higher temperature than the temperature of surroundings. Simultaneously studies of geological, hydrological and hydrochemical materials were carried out. Comparison of these materials with aerial thermal images revealed, that the places, where technological water contaminated with sulphur compounds penetrated the tertiary loam layers and flows over its roof covered with quaternary layer of more than ten meters in thickness, were imaged as the bright paths on the thermal images. So, the aerial thermal images can be used for investigating the effect of sulphur-mine action on water environment and its contamination, but cannot be used for determination places of sulphur ledge exploitation.