

ANDRZEJ J. KRAWCZYK¹, KSENIA MOCHNACKA²

STATYSTYCZNE BADANIA CECH JAKOŚCIOWYCH OKRUSZCOWANYCH SKAŁ REJONU IZERSKIEGO

*Statistical Studies of the Qualities of Mineralized Rocks
of the Iżera Region (Sudety Mts.)*

WSTĘP

Celem przedstawionego poniżej opracowania jest próba zastosowania metod statystycznych dla określenia zależności między cechami (głównie mineralogiczno-petrograficznymi) skał, a występowaniem anomalii radiometrycznych³. Teren objęty badaniami to obszar skał metamorficznych, pokryty gęsto otworami wiertniczymi. Przeprowadzony w nich karotaż gamma pozwolił na uzyskanie ścisłych danych radiometrycznych, opisy zaś rdzeni wiertniczych dały charakterystykę petrograficzną skał oraz przekrój geologiczny terenu.

Stwierdzenie korelacji pomiędzy niektórymi własnościami skał pozwoliło na wykrycie i określenie rządzących mineralizacją prawidłowości, które z uwagi na występującą tu dużą różnorodność petrograficzną oraz zaangażowanie tektoniczne są czasem trudne do jednoznacznego stwierdzenia, a równocześnie bardzo istotne dla dalszych badań. Tego rodzaju opracowanie wykonane na bogatszym materiale, pochodzącym z większego niż badany obszar, może dać ważne przesłanki genetyczne, jak również praktyczno-poszukiwawcze.

Nie mając możliwości szczegółowego sprofilowania wszystkich otworów wiertniczych, autorzy oparli się na materiałach wykonanych dla celów dokumentacji geologicznej, na profilach rdzeni opisanych przez geologiczną obsługę robót geologicznych udostępnionych przez Zakłady Przemysłowe R₁ w Kowarach.

Autorzy pragną podziękować tym Zakładom za udostępnienie materiałów dotyczących otworów wiertniczych. Doc. drowi M. B a n a s i o w i

¹ Al. Mickiewicza 30. 30059 Kraków. Inst. Geol. Reg. i Złóż Węgla AGH.

² Al. Mickiewicza 30. 30059 Kraków. Inst. Mineral. i Złóż Surowców Mineral. AGH.

³ W przedstawionym opracowaniu badania statystyczne przeprowadził A. K r a w c z y k, problematyką geologiczną zajęła się K. M o c h n a c k a.

i doc. drowi J. Kotlarczykowi dziękujemy za dyskusję i cenne uwagi.

CZĘŚĆ GEOLOGICZNA

Obszar występowania mineralizacji uranowej, na którym przeprowadzono badania statystyczne, znajduje się na terenie Pogórza Izerskiego. Omawiana strefa położona jest na południe od pasma łupków zwanego kamienickim, otoczonego od południa i północy gnejsami izerskimi.

Na badanym terenie występuje bogaty zespół skalny. Są to opisywane przez szereg autorów gnejsy, granity izerskie (granitognejsy), w mniejszej ilości łupki łyszczykowe, amfibolity oraz skały żyłowe (K. Smulikowski, 1958; M. Kozłowska-Koch, 1965; J. Pawłowska, 1967, 1969; J. Oberc, 1967; J. i M. Szalamachowie, 1968). Serie te zalegają zgodnie, przyjmując rozciągłość powierzchni foliacji w przybliżeniu E-W i zapadają na N pod kątem około 70—80°.

Cały zespół skalny przecięty jest uskokiem o kierunku NW-SE, którego płaszczyzna zapada stromo na NE. Równolegle do uskoku głównego stwierdzono robotami górniczymi istnienie dwu dyslokacji nieciągłych: północnej i południowej, odległych o około 40 do 100 m od uskoku. Ponadto w sąsiedztwie występuje tu szereg zaburzeń drugorzędnych, ważnych dla okruszczowania uranowego (M. Banaś, 1969).

W opisywanych skałach stwierdzone były minerały uranowe, które występują w brekcji tektonicznej lub w jej sąsiedztwie, oraz na kontakcie leukogranitów z innymi skałami. Tworzą one nagromadzenia w formie żył, gniazd i soczewek. Minerały te zostały zidentyfikowane jako: autunit, metaautunit, metatorbenit, uranofan oraz gummit.

Szczegółowymi badaniami objęty został obszar o powierzchni około 1,5 km², na którym wykonanych było 41 otworów wiertniczych. Otwory te, rozmieszczone w miarę równomiernie, dały obraz głównej strefy tektonicznej oraz jej najbliższego sąsiedztwa.

W wyniku sprofilowania najbardziej reprezentatywnych otworów zdołano makroskopowo wyróżnić następujący zespół skał występujących na badanym terenie. Są nimi: 1 — granity izerskie (granitognejsy) ciemnoszare, o strukturze średnio- lub grubokrystalicznej, teksturze bezkierunkowej, odznaczające się znaczną zawartością biotyту; 2 — granity (granitognejsy) jasne, podobne do poprzednich, różniące się znacznie mniejszą zawartością biotyту, często różowe z uwagi na pospolite w nich różowe skalenie; skały te są ogniwem przejściowym do leukogranitów; 3 — leukogranity barwy prawie białej, o strukturze grubo- lub średniokrystalicznej; 4 — skały bardzo drobnokrystaliczne o składzie mineralnym podobnym do poprzednio opisywanych, makroskopowo podobne do aplitów; 5 — gnejsy, będące skałami podobnymi do granitognejsów, lecz posiadającymi teksturę gnejsową; 6 — pegmatyty, również podobne do

granitów izerskich, lecz posiadające bardzo grubokrystaliczną strukturę; 7 — łupki łyszczykowe, barwy srebrzystopopielatej, o strukturze lepidoblastycznej, teksturze łupkowej, bardzo często zwietrzałe, wykazujące zabarwienie rdzawe, 8 — amfibolity; 9 — brekcje, będące zwykle silnie spojonymi okruchami wyżej wymienionych skał, często o niewyraźnie widocznych zarysach okruchów.

W opisach rdzeni wykonanych przez geologiczną obsługę spotkano jeszcze odmianę skalną zwaną lamprofirami².

Opisane serie skalne zawierają często makroskopowo widoczne wrostki ciemnofioletowego fluorytu oraz skupienia turmalinów. W niektórych partiach skały wykazują znaczne spękania, są zażelazione. W tych obszarach, a niekiedy także niezależnie od nich, stwierdzono występowanie bladezielonych lub żółtawych blaszek minerału uranu.

Nagromadzenia minerałów uranu często spotykano na obszarach znaczniejszych anomalii radiometrycznych, a także niezależnie od nich. Obserwacje rdzeni wiertniczych nie dały jednoznacznego stwierdzenia, na obszarze jakich skał występują anomalie; czy istnieje jakaś bardziej uprzywilejowana odmiana petrograficzna, która wiąże się z anomaliami. To samo dotyczy też nagromadzeń minerałów uranowych.

Już pobieżne zapoznanie się z budową geologiczną terenu i charakterem mineralizacji pozwala przypuszczać, że głównym czynnikiem warunkującym istnienie okruszcowania jest tektonika dysjunktywna, lecz również nasuwa się przypuszczenie, że niektóre odmiany petrograficzne mogą być reduktorami uranu, stanowiąc środowisko szczególnie sprzyjające gromadzeniu się mineralizacji. Rola stref zażelazionych w procesie gromadzenia się minerałów uranu i występowaniu anomalii oraz problem, w jakim stopniu mogą one być wskaźnikiem poszukiwawczym, nie są jednoznacznie określone. Przeprowadzane zostały zatem badania korelacji dla następujących par cech: typ petrograficzny — anomalia, typ petrograficzny — spękania, typ petrograficzny — zażelazienie, typ petrograficzny — mineralizacja uranowa, anomalia radiometryczna — spękania, anomalia radiometryczna — zażelazienie, anomalia radiometryczna — mineralizacja uranowa, spękania — zażelazienie, spękania — mineralizacja uranowa, zażelazienie — mineralizacja uranowa.

W opracowaniu tego rodzaju liczyć się należy z pewnymi nieścisłościami wynikającymi z faktu, że rdzenie opisywane były z różną dokład-

²) Lamprofiry były opisywane na terenach sąsiednich (J. P a w ł o w s k a, 1968), nie ma jednak pewności, czy skały w otworach wiertniczych słusznie nazwano lamprofirami. Na podstawie porównania ze skałami występującymi w szybiku na tym samym terenie można jedynie stwierdzić, że są to skały melanokratyczne, których dokładna identyfikacja jest trudna. To stwierdzenie jest wystarczające dla naszych rozważań. Dla uproszczenia w dalszym ciągu w niniejszej pracy pozostawimy określenie „lamprofir” (w cudzysłowie).

nością przez kilka osób. Mogą zatem istnieć pewne rozbieżności przy makroskopowym określaniu skał, a szczególnie przy ustalaniu granic pomiędzy poszczególnymi typami skalnymi. W celu stwierdzenia, o ile w naszym przypadku istotne są te rozbieżności, porównano szczegółowy profil wykonany dla celów badań petrograficznych z profilem tego samego otworu wiertniczego, wykonanym przez geologiczną obsługę. Stwierdzono, że granice serii skalnych (prawie dokładnie) zgadzały się. Różnice występowały jedynie przy określaniu skał zleukokratyzowanych, przy odróżnianiu leukogranitów od zleukokratyzowanych granitów.

Określenie, które skały należy zaliczyć do leukogranitów, a które do zleukokratyzowanych granitów, jest często trudne nawet wówczas, gdy wykonano dokładne badania mikroskopowe skał. Potwierdza to również J. P a w ł o w s k a (1968) podając równocześnie, że za leukogranity z punktu widzenia surowcowego uważa się skały, w których suma Fe_2O_3 i TiO_2 nie przekracza 1%. Podstawowym kryterium makroskopowego ich określania jest ilość biotyty i tlenków żelaza. W świetle powyższych stwierdzeń różnice pomiędzy profilem wykonanym przez autorów i przez geologa profilującego dla celów dokumentacji nie mogą być spowodowane błędnym określaniem skał.

CHARAKTER ANALIZOWANEGO MATERIAŁU

Statystyczną analizę korelacji pomiędzy wartościami anomalii radiometrycznych a różnymi cechami badanych skał oraz różnymi kombinacjami tych cech przeprowadzono w oparciu o materiał pochodzący z 41 wierceń o głębokości od 36,0 m do 252,7 m, przy czym średnia głębokość wynosiła 146,1 m, a odchylenie standardowe — 62,2 m. Wiercenia te obejmują stosunkowo niewielki obszar (około 1,5 km²), wobec czego badane cechy można uważać za jednorodne w sensie nieobecności jakichkolwiek trendów powierzchniowych. Niemniej jednak trzeba pamiętać, że przynajmniej niektóre z rozważanych dalej cech mogą wykazywać ścisły związek np. z odległością od stref zaburzeń tektonicznych i dlatego założenie o jednorodności stanowi pewnego rodzaju uproszczenie.

Opisy rdzeni wykonane przez obsługę geologiczną zostały przez autorów zredukowane do sześciu podstawowych wydzielen litologicznych, a mianowicie: granit (granitognejs)³, leukogranit, amfibolit (wraz z łupkiem amfibolitowym i amfibolowo-chlorytowym), łupiek łyszczykowy, „lamprofir” i brekcja. Redukcja taka przyczyniła się niewątpliwie do wyeliminowania ewentualnych błędów spowodowanych wspomnianym już faktem wykonywania opisów rdzeni przez kilka różnych osób. Ma-

³ Nie wyróżniono jako osobną grupę podobnych do granitów, lecz różniących się teksturą gnejsów.

kroskopowe rozróżnienie wymienionych typów skał nie przedstawia specjalnych trudności i wobec tego błędy powinny być tu minimalne.

W ten sposób wszystkie rdzenie podzielone zostały na odcinki oznaczające się określonym wykształceniem litologicznym. Dla każdego z tak wydzielonych odcinków uwzględniono następujące cechy: maksymalną wartość anomalii radiometrycznej występującej w obrębie tego odcinka oraz obecność (lub nieobecność) spękań, zażelazienia i mineralizacji uranowej. Model opróbowania może więc być uważany za model opróbowania punktowego z różnymi odległościami pomiędzy poszczególnymi próbkami. Wybór takiego modelu wydawał się autorom celowy, ponieważ w opisach rdzeni nie uwzględniano zmienności analizowanych cech w obrębie poszczególnych wydzielen petrograficznych (zresztą ściśle uchwycenie takich zmian w przypadku np. szczelinowości zwykle nie jest w ogóle możliwe przy opisie makroskopowym). Wobec tego zastosowanie bardziej naturalnego modelu pobierania próbek wzdłuż rdzenia w równych odległościach nie wniosłoby do rozważań żadnych nowych informacji, mogłoby natomiast — w przypadku istnienia korelacji między typem litologicznym a miąższością — doprowadzić do zniekształcenia wyników.

Przy określaniu wielkości anomalii radiometrycznej autorzy przyjęli za poziom odniesienia wartość $100\mu R/h$ i wszystkie wartości anomalii mniejsze od tego poziomu były traktowane jako brak anomalii (czyli anomalia zerowa).

Z analizowanych wierceń uzyskano 504 próbki, w tym 217 próbek granitów, 197 — leukogranitów, 39 — amfibolitów, 21 — łupków łyszczykowych, 16 — „lamprofirów”, 14 — brekcji, przy czym każda z próbek scharakteryzowana była pięcioma wymienionymi wyżej parametrami.

METODY STATYSTYCZNEJ ANALIZY DANYCH

W badanym zespole cech występuje tylko jedna cecha ilościowa (wielkość anomalii radiometrycznej), resztę stanowią cechy jakościowe, przy czym trzy spośród nich (spękania, zażelazienie i mineralizacja uranowa) zostały potraktowane jako cechy dychotomiczne. Taki zespół cech przesądził o wyborze metody statystycznej analizy danych jakościowych jako metody dalszych badań. W tej sytuacji badanie statystycznej zależności cech sprowadza się do analizy tablic wielodzielnych.

Podstawową metodą testowania hipotezy H_0 o braku korelacji między cechami jest test niezależności χ^2 . Mianowicie wielkość:

$$\chi^2 = \sum_{i,j} \frac{(x_{ij} - e_{ij})^2}{e_{ij}}, \quad \begin{matrix} i=1,2,\dots,m \\ j=1,2,\dots,n \end{matrix} \quad (1)$$

gdzie x_{ij} są liczebnościami obserwowanymi, a e_{ij} — liczebnościami oczekiwanymi poszczególnych komórek $m \times n$ — wymiarowej tablicy wielo-

dzielnej, ma rozkład χ^2 z $(m-1)(n-1)$ stopniami swobody. Po obliczeniu dla danej tablicy wartości χ^2 można odczytać z tablic rozkładu χ^2 prawdopodobieństwo otrzymania takiej wartości przy braku korelacji między badanymi cechami (tzn. przy słuszności hipotezy H_0). Jeżeli prawdopodobieństwo to jest odpowiednio małe, to hipotezę H_0 należy odrzucić.

W przypadku, gdy którakolwiek z liczebności oczekiwanych e_{ij} jest mniejsza niż 5, podany wyżej test nie powinien być jednak stosowany, ponieważ może wtedy dawać błędne wyniki (A. E. Maxwell, 1961). Najprostszą metodą zwiększenia dokładności testu χ^2 w przypadku małych próbek jest dla tablicy 2×2 zastosowanie tzw. poprawki Yatesa (F. Yates, 1934). Wartość χ^2 (z jednym stopniem swobody) oblicza się wtedy wg wzoru:

$$\chi^2 = \frac{N (|x_{11}x_{22} - x_{12}x_{21}| - 0,5 N)^2}{(x_{11} + x_{12})(x_{21} + x_{22})(x_{11} + x_{21})(x_{12} + x_{22})} \quad (2)$$

Inną metodą, nieco bardziej uciążliwą pod względem rachunkowym, ale za to bardziej dokładną i — według A. E. Maxwella (1961) — jedyną bezpieczną w przypadku, gdy liczebności oczekiwane są mniejsze od 5, a całkowita ilość próbek nie przekracza 40, jest test Fishera. Polega on na obliczeniu prawdopodobieństwa otrzymania konkretnego rozkładu liczebności x_{ij} przy założeniu niezależności cech i przy zadanych liczebnościach brzegowych x_i i x_j . Według A. E. Maxwella (1961) prawdopodobieństwo to dla tablicy 2×2 jest równe:

$$P = \frac{(x_{11} + x_{12})! (x_{21} + x_{22})! (x_{11} + x_{21})! (x_{12} + x_{22})!}{x_{11}! x_{12}! x_{21}! x_{22}! N!} \quad (3)$$

Prócz prawdopodobieństwa (3) oblicza się także (przy podanych wyżej założeniach) prawdopodobieństwa otrzymania bardziej ekstremalnych od obserwowanego rozkładów liczebności x_{ij} . Suma tych prawdopodobieństw oraz prawdopodobieństwa P daje miarę zależności (korelacji) badanych cech.

Test Fishera można zastosować bez specjalnych trudności rachunkowych również do tablic 2×3 . W tym przypadku wzór na prawdopodobieństwo wystąpienia określonego rozkładu liczebności ma postać:

$$P = \frac{(x_{11} + x_{12} + x_{13})! (x_{21} + x_{22} + x_{23})! (x_{11} + x_{21})! (x_{12} + x_{22})! (x_{13} + x_{23})!}{N! x_{11}! x_{12}! x_{13}! x_{21}! x_{22}! x_{23}!} \quad (4)$$

Opisane wyżej testy wystarczają w zasadzie do sformułowania wniosków statystycznych o istnieniu (lub nieistnieniu) korelacji pomiędzy badanymi cechami jakościowymi. Spotykane w literaturze inne miary związku są z reguły pochodnymi testu χ^2 i jako takie nie powinny wnieść nowych wniosków.

WYNIKI OBLICZEŃ

W pierwszej kolejności badano korelację poszczególnych cech z odmianami petrograficznymi skał występujących w rozpatrywanych profilach, a następnie analizowano zależności między różnymi kombinacjami wymienionych wyżej cech. W tym drugim przypadku podstawą była analiza korelacji między cechami dla wszystkich typów petrograficznych łącznie, a w celu uzyskania uzupełniających wniosków badano także zależności dla rozmaitych typów odrębnie.

Sposób klasyfikacji był jasny i jednoznaczny w przypadku odmian petrograficznych oraz w przypadku cech dychotomicznych. Natomiast jeżeli chodzi o wielkość anomalii radiometrycznej, to sposób klasyfikacji uwarunkowany był przede wszystkim wymogami stosowanej metody analizy. I tak w przypadku stosowania testu niezależności χ^2 konieczne było odrzucanie takich klasyfikacji, przy których oczekiwane liczebności poszczególnych komórek tablicy wielodzielnej były zbyt małe. Z kolei w przypadku stosowania testu Fishera sposób klasyfikacji był tak dobierany, by tablica wielodzielna miała wymiary 2×2 lub 2×3 , ze względu na uciążliwość rachunków przy większych tablicach.

Obecnie przedstawione zostaną wyniki obliczeń dla poszczególnych par cech oraz najważniejsze tablice wielodzielne (zebrane w tab. 1 i 2). We wszystkich tablicach liczby bez nawiasów oznaczają liczebności obserwowane, natomiast liczby w nawiasach — liczebności oczekiwane.

1. Typ petrograficzny — anomalia radiometryczna

W pierwszej wersji wartości anomalii zostały zgrupowane w klasy po $300 \mu\text{R/h}$. Otrzymano 5 klas: anomalia zerowa ($0 \mu\text{R/h}$ — $99 \mu\text{R/h}$), $100 \mu\text{R/h}$ — $399 \mu\text{R/h}$, $400 \mu\text{R/h}$ — $699 \mu\text{R/h}$, $700 \mu\text{R/h}$ — $999 \mu\text{R/h}$ i powyżej $1000 \mu\text{R/h}$. Powstała tablica o wymiarach 6×5 . Obliczona dla niej wartość χ^2 wynosi 31, 12, co przy 20 stopniach swobody odpowiada prawdopodobieństwu $P=0,055$.

Jednak w omawianej tablicy aż 21 (na 30) liczebności oczekiwanych jest mniejszych od 5 i wobec tego do wyników powyższych należy podchodzić z dużą rezerwą. Ponieważ zastosowanie dokładniejszych testów do tablicy o tak dużych rozmiarach byłoby uciążliwe, w celu otrzymania bardziej wiarygodnych wyników przeprowadzono zabieg dychotomizacji wielkości anomalii. Wartość χ^2 dla tak skonstruowanej tablicy (tab. 1) wynosi 21, 63, co przy 5 stopniach swobody odpowiada prawdopodobieństwu $P \approx 0,0006$. Liczebności oczekiwane są teraz mniejsze od 5 jedynie w 3 (na 12) komórkach tablicy, przy czym nawet w tych trzech komórkach nie są one bardzo małe. Wydaje się więc, że do otrzymanych wyników można podchodzić z zaufaniem.

Otrzymana wartość P wskazuje na istnienie silnego związku pomiędzy petrograficznym wykształceniem skał a wielkością anomalii radiome-

Tabela - Table 1

Typ petrograficzny Rock type	Granit Granite	Leuko- granit Leuco- granite	Amfibolit Amphi- bolite	Łupek krysztal- iczny Mica schist	"Lampro- fir" "Lampro- phyre"	Brekcja Breccia	Razem Total
Anomalia Anomaly	+	48 /45,6/	39 /41,4/	5 /8,2/	1 /4,4/	10 /3,4/	3 /2,9/
	-	169 /171,4/	158 /155,6/	34 /30,8/	20 /16,6/	6 /12,6/	11 /11,1/
Spękania Fissures	+	72 /65,9/	57 /59,8/	6 /11,8/	0 /6,4/	4 /4,9/	14 /4,3/
	-	145 /151,1/	140 /137,2/	33 /27,2/	21 /14,6/	12 /11,1/	0 /9,7/
Zażelazienie Ferruginization	+	70 /52,1/	32 /47,3/	8 /9,4/	0 /5,0/	3 /3,8/	8 /3,4/
	-	147 /164,9/	165 /149,7/	31 /29,6/	21 /16,0/	13 /12,2/	6 /10,6/
Mineralizacja uranowa Uranium mineralization	+	41 /27,1/	20 /24,6/	0 /4,9/	1 /2,6/	0 /2,0/	1 /1,8/
	-	176 /189,9/	177 /172,4/	39 /34,1/	20 /18,4/	16 /14,0/	13 /12,2/
Razem Total		217	197	39	21	16	14
							504

Numbers without brackets - observed values.
Numbers in brackets - expected values.

Liczby bez nawiasów - wartości obserwowane.
Liczby w nawiasach - wartości oczekiwane.

trycznej. Niewątpliwie na zależność tę szczególnie silnie wpływają „lamprofiry”, dla których ilość stwierdzonych anomalii jest trzykrotnie większa od oczekiwanej. Zachodzi wobec tego pytanie, czy wyeliminowanie z rozważań tej odmiany petrograficznej spowoduje całkowite zniknięcie korelacji między badanymi cechami, czy też ją jedynie osłabi. Wartość P dla analogicznej tablicy, nie uwzględniającej jedynie „lamprofirów”, wynosi 0,246. Można więc uważać obecność „lamprofirów” za niemal jedyny powód stwierdzonej zależności.

2. Typ petrograficzny — spękania

Tablicę wielodzielną dla tej pary cech przedstawia tab. 1. Wartość χ^2 wynosi tu 46,64, co odpowiada prawdopodobieństwu $P < 0,0005$, korelacja jest więc statystycznie w wysokim stopniu istotna.

Tablica - Table 2

		Spękania Fissures		Zażelazienie Ferruginization		Mineralizacja uranowa Uranium mineralization		Razem Total	
		+	-	+	-	+	-		
Anomalia	+	46 /32,2/	60 /73,8/	35 /25,2/	71 /80,8/	17 /13,2/	89 /92,8/	106	
Anomaly	-	107 /120,8/	291 /277,2/	85 /94,8/	313 /303,2/	46 /49,8/	352 /348,2/	398	
		Spękania Fissures	+	74 /36,7/	79 /116,3/	32 /19,1/	121 /133,9/	153	
			-	47 /84,3/	304 /266,7/	31 /43,9/	320 /307,1/	351	
					Zażelazienie Ferruginization	+	28 /15,1/	93 /105,9/	121
						-	35 /47,9/	348 /335,1/	383
				Razem Total		63 441			

Numbers without brackets - observed values.
Numbers in brackets - expected values.

Liczby bez nawiasów - wartości obserwowane.
Liczby w nawiasach - wartości oczekiwane.

Niemniej pewne zastrzeżenia musi budzić fakt włączenia do rozważań nad omawianą parą cech brekcji, które z natury rzeczy charakteryzuje obecność spękań. Wyeliminowanie tej skały prowadzi do tablicy, dla której $P=0,007$. Zależność jest więc w dalszym ciągu istotna; powoduje ją przede wszystkim wybitnie mała szczelinowatość łupków łyszczykowych, a ponadto mniejsza od oczekiwanej szczelinowatość amfibolitów i większa — granitów. Po usunięciu z tablicy także łupków łyszczykowych wartość P wynosiła 0,158. Można więc przypuszczać, że zaobserwowana korelacja wywołana jest brakiem spękań u tych właśnie skał.

3. Typ petrograficzny — zażelazienie

Odpowiednią tablicę wielodzielną przedstawia tab. 1. Widać, że obliczona dla niej wartość $\chi^2=30,16$, odpowiadająca prawdopodobieństwu mniejszemu niż 0,0005, wypływa ze stosunkowo silnego zażelazienia granitów i brekcji, a małego — leukogranitów i łupków łyszczykowych. Nie ulega wątpliwości, że zaobserwowana zależność jest dla tej pary cech statystycznie istotna.

4. Typ petrograficzny — mineralizacja uranowa

Wartość χ^2 , obliczona na podstawie tablicy wielodzielnej skonstruowanej dla tych cech (tab. 1), wynosi 18,47. Prawdopodobieństwo otrzymania takiej wartości przy niezależności cech jest równe 0,008. Pewnym mankamentem jest tu fakt, że aż 4 (na 12) liczebności oczekiwane są mniejsze od 5. Niemniej jednak otrzymane prawdopodobieństwo jest o tyle małe, a geologiczne przesłanki zależności omawianych cech o tyle pewne, że można mówić o związku mineralizacji uranowej z petrograficznym wykształceniem skał. Widać przy tym, że większą od oczekiwanej intensywność mineralizacji uranowej obserwuje się jedynie w granitach. We wszystkich pozostałych przypadkach sytuacja jest odwrotna.

5. Anomalia radiometryczna — spękania

Jeżeli chodzi o zależność pomiędzy wielkością anomalii a obecnością spękań dla wszystkich odmian petrograficznych łącznie, to już na podstawie dotychczasowych wyników (statystycznie istotna korelacja między typem litologicznym i anomalią radiometryczną z jednej strony i spękaniem — z drugiej) należy wnosić o istnieniu związku między anomalią i spękaniem. Jednak z geologicznego punktu widzenia dokładniejsze zbadanie tego związku wydaje się celowe.

Próba podziału wielkości anomalii na klasy po $300\mu\text{R/h}$ doprowadziła do powstania tablicy wielodzielnej o zbyt małych liczebnościach oczekiwanych, natomiast przy dychotomicznej klasyfikacji anomalii uzyskano tablicę wielodzielną (tab. 3), dla której $\chi^2=10,80$, co odpowiada prawdopodobieństwu $P=0,001$. Zaobserwowane odchylenie od niezależności, polegające na pozytywnym związku wielkości anomalii radiometrycznej z obecnością spękań, jest więc w wysokim stopniu istotne.

Ze względu na geologiczną ważność omawianego związku analizę pogłębiono w tym przypadku o test Fishera, przy czym zastosowano go do tablicy o wymiarach 2×3 (tab. 2), otrzymanej drogą zgrupowania wielkości anomalii w trzy klasy (brak anomalii, anomalia od $100\mu\text{R/h}$ do $700\mu\text{R/h}$, anomalia większa od $700\mu\text{R/h}$)⁴. Należy zwrócić uwagę na

⁴ Również w dalszym ciągu badania korelacji anomalii z innymi cechami, ilekroć mówi się o tablicach 2×3 , anomalie grupowane są analogicznie.

Tabela - Table 3

	Spękania Fissures		Zażelazienie Ferruginization		Mineralizacja uranowa Uranium mineralization		Razem Total
	+	-	+	-	+	-	
Anomalia Anomaly	107 /120,8/	291 /277,2/	85 /94,8/	313 /303,2/	46 /49,8/	352 /348,2/	398
	42 /29,8/	56 /68,2/	32 /23,3/	66 /74,7/	16 /12,2/	82 /85,8/	98
	4 /2,4/	4 /5,6/	3 /1,9/	5 /6,1/	1 /1,0/	7 /7,0/	8
Razem Total	153	351	120	384	63	441	504

Numbers without brackets - observed values.
Numbers in brackets - expected values.

Liczby bez nawiasów - wartości obserwowane.
Liczby w nawiasach - wartości oczekiwane.

fakt, że nowa klasyfikacja jest nieco bardziej szczegółowa, a zatem wniośki winno się traktować jako bardziej autorytatywne.

Test Fishera potwierdził w całej rozciągłości uprzednio sformułowane uwagi. Otrzymane na jego podstawie prawdopodobieństwo wystąpienia równych obserwowanemu lub większych odchyłeń od niezależności wynosi $P_F=0,004$, jest więc dostatecznie małe, aby bez wątpliwości można było odrzucić hipotezę H_0 o nieskorelowaniu badanych parametrów.

W dalszym ciągu przeanalizowano korelację pomiędzy wielkością anomalii radiometrycznej a spękaniami osobno dla poszczególnych odmian litologicznych. Analizę tę przeprowadzono w oparciu o tablice wielodzielne o wymiarach 2×3 . Obliczenia wykonano zarówno testem χ^2 , jak i testem Fishera. Wyniki są następujące⁵: granit (2): $P=0,015$, $P_F=0,012$, leukogranit (2): $P=0,031$, $P_F=0,023$; amfibolit (4): $P=0,573$, $P_F=0,588$; „lamprofir” (5): $P=0,742$, $P_F=1,000$.

Ponieważ wyniki testu χ^2 (mimo ich zasadniczej zgodności z wynikami testu Fishera) nie są wiarygodne ze względu na dużą ilość niewielkich liczebności oczekiwanych, zbudowano dodatkowo dla każdej z odmian petrograficznych tablice o wymiarach 2×2 (drogą dyktomizacji anomalii). Wyniki obliczeń są następujące⁶: granit (0): $P=0,016$, $P_Y=0,028$; leukogranit (0): $P=0,024$, $P_Y=0,042$; amfibolit (2): $P=0,769$, $P_Y=0,724$; „lamprofir” (3): $P=0,553$, $P_Y=1,000$.

Na podstawie wszystkich przedstawionych danych nie ulega wątpliwości, że — stwierdzona uprzednio dla wszystkich typów petrograficznych rozważanych łącznie — statystyczna zależność wielkości anomalii radiometrycznej od szczelinowatości skał występuje u granitów i leukogranitów, nie występuje natomiast u dwu pozostałych typów skał. Jest zresztą możliwe, że na ten wynik pewien wpływ mają małe liczebności próbek amfibolitów i „lamprofirów”, z drugiej jednak strony otrzymane przy różnych sposobach klasyfikacji i przy różnych sposobach testowania hipotezy zerowej prawdopodobieństwa wystąpienia obserwowanych rozkładów są tak duże, że przypuszczenie takie nie jest chyba uzasadnione.

Zarówno granity, jak i leukogranity wykazują dodatnią korelację między omawianymi cechami. Jeżeli weźmie się jeszcze pod uwagę fakt, że łupki łyszczykowe, w których nie zaobserwowano spękań, charakteryzują mniejsze od oczekiwanych przy niezależności anomalie (tab. 1), to należy sądzić, iż właśnie te trzy typy petrograficzne skał są odpowiedzialne za dodatnią korelację stwierdzoną przy łącznym rozważaniu wszystkich ty-

⁵ Prawdopodobieństwa wynikające z testu χ^2 oznaczono tu (i w dalszym ciągu) literą P , prawdopodobieństwa zaś wynikające z testu Fishera — P_F ; w nawiasach po nazwie typu skały podano ilość komórek tablicy, w których liczebności oczekiwane są mniejsze od 5.

⁶ Przez P_Y oznaczono tu (i w dalszym ciągu) prawdopodobieństwa wynikające z testu χ^2 z poprawką Yatesa.

pów skał. Jest rzeczą charakterystyczną, że brekcje nie są uprzywilejowane, jeśli chodzi o wielkość anomalii radiometrycznej. Z tab. 1 widać wyraźnie, że rozkład anomalii jest dla tych skał praktycznie zgodny z rozkładem oczekiwanym.

6. Anomalia radiometryczna — zażelazienie

Z powodów analogicznych do wyżej opisanych badanie związku między wielkością anomalii a zażelazieniem dla wszystkich odmian petrograficznych łącznie sprowadzono do analizy dwu tablic wielodzielnych: tablicy o wymiarach 2×2 (tab. 3) i tablicy o wymiarach 2×3 (tab. 2).

Hipotezę o niezależności dla pierwszej z tych tablic zweryfikowano testem niezależności χ^2 , otrzymując $\chi^2=6,27$, $P=0,013$. Dla drugiej z tablic oprócz testu χ^2 (który dał wyniki: $\chi^2=6,39$, $P=0,043$) zastosowano także test Fishera, który dał $P_F=0,030$.

Z przedstawionych rezultatów obu podstawowych testów wynika, że można mówić o statystycznie istotnej zależności między wielkością anomalii radiometrycznej i obecnością minerałów żelaza, przy czym zależność ta ma charakter korelacji dodatniej. Wniosek ten był o tyle do przewidzenia, że uprzednio już stwierdzono korelację między typem petrograficznym a oboma omawianymi teraz parametrami. Równocześnie wypada zwrócić uwagę na fakt, iż otrzymane wielkości prawdopodobieństw są około 10-krotnie większe od prawdopodobieństw uzyskanych analogicznymi metodami i dla podobnych tablic wielodzielnych przy badaniu związku anomalii radiometrycznej ze szczelinowatością. Może to świadczyć o nieco luźniejszym powiązaniu cech teraz omawianych.

Pogłębienie przedstawionych rezultatów stanowiła jak zwykle odrębna analiza poszczególnych odmian litologicznych. Również i ta analiza przebiegała według schematu opisanego w poprzednim punkcie, a zatem rozpoczęto ją od skonstruowania dla wszystkich odmian litologicznych, dla których było to możliwe, tablic wielodzielnych o wymiarach 2×3 i weryfikowania rozkładów liczebności w tych tablicach za pomocą testu niezależności χ^2 i testu Fishera. Wyniki są następujące: granit (2): $P=0,357$, $P_F=0,402$; leukogranit (2): $P=0,012$, $P_F=0,018$; amfibolit (4): $P=0,470$, $P_F=0,268$; „lamprofir” (5): $P=0,858$, $P_F=1,000$.

Podobnie, jak w poprzednim punkcie, rozpatrzono także tablice o wymiarach 2×2 , przede wszystkim w celu uzyskania wiarygodnych wyników testu χ^2 . Otrzymano tu wyniki: granit (0): $P=0,378$, $P_Y=0,781$; leukogranit (0): $P=0,006$, $P_Y=0,045$; amfibolit (2): $P=0,259$, $P_Y=0,609$; „lamprofir” (3): $P=0,892$, $P_Y=0,589$; brekcja (2): $P=0,508$, $P_Y=1,000$.

Analizując przedstawione rezultaty dochodzi się do wniosku, że jedną odmianą litologiczną wykazującą wyraźną, statystycznie istotną zależność anomalii radiometrycznej od zażelazienia jest leukogranit. Rezultaty wszystkich przeprowadzonych testów są tu całkowicie zgodne. Zgodne

są zresztą także wyniki testów dla pozostałych odmian skał, dla których o korelacji między opisywaną parą cech nie można mówić. Zatem na pokazaną wyżej korelację dla wszystkich typów skał branych łącznie wpływają przede wszystkim leukogranity, a także prawdopodobnie łupki łyszczykowe, które przy całkowitym braku zażelazienia cechuje również nieco mniejsza od oczekiwanej ilość anomalii radiometrycznych (tab. 1).

Trzeba jednakże pamiętać, że nieistotność korelacji dla poszczególnych typów litologicznych nie musi powodować nieistotności dla wszystkich tych typów przy ich łącznym rozpatrywaniu. Jeżeli bowiem małe (i wobec tego oddzielnie uznawane za nieistotne) odchylenia obserwowanych rozkładów liczebności od rozkładów oczekiwanych będą posiadały zawsze ten sam znak (a taka właśnie sytuacja istnieje w omawianym przypadku), to sumaryczne odchylenie może być wystarczająco duże, aby stać się statystycznie istotnym. Wobec tego otrzymane wyniki upoważniają jedynie do stwierdzenia, że leukogranity (i być może łupki łyszczykowe) są skałami, które odgrywają największą rolę w opisanej zależności. Nie wolno natomiast twierdzić, że tylko one tę zależność wywołują.

7. Anomalia radiometryczna — mineralizacja uranowa

Analiza związku wielkości anomalii radiometrycznej z obecnością minerałów uranu dała — z geologicznego punktu widzenia — niezmiernie ciekawe rezultaty. Obecnie przedstawione zostaną jednak tylko wyniki obliczeń i ich czysto statystyczna interpretacja, natomiast próba interpretacji geologicznej będzie przedsięwzięta w dalszej części opracowania.

Metodyka pracy była taka sama, jak w dwu poprzednich punktach. Dla tablicy o wymiarach 2×2 (tab. 3) otrzymano $\chi^2=1,53$, co odpowiada prawdopodobieństwu $P=0,220$, natomiast dla tablicy 2×3 (tab. 2) wartość P wyniosła $0,445$ ($\chi^2=1,63$), test Fishera zaś dał $P_F=0,358$. Nie można więc mówić o istnieniu jakiegokolwiek korelacji pomiędzy omawianymi parametrami.

Do podobnego wniosku dochodzi się, analizując odrębnie poszczególne odmiany petrograficzne. Rezultaty odpowiednich obliczeń dla tablic o wymiarach 2×3 są następujące: granit (2): $P=0,243$, $P_F=0,196$; leukogranit (3): $P=0,888$, $P_F=1,000$. Obliczenia dla tablic 2×2 dały natomiast wyniki: granit (0): $P=0,102$, $P_Y=0,362$; leukogranit (1): $P=1,000$, $P_Y=0,788$; łupek łyszczykowy (3): $P=0,829$, $P_Y=0,031$; brekcja (3): $P=0,592$, $P_Y=0,473$.

Jak łatwo zauważyć, wnioski ze wszystkich testów są zgodne z wyjątkiem testów przeprowadzonych dla łupków łyszczykowych, dla których test niezależności χ^2 z poprawką Yatesa wykazał dość istotną korelację anomalii radiometrycznej z mineralizacją uranową. W celu wyjaśnienia tej sprawy dane tablicy wielodzielnej dla łupków łyszczykowych zweryfikowano dodatkowo testem Fishera. Otrzymana wartość ($P_F=0,952$) nie potwierdziła jednak wyniku testu χ^2 .

Na zakończenie należy zauważyć, że w amfibolitach i „lamprofirach” nie zaobserwowano obecności minerałów uranu. O ile przy tym amfibolity wykazują nieco mniejszą od oczekiwanej ilość anomalii, to „lamprofiry” cechuje wyjątkowa częstotliwość występowania tychże anomalii (tab. 1).

8. Spękania — zażelazienie

Zależność szczelinowatości skał i występowania nacieków żelaza jest związkiem łatwym do przewidzenia z geologicznego punktu widzenia. Obliczenia przeprowadzone dla wszystkich odmian litologicznych łącznie potwierdziły tę zależność: wartość χ^2 dla odpowiedniej tablicy (tab. 3) wynosi 71,46, co odpowiada prawdopodobieństwu mniejszemu od 0,0005, a zatem dodatnia korelacja badanych parametrów jest istotna w wysokim stopniu.

Wyniki podobnych obliczeń dla poszczególnych odmian petrograficznych są następujące: granit (0): $P < 0,0005$; leukogranit (0): $P < 0,0005$; amfibolit (2): $P = 0,400$, $P_Y = 0,772$, $P_F = 0,912$; „lamprofir” (3): $P = 0,069$, $P_Y = 0,272$, $P_F = 0,136$.

Przytoczone cyfry pokazują, że statystycznie istotna pozytywna zależność obecności minerałów żelaza od szczelinowatości charakteryzuje granity i leukogranity. Nie udało się natomiast wykazać tego typu zależności dla amfibolitów i „lamprofirów”.

Trzeba jeszcze dodać, że wśród łupków łyszczykowych nie stwierdzono ani obecności spękań, ani zażelazienia; natomiast wśród zawsze spękanych brekcji na 14 zbadanych próbek jedynie w ośmiu zaobserwowano minerały żelaza.

9. Spękania — mineralizacja uranowa

Podobnie jak w punkcie poprzednim, tak i teraz analiza mogła być przeprowadzona jedynie na podstawie tablic wielodzielnych o wymiarach 2×2 (tab. 3). Wyniki obliczeń dla wszystkich typów omawianych skał łącznie są następujące: $\chi^2 = 14,22$, $P < 0,0005$.

Związek szczelinowatości z mineralizacją uranową jest więc niewątpliwy, a z tab. 3 widać dokładnie, że ma on charakter korelacji dodatniej.

Takich samych obliczeń dokonano dla granitów i leukogranitów, otrzymując (poprawki Yatesa lub testu Fishera nie trzeba było tutaj stosować, ponieważ wszystkie liczebności oczekiwane, a także wielkość próbek są dostatecznie duże): granit (0): $P < 0,0005$; leukogranit (0): $P = 0,536$. Wynika stąd, że opisana wyżej zależność nie występuje w leukogranitach, jest natomiast bardzo wyraźna w granitach.

Dla pozostałych odmian skał, dla których nie można było zbudować tablic wielodzielnych — a co za tym idzie, przeprowadzić obliczeń — sytuacja wygląda następująco. W amfibolitach i „lamprofirach” nie za-

obserwowano minerałów uranu; w 33 (na 39) próbkach amfibolitów i w 12 (na 16) próbkach „lamprofirów” nie stwierdzono także obecności spękań. Nie stwierdzono również szczelinowatości w żadnej z 21 zbadanych próbek łupków łyszczykowych; mineralizację uranową zauważono tylko w jednej z tych próbek. Można zatem przypuszczać, że również te odmiany skał potwierdzają istnienie omawianego związku. Odmienne natomiast wygląda sytuacja w przypadku brekcji: minerały uranowe zaobserwowano tylko w jednej z czternastu przeanalizowanych próbek.

10. Zażelazienie — mineralizacja uranowa

Ostatnią z wziętych pod uwagę w niniejszym opracowaniu par cech była para: minerały żelaza i minerały uranu. Podobnie jak w dwu poprzednich punktach, wszelkie obliczenia przeprowadzono na podstawie tablic wielodzielnych o wymiarach 2×2 . Dla wszystkich typów skał łącznie (tab. 3) test niezależności χ^2 dał tu: $\chi^2 = 16,46$, co odpowiada prawdopodobieństwu $P < 0,0005$, a więc zależność jest w wysokim stopniu istotna.

Analogiczne obliczenia dla poszczególnych odmian petrograficznych dały: granit (0): $P = 0,013$; leukogranit (0): $P = 0,003$; brekcja (2): $P = 0,237$, $P_Y = 0,886$, $P_F = 0,429$. Widać, że związek zażelazienia z mineralizacją uranową jest najsilniejszy w leukogranitach, nieco słabszy (ale w każdym razie statystycznie istotny) w granitach, natomiast nie występuje w brekcjach.

W badanych próbkach amfibolitów i „lamprofirów” nie stwierdzono obecności minerałów uranu. Równocześnie skały te cechuje rzadkie występowanie tlenków żelaza: w amfibolitach zaobserwowano te minerały tylko w 8 na 39 próbek, w „lamprofirach” — w 3 na 16. Z kolei w próbkach łupków łyszczykowych nie znaleziono minerałów żelaza, a mineralizację uranową zauważono jedynie w 1 na 21 zbadanych próbek. Fakty te wskazują, że amfibolity, „lamprofiry” i łupki łyszczykowe — podobnie jak leukogranity i granity — wykazują dodatnie skorelowanie intensywności omawianych mineralizacji.

ZESTAWIENIE OTRZYMANYCH WYNIKÓW

W celu uzyskania jaśniejszego zbiorowego obrazu omówionych dotąd zależności wszystkie wyniki obliczeń (w postaci uproszczonej) zestawiono w tab. 4 i 5. Pierwsza z nich dotyczy wyników obliczeń dokonanych dla całej badanej próby (a więc bez rozróżnienia poszczególnych odmian petrograficznych), druga — wyników obliczeń dokonanych dla poszczególnych typów skał. Przy konstrukcji tabel oparto się przede wszystkim na teście niezależności χ^2 , a tam, gdzie było to konieczne, także na teście Fishera.

Oznaczenia są tu następujące: „++” oznacza mniejsze od 0,01 (1%) prawdopodobieństwo otrzymania zaobserwowanej w danej tablicy wielo-

dzielnej wartości χ^2 (ewentualnie mniejsze od 0,01 prawdopodobieństwo P_F według testu Fishera); „+” oznacza te same prawdopodobieństwa zawarte w przedziale od 0,01 (1%) do 0,05 (5%); „—” wreszcie — prawdopodobieństwa większe od 0,05.

Tabela - Table 4

Cecha Attribute	Anomalia Anomaly	Spękania Fissures	Zażelazienie Ferruginization	Mineral. uranowa Uranium mineral.
Typ petrograficzny Rock type	++	++	++	++
	Anomalia Anomaly	++	+	-
		Spękania Fissures	++	++
			Zażelazienie Ferruginization	++

"++" - korelacja bardzo istotna - very significant correlation.

"+" - korelacja istotna - significant correlation.

"-" - brak korelacji - absence of correlation.

Umownie można więc „++” określać mianem korelacji bardzo istotnej, „+” — mianem korelacji istotnej, „—” zaś — brakiem korelacji.

Nie wypełnione jednym z tych trzech znaków pola tablic IV i V odpowiadają tym kombinacjom cech, które (z powodów uprzednio omówionych) nie były w obliczeniach brane pod uwagę.

GEOLOGICZNA OCENA WYNIKÓW

W efekcie przedstawionych obliczeń uzyskano kilkanaście zależności pomiędzy poszczególnymi cechami charakteryzującymi skały na omawianym terenie, które to zależności pozwalają na wysnuwanie nowych — lub potwierdzenie znanych już z samych badań terenowych — wniosków geologiczno-złożowych. Rozpatrywano dziesięć zależności i uzyskano następujące wyniki.

1. Stwierdzono silny związek pomiędzy petrograficznym typem skał a wartościami anomalii radiometrycznych. Skałami, które mają szczególny wpływ na powstanie tej zależności, są „lamprofiry”.

2. Wykazana została statystycznie istotna korelacja pomiędzy typem skał a spękaniami. Szczególnie mała ilość spękań charakteryzuje łupki łyszczykowe, w mniejszym stopniu amfibolity, zaś wybitną szczelino-watość wykazują granity.

3. Rozpatrując związek pomiędzy typami skał a ich żażelazieniem

Tabela - Table 5

Cecha Attribute		Spękania Fissures	Zażela- zienie Ferrugi- nization	Mineral. uranowa Uranium mineral.
Anomalia Anomaly	Granit Granite	+	-	-
	Leukogranit Leucogranite	+	+	-
	Amfibolit Amphibolite	-	-	
	Łupek łyszc. Mica schist			-
	"Lamprofir" "Lamprophyre"	-	-	
	Brekcja Breccia			-
	Spękania Fissures	Granit Granite	++	++
		Leukogranit Leucogranite	++	-
		Amfibolit Amphibolite	-	
		Łupek łyszc. Mica schist		
		"Lamprofir" "Lamprophyre"	-	
		Brekcja Breccia		
	Zażelazienie Ferruginization	Granit Granite		+
		Leukogranit Leucogranite		++
		Amfibolit Amphibolite		
		Łupek łyszc. Mica schist		
		"Lamprofir" "Lamprophyre"		
		Brekcja Breccia		-

"++" - korelacja bardzo istotna - very significant correlation.
 "+" - korelacja istotna - significant correlation.
 "-" - brak korelacji - absence of correlation.

stwierdzono, że najsilniejsze zażelazienie wykazują granity i brekcje, słabe natomiast — leukogranity i łupki łyszczykowe.

4. Istnieje związek między występowaniem mineralizacji uranowej a petrograficznym wykształceniem skał. Szczególnie w granitach stwierdzono większą od oczekiwanej intensywność nagromadzeń minerałów uranu.

5. Stwierdzono związek pomiędzy występowaniem anomalii radiometrycznych a spękaniem. Szczególnie wyraźnie zależność ta widoczna jest w granitach i leukogranitach.

6. Stwierdzono zależność pomiędzy wystąpieniami anomalii a zażelazieniem; wyraźna zależność występuje w leukogranitach.

7. Porównanie wystąpień mineralizacji uranowej i anomalii radiometrycznych wykazało brak korelacji pomiędzy tymi cechami.

8. W wyniku rozpatrzenia takich cech skał, jak spękania i zażelazienie, stwierdzono, że istnieje tu wyraźna zależność w granitach i leukogranitach, nie stwierdzono jej u amfibolitów i „lamprofirów”.

9. Wykazany został związek pomiędzy okruszcowaniem uranem a występowaniem spękań w skałach. Zależność ta wyraźna jest w granitach, godny podkreślenia jest brak jej w brekcji.

10. Porównanie wystąpień stref zażelazionych i nagromadzeń minerałów uranu pozwoliło na stwierdzenie, że najsilniejszy związek pomiędzy tymi dwoma cechami występuje w leukogranitach, słabszy — w granitach, brak zaś jest tego związku w brekcjach.

Przeprowadzone badania dały odpowiedź na ważne pytanie, dotyczące wystąpień anomalii w zależności od poszczególnych typów petrograficznych skał. Skałami, z którymi wyraźnie łączy się występowanie anomalii radiometrycznych, są „lamprofiry”, które to skały obserwowane w wyrobiskach podziemnych na sąsiadującym terenie uznawane były za skały towarzyszące znacznym niekiedy strefom rudnym (Materiały archiwalne Zakładów Przemysłowych R₁). Skały te jako zasobne w minerały femiczne (barwy czarnej) zdają się być czynnikami zatrzymującymi związki uranu (W. N. K o t l i a r, 1961). Pozostałe typy skał nie mają wpływu na występowanie anomalii. To stwierdzenie jest szczególnie ważne dla celów poszukiwawczych.

Pozornie trudnym do wytłumaczenia wydaje się fakt braku związku pomiędzy wystąpieniami anomalii radiometrycznych a nagromadzeniami minerałów uranu. Na terenie regionu izerskiego spotykano nawet znaczne anomalie radiometryczne przy równoczesnym braku mineralizacji. Nie zawsze bowiem anomalie spowodowane są nagromadzeniem minerałów uranu. Ich obecność uwarunkowana może być budową tektoniczną obszaru lub też czynnikami geochemicznymi itp. Może również istnieć obawa, że minerały uranowe występujące w formie bladych, zielonych blaszek, jeśli ponadto były rozproszone, mogły być niekiedy pominięte przy obserwacjach. Nie może to jednak mieć znaczenia decydującego, gdyż na pewno nie pominięto większych ich skupień.

Wystąpienia pojedynczych blaszek autunitu na szczelinach skalnych w obszarach, w których brak jest anomalii, są zjawiskiem częstym. Można to wytłumaczyć krążeniem roztworów, które przepływając przez strefy uranonośne wzbogacały się w związki uranu. Z roztworów tych wykrywały w innych miejscach, zwykle nieliczne, minerały uranowe.

Jak stwierdzono dalej, minerały uranowe — ujmując zagadnienie statystycznie — wykazują szczególne predyspozycje (niezależnie od anomalii) do gromadzenia się w granitach. Wyjaśnienie tego zagadnienia wymaga osobnych badań petrograficzno-mineralogicznych.

Przeprowadzone badania uwidoczniają szczególną rolę tlenków żelaza (nacieki żelaziste) w gromadzeniu się substancji uranowej. Istnieje silny związek pomiędzy wystąpieniami anomalii radiometrycznych oraz makroskopowo widocznymi w skale strefami zażelazionymi. Podobnie skupienia minerałów uranu występują w skałach wyraźnie zażelazionych. Zjawisko to jest powszechnie znane w złożach uranu (W. N. K o t l i a r, 1961). Wyraźnie widoczne jest to w leukogranitach, natomiast brak jest tej zależności w brekcjach. Można przypuszczać, że w brekcjach istnienie nacieków żelazistych może pochodzenie swe zawdzięczać nie tylko roztworom niosącym związki uranu. W badanym obszarze większość typowych brekcji występuje w strefie głównego uskoku. Strefa ta stanowiła środowisko korzystne dla krążenia różnego rodzaju roztworów. Z roztworów tych wytrącały się tlenki żelaza. Związki uranu gromadziły się natomiast w obrębie drobnych pęknięć w skałach sąsiadujących.

Przypuszczenie to potwierdza wyraźnie stwierdzony związek między anomaliami radiometrycznymi a skałami spękanymi. Podobnie makroskopowo widoczne nagromadzenia minerałów uranu są statystycznie związane ze strefami spękań, lecz brak jest ich w brekcjach.

Przeprowadzone badania statystyczne, jak wynika z powyższych, stwierdzają wyraźny związek okruszczowania z tektoniką, z dyslokacjami nieciągłymi. Potwierdzają one znane w złożach zjawisko gromadzenia się mineralizacji uranowej w strefach drobnych pęknięć, występujących w sąsiedztwie głównego uskoku, przy równoczesnym braku jej w samej szczelinie (lub brekcji) uskokowej.

Jak wynika z przeprowadzonych rozważań, badania statystyczne przeprowadzone na materiale z otworów wiertniczych wierconych na niedużym stosunkowo obszarze, zdają się potwierdzać szereg prawidłowości, które stwierdzone były na sąsiadujących, znacznie większych i zasobniejszych w okruszczowanie obszarach, przebadanych zarówno za pomocą otworów wiertniczych, jak i wyrobisk podziemnych. Ponadto stwierdzono niektóre zależności, które pozornie są niezauważalne, jednak być może stanowić mogą pewne wskaźniki poszukiwawcze.

Można zatem uznać, że metoda statystyczna może mieć zastosowanie przy badaniach nad wystąpieniami mineralizacji uranowej. Jej celem w takim przypadku jest potwierdzenie nie całkiem zauważalnych lub wykrycie niewidocznych przy badaniach opisowych zależności między poszczególnymi cechami skał. W konsekwencji może ona dać niekiedy ważne wskaźniki poszukiwawcze.

W opisanym przykładzie znacznie lepsze wyniki uzyskanoby stosując bardziej szczegółowe wydzielenia petrograficzne skał, mając do dyspo-

zycji bardziej dokładne ich opisy. Szczególnie ważne byłoby stwierdzenie, czy istnieje zależność pomiędzy anomaliami radiometrycznymi lub nagromadzeniem minerałów uranu a strefami kontaktowymi różnych petrograficznie typów skalnych. Ponadto należałoby wykazać istnienie (lub brak) związku anomalii z wystąpieniami fluorytu, kwarcu, itp. Uzyskano by wówczas więcej danych odnośnie do procesów geologicznych, które miały istotny wpływ na powstawanie okruszczowania.

Instytut Geologii Regionalnej i Złóż Węgla
Instytut Mineralogii i Złóż Surowców Mineralnych
AGH, Kraków

WYKAZ LITERATURY REFERENCES

- Banaś M. (1969), Wstępne dane o mineralizacji uranu strefy Kopańca. *Spraw. z Pos. Kom. Nauk. PAN*.
- Kozłowska-Koch M. (1965), Granitognejsy Pogórza Izerskiego. *Arch. Miner.* 25, 1,2.
- Maxwell A. E. (1961), *Analysing Qualitative Data*. London.
- Michael E. L. (1970), Marine Ecology and the Coefficient of Association. *J. Ecol.*, 8.
- Materiały archiwalne Zakładów Przemysłowych R1 w Kowarach.
- Mochńska K. (1967), Wstępne wyniki badań nad mineralizacją uranową metamorfiku Gór Izerskich. *Spraw. z Pos. Kom. Nauk. PAN*.
- Oberc J. (1967), Struktury szkieletowe w leukogranicie izerskim okolic Kopańca i Małej Kamienicy. *Kwart. geol.* 2, 2.
- Pawłowska J. (1968), Leukogranity Pogórza Izerskiego jako źródło surowca skaleniowego. *Biul. Inst. Geol.* 223, Z badań złóż surowców skalnych w Polsce, 4.
- Pawłowska J. (1968), Wkładki gnejsowo-lupkowe oraz inne skały żyłowe w obrębie wychodni leukogranitów w Kopańcu (Góry Izerskie). *Kwart. geol.* 2, 3.
- Smulikowski K. (1958), Łupki mikowe i granitognejsy na północnych zboczach pasma Kamienieckiego w Sudetach Zachodnich. *Biul. Inst. Geol.* 127.
- Szalamacha J., Szalamacha M. (1968), The metamorphic series of the Karkonosze Góry Izerskie Mountaneous Block. *Biul. Inst. Geol.* 122, 16.
- Warmus M. (1960), *Tablice funkcji elementarnych*. Warszawa.
- Yates F. (1934), *Contingency Tables Involving Small Numbers and the χ^2 Test*. Supplement to the *J. Roy. Stat. Soc.* 1.
- Yule G. U. Kendall M. G. (1966), *Wstęp do teorii statystyki*. Warszawa.
- Большев Л. Н., Смирнов Н. В. (1968), *Таблицы математической статистики*. Москва.
- Котлар В. Н. (1961), *Геология месторождения урана*. Москва.
- Урбах В. Й. (1963), *Математическая статистика для биологов и медиков*. Москва.
- Василевич В. И. (1969), *Статистические методы в геоботанике*. Ленинград.

SUMMARY

The presented paper aims at using statistical methods to define the dependence between mineralogical and petrographical characteristic of rocks and occurrence of radiometric anomalies.

The area of occurrence of the uranium mineralization, on which the statistical studies were carried out, lies in the Iżera Highlands. The zone, described above, is situated in its central part, to the south of the schist belt, surrounded by the Iżera gneisses. In the area under examination there occur: gneisses, Iżera granites (granite-gneisses), mica schists, amphibolites and dyke-rocks (K. Smulikowski, 1958, M. Kozłowska-Koch, 1965, J. Pawłowska, 1967, 1969, J. Oberc, 1967, J. M. Szalamacha, 1968). These series occur accordingly and they dip N at an angle of about $70-80^\circ$ (the strike of the foliation area is, approximately, E-W).

The rock series are intersected by a fault of a NW-SE direction; its face dips abruptly towards NE. Two dislocations, the northern and the southern one, run parallel to the main fault. The presence of many secondary displacements, important for the uranium ore-emplacement, has also been found there. An area of about $1,5 \text{ km}^2$, with 41 bore-holes in it, was under precise examination.

In the described rocks the following uranium minerals have been found: autunite, metaautunite, metatorbenite, uranophane and gummite (M. Banaś 1969).

The following rocks have been distinguished macroscopically: dark-grey Iżera granites (granite-gneisses), of a medium-or coarse-crystalline texture and non-directional structure with considerable amount of biotite; light granites which resemble the former, yet differ from them in having a considerable smaller amount of biotite containing pink feldspars; white leucogranites of a coarse-or medium-crystalline texture; extremely fine-crystalline rocks of mineral structure, resembling the formerly described ones, which are macroscopically similar to aplites; gneisses which resemble the granites but have a distinct gneissose structure; pegmatites of an extremely coarse-crystalline texture; silver-grey mica schists of a lepidoblastic texture and schistose structure, often rusty-coloured; amphibolites; breccias which are usually firmly cemented rock fragments, often with an indistinct outline. In the descriptions of cores, which had been made by the geological staff, rocks described as lamprophyres were also found. The described rocks often have dark-violet inclusions of fluorite and tourmaline. In certain zones the rocks are strongly fissured and ferruginized. In these areas and sometimes elsewhere the occurrences of pale-green or yellow uranium micas have been found.

Accumulations of uranium minerals have often been found in the areas of considerable radiometric anomalies and also independently of them. The examination of cores has not given an explicit answer to the problem of the occurrence of anomalies in rock areas, as well as to the problem of existence of a more privileged petrographic variety which is connected with the anomalies. It also concerns the problem of accumulations of uranium minerals.

Even a rough estimation of geological structure of the area and of the character of mineralization allows an assumption that tectonics in the main agent which is necessary for the ore emplacement. It can also be assumed that certain petrographic varieties may be reducing agents of uranium, as they constitute the environment permitting ore accumulation. It is not always clear what part the ferruginized zones play in the process of accumulation of uranium minerals and in occurrence of anomalies.

Studies of the following types of dependences have been carried out: the petrographic type — the radiometric anomaly; the petrographic type — the fissuring; the petrographic type — ferruginization; the petrographic type — uranium mineralization; the anomaly — fissuring; the anomaly — ferruginization; the anomaly — uranium mineralization; the fissuring — ferruginization; the fissuring — uranium mineralization; the ferruginization — uranium mineralization.

The material from 41 exploratory borings has been analysed statistically. The authors reduced the descriptions of cores made by the geological staff to 6 basic lithological subdivisions: granite, leucogranite, amphibolite (together with amphibole schists and amphibole-chlorite schists), mica schist, lamprophyre and breccia. In this way all the cores have been divided into sections which have the characteristics of a definite lithological formation. Each section bears the following characteristics: the maximum value of radiometric anomaly occurring within this section, and the presence (or absence) of fissuring, ferruginization and uranium mineralization. While describing the value of radiometric anomaly, the authors accepted a value of $100\mu R$ as a reference level; all anomaly values smaller than this one were regarded as absence of anomaly (i.e. zero anomaly). On the whole, 504 samples were obtained from the examined borings: 217 granite samples, 197 — leucogranites, 39 — amphibolites, 21 — mica schists, 16 — lamprophyres and 14 — breccias; at the same time each sample was characterized by the six parameters, mentioned above. In the examined characteristics there is only one quantity characteristic (the value of radiometric anomaly); the remaining ones are quality characteristics. Three of them (fissuring, ferruginization and uranium mineralization) have been regarded as dichotomic characteristics. In this situation the statistical studies of the dependence of characteristics resolve themselves into the analysis of contingency tables. In this case the χ^2 independence test is a basic method of testing the hypothesis on the lack of correlation between characteristics, where the value of χ^2 was estimated according to the formula (1), in which e_{ij} are the expected frequencies of individual cells of the contingency table (where the characteristics are independent).

If any of the expected frequencies e_{ij} is smaller than 5, the test should not be applied. To extend the range of its applicability in case of the

2×2 table, the so-called Yates's correction has been used (F. Yates, 1934). The Fisher's test was also used for contingency tables 2×2 and 2×3.

The following dependences between particular characteristics of rocks have been obtained:

1. A strong relation between the petrographic type of rocks and the values of radiometric anomalies has been found. Lamprophyres are the rocks which distinctly influence the origin of this dependence.
2. An essential correlation between the type of rocks and the fissuring has been displayed. Micas are especially poorly fissured and amphibolites still less than the former, while granite-gneisses display an outstanding fissuring.
3. Granites and breccias are most strongly ferruginized, while leucogranites and mica schists display poor ferruginization.
4. There is a relation between the occurrence of uranium mineralization and the petrographic development of rocks. Especially in granites, the intensity of abundance of uranium minerals has been greater than expected.
5. A relation between the occurrence of radiometric anomalies and the fissuring has been found. This dependence is clearly visible in granites and leucogranites.
6. A dependence between the occurrence of radiometric anomalies and ferruginization has been found. A distinct dependence occurs in leucogranites.
7. There is no correlation between the occurrence of uranium mineralization and radiometric anomalies.
8. There is a distinct dependence between the fissuring and ferruginization within granites and leucogranites; it has not been found in amphibolites and lamprophyres.
9. A relation between the occurrence of rock fissurings and their uranium ferruginization has been discovered. This dependence is quite distinct in granites, while there is no sign of it in breccias.
10. The strongest relation between the occurrence of ferruginized zones and the accumulations of uranium minerals has been found in leucogranites, a weaker one occurs in granites, and there is none in breccias.

The statistical studies of the material from bore-holes seem to confirm a number of regularities which have been found in regions where mineralization of rocks is richer. Besides, certain seemingly unnoticeable dependences, which may become prospecting indices, have been discovered.

translated by E. Smolak