

Alina KABATA-PENDIAS

Hipergeniczne przeobrażenia skał intruzji suwalskiej

Powierzchniowe skały intruzji suwalskiej znajdowały się w środowisku hipergenicznym w długim przedziale czasu, przypuszczalnie od środkowego proterozoiku do jury włącznie. Stwierdzone kolejne stadia sedymentacji oraz denudacji w paleozoiku (B. Areń, praca w druku) nie spowodowały całkowitego zniszczenia produktów wietrzenia skał krystalicznych. Bliższe poznanie kierunków przeobrażeń hipergenicznych może dać wyjaśnienia warunków paleoklimatycznych, rodzaju materiału osadowego otaczających obszarów, a także wskazywać na możliwość wtórnych mineralizacji.

W przedstawionej pracy przeprowadzono porównanie produktów wietrzenia trzech głównych skał płonnych intruzji suwalskiej, a mianowicie norytu, anortozytu i gabrodiorytu.

Autorka składa serdeczne podziękowanie Panu Profesorowi Antoniemu Łaszkiewiczowi za cenne uwagi dotyczące zakresu tej pracy oraz Panu Magistrowi M. Subiecie za udostępnienie materiałów i przeprowadzone dyskusje.

ZAKRES I METODY BADAŃ

Do badań pobrano próbki z trzech rdzeni wiertniczych zachodniego rejonu intruzji suwalskiej z okolic Szurpił, w których zachowały się strefy zwietrzałych skał prekambryjskich o stosunkowo dużej miąższości. Skały norytu magnetytowo-ilmenitowego występują w profilu otworu wiertniczego K-1, skały anortozytowe — w otworze K-15 oraz skały grabrodiorytowe — w otworze K-14.

Próbki pobierano w różnych odstępach w zależności od zróżnicowania profilu wietrzeniowego, przeważnie co 1 do 2 metrów, począwszy od stropu zwietrzeli aż do podłoża, w którym nie obserwuje się makroskopowych zmian hipergenicznych.

We wszystkich próbkach oznaczono zawartość żelaza dwu- i trójwartościowego oraz żelaza rozpuszczalnego w roztworze 0,2 m szczawianu amonu, według metody zastosowanej przez J. A. McKeague i J. H. Day (1966). Poza tym metodą analizy spektralnej (na spektrografie PGS-2) wykonano oznaczenia zawartości następujących pierwiastków śladowych: Mn, Cr, Ni, Co, Cu, V i Ga. W niektórych próbkach oznaczono ponadto metodami wagowymi i kolorymetrycznymi zawartość SiO_2 , Al_2O_3 i TiO_2 .

Z próbek skał wydzielono metodą sedymentacji (R. Mackenzie, 1956) frakcję ilastą o wymiarze $< 2 \mu$ i określono jej skład na dyfraktometrze rentgenowskim f-my Rigaku-Denki, przy zastosowaniu promieniowania $\text{CuK}\alpha$. Analizy spektralne i rentgenowskie wykonano w Zakładzie Geochemii I. G. w Warszawie.

ZWIETRZELINA NORYTU

Głównymi składnikami norytów intruzji suwalskiej są według O. Juszkowiaka (praca w druku) plagioklasy (andezyn-labrador), pirokseny (hipersten i augit) oraz magnetyt i ilmenit, a podrzędnymi — biotyt i apatyt.

Nawiercona w otworze K-1 zwietrzelina norytu miąższości 9 m (851,5–860,5 m) przechodzi stopniowo od stropowej partii, złożonej ze zwietrziałych arkoz zmieszanych z otoczkami skał krystalicznych, do słabo przeobrażonego norytu. Wszystkie próbki zwietrziałego norytu, z wyjątkiem próbki z głębokości 852,5 m, zawierają dużą ilość żelaza (tab. 1). Badana strefa przeobrażonych skał odznacza się wysokim potencjałem oksydacyjnym, na co wskazują niskie wartości współczynnika R_f (tab. 1). Współczynnik ten wyznacza procentowy stosunek Fe^{+2} do sumarycznej zawartości żelaza.

Zawartość frakcji ilastej w zwietrziałej skale wzrasta wyraźnie na głębokości 853–855 m, w strefie średniego przeobrażenia hipergenicznego, której odpowiada także wzrost zawartości Fe_2O_3 (tab. 1). Również W. Wasiljew (1969) stwierdza częste wzbogacenie w żelazo zwietrzeliny różnych skał podłoża krystalicznego platformy wschodnioeuropejskiej. Żelazo w profilu zwietrziałych norytów występuje zarówno w formie krystalicznej, jak i bezpostaciowej, o czym świadczy nieznaczny wzrost jego rozpuszczalności pod wpływem działania roztworu szczawianu amonu oraz wzrost tła dyfrakcji rentgenowskiej. Żelazo tej partii skał związane jest głównie z ilmenitem i hiperstenem, a w mniejszym stopniu z magnetytem (fig. 1). Jednocześnie ze wzrostem zawartości żelaza podnosi się ilość niektórych pierwiastków śladowych, a mianowicie: Cr, Ni, Co, i V, co wskazuje, że pierwiastki te towarzyszą minerałom żelaza.

W celu stwierdzenia czy pierwiastki śladowe wchodzą w skład minerałów odpornych na wietrzenie, czy też zostają szybko uwalniane w toku procesów hipergenicnych, a następnie sorbowane przez minerały ilaste, oznaczono zawartość tych składników w niektórych frakcjach ilastych. Wyniki zestawione w tabeli 2 wykazują, że stopień rozproszenia pierwiastków śladowych we frakcji ilastej w stosunku do ich zawartości w masie skalnej jest bardzo wysoki. Niskie współczynniki koncentracji świadczą, że pierwiastki śladowe pozostają na ogół w minerałach trudniej wietrzejących. Wyjątek stanowią jedynie kobalt i nikiel, które w strefie nagromadzenia żelaza uległy większej koncentracji we frakcji ilastej w porównaniu z innymi poziomami rdzenia wiertniczego.

Głównym składnikiem frakcji ilastej jest minerał z grupy montmorylonitu, który odznacza się bardzo wysoką sorpcją, zwłaszcza w stosunku do kationów. W naturalnym środowisku skalnym montmorylonit występuje w formie nasyconej sodem, który został doprowadzony do tej partii skał z wodami descenzyjnymi lub reliktowymi. J. Znosko (1961) wspomina także o zasoleniu („słonym smaku”) kaolinowej zwietrzeliny anortozytów intruzji suwalskiej. Obok montmorylonitu sodowego, dającego

Zawartość różnych form żelaza oraz pierwiastków śladowych w zwietrzalnych strefach norytu, anortozytu i diorytu

Nr próbki	Skala	Głębokość m	Frakcja <2μ %	FeO %	Fe ₂ O ₃ %	ΣFe %	Fe rozp. %	Fe* rozp. w % ΣFe	Rf**	Mn ppm	Cr ppm	Ni ppm	Co ppm	Cu ppm	V ppm	Ga ppm
1	Zwietrzelina norytowa															
2	zwietrzelina brunatna	851,5	6	1,08	21,02	15,54	0,03	0,19	5,40	2300	275	60	74		755	23
3	zwietrzelina brunatna	852,5	3	0,58	5,00	3,95	0,03	0,76	11,39	4100	115	51	25		250	12
4	zwietrzelina brunatna	853,5	17	1,50	30,17	22,27	0,05	0,22	5,20	4200	360	195	245		1400	30
5	skała średnio przeobrażona	854,5	23	2,06	44,76	32,90	0,10	0,30	4,86	3600	450	430	330		1500	24
6	skała średnio przeobrażona	855,5	20	4,50	38,90	30,70	0,24	0,78	11,40	4500	480	450	280		1500	34
6	noryt	860,5	6	7,08	30,74	27,00	1,31	4,85	20,37	2200	430	275	180		1450	30
7	Zwietrzelina anortozytowa															
8	skała średnio przeobrażona, różowa	843	5	0,50	2,00	1,78	0,04	2,25	21,91	350	21	35	12	9	60	23
9	skała średnio przeobrażona, różowa	845	4	0,28	1,72	1,45	0,02	1,38	15,17	240	15	25	9	8	41	19
10	skała średnio przeobrażona, różowa	846,5	4	0,26	1,43	1,20	0,03	2,50	16,66	70	11	20	9	72	26	25
11	skała średnio przeobrażona, różowa	847,5	5	0,42	1,40	1,31	0,02	1,52	25,19	140	15	44	15	26	32	22
12	skała brunatna	849	5	0,96	4,15	3,63	0,11	3,03	20,66	400	37	44	22	34	44	26
13	skała zielonobrunatna	851	5	0,32	1,36	1,20	0,20	16,66	20,83	85	7	16	7	34	33	27
14	skała brunatnoróżowa	851,5	11	0,26	2,86	2,15	0,02	0,93	9,40	190	74	55	10	26	50	21
15	skała różowoszara	852	11	0,40	3,57	2,79	0,03	1,08	11,11	320	100	71	13	14	67	19
16	skała różowoszara	853	9	0,54	3,86	3,07	0,03	0,98	13,68	260	125	80	14	20	69	19
17	anortozyt zielonoszary	853,5	1	0,60	4,15	3,35	0,23	6,87	14,02	340	81	36	15	56	47	27
17	anortozyt brunatnoszary	855	1	0,74	6,44	5,05	0,09	1,78	11,48	610	38	45	13	18	120	27
18	Zwietrzelina gabrodiorytowa															
19	skała średnio przeobrażona, szaroróżowa	846	1	0,78	5,58	4,46	0,47	10,53	13,67	385	11	20	23	12	64	20
20	skała średnio przeobrażona, szaroróżowa	848	1,5	0,76	8,20	6,42	0,35	5,45	9,19	680	12	23	26	18	91	27
21	skała średnio przeobrażona, szaroróżowa	850	0,5	0,72	6,01	4,74	0,29	6,11	11,81	520	9	14	22	10	93	28
22	dioryt różowoszary	853	1	1,80	7,15	6,42	1,15	17,91	21,80	1250	12	20	31	16	105	31
22	dioryt ciemnoszary	854	0,5	5,02	4,72	7,25	2,21	30,48	53,71	1700	14	28	33	19	125	30

* Rozpuszczalne w roztworze 0,2 m szczawianu amonu.

$$** Rf = \frac{Fe+2 \times 100}{Fe+2 + Fe+3}$$

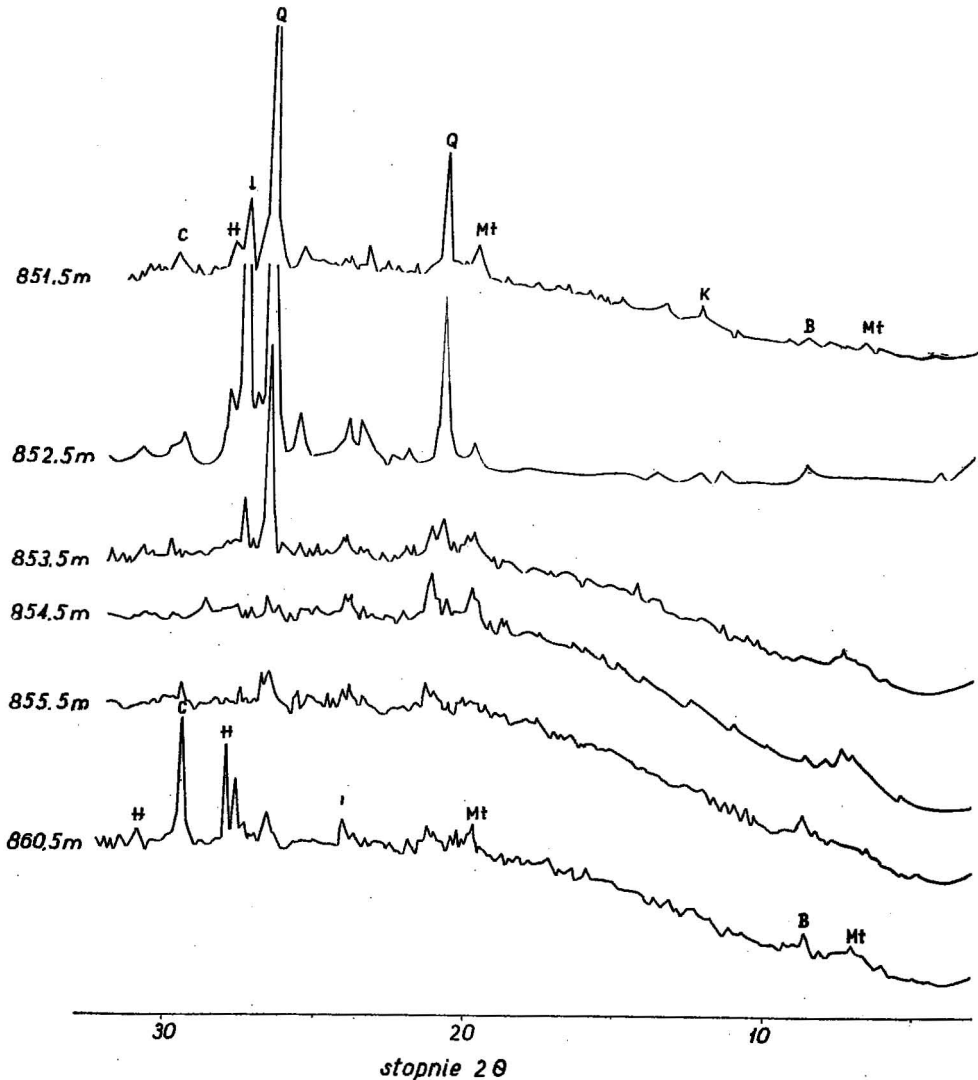


Fig. 1. Dyfraktogramy rentgenowskie próbek norytu w różnym stadium zwietrzania

X-ray diffraction patterns for norite samples at the different stages of weathering

B — hydrobiotyt; C — kalcyt; H — hipersten, I — ilmenit, K — kaolinit; L — labrador, Mt — montmorylonit; Q — kwarc. Promieniowanie $\text{CuK}\alpha$

B — hydrobiotite; C — calcite; H — hypersthene; I — ilmenite; K — kaolinite; L — labradorite; Mt — montmorillonite; Q — quartz. $\text{CuK}\alpha$ radiation

podstawowy rozmyty refleks w zakresie około $12,4 \text{ \AA}$, stwierdzono we frakcji ilastej hydrobiotyt ($d_{001} = 10 \text{ \AA}$), bardzo małe ilości kaolinitu ($d_{001} = 7,13 \text{ \AA}$) oraz plagioklasy (fig. 2). Podstawowy refleks montmorylonitu po usunięciu sodu wynosi $14,5 \text{ \AA}$ i spada po rozpuszczeniu wolnych tlenków żelaza metodą O. P. Mehra i M. L. Jacksona (1960) do wartości

Tabela 2
Zawartości pierwiastków śladowych w próbkach przeobrażonego norytu oraz w wydzielonej z niego frakcji ilastej < 2 μ (w ppm)

Nr próbki	Mn			Cr			Ni			Co			V			Ga		
	A	B	D	A	B	D	A	B	D	A	B	D	A	B	D	A	B	D
1	2300	180	0,08	275	11	0,04	60	14	0,23	74	8	0,11	755	7	0,009	23	17	0,74
2	4100	190	0,05	115	15	0,13	51	15	0,29	25	13	0,52	270	9	0,030	12	8	0,66
3	4200	180	0,04	360	6	0,02	195	29	0,15	245	10	0,04	1400	5	0,004	30	12	0,40
4	3600	110	0,03	450	6	0,01	430	54	0,13	330	9	0,03	1500	4	0,003	24	11	0,45
5	4500	510	0,11	480	8	0,02	450	145	0,32	280	68	0,24	1500	4	0,003	34	14	0,41
6	2200	220	0,10	430	7	0,02	275	70	0,25	180	48	0,27	1450	1	0,007	30	11	0,37

A — całkowita zawartość w próbce; B — zawartość w wydzielonej frakcji ilastej; D — współczynnik koncentracji obliczony ze stosunku B/A

12,4 Å, a następnie po nasyceniu magnezem i glikolem wzrasta do 17,3 Å. Opisane właściwości minerału mogą wskazywać, że jest to odmiana montmorylonitu o zwiększonej zawartości żelaza lub też jakaś forma przejściowa szeregu nontronit-beidelit (D. M. C. MacEwan, 1961). E. Turobowa (1968) zidentyfikowała podobny minerał w zwietrzelinie ultrazasadowych skał Ukrainy. Natomiast S. Czekin (1966) stwierdził występowanie nontronitu zawierającego żelazo w zwietrzelinach kwarcowych skał archaicznych. W. Wasiljew (1969) podaje, że rodzaj produktów wietrzenia skał krystalicznych platformy wschodnioeuropejskiej zależy w bardzo dużym stopniu od mineralnego składu skał. Według tego autora skała zawierająca hornblendę daje w wyniku przeobrażeń hipergenicznych strefę o zwiększonej zawartości montmorylonitu lub chlorytu z montmorylonitem.

Zmiany składu mineralnego norytów ze strefy przeobrażeń hipergenicznych ilustrują dyfraktogramy rentgenowskie całych próbek skalnych (fig. 1). Przedstawione dyfraktogramy dotyczą pomiaru w zakresie 3—35° 2 θ , dla identyfikacji minerałów posłużono się jednak pomiarami wykonanymi w zakresie 3—60°. Dwie próbki z partii stropowej zawierają stosunkowo duże ilości kwarcu oraz andezynu i labradoru. Ilość ostatniego minerału wyraźnie wzrasta w skale na głębokości 852,5 m. Począwszy od głębokości 853,5 m w próbkach przeobrażonego norytu zaznacza się obecność bezpostaciowych form żelaza powodujących podniesienie tła dyfraktogramów (H.P. Rooksby, 1961). Jednocześnie na tych dyfraktogramach znikają refleksy hydrobiotyty i kaolinitu. Wyraźny wzrost zawartości frakcji ilastej tej partii skał (tab. 1) należy więc łączyć głównie z występowaniem montmorylonitu oraz różnych uwodnionych tlenków żelaza. Spośród minerałów żelazistych zidentyfikowano ilmenit, hipersten i magnetyt. Ponadto w próbkach

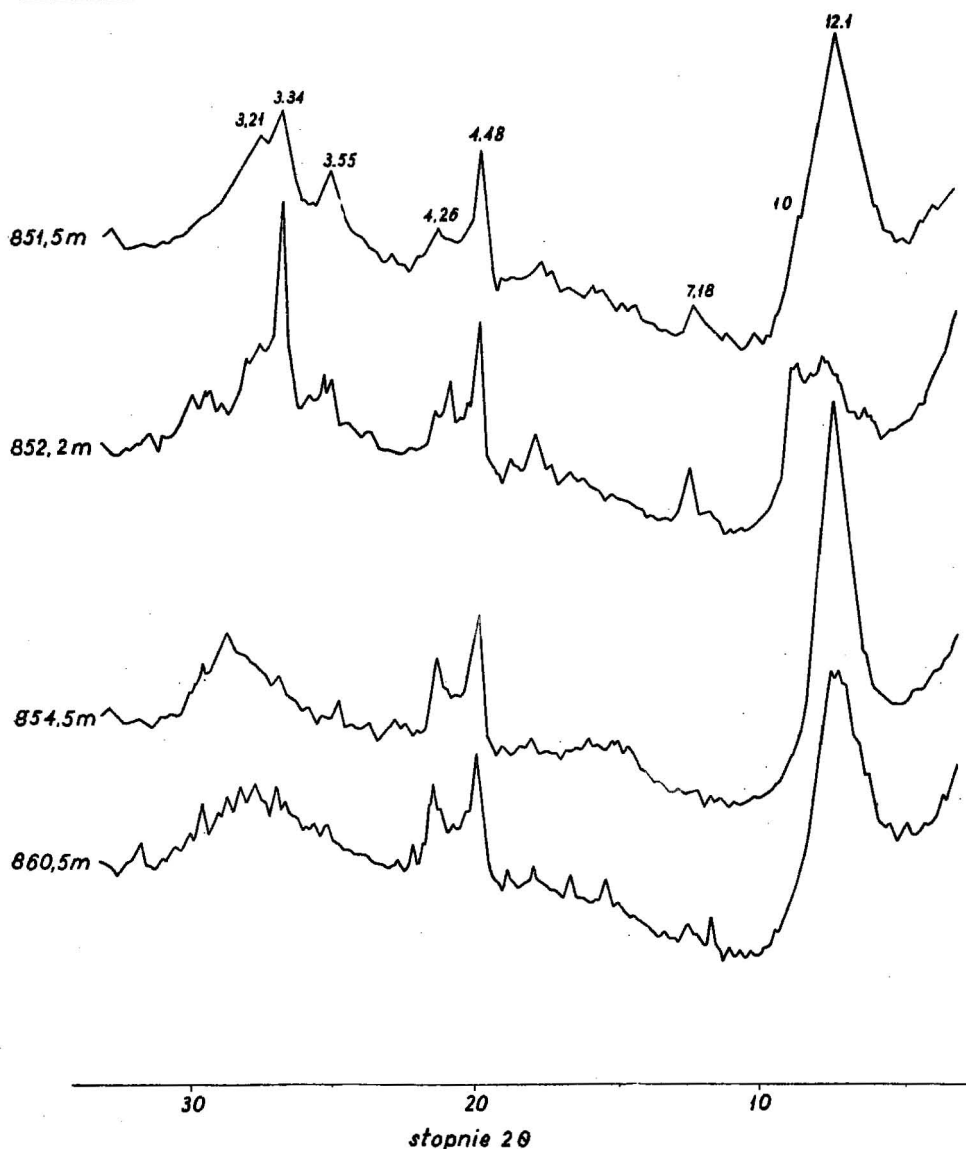


Fig. 2. Dyfraktogramy rentgenowskie powietrznie suchej frakcji ilastej wydzielonej z próbek zwietrzałych norytów. Promieniowanie $\text{CuK}\alpha$

X-ray diffraction patterns for air dry clay fractions (α 2 μ) separated from the weathered norite. $\text{CuK}\alpha$ radiation

pojawia się kalcyt, którego zawartość wyraźnie wzrasta w spągowej strefie przeobrażonych norytów.

Ogólny proces chemicznego wietrzenia norytów doprowadził w stropowej partii profilu do nieznacznego wzrostu zarówno zawartości SiO_2 , jak i Al_2O_3 . Jednocześnie zachodził proces przemieszczania w profilu żelaza i metali alkalicznych. Stosunki molarne niektórych składników chemicz-

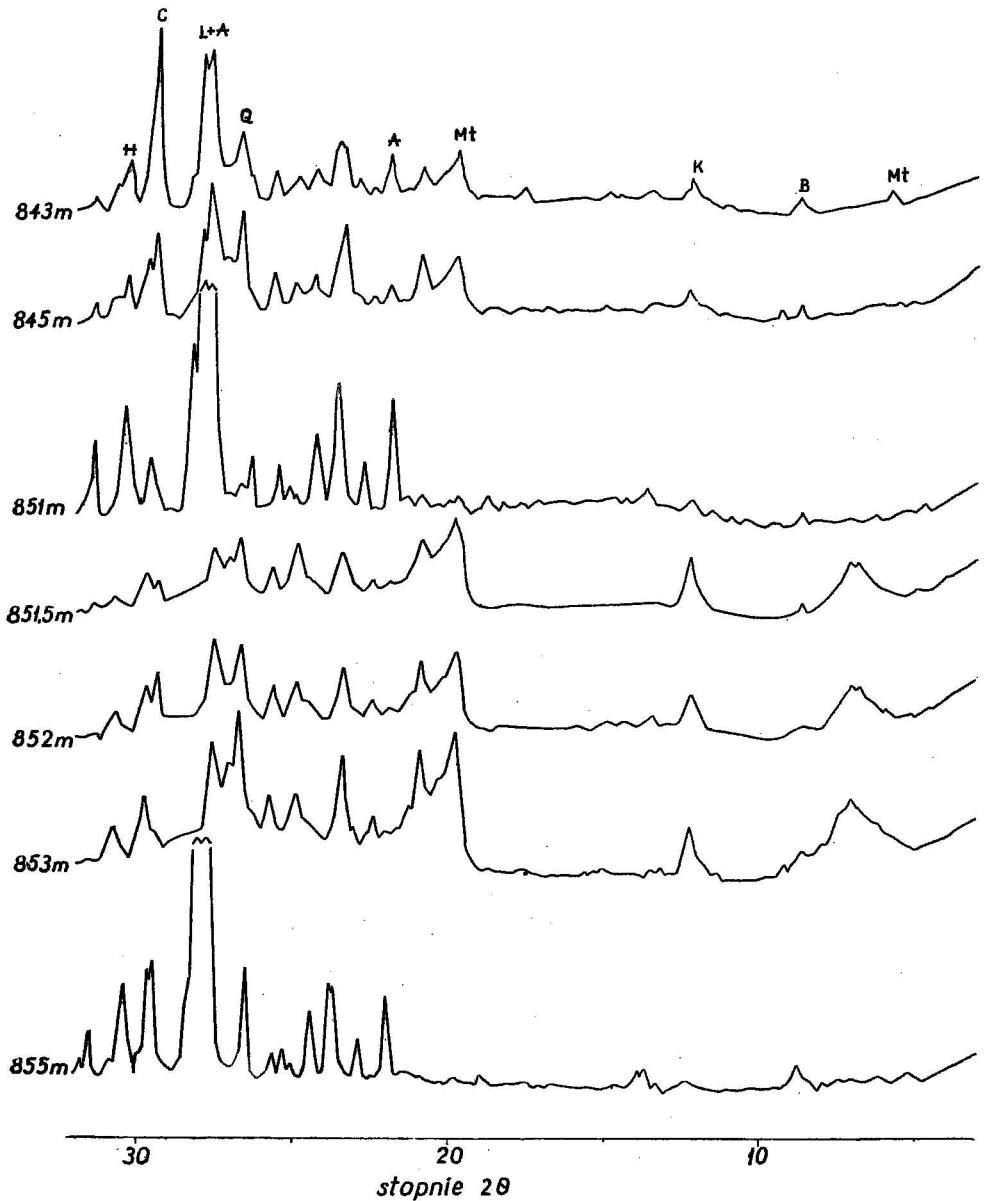


Fig. 3. Dyfraktogramy rentgenowskie próbek anortozytu w różnym stadium zwiętrzenia

X-ray diffraction patterns for anorthosite samples at the different stages of weathering

A — andezyn; B — hydrobiotyt; C — kalcyt; K — kaolinit; L — labrador; Mt — montmorylonit; Q — kwarc. Promieniowanie $\text{CuK}\alpha$
 A — andesine; B — hydrobiotite; C — calcite; K — kaolinite; L — labradorite; Mt — montmorillonite; Q — quartz. $\text{CuK}\alpha$ radiation

Tabela 3

Molarne stosunki niektórych głównych składników chemicznych w stropowej i spągowej partii zwietrzałych norytów z otworu wiertniczego K-1

Głębokość pobrania próbki w m	Al ₂ O ₃ /SiO ₂	TiO ₂ /SiO ₂	Fe ₂ O ₃ /SiO ₂	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃	R ₂ O ₃ /SiO ₂
851,5	0,16	0,08	0,17	0,94	0,33
860,5	0,23	0,23	0,46	0,49	0,68

nych w zwietrzelinie wykazują wyraźny wzrost zawartości żelaza, tytanu i glinu w stosunku do krzemionki w spągowej partii profilu (tab. 3). Opisane zmiany chemiczne są wynikiem procesów alityzacji i ferralityzacji, zachodzących w alkalicznym odczynie środowiska skalnego (D. Segalen, 1966, A. Kabata-Pendias, 1969).

S. Cebulak (praca w druku) łączy karbońskie osady serii pstrej w rejonie wyniesienia Sławatycz z sedymentacją produktów ferroalituowego wietrzenia odsłoniętych skał krystalicznych proterozoiku. Podobny kierunek hipergenicznych przeobrażeń zasadowych skał krystalicznych zaobserwował także A. J. Troitsky ze współpracownikami (1968) w warunkach współczesnego klimatu wyżynnych obszarów Wietnamu. Zachowane strefy produktów przeobrażeń hipergenicznych norytów intruzji suwalskiej związane są z wpływem okresowych ciepłych opadów atmosferycznych, które uruchamiały łatwo rozpuszczalne składniki skałotwórcze, a mianowicie Ca i Mg, nie powodując ich ługowania ze środowiska skalnego. Jednocześnie zmiany odczynu środowiska oraz obecność metali alkalicznych powodowały częściową rozpuszczalność krzemionki. Proces tych przeobrażeń nie został jednak daleko posunięty względnie strefy mocniej zwietrzałe zostały zerodowane w okresach późniejszych. Zachodzi jednocześnie możliwość, że skład chemiczny zachowanej strefy wietrzenia, która mogła powstawać w różnych okresach paleozoiku, związany jest z wpływem późniejszych procesów, które nastąpiły pod pokrywą utworów osadowych (np. krążenie zmineralizowanych wód descenzyjnych).

ZWIETRZELINA ANORTOZYTU

Anortozyty intruzji suwalskiej zbudowane są głównie z plagioklazów (andezyn — labrador). Pozostałe minerały, a mianowicie pirokseny, magnetyt, ilmenit i chloryt są składnikami podrzędnymi (O. Juskowiak, praca w druku).

Strefa anortozytów przeobrażonych hipergenicznie nawiercona w otworze K-15 zachowała się na głębokości 843÷855 m (miąższość 12 m). Pomimo zwietrzenia na stosunkowo dużej głębokości cały profil reprezentowany jest przez średnio przeobrażone skały z zawartością frakcji ilastej, wynoszącą około 5%. Jedynie na głębokości od 851,5 do 853 m występuje seria anortozytów, w której ilość frakcji ilastej wzrasta do 10% (tab. 1).

Rozmieszczenie żelaza zarówno w formie dwu-, jak i trójwartościowej jest dość równomierne w całym profilu, a współczynnik R_{if}, wskazujący

stopień utlenienia skały, nie ulega zasadniczym zmianom. Natomiast zaznacza się wzrost względnej zawartości rozpuszczalnego żelaza w górnej partii zwietrzałych skał, co wiąże się z wpływem procesów hydratacji we wstępnej fazie wietrzenia. W rozmieszczeniu pierwiastków śladowych dostrzega się tylko nagromadzenie chromu, niklu i miedzi w pierwszej strefie wietrzenia, występującej bezpośrednio nad nie przeobrażonym anortozytem. Pozostałe pierwiastki śladowe uległy na ogół nieznacznemu rozproszeniu w masie zwietrzalej skały w porównaniu z ich zawartością w podłożu anortozytowym (tab. 4).

Tabela 4
Współczynniki rozmieszczenia* pierwiastków śladowych w zwietrzalnych strefach norytu, anortozytu i gabrodiorytu

Zwierzelina	Nr próbki	FeO	Fe ₂ O ₃	Mn	Cr	Ni	Co	V	Ga
norytowa	1	0,15	0,68	1,04	0,64	0,22	0,41	0,52	0,76
	2	0,07	0,02	1,86	0,27	0,19	0,13	0,18	0,40
	3	0,21	0,98	1,90	0,83	0,71	1,36	0,96	1,00
	4	0,29	1,45	1,63	1,05	1,56	1,83	1,03	0,77
	5	0,63	1,26	2,00	1,11	1,63	1,55	1,03	1,13
anortozytowa	7	0,67	0,31	0,57	0,55	0,77	0,92	0,50	0,85
	8	0,37	0,26	0,39	0,39	0,55	0,69	0,34	0,70
	9	0,35	0,22	0,11	0,28	0,44	0,69	0,22	0,92
	10	0,56	0,21	0,23	0,39	0,97	1,15	0,26	0,84
	11	1,29	0,64	0,65	0,97	0,97	1,69	0,36	0,93
	12	0,43	0,21	0,12	0,18	0,35	0,53	0,27	1,00
	13	0,37	0,44	0,31	1,94	1,22	0,76	0,42	0,77
	14	0,55	0,55	0,52	2,63	1,57	1,00	0,55	0,70
	15	0,72	0,60	0,42	3,28	1,77	1,07	0,56	0,70
	16	0,81	0,64	0,55	2,13	0,80	1,15	0,39	1,00
	gabrodiorytowa	18	0,15	1,18	0,22	0,78	0,71	0,69	0,51
19		0,15	1,73	0,40	0,85	0,82	0,78	0,72	0,90
20		0,14	1,27	0,30	0,64	0,50	0,66	0,74	0,93
21		0,35	1,51	0,73	0,85	0,71	0,93	0,84	1,03

* Współczynnik rozmieszczenia wyrażony jest stosunkiem zawartości pierwiastka w zwierzelinie do jego występowania w nieprzeobrażonej skale podłoża.

W spągowej strefie profilu dostrzega się wyraźne zaawansowanie procesów przeobrażenia anortozytu, co zaznacza się w zwiększonej zawartości montmorylonitu i kaolinitu, przy jednoczesnym silnym spadku intensywności refleksów andezynu i labradoru (fig. 3). Dyfraktogramy rentgenowskie całkowitych próbek przeobrażonych anortozytów wykazują, że w profilu wietrzeniowym występują dwie różne strefy: stropowa — o przewadze plagioklazów z małą zawartością minerałów ilastych oraz spągowa — z wyraźnie zwiększoną zawartością montmorylonitu i kaolinitu. W stropowej części zwierzeliny pojawia się kalcyt, którego ilość maleje w głębszych poziomach profilu. Chloryt nie jest minerałem rozpowszechnionym i jedynie w anortozycie z podłoża zidentyfikowano refleksy charakterystyczne dla tego minerału ($d_{001} = 14,7$, $d_{003} = 4,67 \text{ \AA}$).

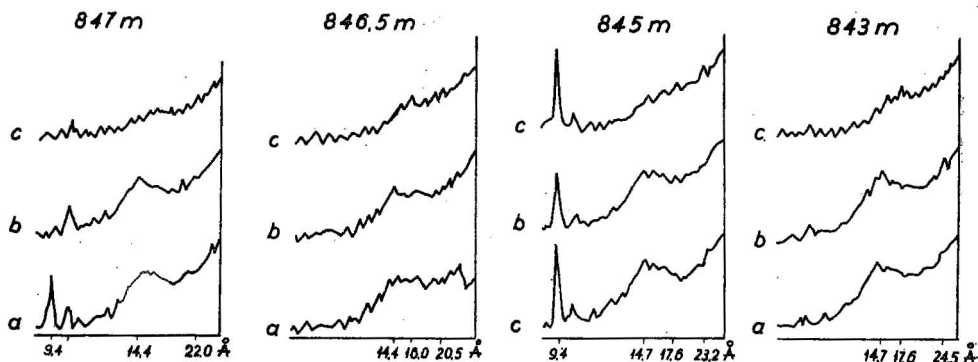
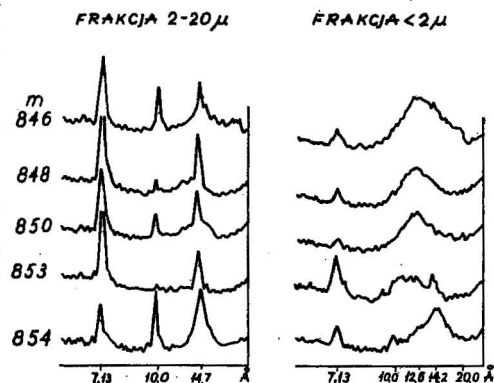


Fig. 4. Wpływ nasycenia magnezem i glinem frakcji ilastej wydzielonej z próbek zwietrzałych anortozytów
Influence of magnesium and glycol saturation of the clay fractions ($< 2 \mu$) separated from the weathered anorthosite

a — próbka powietrznie sucha; b — próbka nasycona Mg^{+2} ; c — próbka nasycona Mg^{+2} + glikol. Promieniowanie $CuK\alpha$
a — air dry; b — Mg^{+2} saturated; c — Mg^{+2} and glycol saturated. $CuK\alpha$ radiation

Fig. 5. Występowanie minerałów ilastych we frakcjach $< 2 \mu$ oraz $2-20 \mu$, wydzielonych z próbek zwietrzałego gabrodiorytu. Promieniowanie $CuK\alpha$

Clay minerals in $< 2 \mu$ and $2-20 \mu$ fractions separated from the weathered gabrodiorite. $CuK\alpha$ radiation



Wydzielona frakcja o wymiarze ziarn $< 2 \mu$ zawiera na ogół bardzo małe ilości minerałów ilastych. Głównymi jej składnikami są plagioklasy, pośród których stwierdzono andezyn, labrador oraz mikroklin. Poza tym we frakcji tej występują małe ilości kaolinitu, a także minerału o pakietach mieszanych chlorytowo-montmorylonitowych. W strefie bardziej przeobrażonych anortozytów na głębokości od 851,5 do 853,5 m wyraźnie wzrasta we frakcji ilastej zawartość montmorylonitu oraz udział bezpostaciowej substancji, natomiast prawie zanikają plagioklasy i mikroklin. Próby wykonane na niektórych frakcjach ilastych w zakresie zachowania się minerału dającego refleks około 14 \AA pod wpływem nasycenia magnezem i glikolem (fig. 4) wykazują, że jest to minerał o mieszanych pakietach chlorytowo-montmorylonitowych (D. M. C. MacEwan, A. R. Amil, G. Brown, 1961).

Wpływ procesów hipergenicznych na powstanie strefy przeobrażonych anortozytów nie był duży lub też poziomy (bardziej zwietrzałych skał uległy późniejszemu usunięciu. Według W. Wasiljewa (1969) zachowana strefa zwietrzałych skał krystalicznego podłoża poddana została w dużym stopniu wpływom późniejszej działalności erozyjnej.

ZWIETRZELINA GABRODIORYTU

W intruzji suwalskiej występuje szereg pośrednich odmian skalnych od leukogabrodiorytu do granodiorytu. Według O. Juskowiaka (1965) składnikami skałotwórczymi tych utworów są plagioklasy (oligoklaz-andezyn), kwarc, mikroclin, pirokseny, biotyt, a także ilmenit i magnetyt.

Nawiercony w otworze K-14 profil wietrzeniowy miąższości 8 m (846÷854 m) wytworzył się z gabrodiorytu biotytowego. W związku z małym stopniem przeobrażenia skały występują w niej niewielkie ilości frakcji ilastej. Sposób rozmieszczenia różnych związków żelaza wskazuje na wpływ procesów hydratacji oraz procesów oksydacji (tab. 1). Występowanie pierwiastków śladowych w profilu skał przeobrażonych jest dosyć regularne. Jednakże w górnych partiach zwietrzliny zaznaczył się spadek ilości tych pierwiastków w porównaniu z ich zawartością w skale nie przeobrażonej (tab. 4).

Przeobrażenia składników mineralnych diorytu, pod wpływem czynników hipergenicznych ilustrują dyfraktogramy rentgenowskie. W słabo zwietrzałym gabrodiorycie spągowej części profilu zidentyfikowano następujące minerały: kwarc, oligoklaz, andezyn, mikroclin, biotyt oraz małe ilości kaolinitu. Zmiany w składzie mineralnym przeobrażonych diorytów polegają głównie na zwiększeniu się ilości kaolinitu oraz pojawieniu się chlorytu. Głównym składnikiem frakcji ilastej obok kaolinitu jest montmorylonit dający bardzo rozmyty refleks w zakresie od 12 do 15 Å, który nakłada się ze słabym refleksem chlorytu (fig. 5, 6). W oparciu o przeprowadzone próby testowe zaliczono go do minerału o pakietach mieszanych chlorytowo-montmorylonitowych. W spągowej partii gabrodiorytu pojawia się rozmyty refleks w zakresie od 10 do 18 Å, który wskazuje na obecność minerałów o nieregularnych przerostach pakietowych montmorylonitowo-chlorytowo-biotytowych. W. Wasiljew (1969) stwierdza także, że w zależności od mineralnego składu skał i specyficznych warunków hipergenicznych powstały w zwietrzałych strefach skał krystalicznego podłoża poziomy nagromadzenia ilastych minerałów mieszanych różnego typu.

W celu sprawdzenia czy minerały ilaste występują także we frakcjach grubszych, wyseparowano z tych skał dodatkowo frakcję o średnicy ziarn 2—20 μ . Na dyfraktogramach obu frakcji (< 2 μ i 2—20 μ) występują wyraźne symetryczne refleksy kaolinitu, chlorytu i biotytu (fig. 5). Można przypuszczać, że oba pierwsze minerały znajdują się w masie zwietrzalej skały w wyniku wcześniejszych przeobrażeń minerałów pierwotnych i dlatego tworzą większe ziarna.

Na ogół stopień przeobrażenia minerałów gabrodiorytu pod wpływem procesów hipergenicznych w zachowanej strefie wietrzenia nie jest duży, a niektóre przeobrażenia i zmiany składu chemicznego mogły być spowodowane innymi czynnikami.

DYSKUSJA

Zachowane strefy przeobrażonych hipergenicznie trzech różnych utworów intruzji suwalskiej reprezentują profile średnio zwietrzałych skał. Na podstawie zidentyfikowanych produktów przeobrażeń minerałów

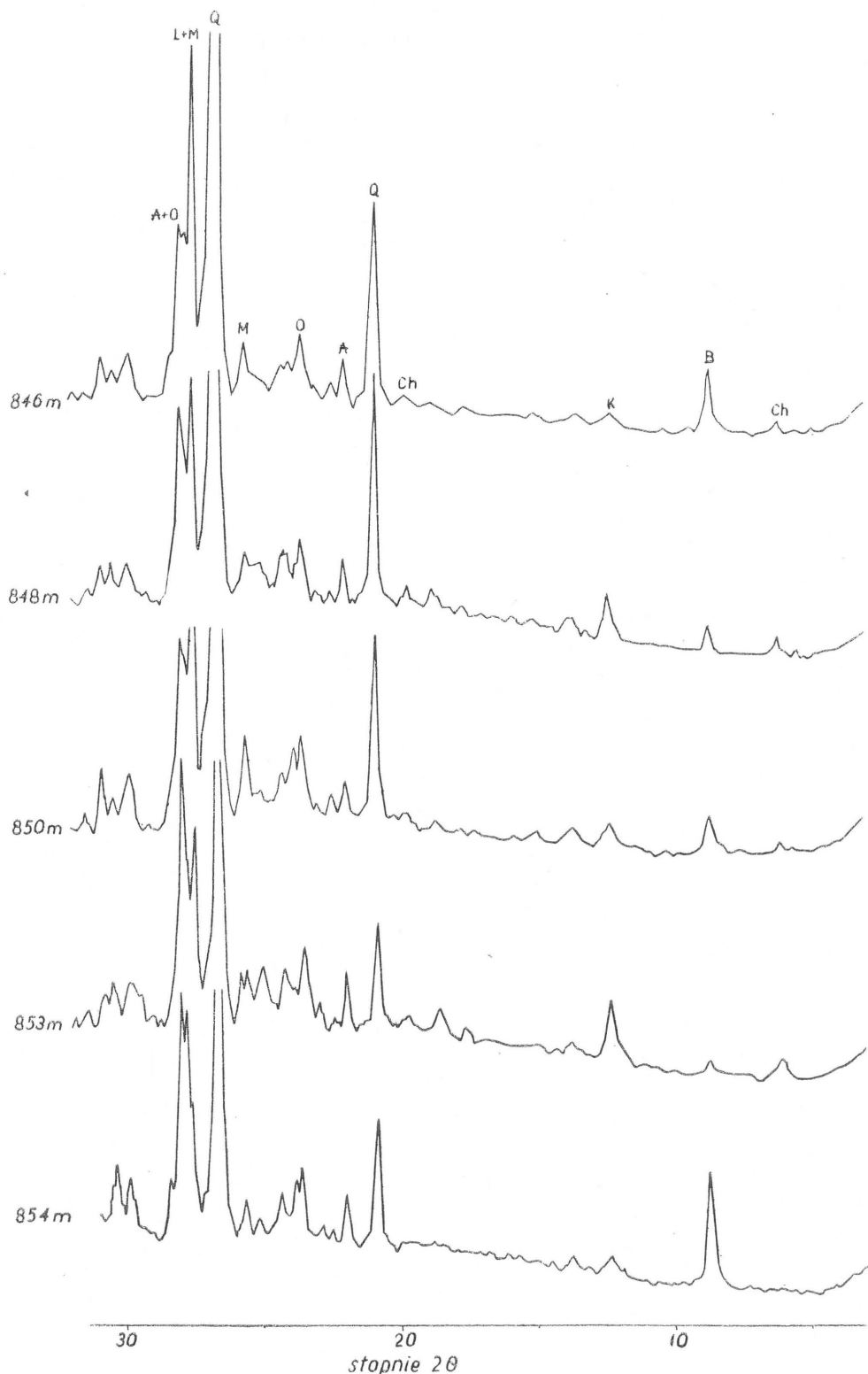


Fig. 6. Dyfraktogramy rentgenowskie próbek gabbrodiorytu w różnym stadium zwietrzenia

X-ray diffraction patterns for gabbrodiorite samples at the different stages of weathering

A — andezyn; B — biotyt lub hydrobiotyt; Ch — chloryt; K — kaolinit; L — labrador;
M — mikroklin; O — oligoklaz; Q — kwarc. Promieniowanie $\text{CuK}\alpha$
A — andsite; B — biotite and hydrobiotite; Ch — chlorite; K — kaolinite; L — labra-
dorite; M — microcline; C — oligoclase; Q — quartz. $\text{CuK}\alpha$ radiation

pierwotnych oraz rozmieszczenia niektórych pierwiastków śladowych i żelaza należy przyjąć, że procesy wietrzenia zachodziły w warunkach klimatu ciepłego (lub gorącego) pod wpływem okresowych opadów atmosferycznych przy słabo zaznaczonych procesach ługowania. Warunki środowiska hiperogenicznego, jak również późniejsze wpływy, którym podlegały zwietrzałe strefy badanych skał intruzji suwalskiej, były przypuszczalnie jednakowe w rejonie rozmieszczenia wszystkich otworów wiertniczych (odległości otworów wiertniczych nie przekraczają 1 km, a wyniesienie stropu badanej zwietrzeliną waha się w granicach od —618,3 do —630,4 m). Stwierdzone różnice w składzie chemicznym i mineralnym produktów wietrzenia należy więc łączyć głównie z wpływem skał macierzystych. W. Wasiljew (1969) pisze również o istotnym znaczeniu mineralnego składu skał krystalicznego podłoża na rodzaj zachowanych stref ich wietrzenia.

Przeobrażenia norytu, w którym obok plagioklazów występują w dużej ilości hipersten i minerały żelaza, sprowadzają się przede wszystkim do procesów hydratacji i oksydacji. W wyniku tych przeobrażeń wytworzyły się różne bezpostaciowe formy wodorotlenku żelaza i glinu, których największe nagromadzenie przypada na spagowe partie zwietrzelin. Akumulacja uwodnionych tlenków żelaza i glinu w dolnych poziomach profilów wietrzeniowych tłumaczona jest czasami wpływem procesów przemieszczania mechanicznego (A. Kabata-Pendias, 1965; G. S. Roonwal, D. R. Bhumbra, 1969). Jednakże w przypadku badanych stref wietrzenia zjawisko to związane jest najprawdopodobniej z nasileniem procesów hydratacji w warunkach redukcyjnych, które wpływają na nagromadzenie się żelaza (J. van Schoylenborgh, 1965; N. Lisicyna, J. Łubczenko, 1966).

Zgodnie z badaniami R. Strouillona (1965) zarówno żelazo w sieci krystalicznej plagioklazów, jak i zasorbowane w środowisku alkalicznym w formie anionów [np. $(\text{FeO}_2)^{2-}$, $(\text{FeO}_3)^{3-}$] przyspiesza procesy przeobrażenia skaleni. Wzrost zawartości minerałów ilastych w strefie nagromadzenia się związków żelaza można więc także łączyć z nasileniem procesów wietrzenia. Plagioklasy, które ulegały hydratacji w środowisku silnie alkalicznym, przeobraziły się głównie w montmorylonit z dużą zawartością żelaza.

Plagioklasy podlegały głównie wietrzeniu w przeobrażeniach anortozytów, które zachodziło w środowisku alkalicznym. W wyniku tych procesów powstał kaolinit i montmorylonit. Podobne utwory skalne, wietrzejące pod wpływem działania kwaśnych wód gruntowych, ulegają przeobrażeniom w kaolinit oraz częściowo w bezpostaciowe glinokrzemiany (D. M. Hendricks, L. D. Whittig, 1968). W profilu przeobrażonego anortozytu zaznaczył się także wyraźnie dolny poziom intensywniejszego wietrzenia, w którym obok większej zawartości minerałów ilastych nastąpiła częściowa kumulacja bezpostaciowych form wodorotlenków żelaza oraz niektórych pierwiastków śladowych.

Produkty wietrzenia galbodiorytu biotytowego, w którym przede wszystkim ulegały przeobrażeniom biotyt i skalenie, składają się głównie z kaolinitu i montmorylonitu. Obok wymienionych minerałów występują w zwietrzelinie również hydrobiotyt i chloryt jako przejściowe formy przeobrażenia biotyту.

Poza wpływem procesów hipergenicznych na skały intruzji suwalskiej działały także w różnych okresach inne procesy (np. hydrotermalne, infiltracyjne). W związku z tym badane obecnie formy produktów przeobrażeń w strefie hipergenezы mogą różnić się genetycznie.

Według B. Arenia (praca w druku) w paleozoiku i mezozoiku następowało transgresywne pokrywanie intruzji suwalskiej utworami osadowymi, któremu towarzyszyły kolejne stadia powstawania osadów oraz ich denudacji. Zachowane strefy wietrzeniowe, głównie pod osadami triasowymi [pstrygo piaskowca] (M. Juskowiak, J. Pokorski, praca w druku), były przypuszczalnie erodowane w okresie denudacji przedpermskiej i dolnopermskiej (B. Areń, praca w druku). Wpływy późniejszej mineralizacji stref wietrzeniowych zaznaczyły się przede wszystkim występowaniem w nich węglanu wapnia oraz soli kamiennej.

Wspólną cechą badanych stref wietrzenia, które powstawały głównie pod wpływem procesów alityzacji i ferralityzacji, jest dolny poziom wzbogacenia w żelazo z koncentracją niektórych pierwiastków śladowych (Cu, V, Ni, Co, Cu).

Stosunkowo słabo rozwinięte strefy wietrzenia różnych skał intruzji suwalskiej, które znajdowały się przypuszczalnie w warunkach hipergenicznych w długim okresie, należy łączyć z wpływem klimatu ciepłego, okresowo suchego. Poziomy silniej zwietrzałych skał tej intruzji zostały prawdopodobnie usunięte łącznie z pokrywą osadową w okresach denudacji permskiej.

Zakład Mineralogii i Petrografii
Instytutu Geologicznego
Warszawa, ul. Rakowiecka 4
Nadesłano dnia 23 marca 1970 r.

PIŚMIENNICTWO

- AREN B. (praca w druku) — Krystalinik Niżu Polski i jego pokrywa osadowa. Pr. Inst. Geol. Warszawa.
- CEBULAK S. (praca w druku) — Krystalinik Niżu Polski i jego pokrywa osadowa. Pr. Inst. Geol. Warszawa.
- HENDRICKS D. M. WHITTING L. D. (1968) — Andesite weathering. Journ. Soil Sci., 19, p. 135—146. London.
- JUSKOWIAK O. (1965) — Charakterystyka petrograficzna skał norytowo-anortozytowych masywu suwalskiego. Kwart. geol., 9, p. 398—399, nr 2. Warszawa.
- JUSKOWIAK O. (praca w druku) — Skały plutoniczne północno-wschodniej Polski. Biul. Inst. Geol. Warszawa.
- JUSKOWIAK M., POKORSKI J. (praca w druku) — Osady permu dolnego w obniżeniu peribałtyckim. Biul. Inst. Geol. Warszawa.
- KABATA-PENDIAS A. (1965) — Badania geochemiczno-mineralogiczne gleb wytwor-

- rzonych z granitów i bazaltów Dolnego Śląska. Roczn. Nauk roln., **90**, [A], p. 1—60, nr 1. Warszawa.
- KIABATA-PENDIAS A. (1969) — Badania geochemiczne zwietrzałych skał masywu anortozytowego północno-wschodniej Polski. Arch. Inst. Geol. (maszynopis). Warszawa.
- MACEWAN D. M. C. (1961) — Montmorillonite minerals. The X-ray identification and crystal structures of clay minerals, p. 143—207. London.
- MACEWAN D. M. C., AMIL A. R., BROWN G. (1961) — Interstratified clay minerals. The X-ray identification and crystal structures of clay minerals, p. 393—445. London.
- MACKENZIE R. C. (1956) — Methods for separation of soil clays in use at the Macaulay Institute for Soil Research. Clay Mineral Bull., **3**, p. 4—6. London.
- MCKEAGUE J. A., DAY J. H. (1966) — Dithionite and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. Can. Journ. Soil Sci., **46**, p. 18—22. Ottawa.
- MEHRA O. P., JACKSON M. L. (1960) — Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. Clays a. Clay Miner., **7**, p. 317—327. London.
- ROOKSBY H. P. (1961) — Oxides and hydroxides of aluminum and iron. The X-ray identification and crystal structures of clay minerals, p. 354—392. London.
- ROONWAL G. S., BHUMBALA D. R. (1969) — Contribution to the mineralogy of the sand and geochemistry of the soil developed over gneissic rocks in the Kulu area. Geoderma, **2**, p. 309—319, Amsterdam.
- SCHOYLENBORGH J. (1965) — The formation of sesquioxides in soils. Experimental Pedology, p. 113—125, London.
- SEGALLEN D. (1966) — Altération des minéraux primaires synthèse des minéraux secondaire au cours de la ferralisation. Cahiers O. R. S. T. O. M. Sér. pédol. **4**, p. 5—13, Paris.
- STROUILLON R. (1965) — Role du fer dans l'alteration rapide des feldspaths, en climat tempéré. C. R. Acad. Sci. **2**, p. 485—488, Paris.
- TROITSKY A. I., BELCHIKOVA N. P., MOCHALOWA E. F. I IN. (1968) — Soil formation on basic igneous rocks and limestones in Willy Piedmonts of Vietnam. Trans. 9 Inter. Congress Soil Sci., **4**, p. 391—401. Adelaide.
- ZNOSKO J. (1961) — W sprawie pozycji stratygraficznej eokambryjskich sparagmitów i niektórych młodoprekambryjskich formacji. Kwart. geol., **5**, p. 737—774, nr 2. Warszawa.
- ВАСИЛЬЕВ В. А. (1969) — Древние коры выветривания кристаллического фундамента южной Прибалтики, стр. 172. Вильнюс.
- ЛИСИЦИНА Н. А., ЛУБЧЕНКО Й. Ю. (1966) — Некоторые данные о влиянии вторичной минерализации на распределение элементов в коре выветривания основных пород. Литол. и полезн. ископ. **6**, стр. 117—122. Москва.
- ТУРОБОВА Э. В. (1968) — Типы кор выветривания ультраосновных пород Украины. Изв. Выс. Учебн. Завед. Геолог. и разв. **12**, стр. 18—26.
- ЧЕКИН С. С. (1966) — О нонтроните, содержащем железо в тетраэдрической координации. Изв. АН СССР, геолог. **8**, стр. 131—136, Москва.

Алина КАБАТА-ПЕНДИАС

ГИПЕРГЕННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПОРОД СУВАЛКСКОЙ ИНТРУЗИИ**Резюме**

В описываемом районе были исследованы продукты выветривания основных истощенных пород сувалкской интрузии: норита, анортозита и габбро-диорита. Сравнительно слабо развитые зоны выветривания исследованных пород, которые долгое время находились в гипергенных условиях — от среднего протерозоя до триаса — следует связывать с влиянием процессов аллитизации, а также ожелезнения, действующих в условиях теплого, периодически сухого климата. Предполагается, что горизонты более выветренных пород исчезли вместе с осадочным покровом во время пермской денудации.

Сохранившиеся зоны исследованных, гипергенно преобразованных пород несколько отличаются друг от друга минеральным составом. Продуктом гипергенных преобразований норита является главным образом монтмориллонит, а также бесформенные гидротированные окиси железа. Выветренный же габбро-диорит наряду с первичными минералами содержит каолинит, монтмориллонит, гидробiotит и хлорит.

Исследованные продукты выветривания обогащены CaO и NaCl в результате вторичной минерализации. В зонах выветренных пород сувалкской интрузии отмечено залегание нижнего горизонта аккумуляции железа и некоторых микроэлементов таких как Cr, V, Ni, Co, Cu.

Alina KABATA-PENDIAS

HYPERGENIC ALTERATION OF ROCKS OF THE SUWAŁKI INTRUSION**Summary**

Weathered products of three main rocks of the Suwałki intrusion, i.e. norite, anorthosite and gabbrodiorite have been investigated. The relatively slightly developed weathering zones of these rocks affected during a long period from the Middle Proterozoic to the Buntsandstein by hypergenic environment should be related to allitization and ferrallitization processes proceeding under conditions of warm, periodically also dry climate. Horizons of more altered saprolite were probably eroded together with sedimentary cover during Permian denudation.

Mineral composition of the hypergenically weathered products differs to some extent accordingly with the mother rocks. Montmorillonite and amorphous hydrous oxides of iron are the main products of hypergenic alteration of norite. In the weathered anorthosite there occur kaolinite and montmorillonite, accompanied by amorphous iron compounds. Altered gabbrodiorite consists mainly of disintegrated primary minerals, and of small amounts of kaolinite, montmorillonite, hydrobiotite and chlorite.

Due to secondary mineralization, the weathered products are enriched in CaO and NaCl. The zones of weathered rocks of the Suwałki intrusion reveal also the presence of the lower accumulation horizon of iron and of some trace elements such as Cr, V, Ni, Co and Cu.