

## WYKORZYSTANIE BADAŃ TELEDETEKCYJNYCH DO POSZUKIWAŃ WÓD TERMALNYCH I MINERALNYCH NA PRZYKŁADZIE MASYWU GRANITOWEGO KARKONOSZY

Niniejszy artykuł stanowi kolejny przykład stosowania interpretacji zdjęć satelitarnych w badaniach hydrogeologicznych. Opracowania wykonane dotychczas w Zakładzie Fotogeologii Instytutu Geologicznego wykazały niewątpliwą przydatność metod teledetekcyjnych dla poszukiwań wód mineralnych. Interpretując zdjęcia satelitarne SW części Ziemi Kłodzkiej (3) stwierdzono znaczną zbieżność pomiędzy źródłami oraz ujęciami wód mineralnych a przebiegiem lub miejscami przecięć określonych fotolineamentów.

Podczas badań w Karkonoszach nie ograniczono się do porównania lokalizacji źródeł, ujęć i fotolineamentów, ponieważ w większym stopniu wykorzystano dane dotyczące chemizmu wód podziemnych i kartowania geologicznego. Spośród materiałów hydrogeologicznych uzyskano głównie „Studium możliwości występowania wód głębokiego krążenia w rejonie zlewni rzek Kamiennej i Wrzosówki w obrębie masywu granitowego Karkonoszy” wykonane przez „Balneoprojekt” (10), a do fotointerpretacji zastosowano zdjęcia satelitarne Landsat i Kosmos.

Zdjęcia Landsat interpretowano na papierowych kolorowych kompozycjach (FCC) w skali 1:250 000 i na przeglądarce addytywnej I<sup>2</sup>S w skali 1:500 000. Zdjęcia Kosmos interpretowano na diapozytywach w skali 1:1 000 000, powiększonych na czytniku mikrofilmów. Wyniki analizy zdjęć satelitarnych zestawiono na mapie 1:100 000.

Zdjęcia satelitarne Landsat były już kilkakrotnie prezentowane w literaturze rodzimej: J. Bażyński (1, 2), M. Graniczny (7), S. Doktor, M. Graniczny (5), natomiast zdjęcia satelitów radzieckich serii Kosmos dotarły do nas stosunkowo niedawno. Zdjęcia te są materiałem wielospektralnym (obejmującym trzy zakresy widma: zielony, czerwony i podczerwony), otrzymywanym fotograficznie; ich zdolność rozdzielcza zawiera się w przedziale 20–25 m. Materiały podstawowe dostarczane są w formie diapozytywów czarnobiałych poszczególnych pasm widma w skali 1:1 000 000.

W wielu publikacjach poświęconych geologicznemu wykorzystaniu materiałów teledetekcyjnych podkreśla się głównie ich szerokie możliwości zastosowania w celu rozpoznawania tektoniki nieciągłej, jednak związek występowania i krążenia wód podziemnych z uskokami, spękaniami i innymi nieciągłościami jest w hydrogeologii uznany i uważany za udowodniony. W przypadku geologii takich obszarów, jak np. masyw granitowy Karkonoszy, poznanie tektoniki nieciągłej jest jednym z najważniejszych czynników przy badaniu zjawisk hydrogeologicznych.

### OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA HYDROGEOLOGICZNA

Zadaniem niniejszego artykułu jest określenie obszarów perspektywicznych dla ujęcia wód termalnych głębokiego krążenia w rejonie zlewni rzek Kamiennej i Wrzosówki, w celu zlokalizowania projektowanych głębokich wierceń. Wody termalne występujące w strefach spękanych i zdyslokowanych masywu granitowego Karkonoszy określono jako III poziom wodonośny (I – to poziom wód związanych z osadami czwartorzędowymi, a II – występuje w spękanej i zwietrzałej strefie stropowej skał krystalicznych).

Wody III poziomu charakteryzują się stosunkowo stałą mineralizacją i obecnością gazów oraz podwyższoną temperaturą. Spośród gazów głównie występują: azot ok. 92%, CO<sub>2</sub> ok. 5,9% i argon ok. 1,6%. Temperatura wody na wypływie waha się w granicach 20°–63°C. Wody te uznano za lecznicze dzięki podwyższonej temperaturze oraz obecności składników czynnych farmakologicznie, do których należą: kwas metakrzemowy (60–110 mg), jon fluorowy (3,5–13,0 mg/dm<sup>3</sup>) oraz niewielka radioaktywność (0,1–1,5 Ci/dm<sup>3</sup>). Wody termalne tego poziomu zostały stwierdzone tylko w 2 miejscach w obrębie Karkonoszy: Cieplice Śl. w Kotlinie Jeleniogórskiej i Janske Lazne (CSRS) na południowych zboczach masywu. Aktualna wydajność wszystkich ujęć w rejonie Cieplic wynosi 26,98 m<sup>3</sup>/h. Według J. Dowgiałły (6) zasoby eksploatacyjne wód termalnych występujących w obrębie zlewni Kamiennej wynoszą 155 m<sup>3</sup>/h. Ocena tych zasobów jest zapewne w dużym stopniu przybliżona, niemniej nie ulega wątpliwości, że w masywie granitowym zmagazynowane są znaczne ilości wód termalnych.

Wody II poziomu wodonośnego, związane ze stropową warstwą skał krystalicznych silnie spękanych i zwietrzałych, obecność swoją przejawiają w postaci źródeł i wycieków, dających początek licznyim potokom i strumieniom spływającym po zboczach. Najczęściej źródła wód pochodzących z tego poziomu mają charakter szczelinowo-rumoszowy. Wody tego poziomu mają więz hydrauliczną z wodami utworów czwartorzędowych oraz w szczególnie korzystnych warunkach tektonicznych mogą się kontaktować z wodami głębokiego krążenia. Wobec tego obserwacja poziomu II, chociaż niewątpliwie obciążona błędem wpływu warunków hydrometeorologicznych może dać pewne wskazówki o wodach III poziomu.

Główny zakres badań dotyczył II poziomu wodonoś-

nego i częściowo III. Badaniami objęto powierzchniowe przejawy (źródła i wycieki wód podziemnych) oraz źródła i otwory wiertnicze w Cieplicach. Na podstawie wszystkich dostępnych materiałów skonstruowano mapę hydrochemiczną koncentracji jonów  $\text{HCO}_3\text{F}$  oraz zawartości  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  i wartości odczynu pH dla II poziomu (ryc. 1).

Zestawiono również mapę chemizmu wód poziomu II z mapą elementów tektonicznych masywu Karkonoszy, sporządzoną jako kompilację opracowań: H. Cloosa (4), J. Szałamachy (9), M.P. Mierzejewskiego (8). W wyniku ich zestawienia i przeanalizowania nasuwają się następujące spostrzeżenia: strefa o podwyższonych wartościach wybranych wskaźników hydrochemicznych pokrywa się z obszarem o zwiększonej ilości i intensywności spękań w skałach krystalicznych przebiegających od Szklarskiej Poręby do Sosnowki, stwierdzonych za pomocą badań terenowych (4, 9, 8). Strefa ta pokrywa się z kierunkiem spękań „S”, wydzielonym w granicie przez H. Cloosa (4). Podwyższona mineralizacja wód II poziomu w tej strefie może sugerować pewne kontaktowanie się wód głębokiego krążenia z wodami strefy zwietrzelinowej. Także przebieg izoliny na mapie hydrochemicznej wskazuje na to, że wiele innych stref podporządkowanych kierunkom spękań Q i S mogą mieć znaczenie perspektywiczne dla poszukiwania wód poziomu III.

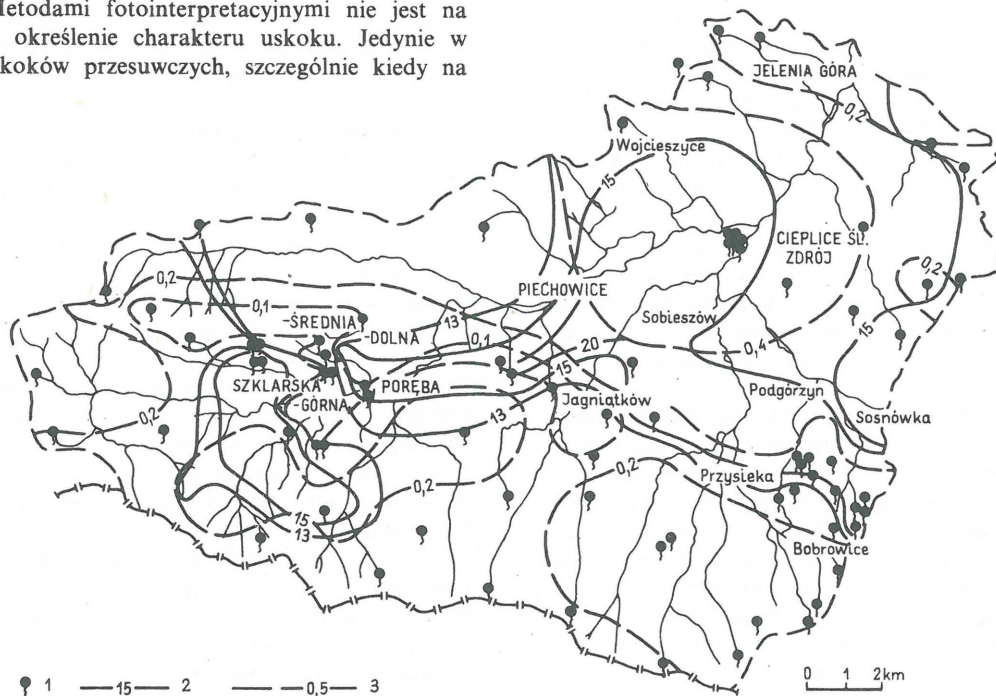
### INTERPRETACJA ZDJĘĆ SATELITARNYCH

Celem zastosowania zdjęć satelitarnych dla tego typu opracowań jest głównie wyznaczenie dyslokacji nieciągłych i stref spękań na badanym obszarze. W odniesieniu do uskokuw wyznaczonych metodami teledetekcyjnymi możliwe jest jedynie wyznaczenie ich jednego parametru – linii uskokuwej (ślada uskoku na powierzchni terenu). Ponadto zależnie od skali zdjęcia możliwe jest rozpoznawanie różnych uskokuw (pojedynczych stref lub regionalnych systemów). Metodami fotointerpretacyjnymi nie jest na ogół możliwe określenie charakteru uskoku. Jedynie w przypadku uskokuw przesuwczych, szczególnie kiedy na

powierzchni występuje zespół elementów rozpoznawczych, np. odpowiednio zorientowanego zespołu wychodni warstw, można z dużym prawdopodobieństwem określić rozsuniecie poziome. Na zdjęciach charakteryzujących się dużą rozdzielczością można wyróżnić spękania ciosowe lub całe ich systemy.

Wszystkie powyżej wymienione elementy tektoniczne na zdjęciach satelitarnych widoczne są jako fotolineamenty, które można ogólniej zdefiniować jako „możliwą do zinterpretowania cechę liniową powierzchni lub ich kompozycję, różniącą się od struktury otoczenia i odzwierciedlającą prawdopodobnie pewne zjawiska podłoża – najczęściej o założeniu tektonicznym”. Ponieważ, jak już wspomniano, za pomocą fotointerpretacji zdjęć satelitarnych najczęściej nie jest możliwe określenie wyznaczonej linii jako uskoku czy strefy spękań, dlatego autorzy w dalszej części opracowania będą posługiwali się terminem fotolineament dla oznaczenia wyżej wymienionych zjawisk tektonicznych.

Obszar będący przedmiotem opracowania fotogeologicznego wchodzi w całości w obręb dużej jednostki geologicznej Sudetów Zachodnich, zwanej blokiem Karkonoszy, który zbudowany jest głównie z granitów. Występują one od okolicy Kowar i Miedzianki aż po Liberec po stronie czeskosłowackiej. Odslonięta przez erozję partia masywu ma długość ok. 70 km, a szerokość 8 km między Harrachovem a Jakuszcami, 17–18 km w części jeleniogórskiej, do ok. 20 km na południku Libereca. Większa część masywu granitowego występuje po stronie czeskiej. Blok karkonoski budują różnowiekowe skały krystaliczne, charakteryzujące się różną odpornością na wietrzenie, co warunkuje duże zróżnicowanie morfologiczne rejonu i zapewnia stosunkowo dobrą czytelność cech rozpoznawczych na zdjęciach.

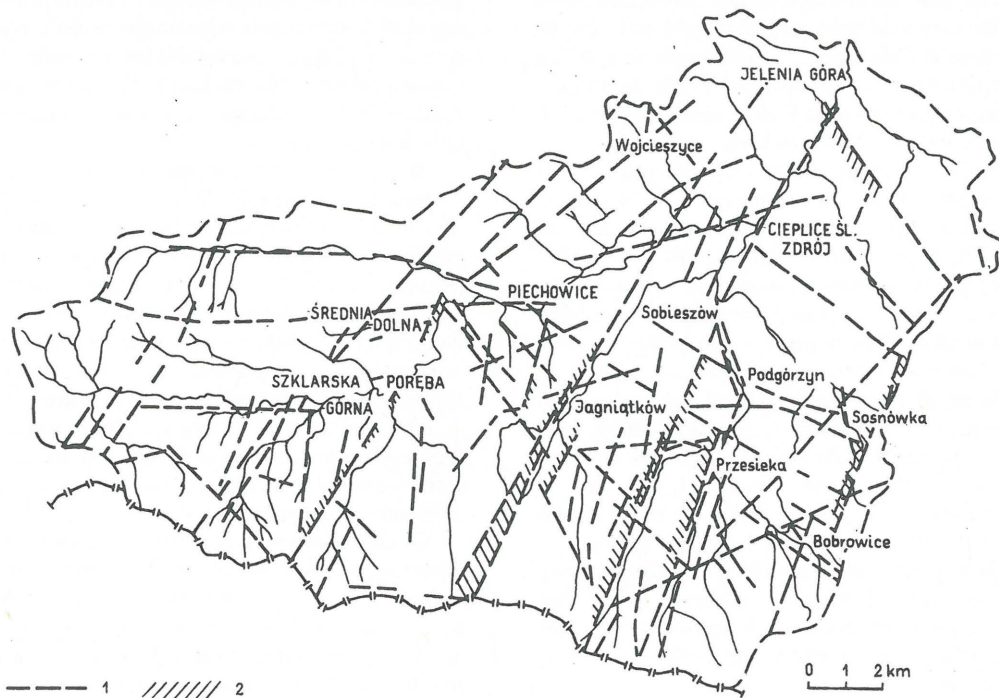


Ryc. 1. Chemizm wód podziemnych w obrębie masywu granitowego Karkonoszy

Fig. 1. Chemistry of groundwaters in the Karkonosze granite massif

1 – źródła wód podziemnych, w których przeprowadzono analizy fizykochemiczne, 2 – izoliny rozkładu zawartości  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ , 3 – izoliny rozkładu zawartości  $\text{F}^-$

1 – groundwater springs covered by physico-chemical analyses, 2 – isolines of distribution of  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  content, 3 – isolines of distribution of  $\text{F}^-$  content



Ryc. 2. Szkic elementów tektonicznych masywu granitowego Karkonoszy

1 – fotolineamenty wyznaczone na podstawie interpretacji zdjęć satelitarnych Landsat i Kosmos, 2 – wspólne odcinki stref tektonicznych wyznaczone w terenie i na zdjęciach satelitarnych

Główne linie tektoniczne w obrębie masywu granitowego Karkonoszy są według H. Cloosa (4) związane z następującymi 3 głównymi kierunkami:

1) spękania Q, najstarsze, powstałe w wyniku tensji w warunkach wypiętrzenia intruzji. Przebiegają one prostopadle do struktur fluidalnych i mają kierunek NNE–SSW lub NE–SW. Stanowiły podstawę dla rozwinięcia się powaryscyjskich linii tektonicznych;

2) spękania S, o kierunku WNW–ESE lub NW–SE, równoległe do struktur fluidalnych, a prostopadle do spękań Q;

3) spękania L, zwane horyzontalnymi, o upadzie 10–25° i czasami równoległe do powierzchni stoków górskich, nadają granitom charakterystyczną blokową oddzielność.

Zarówno spękania Q, jak również system S odpowiadają spękanom skał osłony i są wykorzystywane przez skały żyłowe.

Obserwacja szkicu elementów tektonicznych wykazuje dużą zbieżność azymutów fotolineamentów z kierunkami wyznaczonymi przez H. Cloosa (4). Sieć głównych fotolineamentów charakteryzuje się kierunkami NNE–SSW i NE–SW (spękania Q) oraz NW–SE (spękania S, ryc. 2). Fotolineamenty o tych kierunkach osiągają długość ponad 20 km i kontynuują się często poza masyw granitowy w skały osłony. Ciekawym spostrzeżeniem jest również „wachlarzowaty” układ fotolineamentów nawiązujących do spękań Q. Przeważająca ilość kierunków NNE–SSW zgrupowana jest we wschodniej części masywu Karkonoszy. W kierunku zachodnim fotolineamenty zmieniają azymuty na NE–SW. Zdjęcia satelitarne ujawniają również fotolineamenty o kierunkach ENE–WSW, nie znajdujące odpowiedników w wyznaczonych dotychczas liniach tektonicznych. Linie te są dobrze widoczne zarówno na zdjęciach satelitarnych Landsat, jak i Kosmos. Na szkicu

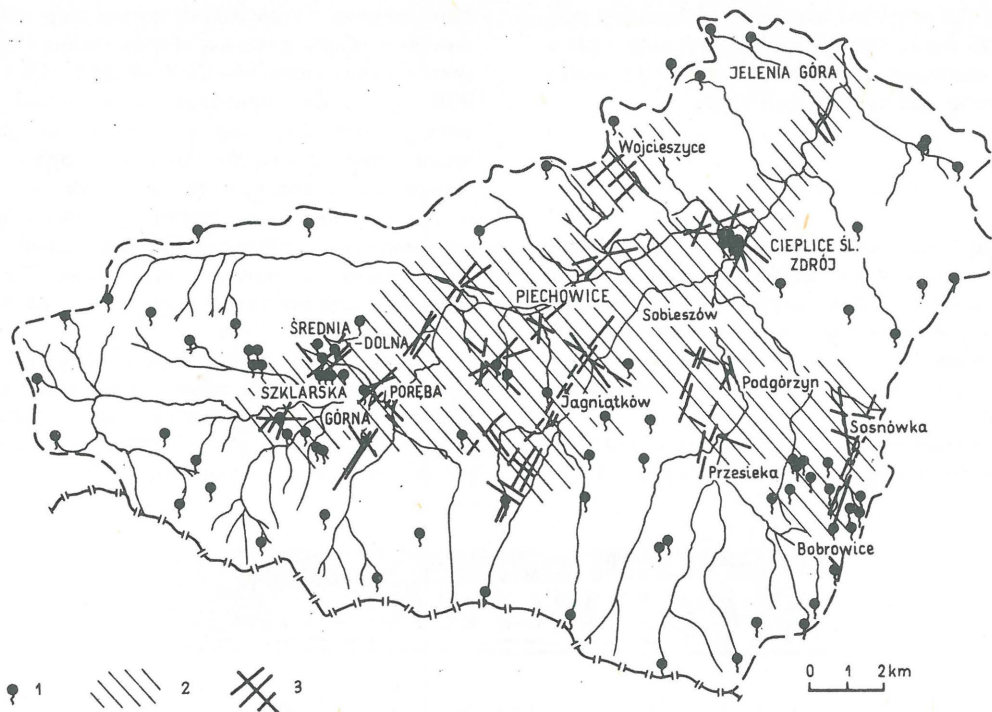
Fig. 2. Sketch map of tectonic elements of the Karkonosze granite massif

1 – photolineaments traced on the basis of interpretation of Landsat and Kosmos satellite photos, 2 – sections of tectonic zones traced both in the field and in satellite photos

elementów tektonicznych masywu granitowego Karkonoszy (ryc. 2) zestawiono razem z fotolineamentami linie tektoniczne wyznaczone przez H. Cloosa i M. Mierzejewskiego. Widać zbieżność kierunków wyznaczonych elementów tektonicznych z fotolineamentami; szczególnie jest to widoczne w przypadku fotolineamentów odpowiadających spękanom Q. Wiele fotolineamentów wyznacza strefy zgodne z przebiegiem linii tektonicznych (rej. Szklarskiej Poręby, Jagniątkowa, Podgórzyna, Przesieki). Prawie wszystkie z wymienionych stref znajdują przedłużenie ku NW w wyznaczonych fotolineamentach. Te fakty, jak i regularność sieci fotolineamentów odpowiadająca systemowi spękań H. Cloosa upoważniają do traktowania ich jako linie nieciągłości.

W ten sposób wyznaczone linie nieciągłości, porównane z wyznaczonym na podstawie badań terenowych obszarem perspektywicznym występowania wód termalnych (ryc. 3), pozwalają na określenie w jego obrębie stref o większym prawdopodobieństwie występowania wód termalnych.

Wprawdzie terenowe badania hydrogeologiczne dotyczyły poziomu II i na ich podstawie nie można wyciągnąć daleko idących wniosków, ale bazując na rozwoju i obrazie sieci tektonicznej oraz pewnych wskaźnikach świadczących o możliwości kontaktowania się wód poziomu II z wodami głębokiego krążenia, można sądzić, że obszary takie występują w sąsiedztwie głównych stref tektonicznych przebiegających w kierunku NWW–SSE i NE–SW pokrywających się z kierunkami spękań wydzielonymi przez H. Cloosa (S i Q) w masywie granitowym. Na szczególną uwagę zasługują węzły tektoniczne, tj. miejsca przecinania się linii przebiegu stref zaburzeń tektonicznych i stanowiące obszary o podwyższonej wodoprzepuszczalności utworów skalnego podłoża. Jak wynika z ryc. 3 są to strefy w rejonach: Szklarska Poręba–Piechowice, Jagniątko-



Ryc. 3. Obszary perspektywiczne występowania wód termalnych w obrębie masywu granitowego Karkonoszy

1 – źródła wód podziemnych, w których przeprowadzono analizy fizyko-chemiczne, 2 – obszary o największym prawdopodobieństwie uzyskania wód termalnych wyznaczone na podstawie analiz fizyko-chemicznych, 3 – węzły tektoniczne sugerujące największe prawdopodobieństwo uzyskania wód termalnych

Fig. 3. Perspective areas of occurrence of thermal waters in the Karkonosze granite massif

1 – groundwater springs covered by physico-chemical analyses, 2 – areas of the highest probability of finding thermal waters, delineated on the basis of physico-chemical analyses, 3 – tectonic junctions, suggesting the highest possibilities of finding thermal waters

wa, Wojcieszyc, Cieplic, Podgórzyna i Sosnowki. Wydaje się, że wyzyskanie w tym zakresie także doświadczeń zagranicznych spowoduje, że proponowana metoda wyznaczania perspektywicznych obszarów występowania wód głębokiego krążenia, na etapie projektowania prac poszukiwawczych, może zdecydowanie przyspieszyć i obniżyć koszty prac.

#### LITERATURA

1. Bażyński J. – ERTS – Landsat w służbie geologii. Geologia za granicą. 1975.
2. Bażyński J. – Metody interpretacji geologicznej zdjęć satelitarnych wybranych obszarów Polski. Instr. Met. Bad. Geol. 1982 z. 44.
3. Bażyński J. i in. – Interpretacja zdjęć satelitarnych w świetle badań hydrogeologicznych południowo-zachodniej części Ziemi Kłodzkiej. Techn. Poszuk. Geol. 1981 z. 1.
4. Cloos H. – Einführung in die tektonische Behandlung magmatischer Erscheinungen (Granittektonik). I. Spez. Teil. Das Riesengebirge in Schlesien. Berlin 1925.
5. Doktor S., Graniczny M. – Geologiczna interpretacja zdjęć satelitarnych i radarowych wschodniej części Karpat. Kwart. Geol. 1982 nr 1.
6. Dowgiałło J. – Wody termalne Sudetów. Acta Geol. Pol. 1973.
7. Graniczny M. – Przetwarzanie zdjęć satelitarnych Landsat-1 (ERTS-1) za pomocą komputera dla celów interpretacji geologicznej. Geologia za granicą 1975.

8. Mierzejewski M. P. – Tektonika granitu Karkonoszy. Arch. U. Wr. I.N.G. Wrocław 1975.
9. Szalamacha J. – Rozwój budowy geologicznej bloku izerskiego. Z geologii Ziemi Zachodnich, t. 2. Wrocław 1966.
10. Wiśniewska M. – Studium możliwości występowania wód głębokiego krążenia w rejonie zlewni rzek Kamiennej i Wrzosówki w obrębie masywu granitowego Karkonoszy. Arch. B.P. „Balneoprojekt”. Warszawa 1982.

#### SUMMARY

Comparison of data on groundwater chemistry and tectonic elements of the Karkonosze granite massif suggests presence of zones characterized by increased values of selected hydrochemical indices in areas of increased frequency and intensity of fractures in crystalline rocks. In turn, results of interpretations of satellite photos show high concordance of photolineament azimuths and the hitherto identified tectonic lines. The network of major lineaments is characterized by directions NNE-SSW, NE-SW, and NW-SE. So oriented photolineaments attain over 20 km in length, being often traceable in cover rocks beyond the granite. Comparisons of the interpreted photolineaments and perspective areas of occurrence of thermal waters, delineated on the basis of field studies, show possibility to use the former in tracing zones of higher probability of occurrence of thermal waters in that area.

It seems that the proposed method of delineating perspective areas of occurrence of deep-circulating waters at the stage of designing a search may make the works less time-consuming and reduce their costs.

### РЕЗЮМЕ

Сравнение данных касающихся химизма подземных вод с тектоническими элементами гранитного массива Карконошей указывает на возможность нахождения зон с повышенными значениями избранных гидрохимических показателей в районах с увеличенным количеством и интенсивностью трещин в кристаллических породах.

Результаты интерпретации космическим съёмков указывают на значительное сходство азимутов фото-

линеаментов с известными до сих пор тектоническими линиями. Сеть главных фотолинеаментов характеризуется направлениями ССВ—ЮЮЗ, СВ—ЮЗ и СЗ—ЮВ. Длина фотолинеаментов имеющих такие направления достигает свыше 20 км и они часто продолжают вне гранитного массива в породах прикрытия. Синтерпретированные фотолинеаменты сравненные с определенным на основании полевых исследований перспективным районом для нахождения термальных вод, делают возможным выделение в его пределах зон с большей вероятностью распространения термальных вод.

Проведенные исследования указывают на то, что предлагаемый метод определения перспективных районов нахождения глубинных вод на этапе проектирования поисковых работ может значительно ускорить работы и уменьшить их стоимость.