

Jerzy BORUCKI, Marian SAŁDAN

Promieniotwórczość naturalna i wiek bezwzględny (K-Ar) skał krystalicznych z otworu Rzeszotary IG 2

WSTĘP

Otwór wiertniczy Rzeszotary IG 2 został zaprojektowany przez Karpacką Stację Terenową Instytutu Geologicznego w celu zbadania budowy geologicznej regionu, w szczególności zaś występującego tu podłoża krystalicznego. Otwór usytuowano na południowy wschód od Krakowa i na zachód od Wieliczki. Pod serią skał osadowych, należących (kolejno od góry) do czwartorzędu, kredy, trzeciorzęd i jury, nawiercono serię skał krystalicznych, określonych przez J. Burtan (1962) jako krystalinik wrośły. Wiercenie osiągnęło krystalinik na głębokości 845,70 m i było kontynuowane do głębokości 965,10 m w łupkach chlorytowo-muskowitowych, następnie w gnejsach i amfibolitach.

Na podstawie wyników z otworu wiertniczego Rzeszotary 1 J. Nowak (1927) określił skały podłoża krystalicznego z okolic Krakowa jako kaledońskie. J. Burtan (1962) natomiast porównuje skały krystaliczne z otworu Rzeszotary IG 2 z prekambryjską serią Cameny. A. Pelczar, T. Wieser (1962) stwierdzają, że mogą to być skały zarówno prekambryjskie, jak i kaledońskie. J. Znosko (1962) wypowiada się za zaliczeniem omawianych skał do kaledoniku.

Dyskusyjny wiek skał krystalicznych z Rzeszotar skłonił nas do wykonania datowań bezwzględnych tych skał, a stwierdzone w wyniku pomiarów karotażowych gamma podwyższenie promieniotwórczości naturalnej, do wyjaśnienia przyczyn tego zjawiska.

KAROTAŻ GAMMA

Za pomocą karotażu gamma przeprowadzonego w otworze Rzeszotary IG 2 w nawierczonej serii skał krystalicznych stwierdzono występowanie szeregu anomalii promieniotwórczych. Pomiaru karotażowe¹ posłużyły

¹ Jakościowy karotaż gamma został przeprowadzony przez Przedsiębiorstwo Państwowe Poszukiwania Naftowe, a karotaż ilościowy szczegółowy przez Przedsiębiorstwo Poszukiwań Geofizycznych.

nam do wstępnego scharakteryzowania promieniotwórczości naturalnej wspomnianej serii.

W przeciwieństwie do skał krystalicznych nadległa seria osadowa, wykształcona głównie w postaci łupków, margli z wkładkami piaskowców oraz wapieni, charakteryzuje się niskim i słabo zróżnicowanym promieniowaniem gamma, wahającym się w granicach 2,5 do 10 $\mu\text{r/h}$ i w związku z tym nie stanowiła przedmiotu naszych zainteresowań.

Z pomiarów karotażowych wynika, że naturalne tło promieniowania gamma (fig. 1) na odcinku występowania utworów krystalicznych wynosi około 6 $\mu\text{r/h}$. Na tym tle zaznacza się jedenaście anomalii promieniowania gamma, których krótką charakterystykę podajemy w tabeli 1.

Tabela 1

Zestawienie anomalii promieniotwórczych występujących w utworach krystalicznych

Znak anomalii	Głębokość w m	Rodzaj skał	Promieniowanie gamma $\mu\text{r/h}$
A	849,00 ÷ 849,40	Łupki chlorytowo-muskowitowe z nalotami hematytu	18
B	866,20 ÷ 867,40	Łupki chlorytowo-muskowitowe ze skalaniem, gnejsy muskowitzowe	33
C	872,10 ÷ 874,00	Gnejsy muskowitzowe	45
D	901,60 ÷ 902,80	Amfibolity iniekowane skalaniem, łupki muskowitzowe	45
E	903,40 ÷ 904,20	Amfibolity, gnejsy	35
F	905,20 ÷ 906,60	Gnejsy amfibolitowe, amfibolity	33
G	911,80 ÷ 913,40	Gnejsy i amfibolity	45
H	919,00 ÷ 920,40	Amfibolity	75
I	926,60 ÷ 930,20	Amfibolity, gnejsy	60
J	935,40 ÷ 936,80	Amfibolity z nalotami hematytu	43
K	952,80 ÷ 955,30	Łupki muskowitzowe	43

Najintensywniejszą anomalię H stwierdzono na głębokości 919,00 ÷ 920,40 m w środkowej części kompleksu gnejsów amfibolowych, o miąższości około 28 m, iniekowanych skalaniem i zawierających granaty oraz wkładki łupków biotytowo-muskowitowych. Zwraça tutaj uwagę kontrastowy przebieg krzywej promieniowania gamma. Na stosunkowo nie-

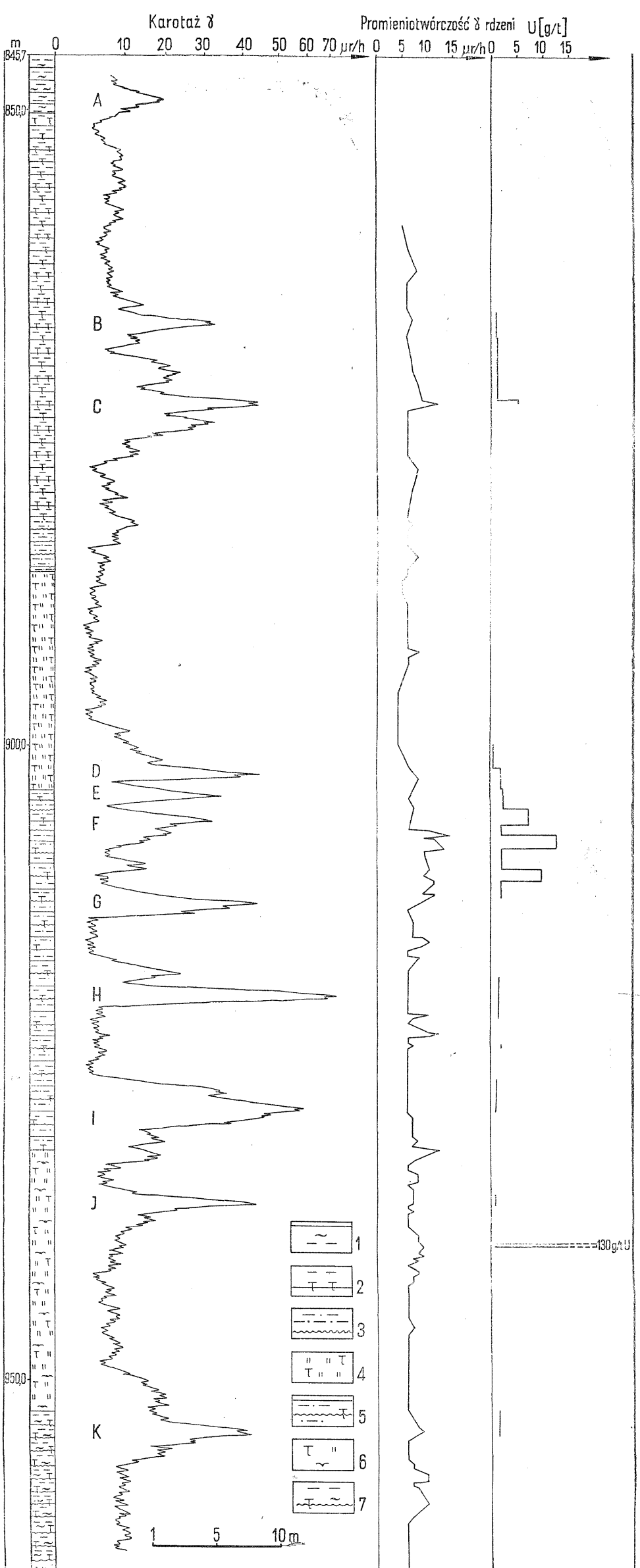


Fig. 1. Promieniotwórczość naturalna gamma skał krystalicznych z otworu Rzeszotary IG 2 (profil litologiczny według J. Burtan, 1962)

Radioactivity gamma of crystalline rocks from the bore hole Rzeszotary IG 2 (lithological profile after J. Burtan, 1962)

1 — łupki chlorytowo-muskowitowe z nalotami hematytowymi; 2 — łupki chlorytowo-muskowitowe z żyłkami i soczewkami skalenia; 3 — gnejsy biotytowo-skaleńniowo-muskowitowe; 4 — amfibolity iniekowane skaleniami; 5 — gnejsy amfibolitytowe iniekowane skaleniami, z wkładkami łupków biotytowo-muskowitowych; 6 — amfibolity iniekowane skaleniami, z nalotami i żyłkami hematytowymi; 7 — łupki muskowitowo-chlorytowe i amfibolity iniekowane skaleniami z nalotami i cienkimi żyłkami hematytowymi

1 — chlorite-muscovite schists with hematite illinitions; 2 — chlorite-muscovite schists with veinlets and lenses of feldspar; 3 — biotite-feldspar-muscovite gneisses; 4 — amphibolites injected by feldspars; 5 — amphibolite gneisses injected by feldspars, with intercalations of biotite-muscovite schists; 6 — amphibolites injected by feldspars with illinitions and hematite veinlets; 7 — muscovite-chlorite schists and amphibolites injected by feldspars, with illinitions and thin hematite veinlets

dużym odcinku otworu natężenie promieniowania wzrasta od 6÷10 do około 75 $\mu\text{r/h}$.

W spągowej części omawianego kompleksu gnejsów amfibolitowych i łupków biotytowo-muskowitowych występuje druga co do natężenia promieniowania gamma anomalia I o natężeniu około 60 $\mu\text{r/h}$.

Promieniowanie gamma w pozostałych strefach anomalnych, w których obrębie występują zarówno łupki chlorytowo-muskowitowe i gnejsy amfibolitowe, jak i amfibolity, waha się w granicach 18÷45 $\mu\text{r/h}$.

Zarejestrowane anomalie gamma charakteryzują się dość niewielkim zasięgiem pionowym, co dowodzi, że są one związane z ciałami promieniotwórczymi o stosunkowo niewielkiej miąższości, sięgającej w skrajnych przypadkach kilkadziesiąt centymetrów. Niestety, sposób wykonania karotażu oraz zestawienia wykresów karotażowych uniemożliwił ilościową interpretację anomalii. Anomalie występują zarówno w obrębie zmetamorfizowanych skał osadowych, jak i zmetamorfizowanych skał wylewnych. Wydaje się jednak, że oba te kompleksy wykazują anomalie o nieco odmiennych cechach.

W obrębie gnejsów i łupków mikowych występują anomalie płaskie, o większym zasięgu pionowym i niezbyt wysokiej intensywności. W kilku przypadkach daje się obserwować nierównomierne rozmieszczenie pierwiastków promieniotwórczych, przejawiające się niesymetrycznością anomalii. Ta zmienność dowodzi wzrostu koncentracji pierwiastków promieniotwórczych od spągu ku stropowi i dość nagłego spadku do wartości tła promieniotwórczego przy przejściu do skał nadległych nad anomalią. Do bardziej typowych można zaliczyć tu anomalie; B, C, F, I, J, K. W obrębie anomalii A, występującej w łupkach chlorytowo-muskowitowych, opisana asymetria nie występuje, jakkolwiek charakteryzuje ją wspomniany płaski przebieg.

Anomalie promieniowania gamma występujące w obrębie amfibolitów, a także częściowo w obrębie skał mieszanych amfibolitowo-gnejsowych, charakteryzują się bardziej kontrastowym przebiegiem niż opisane poprzednio. Należy tu zaliczyć anomalie H, D, E i G.

Obserwujemy tylko pewne tendencje do wiązania się niektórych typów anomalii promieniowania gamma z pewnymi typami skalnymi. Brak bardziej ścisłego powiązania jest związany, być może, częściowo z faktycznym brakiem pełnej korelacji, dodatkowo pogłębionym przez niezbyt dokładne zorientowanie nawierconych pakietów skalnych względem karotażu gamma.

POMIARY RADIOMETRYCZNE

Pomiary radiometryczne rdzeni wykonano na odcinku 859,10÷965,10 m, przy czym naturalne tło promieniowania gamma wahało się około 5 $\mu\text{r/h}$ (fig. 1). Na niektórych odcinkach rdzenia zaobserwowano niewielkie podwyższenie promieniowania, nie przekraczające nigdzie trzykrotnej wartości tła. Tak więc na głębokości 873,00÷873,30 m w gnejsach muskowitowych promieniotwórczość nieco wzrasta i osiąga wartości około 12 $\mu\text{r/h}$. Jest to strefa, którą obejmuje anomalia C, stwierdzona poprzed-

nio za pomocą karotażu gamma. Równie niewielkie podwyższenie promieniowania gamma, sięgające wartości 14 $\mu\text{r/h}$, obserwuje się na odcinku rdzenia z głębokości 906,75÷915,00 m, który obejmuje występowanie anomalii karotażowych F i G. W obrębie pozostałych anomalii karotażowych nie stwierdzono podwyższeń promieniotwórczości gamma.

Fakt potwierdzenia przez pomiar promieniotwórczości rdzenia za ledwie trzech spośród zarejestrowanych jedenastu anomalii karotażowych jest naszym zdaniem spowodowany różnymi przyczynami. Niektóre z anomalii mogły zaznaczyć się tylko nieznacznym wzrostem promieniowania ze względu na małą masę rdzenia, niemożliwym do odróżnienia od biegu własnego licznika zastosowanego przy pomiarze promieniotwórczości rdzeni (na przykład anomalia A). W innych przypadkach należy przypuszczać, że rdzeń wydobyty z otworu nie zawiera materiału promieniotwórczego, który wywołał anomalię promieniowania gamma w otworze (przykład: anomalia H). Materiał ten uległ najprawdopodobniej wykruszeniu lub wymyciu w procesie wiercenia i rdzeniowania. Dowodziłoby to, że materiał ten charakteryzuje się mniejszą odpornością mechaniczną niż skały uzyskane w rdzeniowaniu.

ANALIZY CHEMICZNE

Wyniki analizy chemicznej² uranu, toru i radu z próbek brzdowych, pobranych z rdzeni skał krystalicznych, przedstawiono w tabeli 2 i na fig. 1, na której zestawiono ponadto wyniki karotażu gamma oraz wyniki pomiarów promieniotwórczości rdzeni.

Wyniki analiz chemicznych uranu i radu z próbek wody pobranych z otworu Rzeszotary oraz z pobliskiego strumyka (próbka 3) zestawiono w tabeli 3.

Z danych przedstawionych w tabeli 2 wynika, że uran w badanych skałach krystalicznych nie tworzy w zasadzie wysokich koncentracji. Wyjątek stanowi próbka 1, w której obserwuje się wyraźne wzbogacenie w obrębie amfibolitu, wyrażające się zawartością uranu 130 g/t. W pozostałych próbkach zawartości uranu wahają się w zasadzie w granicach tła geochemicznego nieco zróżnicowanego, zgodnie z charakterem geochemicznym danych typów skalnych. Dla porównania w tabeli 4 podajemy zawartości U, Ra i Th oraz wartości stosunku Th/U w skałach metamorficznych według G. W. Wojtkiewicza (1961).

W przeciwieństwie do niewielkich koncentracji uranu zaobserwowano w badanych próbkach wyraźne podwyższenie koncentracji toru (próbki nr 1, 10, 15, 23), zaznaczające się szczególnie we wzroście stosunku Th/U do wartości 40÷50. Tak wysokie wartości stosunku Th/U są dość wyjątkowe i według A. J. Nikonowa (1957) obserwuje się je w obrębie prowincji toronośnych.

Ze względu na dość wyrywkowe dane nie można określić z całą pewnością charakteru promieniotwórczości skał krystalicznych z Rzeszotar.

² Analizy chemiczne radiopierwiastków wykonał zespół pracowników z Pracowni Radiochemii I.G. pod kierunkiem A. Jęczalika.

Tabela 2

Wyniki badań skał krystalicznych z otworu Rzeszotary IG 2

Nr próbki	Głębokość w m	Rodzaj skał*	Promieniowanie gamma $\mu\text{r/h}$	U g/t	Ra g/g. 10^{-11}	Równowaga Ra/U %	Th g/t	Th/U
1	939,35 ÷ 939,60	Amfibolity	15	130	13,3	300	100	0,77
2	923,70 ÷ 923,90	Łupki biotytowo-muskowitowe ze skaleniami	12	2,6	1,65	2000	—	—
8	866,00 ÷ 868,00	Gnejsy muskowitowe	7	0,98	—	—	00	<1
9	868,00 ÷ 872,90	Gnejsy muskowitowe	7	1,13	—	—	—	—
10	872,90 ÷ 873,10	Gnejsy muskowitowe	12	5,5	—	—	270	49
11	900,10 ÷ 901,90	Amfibolity	6	0,67	—	—	—	—
12	901,90 ÷ 903,50	Amfibolity, gnejsy muskowitowe	8	2,1	—	—	—	—
13	903,50 ÷ 905,10	Amfibolity, gnejsy amfibolitowe	7	2,5	—	—	—	—
14	905,10 ÷ 906,40	Amfibolity z żyłkami i wrostkami kwarcu oraz pirytu	6	7,5	—	—	—	—
15	906,40 ÷ 907,20	Łupki chlorytowo-muskowitowe, amfibolity	14	2,2	—	—	110	50
16	907,20 ÷ 908,30	Amfibolity	11	13,0	—	—	—	—
17	908,30 ÷ 910,00	Łupki biotytowo-muskowitowe	13	2,2	—	—	—	—
18	910,00 ÷ 910,90	Gnejsy muskowitowe, łupki chlorytowo-muskowitowe	11	10,1	—	—	—	—
19	910,90 ÷ 912,20	Gnejsy i amfibolity ze skaleniami i mika	11	2,1	—	—	—	—
20	918,50 ÷ 921,60	Amfibolity	10	1,7	—	—	00	<0,6
21	926,50 ÷ 929,00	Amfibolity ze skaleniami i pirytem	6	1,2	—	—	—	—
22	935,50 ÷ 936,20	Łupki muskowitowe, nieliczny amfibolit	7	1,07	—	—	—	—
23	952,50 ÷ 954,50	Łupki muskowitowe	9	1,5	—	—	60	40
25	961,90 ÷ 964,40	Amfibolity i gnejsy**	—	—	—	—	—	—

* Oznaczenia skał według J. Burtan (1962)

** Próbką ta odpowiada próbkom 25a i 25b z tabeli 5

Zastanawiający jest jednak fakt, że spośród próbek badanych na zawartość toru wysokimi wartościami stosunku Th/U — około 40 ÷ 50 — charakteryzują się próbki pobrane ze zmetamorfizowanych skał osadowych,

tj. gnejsów i łupków, niskimi natomiast — około 1 — próbki ze zmetamorfizowanych skał wylewnych, tj. amfibolitów.

Jeśliby przyjął dwoistość anomalii gamma, tak, jak to wynikało z interpretacji karotazu, i wiążąc z gnejsami anomalie torowe, a z amfibolitami anomalie uranowe, to charakter pierwszych staje się dość jasny.

Tabela 3

Wyniki badań próbek wody

Nr próbki	Głębokość w m	Rodzaj wody	Promienowanie gamma $\mu\text{r/h}$	U g/l	Th g/l
3	—	Woda ze strumyka, 2 m powyżej stacji pomp	5	$< 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-10}$
4	—	Woda z otworu po przepłukaniu	6	$< 10^{-6}$	$1,56 \cdot 10^{-10}$
6	955,00 ÷ 965,00	Woda z otworu	—	10^{-6}	$5,8 \cdot 10^{-10}$
7	834,00 ÷ 845,00	Woda z otworu po przepłukaniu	—	$< 1 \cdot 10^{-6}$	$2,7 \cdot 10^{-10}$
24	721,00 ÷ 724,00	Woda z otworu (miocen)	—	$< 5 \cdot 10^{-7}$ gU ₃ O ₈ /l	$3,27 \cdot 10^{-10}$

Tabela 4

Porównanie zawartości U, Ra, Th oraz wartości stosunku Th/U w skałach metamorficznych (według G. W. Wojtkiewicza, 1961)

Autor	Rok	Rodzaj skały	Ra n. 10^{-12} g/g	U g/t	Th g/t	Th/U
J. J. Joly, J. H. J. Poole	1924	Gnejsy pochodzenia osadowego (paragnejsy)	1,2	3,5	7,3	2,1
J. J. Joly, J. H. J. Poole	1924	Ortognejsy	—	—	18,5	—
G. Kirsch	1928	Gnejsy	2,1	6,2	8,7	1,4
Z. Hatuda	1936	Gnejsy	0,77	2,2	—	—
L. W. Komlew	1957	Gnejsy i migmatyty	0,4 ÷ 1,0	1,5 ÷ 3	5 ÷ 19	4,7

Są one związane prawdopodobnie z osadowymi nagromadzeniami minerałów ciężkich o wysokim stosunku Th/U. Potwierdzają to obserwacje T. Wiesera (informacja ustna), który zanotował na pewnym odcinku profilu skał krystalicznych z Rzeszotar zwiększone koncentracje minerałów

ciężkich, takich, jak cyrkon i allanit, charakteryzujących się, jak wiadomo, wyraźną przewagą toru nad uranem.

Geneza anomalii uranowych, związanych przede wszystkim, jakkolwiek nie wyłącznie, z amfibolitami, jest bardziej niejasna. Mogą to być pierwotne syngenetyczne koncentracje, późniejsze hydrotermalne lub nawet wtórne koncentracje osadzone przez wody descensyjne, wszystko w sprzyjającym otoczeniu skał obfitujących w żelazo dwuwartościowe. Pewne podwyższenie zawartości radiopierwiastków w wodach z otworu (tabela 3) przemawiałoby, być może, za tą ostatnią hipotezą. W zbadanych wodach obserwuje się koncentracje radu rzędu 10^{-10} g/l, podczas gdy A. N. Tokariew i A. W. Szczerbakow (1956) podają, że średnia zawartość radu w wodach podziemnych jest rzędu 10^{-12} g/l. Silnie zachwiana w stronę radu równowaga promieniotwórcza charakteryzuje opisywane anomalie jako uranowo-radowe lub nawet radowo-uranowe i przemawia za ich stosunkowo niedawnym powstaniem, co, być może, jest dodatkowym argumentem przemawiającym za descenzyjną epigenezą.

DATOWANIE POTASOWO-ARGONOWE

Wykonano siedem oznaczeń wieku bezwzględnego próbek skał i minerałów z serii krystalicznej, przewierconej w otworze Rzeszotary IG-2. Oznaczenie wykonano metodą potasowo-argonową, przy czym oznaczenia argonu dokonano za pomocą metody objętościowej, bez kontroli izotopów (I. Je. Starik, 1961, str. 275—278). Oznaczenia potasu wykonała podwójnie metodą nadchloranową E. Madej, do obliczeń bramo średnią z dwóch równoległych oznaczeń.

W czterech przypadkach oznaczenia wykonano na próbkach nierozdzielonych skał. Dwie spośród tych próbek składały się z prawie czystego drobnoziarnistego amfibolitu, bardzo nieznacznie zanieczyszczonego skaleniami (próbki nr 11 i 25a), dwie pozostałe próbki nierozdzielone składały się z amfibolitu z dość dużą ilością domieszek różnorodnych skaleni i innych minerałów (próbki nr 14 i 21). Trzy próbki poddano koncentracji magnetycznej i oczyszczono w bromoformie, uzyskując koncentrat składający się z mieszaniny biotyту i muskowitu — w przypadku próbek nr 8 i 25b — oraz koncentratu drobnoziarnistego amfibolitu — próbka nr 19.

Wyniki datowań bezwzględnych zestawiono w tabeli 5, przy czym dane dotyczące wieku bezwzględnego skał obliczono na podstawie stałych:

$$\lambda_k = (0,584 \pm 0,026) \cdot 10^{-10} \text{ rok}^{-1}$$

$$\lambda_\beta = (4,72 \pm 0,50) \cdot 10^{-10} \text{ rok}^{-1}$$

Obliczono błędy datowania z uwzględnieniem błędów oznaczeń analitycznych i bez uwzględnienia błędów oznaczeń stałych rozpadu (I. Je. Starik, 1961, str. 258—260).

Wprawdzie duże błędy analityczne, sięgające prawie 60 milionów lat dla próbek o niewielkiej zawartości potasu (próbki nr 11 i 14), utrudniają znacznie interpretację datowań, a niewielka stosunkowo liczba oznaczeń nie pozwala na wypowiedzanie bardziej kategoriycznych stwierdzeń, to

jednak można się pokusić o ustalenie pewnych ogólnych cech omawianych datowań.

Skąły krystaliczne z otworu Rzeszotary IG 2 stanowią niewątpliwie pod względem wieku pozornego serię niejednorodną. Uzyskane przez nas daty wahają się w szerokim zakresie od nieco ponad 300 milionów lat (próbka 21) do nieco ponad 530 milionów lat (próbka 25b), co odpowiadałoby w skali stratygraficznej zakresowi od dolnej części karbonu górnego do kambriu górnego włącznie.

Tabela 5

Wyniki datowania bezwzględnego skał krystalicznych z otworu Rzeszotary IG 2

Nr próbki*	Głębokość w m	Charakterystyka rdzenia	Opis próbki przyjętej do datowania	Ar. 10^{-7} g/g	K %	t. 10^{-6} lat
8	866,00 ÷ 868,00	gnejsy muskowitzowe	koncentrat: mieszanina biotyty i muskowitzu	2,512	6,76	461 ± 16
11	900,10 ÷ 901,90	amfibolity	amfibolit	0,300	0,95	398 ± 54
14	905,10 ÷ 906,40	amfibolity z żyłkami kwarcu, skalenia oraz z pirytem	amfibolit ze skaleniami	0,325	0,95	427 ± 58
19	910,90 ÷ 912,20	gnejsy i amfibolity ze skaleniami i mika	koncentrat: amfibolit z nielicznymi zanieczyszczeniami: kwarc, tyczki, skalenie	0,540	1,94	355 ± 25
21	926,50 ÷ 929,00	amfibolity ze skaleniami i pirytem	amfibolit ze skaleniami	0,401	1,69	307 ± 28
25a	961,90 ÷ 964,40	amfibolity i gnejsy	amfibolit	0,338	1,17	367 ± 42
25b	961,90 ÷ 964,40	amfibolity i gnejsy	gnejs, koncentrat: mieszanina biotyty i muskowitzu	3,459	7,87	533 ± 10

* Opowiadają numerom próbek z tabeli 2

Wydaje się wysoce prawdopodobne istnienie zależności pomiędzy składem petrograficznym próbek i ich wiekiem. Wszystkie pięć próbek amfibolitów mieszczą się poniżej liczby 440 milionów lat, przyjmowanej jako granica ordowik — sylur (A. Holmes, 1959; J. L. Kulp, 1960), podczas gdy obie próbki gnejsów dały wyniki wyższe od tej liczby. Nie obserwuje się natomiast zależności pomiędzy głębokością pobranej próbki i jej wiekiem.

Przyczyny tego dużego i dość charakterystycznego rozrzutu datowań są niejasne i mogą być wywołane:

— istnieniem rzeczywistych różnic wiekowych pomiędzy serią gnejsów i serią amfibolitów;

— podwyższeniem temperatury przy metamorfizmie regionalnym, które spowodowało zróżnicowane wydzielania argonu z minerałów;

— czynnikami metamorfizmu retrogresywnego, które także mogą przejawiać się w zróżnicowaniu odgazowania minerałów w zakresie argonu w łyszczykach gnejsów, będących pierwotnie łyszczykami detrytycznymi, pochodzącymi ze skał starszych.

Należy podkreślić, że stwierdzenie działania jednego z czynników wcale nie wyklucza możliwości wpływu innych spośród wyżej wyliczonych.

Badania A. Pelczar i T. Wiesera (1962) w zasadzie wykluczają możliwość istnienia różnic wiekowych pomiędzy metamorfizmem gnejsów i amfibolitów, a nawet pomiędzy osadami zmienionymi w gnejsy i efuzjami zmienionymi w amfibolity. Tak więc ta ewentualność może być od razu odrzucona.

Szczegółowego rozpatrzenia wymaga natomiast możliwość zróżnicowanego odgazowania minerałów w procesie metamorfizmu regionalnego. Następuje tu wydzielanie argonu ze skał i minerałów pod wpływem wzrastającej temperatury, ciśnienia kierunkowego, a także metasomatyizmu.

Przy oznaczeniach wieku bezwzględnego obserwuje się systematyczne obniżenie dat skaleni w stosunku do dat uzyskiwanych przy badaniu współwystępujących łyszczyków (S. S. Sardarow, 1957; G. D. Afanasjew i inni, 1960). Energie aktywacji argonu dla skaleni i łyszczyków są tego samego rzędu (E. K. Gierling, J. M. Morozowa, 1958; E. K. Gierling, 1961; E. K. Gierling, I. M. Morozowa, W. W. Kurbatow, 1961; E. K. Gierling, L. K. Lewskij, I. M. Morozowa, 1963; A. L. Chucaidze, 1962; H. Fechting, W. Geutnez, J. Zähringer, 1960). Nie należy więc spodziewać się różnic w szybkości dyfuzji argonu w tych dwu grupach minerałów w normalnych warunkach fizyczno-chemicznych, ani też wydzielania argonu ze skaleni w wyniku takiej dyfuzji (Ch. I. Amirchanow, S. W. Brandt, E. N. Bartnickij, 1958; 1959a). Przyczyn częściowego wydzielania argonu ze skaleni, a co za tym idzie częściowego obniżenia wieku oznaczonego na koncentratkach tych minerałów, należy dopatrywać się w wysokiej ich podatności na zmiany wtórne, wyrażające się zmianą sieci przestrzennej, spowodowaną przez zmianę warunków fizyczno-chemicznych w stosunku do pierwotnego środowiska krystalizacji (A. M. Kuźmin, 1961; S. S. Sardarow, 1957). Tak więc w zakresie retencji argonu za bardziej odporne od skaleni na działanie metamorfizmu należy uznać łyszczyki.

Uzupełniając powyższe dane faktami wskazującymi na jeszcze wyższą odporność amfiboli (E. S. Burkser, F. I. Kotłowska, 1961, 1963), można ułożyć następujący szereg grup minerałów ze zmniejszającą się odpornością na czynniki metamorficzne:

amfibole → łyszczyki → skalenie

W przypadku objęcia metamorfizmem regionalnym serii skał charakteryzujących się takimi jak wyżej zespołami mineralnymi szereg ten

powinien odpowiadać także kolejnością malejącym wiekom pozornym K-Ar.

W skałach krystalicznych z Rzeszotar nie obserwujemy takich zależności. Przeciwnie, koncentraty łyszczyków wykazują wiek wyższy niż próbki amfibolitów, próbki zaś amfibolitów ze skaleniami nie wykazują odmłodeń w stosunku do próbek amfibolitów bez skaleni. Wydaje się, że na tej podstawie można odrzucić z dość dużą pewnością hipotezę metamorfizmu powodującego powstanie gnejsów i amfibolitów z pierwotnych osadów i efuzywów jako przyczynie zróżnicowania datowań w serii skał krystalicznych z Rzeszotar.

A. Pelczar i T. Wieser (1962) stwierdzają w Rzeszotarach także działanie metamorfizmu retrogresywnego. Zmiany czynników fizyczno-chemicznych przy metamorfizmie tego typu charakteryzują się przesunięciem w kierunku niższych ciśnień i temperatur, a więc zbliżają się do warunków egzogenicznych. Podatność różnych minerałów na zmiany wtórne w tym przypadku ułoży się odmiennie niż to opisaliśmy poprzednio w odniesieniu do metamorfizmu regionalnego. Amfibole okazują się tu znacznie mniej odporne niż występujące w tych samych seriach skalnych łyszczyki. Wiek pozorny K-Ar oznaczony na amfibolach będzie niższy niż wiek oznaczony na łyszczykach, a więc taki, jaki określono dla skał krystalicznych z Rzeszotar.

Dyskusyjna pozostaje możliwość zachowania detrytycznego argonu w łyszczykach gnejsów z Rzeszotar, tj. argonu, który został nagromadzony w tych minerałach przed metamorfizmem zmieniającym skały osadowe w gnejsy.

Mimo nagromadzenia dość znacznego materiału w dziedzinie wydzielania argonu z łyszczyków, nie ma na ten temat jednolitego poglądu. Najwięcej prac w tym zakresie wykonał E. K. Gierling ze swoimi współpracownikami. W obszernej pracy (E. K. Gierling, I. M. Morozowa, W. W. Kurbatow, 1961) przedstawił liczne pomiary szybkości wydzielania argonu z różnych minerałów w różnych warunkach fizycznych. Stwierdza on obecność przynajmniej dwóch lub trzech szybkości dyfuzji argonu, związanych z różnymi sposobami występowania tego gazu w miakach. Różnie związane atomy charakteryzują się energiami aktywacji 18 000—93 000 kal./mol. argonu. E. K. Gierling (1961) rozbudowuje swój pogląd w monografii dotyczącej metody argonowej.

Do podobnego stwierdzenia doszli także H. Fechting, W. Geutnez, J. Zähringer (1960) badając dyfuzję argonu z margarytu. Autorzy ci stwierdzili w tym mineralu trzy różne energie aktywacji argonu, o wartościach 6900—93 700 kal./mol.

W ostatnich latach pogląd E. K. Gierlinga został bardziej rozwinięty. A. N. Murin, S. N. Banasiewicz, I. M. Morozowa (1962) podają, że argon w łyszczykach występuje nie tylko w kilku różnych pozycjach, ale istnieje w tym przypadku całe spektrum energii aktywacji tego gazu. Prace na hipotetycznym spektrum są kontynuowane w dalszych badaniach (E. K. Gierling, I. M. Morozowa, 1962; E. K. Gierling, L. K. Lewskij, I. M. Morozowa, 1963).

Przyjęcie nieco innych założeń doprowadziło do odmiennych schematów wydzielania argonu z łyszczyków. Ch. I. Amirchanow i współpracownicy (Ch. I. Amirchanow, S. B. Brandt, E. N. Bartnickij, 1959b) stwierdzili, że argon we flogopicie charakteryzuje się jedną energią aktywacji, równą 35 000 kal./mol. Ten sam pogląd odnośnie do jednej energii aktywacji w mikach reprezentuje S. B. Brandt (1962).

Autorzy ogólnie zgadzają się co do pełnej retencji argonu w łyszczykach pozwalającej na akceptację tych minerałów jako przedmiotu datowania K-Ar. Zwracają przede wszystkim uwagę wysokie energie aktywacji argonu zawartego w łyszczykach. Energie te są rzędu energii wiązań chemicznych. S. S. Sardarow (1961) wyjaśnia to zjawisko na tle budowy sieci przestrzennej łyszczyków oraz pozycji, jaką w tej sieci zajmują radiogeniczne atomy argonu. Wspomniane badania dowodzą, że w temperaturach poniżej 200°C należy się liczyć z pełną retencją argonu w łyszczykach. Przy temperaturach powyżej 400°C, trwających przez okres tysięcy lub więcej lat, prawie pewne jest całkowite odgazowanie łyszczyków. Wobec braku jednolitego i ostatecznego określenia mechanizmu wydzielania argonu z łyszczyków ocena zachowania argonu w łyszczykach w zakresie temperatur 200—400°C jest niemożliwe. Wydaje się, że w tym zakresie temperatur należy liczyć się z odgazowaniem częściowym. Wnioski wynikające z rozważań teoretycznych uzyskują potwierdzenie również w obserwacjach terenowych. Skały objęte bardziej intensywnym metamorfizmem regionalnym, należące do strefy mezo- i kata, charakteryzują się pełnym odgazowaniem, jak to obserwowano w przypadku skał metamorficznych z Manhattan-Prong — Stany Zjednoczone (L. F. Long, J. L. Kulp, 1958), metamorfiku tatrzańskiego — Czechosłowacja (J. Kanbor, 1959) oraz skał metamorficznych kompleksu Hida — Japonia (H. Kuno, H. Baadsgaard, S. Goldich, K. Shiobora, 1960). Z drugiej strony skały objęte mniej intensywnym metamorfizmem wykazują wiek wyższy od współwystępujących skał magmowych i skał metamorficznych odgazowanych całkowicie. Przykładami takich skał związanych genetycznie ze strefą epi i, być może, częściowo strefą mezo byłyby fility z Kladna — Czechosłowacja (V. Šmejkal, 1960) lub gnejsy Cranberry — z Północnej Karoliny w Stanach Zjednoczonych.

Skały krystaliczne z Rzeszotar należy określić jako skały słabiej zmienione, a więc takie, w których argon detrytyczny został usunięty z łyszczyków tylko częściowo.

Uwzględniając — z jednej strony — wpływ metamorfizmu retrogresywnego, a z drugiej strony — przypuszczalną zawartość argonu detrytycznego w łyszczykach gnejsów, wiek metamorfizmu skał krystalicznych z Rzeszotar należy określić najprawdopodobniej między najwyższą datą uzyskaną na amfibolitach i najniższą uzyskaną na łyszczykach z gnejsów, tj. na 430–460 milionów lat. Zakres ten obejmuje dolną część syluru, i górną część ordowiku (A. Holmes, 1959; J. L. Kulp, 1960) i odpowiada środkowym fazom orogenezy kaledońskiej.

Poprzednia szeroka dyskusja nad zagadnieniem odgazowania minerałów w procesie metamorfizmu dowiodła, że nie posiadamy obecnie

sposobów ilościowej oceny tego odgazowania, a więc określenie pozostałych parametrów wiekowych takich, jak wiek osadów czy efuzywów zmienionych później w gnejsy i amfibolity jest niemożliwe.

WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań skał krystalicznych z otworu wiertniczego Rzeszotary IG 2 wynikają następujące wnioski:

1. Na podstawie analiz geofizycznej i geochemicznej wysunięto hipotezę występowania w gnejsach i łupkach koncentracji torowo-uranowych, najprawdopodobniej pochodzenia sedymentacyjnego oraz koncentracji radowo-uranowych związanych przede wszystkim z amfibolitami, a powstałych przypuszczalnie w wyniku wtórnego wytrącenia z wód descenzyjnych.

2. Oznaczenia wieku bezwzględnego wykonane metodą K-Ar dowodzą, że metamorfizm zmieniający pierwotne skały osadowe i wylewne jest wieku starokaledońskiego 430÷460 milionów lat, czyli ma miejsce od dolnego syluru do górnego ordowiku włącznie.

Autorzy dziękują Doc. drowi J. Znosce i Doc. drowi T. Wieserowi za cenne uwagi.

Zakład Ziół Pierwiałków Rzadkich i Promieniotwórczych
Instytutu Geologicznego
Warszawa, ul. Rakowiecka 4
Nadesłano dnia 13 lipca 1964 r.

PIŚMIENNICTWO

- AFANASJEW G. D., KOJINA T. K., STARIK I. E. (1960) — Results of age determination for standard muscovite, biotite and microcline samples by the argon method. *Inter. Geol. Congr., Rep. 21 Session Norden, cz. III*, p. 28—32. Copenhagen.
- BURTAN J. (1962) — Wiercenie Rzeszotary 2 (komunikat wstępny). *Kwart. geol.*, **6**, p. 245—259, nr 2. Warszawa.
- FECHTING H., GENTNEZ W., ZÄHRINGER J. (1960) — Argonbestimmungen an Kaliummineralien VII. Diffusionverluste von Argon in Mineralien und ihre Auswirkung an die Kalium — Argon — Altersbestimmung. *Acta Geoch. et Cosmochim.*, **19**, p. 70—79. London — New York.
- HOLMES A. (1959) — A Revised Geological Time-Scale. *Trans. Geol. Soc.*, **17**, cz. 3, p. 183—216. Edinburg.
- KANTOR J. (1959) — Věk některých vysokotatranských granitov krystalických břidlic podle radioaktivního vspadu K^{40} . *Geol. Sborn.* **10**, p. 89—92. Bratislava.
- KULP J. L. (1960) — The Geological Time-Scale. *Inter. Geol. Congr. Rep. 21 Session Norden, cz. III*, p. 18—27. Copenhagen.
- KUNO H., BAADCGAARD H., GOLDICH S., SHIOBORA K. (1960) — Potassium-ar-

- gon dating of the Hida metamorphic complex. *J. Geol. Japan*, **34**, p. 273—278, nr 2—4. Tokio.
- LONG L. F., KULP J. L. (1958) — Age of the metamorphism of the rocks of the Manhattan. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **69**, p. 603—606. Chicago.
- LONG L. E., KULP J. L., ECKELMANN F. P. (1959) — Chronology of major metamorphic events in the southern U.S. *Amer. Jour. Sci.*, **257**, p. 585—603. Washington.
- NOWAK J. (1927) — Zarys tektoniki Polski. II Zjazd Stow. Geol.-Etnogr. 1—160. Kraków.
- PELCZAR T., WIESER T. (1962) — Budowa metamorfiku wykrytego otworem wiertniczym w Rzeszotarach. *Kwart. geol.*, **6**, p. 444—445, nr 2. Warszawa.
- ŠMEJKAL V. (1960) — Absolutní staří některých granitoidů a metamorfitů Českého masivu stanovené kalium — aragonovou metodou. *Vest. Ú.Ú.G.*, **35**, p. 441—449, nr 5. Praha.
- ZNOSKO J. (1962) — Obecny stan znajomości budowy geologicznej głębokiego podłoża pozakarpacciej Polski. *Kwart. geol.*, **6**, p. 485—511, nr 3. Warszawa.
- АМИРХАНОВ Х. И., БРАНДТ С. Б., БАРТНИЦКИЙ Е. Н. (1958) — К определению абсолютного возраста калиевых полевых шпатов аргоновым методом. *Изв. Акад. Наук СССР, сер. геол.*, № 11, стр. 110—112. Москва.
- АМИРХАНОВ Х. И., БРАНДТ С. Б., БАРТНИЦКИЙ Е. Н. (1959a) — Диффузия радиогенового аргона в полевых шпатах. *Докл. Акад. Наук СССР*, **125**, стр. 1345—1347. Минск.
- АМИРХАНОВ Х. И., БРАНДТ С. Б., БАРТНИЦКИЙ Е. Н. (1959b) — О механизме потерь радиогенного аргона в слюдах. *Изв. Акад. Наук СССР, сер. геол.*, № 3, стр. 104—107. Москва.
- БРАНДТ С. Б. (1962) — По поводу дискуссии с Э. К. Герлингом. *Геохимия*, № 12, стр. 1118—1122. Москва.
- БУРКСЕР Э. С., КОТЛОВСКА Ф. И. (1961) — Дослід визначення абсолютного віку гірських порід по амфіболах. *Допов. Акад. Наук Української РСР*, № 12, стр. 1610X1613. Київ.
- БУРКСЕР Э. С., КОТЛОВСКА Ф. И. (1963) — Про застосування амфиболів для визначення абсолютного віку гірських порід. *Геол. Журнал*, **23**, вып. 6, стр. 101—103. Київ.
- ВОЙТКЕВИЧ П. В. (1961) — Проблемы радиогеологии. Москва.
- ГЕРЛИНГ Э. К. (1961) — Современное состояние аргонового метода определения возраста и его применение в геологии. Москва.
- ГЕРЛИНГ Э. К., ЛЕВСКИЙ Л. К., МОРОЗОВА И. М. (1963) — К вопросу о диффузии радиогенного аргона из минералов. *Геохимия*, № 6, стр. 539—543. Москва.
- ГЕРЛИНГ Э. К., МОРОЗОВА И. М. (1958) — Изучение кинетики выделения аргона из микроклин-пертита. *Геохимия*, № 7, стр. 615—620. Москва.
- ГЕРЛИНГ Э. К., МОРОЗОВА И. М., КУРБАТОВ В. В. (1961) — О сохранности радиогенного аргона в измельченных калийсодержащих минералах. *Геохимия*, № 1, стр. 39—48. Москва.

- ГЕРЛИНГ Э. К., МОРОЗОВА И. М. (1962) — Определения спектра значений энергии активаций выделения аргона и гелия из минералов. Геохимия, № 12, стр. 1108—1118. Москва.
- КУЗЬМИН А. М. (1961) — О сохранности аргона в микроклине. Геохимия, № 5, стр. 456—458. Москва.
- МУРИН А. Н., БАНАСЕВИЧ С. Н., МОРОЗОВА И. М. (1962) — К вопросу о диффузии радиогенных газов из минералов. Геохимия, № 10, стр. 874—879. Москва.
- НИКОНОВ А. И. (1957) — Радиоактивность земной коры. Радиометрические методы поисков и разведки урановых руд. Госгеотехиздат. Москва.
- САРДАРОВ С. С. (1957) — Сохранность радиогенного аргона в микроклинах. Геохимия, № 3, стр. 193—197. Москва.
- САРДАРОВ С. С. (1961) — Энергия связи и сохранность радиогенного аргона в слюдах. Геохимия, № 1, стр. 193—197. Москва.
- СТАРИК И. Е. (1961) — Ядерная геохронология. Москва—Ленинград.
- ТОКАРЕВ А. Н., ЩЕРБАКОВ А. В. (1956) — Радиогидрогеология. Госгеолтехиздат. Москва.

Ежи БОРУЦКИ, Мариан САЛДАН

**ЕСТЕСТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ И АБСОЛЮТНЫЙ ВОЗРАСТ
(ПО КАЛИЙАРГОНОВОМУ МЕТОДУ) КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОД
ИЗ БУРОВОЙ СКВАЖИНЫ ЖЕШОТАРЫ ИГ 2**

Резюме

Буровая скважина Жешотары ИГ 2 расположена к юго-востоку от Кракова и к западу от Велички. Под покровом кайнозойских и мезозойских осадочных пород встречена толща кристаллических пород, считаемых слюдяными сланцами, гнейсами и амфиболитами.

В профиле вышеуказанных кристаллических пород в результате каротажных исследований выявлены одиннадцать небольших аномалий гамма-радиоактивности; они относятся к двум типам аномалий. Аномалии первого типа являются поверхностными и обладают в некоторой мере асимметрией, связанной с неравномерным распределением радиоактивных элементов. Эти аномалии по большей части связаны с толщами метаосадков. Аномалии второго типа характеризуются относительно большой контрастностью и связаны с небольшими радиоактивными телами, которых мощность не превышает, в крайнем случае, нескольких десятков сантиметров. Измерения радиоактивности керна не указывают на повышенную гамма-радиоактивность, что может быть связано как с незначительными увеличениями радиоактивности, вызванными небольшим объемом керна, так и вымыванием и выкрошением радиоактивных частиц в процессе бурения.

Химические анализы указывают на тористо-урановую природу аномалий первого типа. Эти аномалии, по всей вероятности, связаны с первичными осадочными накоплениями тяжёлых минералов таких как алланит и циркон.

Аномалии второго типа были определены как радио-урановые, а их происхождение связано, вероятно, с деятельностью поверхностных вод.

В датировании по семи определениям абсолютного возраста имеются большие расхождения заключающиеся в пределах от 310 до 530 млн. лет. В результате всестороннего обсуждения возможностей удерживания аргона в минералах доказывается, что в случае кристаллических пород из Жешотар можно считать с деятельностью ретрогрессивного метаморфизма, который приводил к дифференцированному выделению аргона из минералов. Несомненным кажется факт сохранения в датировемых слюдах некоторого количества первичного аргона, накопленного до метаморфизма пород. Принимая во внимание эти факторы, что по возрасту региональный метаморфизм кристаллических пород из Жешотар заключается в пределах от 430 до 460 млн. лет, следовательно является среднекаледонским.

Jerzy BORUCKI, Marian SAŁDAN

RADIOACTIVITY AND ABSOLUTE AGE (K — Ar) OF CRYSTALLINE ROCKS: IN BORE HOLE RZESZOTARY IG 2

S u m m a r y

The bore hole Rzeszotary IG 2 is located south-east of Cracow, and west of Wieliczka. Under the cover of Cainozoic and Mesozoic sedimentary deposits a series of crystalline rocks has been encountered. The series consists of mica schists, gneisses and amphibolites.

As a result of well logging eleven small gamma radiation anomalies have been detected in the crystalline rocks here considered. These are of two types.

The first type anomalies are flat and show some asymmetry connected with an irregular distribution of radioactive elements. For the most part they are associated with a series of meta-sediments.

The second type anomalies are characterized by a relatively great contrast, and are mainly related to the amphibolite bodies. Both types of the anomalies are connected with the small radioactive bodies, the pierced thickness of which does not exceed, in the extreme cases, some ten centimetres. Measurements of core radioactivity did not show any increased gamma radiation. This may be connected with a slight increase of radiation caused by a small mass of the core or by washing away and crumbling of radioactive components when drilling.

Chemical analyses have shown a thorium-uranium nature of the first type anomalies. Most probably, these anomalies are connected with an original sedimentary accumulation of heavy minerals such as allanite and zircon.

The second type anomalies have been identified as radium-uranium ones, their genesis being probably connected with the activity of descending waters.

Seven determinations of absolute age have shown a great range of datings from about 310 up to 530 million years.

In the case of the crystalline rocks from Rzeszotary, a detailed discussion on the possibilities of argon retention in minerals allows to accept the existence of retrogressive metamorphism activity, which may have caused a differential expulsion of argon from the minerals. A preservation of some portion of original argon accumulated in micas of determined age before rock metamorphism, seems to be indubitable here.

Taking into account the factors mentioned above, the age of regional metamorphism of the crystalline rocks from Rzeszotary may be interpreted as that ranging between 430 and 460 million years, i.e. as the middle Caledonian one.