

ANALIZA DANYCH TELEDETEKCYJNYCH DLA PROGNOZOWANIA WYSTĘPOWANIA WÓD MINERALNYCH I ZWYKŁYCH NA PRZYKŁADZIE OBSZARU MIĘDZY POLANICĄ, DUSZNIKAMI I KUDOWĄ

UKD 550.814:528.77:553.7(234.57)

Od kilku lat są w naszym kraju prowadzone prace nad wykorzystaniem metod teledetekcyjnych dla badań wód termalnych i mineralnych. Prace te zostały podjęte wspólnie przez Instytut Geologiczny, Zjednoczenie Uzdrawiska Polskie i Balneoprojekt w ramach problemu węzłowego 4.6 – Rozwój i wykorzystanie badań kosmicznych. Efektem tej współpracy było wykonanie wielu opracowań, głównie w Sudetach, z których znaczną część opublikowano (1, 8, 4, 3). Na podstawie dotychczasowych badań stwierdzono znaczną zbieżność warunków hydrogeologicznych z przebiegiem określonych struktur tektonicznych zinterpretowanych na zdjęciach satelitarnych i radarowych. Prace wskazały na przydatność metod teledetekcyjnych dla szczegółowych prac projektowych oraz celowość kontynuowania badań.

Przedmiotem rozważań w niniejszym artykule jest hydrogeologiczna analiza wyników fotointerpretacji zdjęć satelitarnych i radarowych, przeprowadzona na obszarach górniczych w rejonie Polanicy, Dusznik i Kudowy.

MATERIAŁY TELEDETEKCYJNE

Do opracowania wykorzystano różny materiał teledetekcyjny: zdjęcia satelitarne Landsat (systemy MSS i TM), zdjęcia satelitarne Kosmos oraz lotnicze zdjęcia radarowe (system TOROS). Materiał ten charakteryzował się wysoką jakością i pokrywał cały badany teren (z wyjątkiem zdjęć radarowych, które nie obejmowały Kudowy i przyległych do niej terenów). Charakterystyka wykorzystanych zdjęć była już niejednokrotnie omawiana, m.in. w cytowanych publikacjach. Wyjątek stanowią zdjęcia Landsat systemu TM (tematyczny kartograf) (ryc. 1), które otrzymano w naszym kraju pod koniec 1985 r. System TM, zainstalowany na satelitach Landsat 4 i 5, charakteryzuje się znaczącymi różnicami w stosunku do systemu MSS, obecnego w satelitach Landsat 1–3. Podstawowymi zmianami są: większa liczba pasm widma (TM-7; MSS-4) oraz zdolność rozdzielcza na powierzchni terenu (TM-30 m; MSS-60-80 m).

Pomijając wiele szczegółów technicznych oraz inny sposób transmisji danych do stacji odbiorczych, które są mniej istotne dla fotogeologa, warto zaprezentować poszczególne pasma widma systemu TM i przedstawić potencjalne możliwości ich wykorzystania. Trzeba również podkreślić, że zakres poszczególnych pasm widma został wybrany po długich badaniach i dyskusji, tak aby zdjęcia satelitarne mogły być wykorzystane przez szeroki wachlarz odbiorców.

PASMO 1 0,42–0,52 μm (niebieskozielone) – detekcja i penetracja zbiorników wodnych, przydatne przy kartowaniu wód przybrzeżnych (transport osadów, mielizny, pływy itp.), użyteczne dla rozróżnienia gruntów o różnej pokrywie roślinnej oraz lasów liściastych i szpilkowych;

PASMO 2 0,52–0,60 μm (zielone) – użyteczne do pomiarów albedo obszarów pokrytych roślinnością;

PASMO 3 0,63–0,69 μm (czerwone) – tzw. pasmo absorpcji chlorofilu, przydatne dla rozróżnienia różnych typów roślinności;

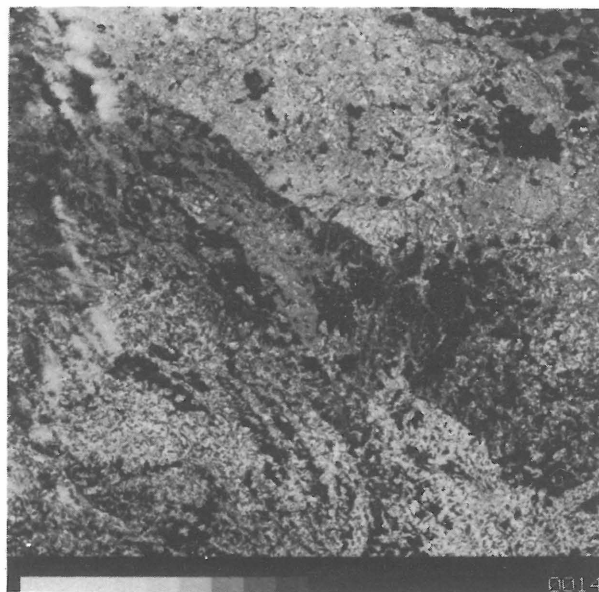
PASMO 4 0,76–0,90 μm (bliska podczerwień) – przydatne dla określenia zawartości biomasy oraz określenia zasięgu obszarów wodnych (kontury zbiorników) i sieci drenażowej;

PASMO 5 1,55–1,75 μm (środkowa podczerwień) – zezwala na ocenę zawartości wilgotności w roślinności i gruncie, przydatne również dla odróżnienia śniegu od chmur;

PASMO 6 10,3–12,5 μm (daleka podczerwień) – użyteczne dla kartowania obiektów o różnych właściwościach termalnych (zdolność rozdzielcza na powierzchni terenu 120 m) oraz oceny rozkładu wilgotności w glebie;

PASMO 7 2,08–2,35 μm (środkowa podczerwień) – przydatne dla rozdzielenia różnych typów skał, szczególnie na obszarach o różnym stopniu metamorfizacji (możliwości takie występują przede wszystkim na terenach pokrytych w niewielkim stopniu roślinnością).

Pewna niekonsekwencja w numeracji pasm 6 i 7 i długościach fal widma elektromagnetycznego wynika z faktu, że pasmo 7 (2,08–2,35 μm) zostało dołączone w ostatniej chwili na wyraźne życzenie geologów.



Ryc. 1. Zdjęcie satelitarne Landsat-5 (TM – tematyczny kartograf), pasmo 7 (podczerwień 2,08–2,35 μm), przedstawiające Sudety i Jeseniki. W części środkowej wyraźnie widoczny brzeżny uskók sudecki oraz Kotlina Kłodzka

Fig. 1. Satellite image of Landsat-5 (TM – Thematic Mapper), band 7 (infrared 2.08–2.35 μm), presenting the Sudetes and Jeseniki. In the center distinct Marginal Sudetic Fault and Kłodzko Basin

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA GEOLOGICZNA I HYDROGEOLOGICZNA

Budowa geologiczna obszaru otaczającego Polanicę, Duszniki i Kudowę została ukształtowana podczas kolejnych orogenez, działających na obszarze Sudetów (11). W ich wyniku powstały obecne jednostki tektoniczne, z których najważniejsze to:

- synklina Gór Stołowych,
- niecka śródsudecka,
- blok krystaliczny Gór Bystrzyckich i Orlickich,
- zapadlisko Kudowy,
- masyw granitoidowy Kudowy.

Jednostki większe są poprzecinane seriami uskoków, tworząc niekiedy pojedyncze bloki. Uskoki i strefy uskoko- we są podporządkowane głównie dwóm kierunkom: NW – SE (NWW – SEE) i prostopadłym do niego NE – SW (NEE – SWW). Najważniejsze z nich to:

- strefa uskokowa Gorzanów – Duszniki – Pstrążna,
- strefa uskokowa Polanica – Batorów – Karlów,
- uskoki prostopadłe Kudowy, Dusznik, Bobrownik i Polanicy.

Zrzut warstw dochodzi do kilkuset metrów. Część z omawianych dyslokacji zaznaczyła się już zapewne w erze paleozoicznej, a następnie była odnawiana podczas kolejnych ruchów górotwórczych aż do fazy saksońskiej orogenezy alpejskiej.

Budowa tektoniczna znajduje swoje odbicie w skomplikowanej hydrogeologii omawianego terenu. Oprócz wód zwykłych znajduje się tutaj parę rejonów występowania wód mineralnych zlokalizowanych wzdłuż strefy uskoko- wej Gorzów – Duszniki – Pstrążna. Są to rejony Kudowy – Jeleniowa, Dusznik – Bobrownik, Polanicy – Szalejowa, Go- rzanowa. Wody mineralne są ujęte studniami i odwiertami (w sąsiedztwie dawnych naturalnych wypływów), eksploato- wanymi dla potrzeb lecznictwa i rozlewni wód przez PP Ze- spół Uzdrawisk Kłodzkich w Polanicy, Dusznikach, Ku- dowie i Jeleniowie (5–7, 10, 13). Wody te to szcawy wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowe lub wodorowę- glanowo-sodowo-wapniowe (Kudowa), wzbogacona w kwas metakrzemowy (Duszniki) i arsen (Kudowa) o minerali- zacji ok. 2 g/dcm³ (max 5,5 w P-6 Kudowa – Słone) i tempe- raturze 11,5–15°C (max ok. 20°C w Dusznikach). Szcawy te mają charakter artezyjski lub subartezyjski i przeważnie są eksploatowane samoczynnie, a wydajność ich średnio wynosi 150–200 dcm³/min (max do 450 dcm³ „Wielka Pieniawa” w Polanicy).

Mineralizacja i podwyższona temperatura wód na tym terenie świadczy o starszym wieku tych wód i ich głębokim krążeniu. Umożliwiają to omówione wyżej dyslokacje, będące zarazem strefami kontaktów hydraulicznych róż- nych poziomów wodonośnych wód różnego typu i wieku. Jak stwierdzono podczas badań izotopowych wód leczni- czych (tryt, WWA) (2), występują tu dwa, a w Polanicy trzy typy różnowiekowych wód.

Najstarsze, najgłębiej krążące wody zmineralizowane są przy powierzchni rozcieńczane wodami słodkimi, in- filtrującymi współcześnie lub dwoma typami wód słod- kich – starszymi „martwymi” trytowo i „świeżymi” za- wierającymi pewne ilości tego izotopu (Polanica). Określono proporcje, w których następuje to rozcieńczenie dając eksploatowaną mieszaninę, która może być prawie pozba- wiona wód młodych (1% w odwiercie 2 – Moniuszko w Kudowie) lub zawierać ich nawet do 70% (J-150 w Jeleniowie, „Pieniawa Józefa II” w Polanicy).

Również temperatura wód nie jest wyłącznie wynikiem głębokości krążenia wód, ale również zależy od zawartości

chłodnych wód infiltrujących współcześnie. Ogólnie wyż- szą temperaturę mają „czyste” wody mineralne (Duszniki, odwiert P-300 w Polanicy) (12). Tak skomplikowane pro- cesy mieszania się wód różnych horyzontów, a niekiedy nawet wód powierzchniowych (Bystrzyca Dusznicka) z wodami mineralnymi, są możliwe jedynie dzięki istnieniu wielu głębokich i drożnych dyslokacji.

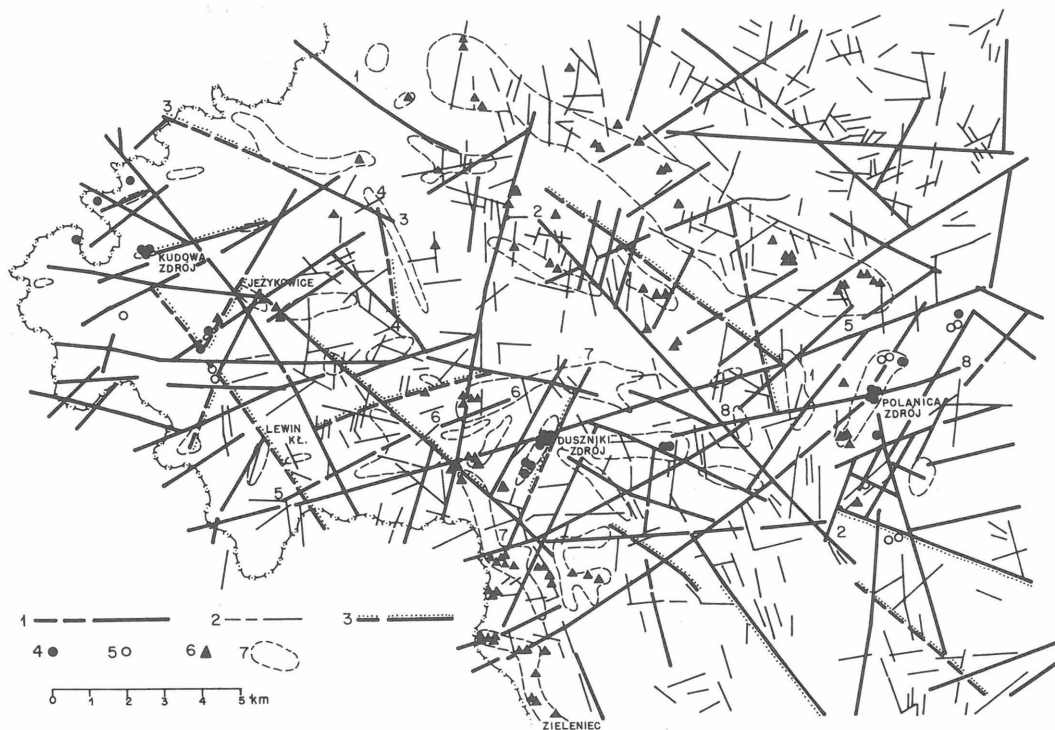
WYNIKI ANALIZY MATERIAŁÓW TELEDETEKCYJNYCH I HYDROGEOLOGICZNYCH

Strefy naturalnych wypływów wód mineralnych, a więc i strefy rozcieńczania są na mapie fotointerpre- tacyjnej najczęściej związane z miejscami zagęszczenia i krzyżo- wania się fotolineamentów biegnących w różnych kierun- kach. Część fotolineamentów została zidentyfikowana ze stwierdzonymi strefami uskokowymi (ryc. 2), część jednak nie ma dotychczas odpowiedników w badaniach tereno- wych. Łatwo jednak można stwierdzić, że naturalne wy- pływy wód podziemnych układają się wzdłuż ich przebiegu, niekiedy z pewnym przesunięciem. Dotyczy to nie tylko wód mineralnych, ale i zwykłych, których naturalne wy- pływy zostały naniesione na mapę.

Szczególnie wyraźny obraz zaznacza się na obszarze synkliny Gór Stołowych, gdzie duża strefa występowania źródeł biegnie wzdłuż NE granicy formy, zgodnie z foto- lineamentem ilustrującym przebieg strefy uskoko- wej Polanica – Batorów – Karlów (ryc. 2–1), kontynuując się – jak wskazuje mapa fotointerpretacyjna – aż do Pasterki. Druga strefa występowania źródeł biegnie środkiem formy, ale jest rozczłonkowana na pojedyncze pola (Szczytna, Ocieszów, Góra Anny, Karlów) i jest związana ze strefą uskoko- wą Szczawina – Sokołówka (ryc. 2–2), biegnącą dalej przez Szczytną do Karlowa i łączącą się tam ze strefą poprzednio opisaną. Pozostałe dwa pola występowania źródeł na obszarze synkliny Gór Stołowych znajdują się w okolicy Błędnych Skał i Łężyc, wiążąc się z dwoma prze- cinającymi się fotolineamentami Bukowina Kłodzka – Darnków (ryc. 2–3) i Darnków – Łężyce (ryc. 2–4).

Opisywane związki między fotolineamentami a wy- stępowaniem w terenie źródeł wód podziemnych daje się również prześledzić w okolicy Dusznik, na pograniczu bloku krystalicznego Gór Bystrzyckich i Orlickich i niecki śródsudeckiej (obniżenie Dusznik). Każdy z obszarów występowania źródeł układa się współkształtnie do jednego lub kilku fotolineamentów odzwierciedlających prawdo- podobnie uskoki. Tak jest w okolicy Podgórze i Zieleńca – uskok Duszniki – Jerzykowice (ryc. 2–5), Stoszowa – uskok o podobnym przebiegu NWW – SEE (ryc. 2–6), czy strefy wypływów szcaw i ekshalacji CO₂ wzdłuż doliny Bystrzycy Dusznickiej pomiędzy dwoma uskokami NE – SW (ryc. 2–7).

Zupełnie inna sytuacja występuje w okolicach Kudo- wy – Lewina, gdzie strefy wypływów źródeł występują sporadycznie i mają niewielki zasięg (Czermna, Kudowa Słone, Jarków – Lewin). Jednak i tutaj każda ze stref jest związana z fotolineamentami i to zazwyczaj o kierunku NE – SW (NEE – SWW). Wyraźnie okolice Kudowy – Lewina stanowią odrębną jednostkę hydrogeologiczną o dużo mniejszej zasobności w wodę i sporadycznych wy- pływach naturalnych. Wiąże się to z odrębną budową geologiczną i zaleganiem krystalicznych skał w podłożu zapadliska Kudowy, wyścielonego niewielkiej miąższości serią skał górnokredowych. Obserwuje się tu również mniejsze zagęszczenie fotolineamentów.



Ryc. 2. Mapa fotointerpretacyjna obszarów górniczych okolic Polanicy, Duszniki i Kudowy

Fig. 2. Photointerpretation map of mining areas near Polanica, Duszniki and Kudowa

1 – fotolineamenty zinterpretowane na zdjęciach satelitarnych (numerami zaznaczono fotolineamenty opisane w tekście), 2 – fotolineamenty zinterpretowane na zdjęciach radarowych, 3 – odcinki fotolineamentów potwierdzone geologicznie, 4 – odwierty i studnie ujmujące wody mineralne, 5 – odwierty wód zwykłych, 6 – źródła wód zwykłych o wydajności $> 50 \text{ dcm}^3/\text{min}$, 7 – strefy występowania źródeł wód zwykłych

1 – photolineaments interpreted at satellitary photos (numbers mark photolineaments described in the text), 2 – photolineaments interpreted at radar photos, 3 – fragments of photolineaments which are geologically supported, 4 – boreholes and wells with mineral waters, 5 – boreholes with ordinary waters, 6 – springs of ordinary waters of output of over $50 \text{ dcm}^3/\text{min}$, 7 – zones with springs of ordinary waters

Zgodność kierunków przebiegu stref źródeł z fotolineamentami odpowiadającymi dyslokacjom udaje się również prześledzić, analizując lokalizację źródeł o dużej wydajności (powyżej $50 \text{ dcm}^3/\text{min}$). Na obszarze synkliny Gór Stołowych układają się one wzdłuż kierunku NW–SE bardziej wyraźnie niż gdzie indziej. Ta jasność obrazu jest zapewne wynikiem małej komplikacji budowy geologicznej tej formy i jednolitej litologii (naprzemianległe serie piaskowców i mułowców górnej kredy). Synklina Gór Stołowych zapada pod niewielkim kątem na SE, a przecinając ją uskoki nie zaburzają jej w większym stopniu. Wchodzi tu także w grę istnienie całych serii spękań ciosowych przebiegających równoległe do uskoków (NW–SE, NE–SW), a opisywanych jako pionowe.

Ciekawy rozkład źródeł obserwuje się w rejonie Podgórzka i Zieleńca, gdzie uskokom NE–SW towarzyszą całe grupy wypływów o dużej wydajności (do $1500 \text{ dcm}^3/\text{min}$). Powoduje to wyraźna dominacja wód szczelinowych na tym terenie, mającym w podłożu nieprzepuszczalne serie zmetamorfizowanych skał prekambru. Na uwagę zasługuje również sytuacja obserwowana w zapadliskach wypelnionych utworami górnokredowymi, a zajmowanych przez uzdrowiska Polanica i Duszniki. Obserwuje się tu zbieżność odcinków doliny rzecznej (Bystrzycy Dusznickiej) z fotolineamentami o przebiegu ENE–WSW, odpowiadającym tzw. uskokom źródłiskowym na odcinku naturalnych wypływów szczaw (ryc. 2–5 i 8). Dowodzi to kontaktów między rzeką a wodami podziemnymi, w tym i mineralnymi, np. w odwiercie „Pieniawa Józefa I” w Polanicy. Daleko bardziej skomplikowana sytuacja

występuje na obszarze pozostałych jednostek tektonicznych (okolic Kudowy–Lewina i na SE od Polanicy) o zróżnicowanej litologii. Źródła o większej wydajności nie występują tu w ogóle, z wyjątkiem rejonu, który również znajduje się na przecięciu kilku fotolineamentów koło Jerzykowic. Wiąże się to z małą ilością źródeł na tym terenie, jak to już poprzednio wspomniano.

Analiza mapy fotogeologicznej w powiązaniu z danymi hydrogeologicznymi pozwala na sformułowanie kilku wniosków:

1. Należy podkreślić bardzo często obserwowany ścisły związek występujących na omawianym obszarze wód podziemnych zwykłych i mineralnych z przebiegiem fotolineamentów, odpowiadających zarówno stwierdzonym, jak i nie rozpoznanym liniom tektonicznym. Szczególnie jest to widoczne w miejscach krzyżowania się fotolineamentów, np: w rejonie Polanicy, Dusznik, Jawornicy, między Zieleńcem i Podgórzem, Stoszowa, Jeleniowa i Jerzykowic.

2. Interesującym faktem, dającym się zaobserwować na mapie (ryc. 2), jest wyraźny związek rozkładu i kształtu stref źródłiskowych z obrazem fotolineamentów.

3. Występowanie wód mineralnych i zwykłych jest najczęściej związane z fotolineamentami o kierunkach: ENE–WSW, NW–SE, NNE–SSW.

Wykorzystanie stwierdzonych wyżej zależności stwarza ogromne możliwości rozpoznania hydrogeologicznego, a co za tym idzie – zaopatrzenia w wodę zarówno zwykłą, jak i mineralną.

Płytkie zaleganie skał podłoża zmusza do szukania złóż wód gospodarczych w seriach aluwialnych o małej

miąższości (ujęcia drenażowe) lub do korzystania z wód podziemnych, przeważnie o charakterze szczelinowym lub znajdujących się w brekcjach tektonicznych. Postępujące skażenie wód podziemnych jeszcze bardziej ogranicza możliwości zaopatrzenia w wodę gospodarczą i techniczną, powodując odchodzenie od ujęć drenażowych na korzyść ujmowania wód podziemnych z głębszych horyzontów. Tutaj właściwie analiza map fotogeologicznych stwarza szerokie możliwości wstępnego określania stref perspektywicznych. Podobnie jest przy poszukiwaniach wód leczniczych i termalnych dla uzdrowisk.

LITERATURA

1. Bażyński J., Fistek J. et al. — Interpretacja zdjęć satelitarnych w świetle badań hydrogeologicznych SW części Ziemi Kłodzkiej. Tech. Poszuk. Geol. 1981 nr 1.
2. Ciężkowski W. — Określenie zawartości wód współczesnych w wodach leczniczych eksploatowanych przez ZUK. Arch. PWr. ZUK 1985.
3. Doktor S., Graniczny M., Wiśniewska M. — Wykorzystanie badań teledetekcyjnych do poszukiwań wód termalnych i mineralnych na przykładzie masywu granitowego Karkonoszy. Prz. Geol. 1985 nr 8.
4. Fistek J. — Aktualny stan rozpoznania wód leczniczych Sudetów. II Ogólnopolskie Symp. Współczesne Problemy Hydrogeologii Regionalnej Wrocław 1983.
5. Fistek J. — Dokumentacja hydrogeologiczna wód leczniczych Dusznik Zdroju. PP OTU Wrocław 1965.
6. Fistek J. — Dokumentacja hydrogeologiczna wód leczniczych Polanicy Zdroju. Ibidem 1966.
7. Fistek J., Szarszewska Z. — Studium dotyczące możliwości ujęcia wód termalnych w rejonie Polanicy, Dusznik i Kudowy. BP i OTBU Balneoprojekt Warszawa 1978.
8. Graniczny M. — Możliwości stosowania technik teledetekcyjnych w badaniach hydrogeologicznych. Probl. Uzdrow. 1981 z. 5–6.
9. Graniczny M., Doktor S. — Wykorzystanie danych teledetekcyjnych do badań wód termalnych i mineralnych w Sudetach. Mat. Symp. Nauk.-Techn. nt. „Stan rozpoznania i perspektywy wykorzystania wód termalnych” Warszawa Kraków 1985.

10. Kowalski S. — Wody podziemne w skałach górnokredowych Gór Stołowych. Inst. Geol. Warszawa 1983.
11. Oberc J. — Budowa geologiczna Polski. T. IV Tektonika. Wyd. Geol. 1972.
12. Szarszewska Z. — Dokumentacja hydrogeologiczna ujęcia wody leczniczej P-300 w Polanicy Zdroju. BP i UTBU Balneoprojekt Warszawa 1967.
13. Szarszewska Z. — Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych ujętych odwiertem Nr 6 w Polanicy Zdroju. Ibidem 1975.

SUMMARY

Basing on interpretation of satellite images the ones done with a use of the latest Landsat 5 system TM (Thematic cartographer) inclusive, numerous linear elements were distinguished in mining areas of Polanica, Duszniki and Kudowa. A strict relation was noted of underground ordinary and mineral waters in this area with occurrence of photolineaments that correspond either to known as well as to unidentified tectonic lines. Such relation is especially visible in places where photolineaments cross one another. A distinct connection of distribution and shape of spring zones is observed with a picture of photolineaments. Application of noted dependences opens new possibilities for hydrogeologic investigations and therefore, supply with ordinary as well as mineral waters.

РЕЗЮМЕ

На основании интерпретации космических съёмок, в том числе выполненных при помощи самой новейшей системы TM (тематический картограф) установленной на спутнике Ландсат 5, был определен ряд линейных элементов на шахтных полях Поляницы, Душник и Кудовы. Была установлена тесная связь обыкновенных и минеральных вод находящихся в этом районе с ходом фотолинеаментов соответствующих как определённым так и не определённым до сих пор тектоническим линиям. Особенно хорошо это видно в местах пересечения фотолинеаментов. Наблюдается также связь расположения и формы областей изобилующих источниками с размещением фотолинеаментов. Использование этих зависимостей даёт новые возможности в области гидрогеологической разведки и снабжения обыкновенной и минеральной водой.