

## ANOMALIE TERMICZNE NAD STREFĄ KONTAKTOWĄ PIEŃIŃSKIEGO PASA SKAŁKOWEGO Z FLISZEM PODHALAŃSKIM

UKD 550.836(438 – 924.51)

Obserwacje geotermiczne prowadzone w strefie przy powierzchniowej są jedną z nowszych metod geofizycznych, wykorzystywanych dla celów geologicznych. W połowie lat siedemdziesiątych z inicjatywy Przedsiębiorstwa Badań Geofizycznych w Warszawie, przeprowadzono w Polsce wiele prac terenowych, które wykazały duże możliwości metody geotermicznej w zakresie lokalizacji struktur solnych, dolin kopalnych, uskoków, stref drenażowych i in. (8, 9, 10). Z drugiej strony – badania ujawniły słabe strony wspomnianej metody, z których najważniejsza jest trudność w interpretacji ilościowej otrzymanych wyników.

Pomiary temperatury zwykle prowadzone są na głębokościach nie przekraczających 2 m, a więc w strefie okresowych zmian pola cieplnego. Różnorodność czynników wpływających na wyniki pomiarów w strefie przypowierzchniowej powoduje, że dotychczas nie potrafimy rozwiązać zadania odwrotnego dla tej metody. Pomimo tak istotnych trudności metoda geotermiczna daje w wielu konkretnych przypadkach jednoznaczne i interesujące wyniki.

Pozytywne rezultaty uzyskane przez J. Stajniaka (9) w badaniach termicznych nad uskokami, zachęciły do przeprowadzenia pomiarów w strefie kontaktowej pienińskiego pasa skałkowego z fliszem podhalańskim. W założeniach badania miały odpowiedzieć na pytanie: czy i w jakim stopniu metoda geotermiczna może służyć do identyfikacji i śledzenia przebiegu płytko występujących stref uskokowych. Uzyskane na Podhalu wyniki w całości złożyły się na pracę dyplomową autora, wykonaną w Zakładzie Geofizyki Poszukiwawczej Wydziału Geologii UW pod kierunkiem prof. dr hab. Piotra Roniewicza oraz doc. dr hab. Jacka Szymanki.

### POŁOŻENIE I SYTUACJA GEOLOGICZNA REJONU BADAŃ

Do badań wybrano obszar położony na prawym brzegu Białki, ok. 2 km na SW od wsi Krempachy (ryc. 1). Południowa część terenu zbudowana jest z utworów fliszu podhalańskiego, reprezentowanego przez warstwę szaflarskie. Bezpośrednio z kontaktem graniczy ogniwo dolne warstw szaflarskich, zbudowane z różnej grubości ławic

piaskowców z nielicznymi wkładkami ciemnych łupków. Po północnej stronie kontaktu występują piaskowce hieroglify oraz miejscami czerwone margle należące do jednostki braniskiej. Szczegółowe obserwacje geologiczne, które wykonano w skarpie na prawym brzegu Białki, pozwoliły zidentyfikować strefę 20-metrowej szerokości, w obrębie której kontaktują ze sobą ogniwa fliszowe i skałkowe.

Opisywaną linię kontaktu tworzą duże uskoki zrzutowe, układające się w strefę o szerokości od kilku do ok. 20 m. We wszystkich uskokach zrzucone są skrzydła południowe, a strefy uskokowe wypełnione są zmylonityzowanym materiałem skalnym. Uogólniony kierunek linii kontaktu na badanym terenie wynosi  $108^\circ$ , a nachylenie powierzchni  $50^\circ/N$  (5). Ponadto strefę kontaktową przecinają w wielu miejscach uskoki zrzutowo-przesuwcze o kierunku NNW – SSE.

### METODYKA PRAC POŁOWYCH

Warunki prowadzenia obserwacji, a zwłaszcza niewielka głębokość otworów pomiarowych powodują, że na wyniki w znacznym stopniu wpływają okresowe zmiany temperatury na powierzchni ziemi. To niekorzystne zjawisko wyeliminowano przyjmując głębokość pomiarów poniżej zasięgu dobowych zmian temperatury. Na podstawie kilkudniowych obserwacji stwierdzono, że na głębokości 1,2 m fale dobowe o amplitudzie do  $15^\circ\text{C}$  są całkowicie tłumione. Uwzględniając istniejące warunki meteorologiczne przyjęto ostatecznie stałą głębokość otworów pomiarowych równą 1,4 m. W czasie wykonywania odwiertów nie stwierdzono istotnych różnic litologicznych i zmian w zawadnieniu gruntu, co pozwoliło założyć, że wpływ warstwy pośredniej na zróżnicowanie wyników był znikomy.

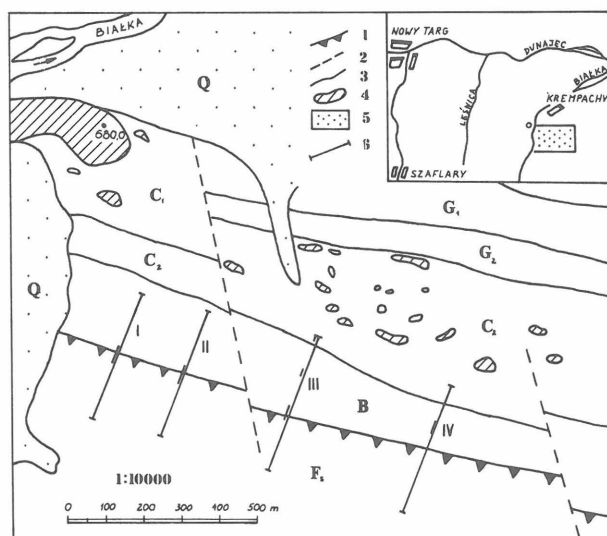
Pomiary temperatury prowadzono geotermometrem polowym GTP-2 polskiej produkcji, który umożliwiał odczyt z dokładnością do  $0,01^\circ\text{C}$ . Obserwacje w każdym punkcie wykonywano do otrzymania trzykrotnie identycznego wyniku w odstępach pięciominutowych, co następowało średnio po ok. 30 min. od momentu zainstalowania czujnika w otworze. Wykonano cztery profile o długości 400 m,

przecinające badaną strefę pod kątem zbliżonym do prostego – azymut  $20^\circ$  (ryc. 1). Przyjęto krok profilowania równy 20 m, który zmniejszano w miejscach pojawiania się anomalii. Całość pomiarów wykonano w sierpniu, w ciągu trzech dni, co wykluczyło wpływ długookresowych zmian temperatury na otrzymane wyniki. Warunki terenowe, a zwłaszcza stopień pokrycia terenu szatą roślinną, były zbliżone dla wszystkich punktów, nie istniała zatem konieczność wprowadzania odpowiednich poprawek (10).

## WYNIKI I INTERPRETACJA POMIARÓW TERMICZNYCH

Profile termiczne zostały usytuowane w obrębie utworów podobnych litologicznie. Biorąc pod uwagę, że podobieństwo litologiczne oznacza również podobieństwo parametrów cieplnych oczekiwano, że wartości temperatury nad tymi utworami będą zbliżone, stanowiąc jednocześnie dobre tło dla ewentualnych anomalii nad silnie zmienioną strefą uskokuwą.

Pierwszy profil (I) zlokalizowano w sąsiedztwie skarpy, w której wcześniej wykonano szczegółowe obserwacje geologiczne.



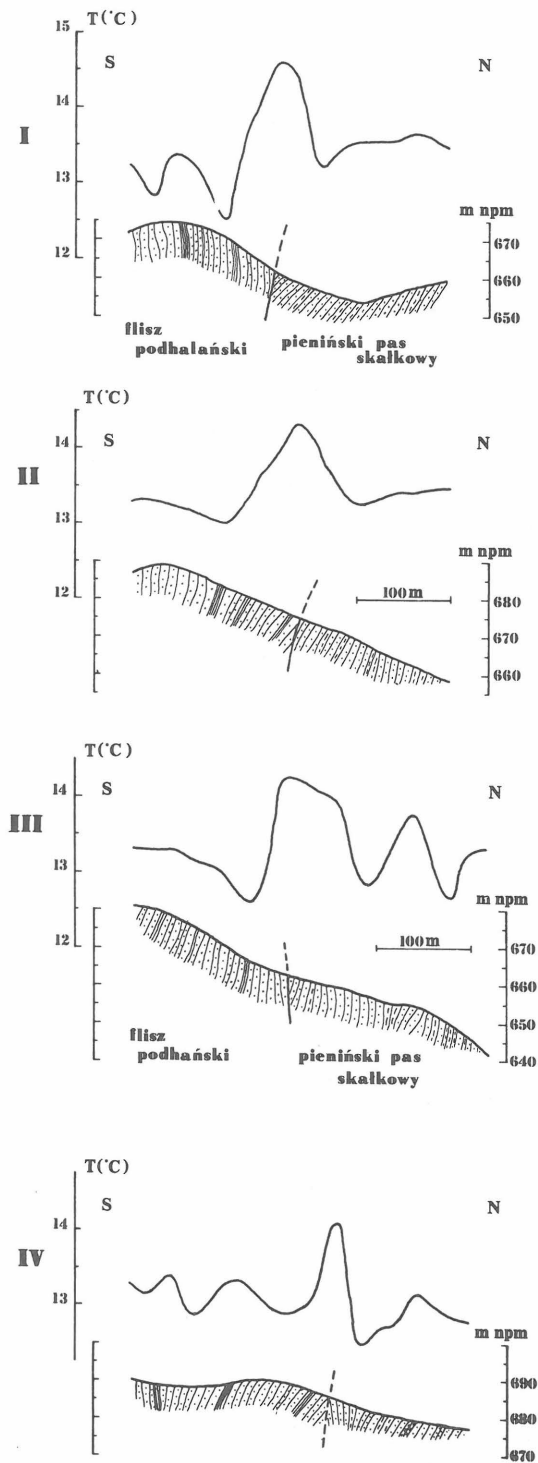
Ryc. 1. Szkic geologiczny badanego terenu (wg 2 i 5)

1 – strefa kontaktowa pasa skałkowego z fliszem podhalańskim, 2 – uskoki prawdopodobne, 3 – granice geologiczne, 4 – skałki, 5 – badany teren, 6 – profile termiczne (zgrubieniami zaznaczono anomalie dodatnie). Stratygrafia: czwartorzęd – Q, pokrywy żwirowe; flisz podhalański – Fs, warstwy szaflarskie; pieniński pas skałkowy – jednostka Grajcarka –  $G_1$ , utwory formacji jarmuckiej,  $G_2$ , utwory osadowe jura – kampan; jednostka czorsztyńska –  $C_1$ , utwory osadowe alb – mastrycht,  $C_2$  – utwory osadowe jura – neokom; jednostka braniska – B, utwory osadowe alb – kampan (flisz sromowiecki)

Fig. 1. Geological sketch map of the studied area (after 2 and 5)

1 – contact zone of Pieniny Klippen Belt and Podhale Flysch, 2 – inferred faults, 3 – geological boundaries, 4 – klippes, 5 – studied area, 6 – thermal profiles (positive anomalies marked with heavy line). Stratigraphy: Quaternary – Q, gravel covers; Podhale Flysch – Fs, Szaflary Beds; Pieniny Klippen Belt – Grajcarek unit –  $G_1$ , rocks of Jarmucka unit,  $G_2$ , Jurassic-Campanian sedimentary rocks; Czorsztyń unit –  $C_1$ , Albian-Maastrichtian sedimentary rocks,  $C_2$  – Jurassic-Neocomian sedimentary rocks; Branisko unit – B, Albian-Campanian sedimentary rocks (Sromowce Flysch)

Pozwoliły one precyzyjnie powiązać miejsce występowania badanej strefy z określoną anomalią na profilu termicznym. Pomiary wykazały, że strefie tej odpowiada duża anomalia dodatnia o amplitudzie dochodzącej do  $2^\circ\text{C}$  i szerokości 70–80 m. Po tej stronie, która tworzy południową gałąź krzywej, występują fluktuacje temperatury dochodzące do  $0,5^\circ\text{C}$ , które należy wiązać z obecnością splekań drugorzędnych, towarzyszących dyslokacji głównej. Na profilu II zaznacza się pojedyncza anomalia o amplitudzie  $1,3^\circ\text{C}$  i szerokości 100 m. Rozkład temperatury jest najbardziej zróżnicowany na profilu III (ryc. 2). Występują tu aż trzy duże, dodatnie anomalie o amplitudach od



Ryc. 2. Profile termiczne nad badaną strefą kontaktową

Fig. 2. Thermal profiles through the contact zone

1,0 do 1,8°C i różnej szerokości 50–100 m. Dyslokacji głównej odpowiada anomalia południowa, najszersza i o największej amplitudzie. Na profilu IV stwierdzono tylko jedną wąską (40 m) anomalię o amplitudzie 1,3°C.

Przebieg badanej strefy kontaktowej wyznaczono łącząc maksima uzyskanych anomalii termicznych. Porównując uzyskaną w ten sposób linię z przebiegiem kontaktu wyznaczonym przez L. Mastellę (5) na podstawie obserwacji terenowych i przesłanek intersekcyjnych, widać dużą korelację obu wyników (ryc. 1). Ponadto obecność zróżnicowanych co do wielkości i kształtu anomalii potwierdza strefowy i niejednorodny charakter badanego kontaktu i to na stosunkowo niewielkim obszarze.

W celu przeanalizowania wyników pod kątem wielkości i kształtu anomalii skonstruowano prosty model matematyczny, który pozwala na ilościową interpretację otrzymywanego eksperymentalnie pola temperatur. Przyjęto dwuwymiarowy model cieplny dla dowolnego przekroju geologicznego o miąższości rzędu kilkuset metrów. Założony przekrój geologiczny jest opisywany przez siatkę bloków, w obrębie których zakłada się istnienie izotropowego rozkładu parametrów cieplnych. Parametrem, którym określa się budowę geologiczną (litologię), zmieniając jego wartość w poszczególnych blokach jest współczynnik przewodnictwa cieplnego  $\lambda$ . Rozpatrując przepływ ciepła w kategoriach czasu geologicznego można przyjąć, że przy niezmiennych w czasie warunkach brzegowych oraz braku wewnętrznych źródeł ciepła tworzy się w skałach ustabilizowany reżim termiczny:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = 0$$

Przy tych założeniach równanie przewodnictwa cieplnego dla przyjętego modelu ma postać:

$$-\frac{\partial}{\partial x}(\lambda(x,z) \frac{\partial}{\partial x} T(x,z)) + \frac{\partial}{\partial z}(\lambda(x,z) \frac{\partial}{\partial z} T(x,z)) = 0$$

gdzie:

$T(x,z)$  – pole temperatur (°K),

$\lambda(x,z)$  – współczynnik przewodnictwa cieplnego (W/mK).

Dla modelu przyjęte zostały następujące warunki brzegowe:

$$1. T(x,z) \Big|_{\Gamma_D} = T_D, \quad T(x,z) \Big|_{\Gamma_G} = T_G$$

$$2. \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{\Gamma_{B_1}, B_2} = 0$$

gdzie:

$x, z$  – współrzędne układu pozioma i pionowa (głębokość),

$\Gamma_D, \Gamma_{G_1}, \Gamma_{B_1}, B_2$  – granice obszaru: dolna, górna i boczne,

$T_D$  – temperatura na granicy dolnej,

$T_G$  – temperatura na granicy górnej.

Przyjęte warunki oznaczają, że przebieg procesu przepływu ciepła jest wymuszany przez zadanie na granicach dolnej i górnej określonych temperatur wynikających np. z przyjętego gradientu geotermicznego.

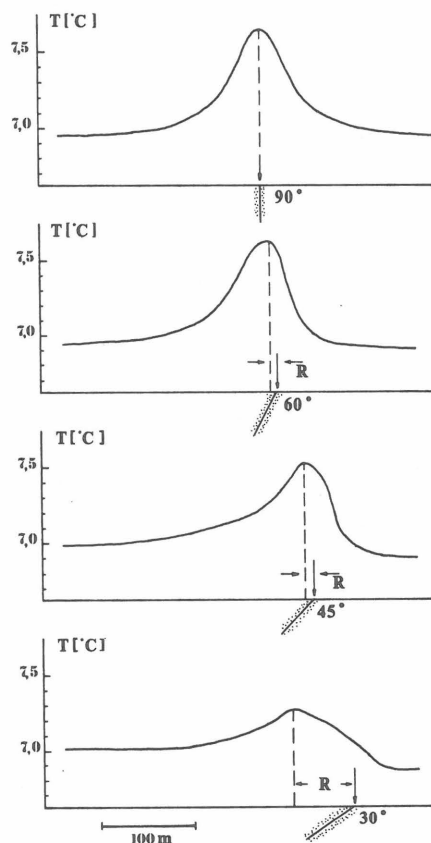
Dla zachowania prostoty modelu założono również, że nie istnieje przepływ ciepła przez boczne granice obszaru (warunek 2). W wyniku aproksymacji przedstawionego równania metodą różnic skończonych otrzymujemy układ równań liniowych o wymiarze równym liczbie bloków w modelu. Układ ten jest rozwiązywany iteracyjnie (metodą SOR) przy użyciu maszyn cyfrowych. Cały proces obliczeniowy zawarty jest w programie TERMIKA, który można znaleźć we wspomnianej już pracy dyplomowej autora (6). Należy dodać, iż program ten w znacznym stopniu oparty

został na programie SP-2, znajdującym się w bibliotece programów HYDRYLIB Zakładu Geofizyki WG UW.

Obliczone anomalie dla strefy uskokowej przedstawione zostały na ryc. 3. Porównując anomalie odpowiadające różnym położeniom tej strefy widać, że wzrost odchylenia uskoku od położenia pionowego powoduje wzrastającą asymetrię krzywej temperatury. Największy gradient zauważalny jest po tej stronie uskoku, która tworzy kąt większy od 90°. Można też zaobserwować przesunięcie maksimum anomalii w stronę zgodną z nachyleniem płaszczyzny uskoku. Analizując to zjawisko w planie widać, że nad uskokiem nachylnym linia ekstremalnych temperatur nie pokrywa się z linią biegu tego uskoku. Rozstęp (R) wzrasta wraz z nachyleniem strefy uskokowej. Ustalenie konkretnych zależności mogłoby stanowić dodatkowy element w interpretacji krzywych połowych. W praktyce jednak nie zawsze można otrzymać na tyle prawidłowe wykształcenie wykresów temperatur aby, w sposób nie budzący wątpliwości, określić nachylenie uskoku.

Wśród krzywych otrzymanych na Podhalu, praktycznie żadna nie posiada wyraźnie asymetrycznego kształtu co, jak więc wydaje, wiąże się z dużym kątem nachylenia badanej strefy kontaktowej w tym rejonie. Jak wynika z ryc. 3 dla kątów z przedziału 60–90° otrzymujemy asymetrię rzędu 0,1–0,2°C, a więc na poziomie zakłóceń. Dopiero przy kątach mniejszych od 45° krzywe temperatur nabierają wyraźnie asymetrycznego kształtu i mogą stać się czytelne na wykresach połowych.

W dalszej części badań modelowych obliczono maksy-



Ryc. 3. Wpływ nachylenia powierzchni uskokowej na kształt i amplitudę obliczonych anomalii. Przyjęto szerokość strefy uskoku 30 m,  $\lambda_n/\lambda_0 = 2,5$  oraz gradient geotermiczny 1°C/20 m

Fig. 3. Influence of inclination of fault plane on shape and amplitude of the calculated anomalies. The width of fault zone is assumed to be equal 30 m,  $\lambda_n/\lambda_0 = 2.5$ , and geothermal gradient – 1°C/20 m

malne anomalie możliwe do osiągnięcia przy założeniu najbardziej sprzyjających warunków brzegowych i dużym kontraście przewodnictw cieplnych. Opierając się na obliczeniach J. Pooleya i J. Stevenincka (7) oraz biorąc pod uwagę litologię skał występujących na badanym terenie, przyjęto stosunek przewodnictw cieplnych strefy uskoku i otoczenia  $\frac{\lambda_u}{\lambda_o} = 2,5$  jako najbardziej realny i największy z możliwych w konkretnej badanej sytuacji geologicznej.

W obliczeniach założono ponadto, że jedynym mechanizmem transportującym ciepło jest przewodnictwo skał. Wykonując obliczenia dla różnych warunków brzegowych okazało się, że przy tych założeniach praktycznie nie ma możliwości otrzymania anomalii większych od 1°C.

W świetle tych wyników, uzyskane nad kontaktem pienięskiego pasa skałkowego z fliszem podhalańskim anomalie rzędu 1,5–2,0°C, sugerują istnienie dodatkowego źródła ciepła związanego z tą strefą. Według J. Stajniaka (8) oraz innych autorów (3, 4) pojawienie się latem dużych dodatnich anomalii nad uskokami należy wiązać z dopływem ciepłych wód z dużych głębokości. Obecność takich wód w niecce podhalańskiej została stwierdzona otworem wiertniczym Bańska IG-1 zlokalizowanym w Białym Dunajcu, 3 km na południe od badanej strefy kontaktowej. Na głębokości ok. 2,5 km, w utworach eocenu numulitowego, uzyskano wypływ wody o temperaturze złożowej 82°C i wydajności 60 m<sup>3</sup>/h (1).

Z analizy chemicznej udostępnionych wód wynika, że są one mieszaniną wód reliktowych i młodszych wód infiltracyjnych, przedostających się do złoża w obrębie wychodni wapieni numulitowych, w strefie przytatrzańskiej. Uwzględniając fakt, że ułożenie warstw zdolnych do przewodzenia wody w niecce podhalańskiej stwarza warunki artezyjskie, a nadległe utwory fliszowe stanowią pokrywą izolacyjną można przypuszczać, że jedynymi miejscami predysponowanymi do pionowego transportu wody są strefy nieciągłości tektonicznych, zwłaszcza te o głębokich założeniach. Taką strefą jest niewątpliwie kontakt pienięskiego pasa skałkowego z fliszem podhalańskim. Brak wyraźnych objawów tego zjawiska na powierzchni ziemi, np. w postaci ciepłych źródeł, można wytłumaczyć zarówno szczelnością strefy przypowierzchniowej (margle, łupki, łożupki), jak i obecnością wód o typie subartezyjskim, co nie stoi w sprzeczności z wynikami badań termicznych. Niewykluczone, że ascenzja wód termalnych zachodzi również w innych miejscach, np. w obrębie fleksury przypienięskiej (5). Na pytania te odpowiedzieć będzie można po przeprowadzeniu bardziej szczegółowych badań termicznych na tym terenie.

#### LITERATURA

1. Biedrzycki W., Malaga N., Poprawa D., Sokołowski J. — Geological conditions and problems of thermal waters exploitation in Podhale region. *Kwart. Geol.* 1985 nr 1.
2. Birkenmajer K. — Przewodnik geologiczny po pienięskim pasie skałkowym. *Wyd. Geol.* 1979.
3. Cartwright K. — Tracing shallow groundwater systems by soil temperature. *Water Resources Research* 1974 vol. 10 no. 4.
4. Krčmar B., Masin J. — Prospecting by the geothermic method. *Geoph. Prosp.* 1979 no. 2.

5. Mastella L. — Tektonika fliszu we wschodniej części Podhala. *Rocz. PTG* 1975 nr 3/4.
6. Pomianowski P. — Wpływ strefy kontaktowej pienięskiego pasa skałkowego z fliszem podhalańskim na rozkład pola cieplnego. *Maszyn. Arch. IGP WG UW* 1984.
7. Pooley J.Ph. Steveninck J. — Geothermal prospecting. Delineation of shallow salt domes and surface faults by temperature measurements at a depth of approximately 2 meters. *Geoph. Prosp.* 1971 vol. 18 suppl.
8. Stajniak J. — Zastosowanie metody geotermicznej do rozwiązywania wybranych zagadnień geologii strukturalnej. *Geof. Stosowana* 1979 nr 2.
9. Stajniak J. — Badanie wpływu uskoków na rozkład ziemskiego pola cieplnego w Polsce. *Acta Geoph. Pol.* 1981 nr 3.
10. Stajniak J. — O jednej z poprawek geotermicznych. *Geof. Stosowana* 1984 nr 1/2.

#### SUMMARY

The results of geothermal measurements carried out in the contact zone of the Pieniny Klippen Belt and Podhale Flysch are discussed. The surveys showed presence of high positive temperature anomalies genetically related to the contact zone. The line of strike of fault zones, as determined on the basis of geothermal measurements, appears correlatable with that previously drawn on the basis of studies carried out with the use of other methods. Amplitudes of temperature anomalies recorded in the studied section are up to 2°C. The record of high positive anomalies in the summer time suggests activity of an additional mechanism of heat transport in the contact zone, more effective than that of thermal conductivity. Taking into account the latest data on occurrence of thermal waters in the Podhale Basin it may be inferred that the mechanism may be connected with ascension of hot waters from large depths.

#### РЕЗЮМЕ

В статье представлены результаты геотермических измерений в зоне контакта пенинской клипповой зоны и подгальского флиша. На основании этих исследований было установлено существование больших положительных аномалий температуры, связанных генетически с исследованной контактной зоной.

Было определено, что линия хода сбросовой зоны установленная на основании геотермических результатов выказывает коррелятивную связь с ходом определённым раньше другими методами. На исследованном участке были получены амплитуды аномалии температуры доходящие до 2°C. Присутствие больших положительных аномалий полученных в летних измерениях указывает на существование добавочного, более эффективного чем проводимость, механизма транспорта тепла в пределах исследованной зоны. Учётывая новейшие данные касающиеся распространения термальных вод в подгальской мульде, можно принять, новейшие данные касающиеся распространения термальных вод в подгальской мульде, можно принять, что этим механизмом может быть астензия тёплых вод из большой глубины.