

Ałina KABATA-PENDIAS, Henryk PENDIAS

## Chemiczne wskaźniki hipergenicznego przeobrażenia skał

Metody określania stopnia przeobrażenia skał były i są przedmiotem specjalnych badań. W badaniach tych dąży się często do ustalenia wskaźników, przy których pomocy można by wyznaczyć względny stopień przeobrażenia skał (głównie w warunkach hipergenicznych). Procesy chemicznego wietrzenia prowadzą do dużych zmian w składzie chemicznym i mineralnym skał, powodując również istotne zmiany ich właściwości fizycznych. W literaturze wiele uwagi poświęca się ilościowym metodom określania względnego stopnia zwietrzenia skał.

W pracy przedstawiono przegląd ważniejszych publikacji dotyczących tego zagadnienia, a opierając się na wynikach własnych badań geochemicznych dokonano za pomocą różnych metod obliczenia chemicznych wskaźników przeobrażenia skał. Do tego celu wykorzystano całkowite analizy chemiczne gleb wytworzonych z granitów i bazaltów (A. Kabata-Pendias, 1965), analizy przeobrażonych hipergenicznie gnejsów, anortozytów i norytów (A. Kabata-Pendias, 1970*a*, *b*) oraz przeobrażonych dajek porfirowych (H. Pendias, praca w druku).

\*

Najprostszą i najczęściej stosowaną formą przedstawiania zmian chemicznych związanych z procesami wietrzenia jest porównawcze zestawienie (w formie tabelarycznej lub graficznej) wyników analiz chemicznych skał w wagowych procentach tlenków. Stosuje się również przeliczenia na wartości molarne, zwłaszcza przy rozpatrywaniu stosunków określonych składników chemicznych względem siebie.

Zmiany składu chemicznego (wyrażonego w tlenkach) skał o różnym stopniu przeobrażenia mogą zacierać obraz kumulacji lub rozproszenia niektórych pierwiastków w wyniku wtórnego wzrostu zawartości określonego składnika na skutek migracji innego. Przykładem może być stwierdzony wzrost zawartości glinu w skałach zwietrzałych, podczas gdy glin

Tabela 1

Zmiany składu chemicznego przeobrażonego norytu i gnejsu (obliczone w stosunku do „stałej zawartości” glinu w odniesieniu do skały macierzystej) oraz intensywność „migracji” różnych tlenków

Składniki	Intensywność migracji*	Noryt K-25 (885,1 m)	Gnejs S-3 (445,0 m)
SiO <sub>2</sub>	0,20	-59,9	+16,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	0	0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04	-23,6	-69,2
FeO	—	-99,0	-21,5
MgO	1,30	-83,6	+56,5
CaO	3,00	-92,1	-95,7
Na <sub>2</sub> O	2,40	-79,6	-90,4
K <sub>2</sub> O	1,25	-43,9	-1,8
H <sub>2</sub> O+	—	+72,6	+153,8
TiO <sub>2</sub>	—	-29,7	-42,6
zmiana w g/100 g		-46,5	+3,4

\* Wartość obliczona ze stosunku średniego składu wód rzecznych do średniego składu skał krystalicznych przy przyjęciu wartości dla chloru za 100 (wg F. C. Loughnana, 1969).

był składnikiem nieuruchomianym w procesach wietrzenia, a ilość jego uległa względnemu zwiększeniu w wyniku wylugowania krzemionki.

K. B. Krauskopf (1967) na takich przykładach proponuje wykonywanie obliczeń względnej zmiany składu chemicznego zwietrzałych skał w stosunku do skały macierzystej w oparciu o stałą zawartość glinu, który w większości środowisk hipergenicznych jest pierwiastkiem bardzo stabilnym (tab. 1). Zestawienia takie informują o stopniu „ruchliwości” każdego pierwiastka w określonej strefie wietrzenia. Na przykładzie danych z tabeli 1 stwierdza się, że przy przeobrażeniach norytu procesy wietrzenia polegały głównie na utlenieniu żelaza (strata FeO wynosi —99%) oraz na wylugowaniu wapnia (—92,1%), magnezu (—83,6%) i sodu (—79,6%). W opisywanej strefie zwietrzałych norytów wszystkie główne składniki chemiczne zostały w większym lub mniejszym stopniu wylugowane w stosunku do glinu, przyjętego w obliczeniach za składnik stały. W skale tej nastąpił jedynie wzrost wody chemicznie związanej (H<sub>2</sub>O +), a ogólna strata wagowa próbki skalnej wynosi 46,5 g na 100 g skały macierzystej. B. P. Ruxton (1968) podaje, że przy dużym zwietrzeniu skał krystalicznych strata wagi wynosi 50—60 g/100 g i może być przyjęta za „absolutny” wskaźnik wietrzenia. Niestety, możliwość zastosowania takiego wskaźnika jest ograniczona, ponieważ w określonych warunkach wietrzenia pod wpływem dodatkowych czynników środowiska (np. infiltracja wód zmineralizowanych) może nastąpić wzrost zawartości niektórych składników chemicznych. Przykładem jest obliczenie zmian chemicznych zwietrzałego (skaolinizowanego) gnejsu, z którego wapń (—95,7%) i sód (—90,4%) zostały silnie wylugowane, magnez natomiast został doprowadzony w ilości 56,5% w stosunku do jego pierwotnej zawartości w skale

macierzystej (tab. 1). Wyjątkowo mały ubytek w zawartości potasu ( $-1,8\%$ ) należy również łączyć z późniejszym wzbogaceniem zwietrzliny w ten składnik. W związku z dużym przyrostem zawartości wody związanej obliczono, że na każde 100 g skały macierzystej przybyło 3,4 g skały przeobrażonej. Opisane obliczenia opierają się na założeniu bezwzględnej stabilności glinu (lub innego składnika chemicznego), co nie zawsze można przyjąć jako regułę dla wszystkich środowisk hipergenicznych.

Powszechnie stosowanym sposobem określenia stopnia „uruchomienia” składników chemicznych w skałach jest obliczanie stosunków molarnych (M. L. Jackson, D. Sherman, 1953; N. M. Short, 1961, G. Pedro, 1968; A. Kabata-Pendias, 1970a) lub atomowych (A. Wiewióra, 1967). Ze-stawienia wartości stosunków molarnych wykazują względną migrację określonych pierwiastków. Zmiany w proporcjach poszczególnych składników chemicznych, zwłaszcza  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , charakteryzują okre-

Tabela 2

Wartości chemicznych wskaźników wietrzenia obliczonych różnymi metodami na norytu i gnejsu

Skała	Otwór wiertniczy	Rodzaj wskaźnika	Skała świeża	Strefy wietrzenia				
noryt	K-25	AIW	60,3	72,5	68,3	47,7	25,4	23,3
		IW	16,6	16,7	14,2	-13,8	-8,9	-34,0
		WIW	15,0	33,8	21,6	36,2	23,8	45,6
		PW	61,0	66,6	59,9	49,4	53,2	49,6
		$\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$	4,3	163,8	170,2	249,3	248,7	315,5
		$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	5,8	11,1	4,7	3,6	4,0	2,3
gnejs	S-3	AIW	54,2	51,6	55,2	43,7	44,9	26,3
		IW	9,8	8,2	6,9	5,1	4,5	4,1
		WIW	12,1	8,8	25,8	21,4	22,6	23,0
		PW	73,1	76,8	66,3	80,4	82,2	83,3
		$\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$	0,7	2,7	0,3	1,0	0,6	0,3
		$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	8,4	8,5	6,5	6,5	7,8	12,7

Wzory wskaźników wietrzenia:

$$\text{AIW} = \left( \frac{\text{Na}}{0,35} + \frac{\text{Mg}}{0,9} + \frac{\text{K}}{0,25} + \frac{\text{Ca}}{0,7} \right) \times 100;$$

$$\text{IW} = \frac{100 \times \text{mole} (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} - \text{H}_2\text{O})}{\text{mole} (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)};$$

$$\text{WIW} = \frac{100 \times \text{mole} \text{H}_2\text{O} +}{\text{mole} (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)};$$

$$\text{PW} = \frac{100 \times \text{mole} \text{SiO}_2}{\text{mole} (\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{Al}_2\text{O}_3)};$$

ślone środowiska hipergeniczne (O. Ø. Hvatum, J. Lag, 1961). B. P. Ruxton (1968) w oparciu o interpretację analizy przeobrażonych skał wulkanicznych wykazał, że najistotniejsza zmiana towarzysząca procesom wietrzenia związana jest z zawartością  $\sigma$   $\text{SiO}_2$  i  $\text{R}_2\text{O}_3$  oraz  $\text{H}_2\text{O} +$ . Na podstawie wykonanych obliczeń dla różnych typów przeobrażonych skał autor ten stwierdził, że najbardziej przydatnym wskaźnikiem wietrzenia jest molarny stosunek  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ , szczególnie dla przeobrażeń skał kwaśnych w warunkach klimatu humidowego. Jednakże w przypadku skał zasadowych lub dla innych warunków przeobrażeń hipergenicznych, w których zachodzi migracja i wytrącanie się  $\text{R}_2\text{O}_3$ , wskaźnik ten nie znajduje dużego zastosowania. Na przykładzie obliczeń stosunku  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  zamieszczonych w tabeli 2 można stwierdzić wyługowanie krzemionki ze zwietrzeliiny norytu oraz nieznaczny wzrost jej zawartości w zwietrzałym gnejsie. Jednocześnie stosunkowo mała zmienność wartości  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  dla strefy skaolinizowanego gnejsu w porównaniu z jego zmiennością w strefie słabo przeobrażonego norytu może zaciierać faktyczny obraz zwietrzenia skał.

P. Reiche (*vide* F. C. Loughnan, 1969) biorąc pod uwagę stosunki molarne głównych pierwiastków zaproponował następujący wzór dla obliczenia „wskaźnika potencjalnego wietrzenia”:

$$\frac{100 \times \text{mole} (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} - \text{H}_2\text{O} +)}{\text{mole} (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)}$$

Wskaźniki obliczone z powyższego wzoru nie zawsze jednoznacznie określają podatności minerałów na wietrzenie. R. Strouillon (1965) i F. C. Loughnan (1969) tłumaczą to na przykładzie skaleni m. in. zmiennym stosunkiem  $\text{Al}/\text{Si}$ , od którego zależy szybkość rozpadu struktury.

Wskaźnik potencjalnego wietrzenia (IW) dla zwietrzałych norytów zestawiono w tabeli 2, dla gnejsów — w tabeli 3, a dla gleb wytworzonych z granitów i bazaltów — w tabeli 4. Wartości tych wskaźników maleją na ogół nieregularnie — od skały macierzystej w kierunku stropowych partii zwietrzeliiny. Wyjątek stanowi bazalt z Duninowa (tab. 3), którego

Tabela 3

Wskaźniki potencjalnego wietrzenia (IW) gnejsów

Otwór wiertniczy	Skała świeża	Skała przeobrażona					
S-1 bis	10,2	10,7	9,0	9,6	4,6	9,3	4,8
S-3	9,8	8,2	6,9	5,1	4,5	4,1	4,1
S-4	19,1	15,6	11,3	6,1	2,4	-4,4	-2,7
S-7	10,3	7,9	9,2	0,9	1,8	-3,6	—
Kr-5	9,0	10,8	12,1	7,0	5,8	3,6	2,4

stopień przeobrażenia jest bardzo duży (H. Pendias, 1961) i dlatego w wyniku procesów glebotwórczych stwierdza się wzrost wartości wskaźnika wietrzenia (IW), związany głównie z organiczną kumulacją potasu oraz ze spadkiem zawartości wody związanej.

Wzór stosowany do obliczania wskaźnika potencjalnego wietrzenia można w przybliżeniu uprościć do następującego stosunku molarnego:

$$\frac{100 \times \text{mole H}_2\text{O}^+}{\text{mole (SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)}$$

Wskaźniki obliczone według powyższego wzoru (WIW) przedstawiają wartości układające się w podobnych, ale odwrotnych proporcjach jak wskaźniki IW (tab. 2). Wskaźnik WIW określa głównie stopień uwodnienia minerałów wtórnych, a więc jego wartość dla wietrzeniowych stref montmorylonitowych jest wyższa niż dla kaolinitowych. Wartość wskaźnika uwodnienia zależy również w dużej mierze od zawartości bezpostaciowych wodorotlenków żelaza w zwietrzelinie.

Tabela 4

Alkaliczne wskaźniki wietrzenia (AIW) oraz wskaźniki potencjalnego wietrzenia (IW) gleb wytworzonych z granitów i bazaltów

Skała	Miejscowość	Poziomy glebowe					A <sub>1</sub> /C
		C skała	C <sub>1</sub>	(B)/C	(B)	A <sub>1</sub>	
Alkaliczne wskaźniki wietrzenia (AIW)							
granit	Strzeblów	82,5	75,0	64,3	34,3	32,1	0,40
granit	Borów	83,2	66,7	42,7	37,3	36,1	0,43
bazalt	Uniegoszcz	90,9	24,5	30,2	32,1	31,2	0,35
bazalt	Duninów	6,4	10,0	17,5	20,0	21,5	3,36
Wskaźniki potencjalnego wietrzenia (IW)							
granit	Strzeblów	9,0	7,7	6,8	3,7	3,3	0,37
granit	Borów	9,0	8,6	6,1	4,9	4,5	0,50
bazalt	Uniegoszcz	34,3	5,3	3,6	3,7	4,3	0,13
bazalt	Duninów	-3,9	-1,4	0,5	1,7	2,2	-0,56

Zawartość wody związanej chemicznie może także wyznaczać w pewnym przybliżeniu stopień przeobrażenia skał. E. Görlich, J. Badak, L. Stoch (1964) wykorzystali oznaczenie wody związanej dla ilościowego przedstawienia stopnia zwietrzenia sjenitów. Na podstawie skokowych zmian w pionowym wykresie zawartości H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> w skale autorzy ci wnioskuje o nierównomiernym nasileniu procesów przeobrażeń na określonych głębokościach intruzji sjenitów.

Procesy oksydacyjno-redukcyjne są istotnym czynnikiem działającym w przeobrażeniach hipergenicznych. Ponieważ związki żelaza ulegają najłatwiej zmianom potencjału oksydacyjno-redukcyjnego (P. Segalen 1964; H. Sticher, R. Bach, 1966), często przyjmuje się stosunek Fe<sup>3+</sup>/Fe<sup>2+</sup> za wskaźnik stopnia utlenienia przeobrażonych skał (J. Lis, S. Przeniosło, 1962; G. P. Nicholls, 1963; A. Kabata-Pendias, 1970a). Procentowy stosunek Fe<sup>3+</sup> do sumarycznej zawartości żelaza jest natomiast wartością wyznaczającą zmiany oksydacyjnego charakteru środowiska, które są także spowodowane późniejszymi wpływami wód infiltrujących lub odrębnymi warunkami sedymentacyjnymi (A. Kabata-Pendias, 1967).

Wietrzenie minerałów żelaza związane jest z utlenieniem oraz z hydratacją, w których wyniku powstają często bezpostaciowe wodorotlenki

żelaza (P. Segalen, 1964; F. C. Loughnan, 1969). Zawartość żelaza występującego w związkach bezpostaciowych oznaczana jest przy zastosowaniu różnych rozpuszczalników chemicznych. Stosunek żelaza rozpuszczalnego do jego całkowitej zawartości znajduje zastosowanie przy wyznaczaniu stopnia wietrzenia (Nguyen Kha, Ph. Duchaufour, 1969; A. Kabata-Pendias, 1970a). Przydatność wskaźnika opartego na stopniu utlenienia oraz rozpuszczalności żelaza jest jednakże ograniczona i może być wykorzystana jedynie dla serii zwietrzałych skał o stosunkowo dużej zawartości żelaza, przy słabej migracji tego pierwiastka. Na przykładzie obliczeń wykonanych dla zwietrzałego norytu i gnejsu (tab. 2) można stwierdzić znaczny wzrost wartości stosunku  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  w górnych partiach przeobrażonego norytu, podczas gdy w strefie skaolinizowanego gnejsu stosunek ten wykazuje względny wzrost żelaza dwuwartościowego.

Rozmieszczenie rozpuszczalnych związków żelaza w profilach wietrzeniowych koreluje się w niektórych przypadkach ze stopniem zwietrzenia i hydratacji skał. Poza tym wyznacza poziomy nagromadzenia się bezpostaciowych wodorotlenków żelaza, które często powstają w strefach początkowego wietrzenia krystalicznych skał zasadowych (W. A. Wasiliew, 1969; A. Kabata-Pendias, 1970b).

N. A. Lisicina (1965) uwzględniając problemy związane z wyznaczeniem wskaźników wietrzenia wykazał, że najdokładniejszą metodą określania zmian chemicznego składu zwietrzliny jest przedstawianie rozmieszczenia pierwiastków w odniesieniu do masy skalnej. Metoda ta nie znalazła jednak szerszego zastosowania, przypuszczalnie ze względu na potrzebę dodatkowych pomiarów (ciężaru właściwego skał) oraz trudności interpretacji związanych z wtórną zmianą objętości zwietrzałych skał (W. D. Mac, 1971).

W literaturze spotyka się różne propozycje wyznaczania stopnia wietrzenia skał w oparciu o zmiany zawartości określonych metali ciężkich, które przyjmują się za składniki stabilne w warunkach hipergenicznych. Do składników takich zalicza się m. in. cyrkon (H. S. Kimura, L. D. Swindale, 1967) i tytan (B. P. Ruxton, 1968).

L. Van der Plas i J. Van Schuylenborgh (1970) wykorzystali normatywne przeliczenie minerałów według facji getytowej dla ilustracji zmian mineralnych w profilach wietrzeniowych, wykazując dużą przewagę tej metody nad podawaniem tlenkowego składu skał. Ze względu na pracochłonność przeliczeń zestawienia takie możliwe są jedynie przy zastosowaniu komputerowych programów. Metody normatywnych przeliczeń są jednakże krytykowane, ponieważ nie uwzględniają rzeczywistych przeobrażeń minerałów, jakie zachodzą w konkretnych środowiskach hipergenicznych (J. E. Brydon, J. A. McKeague, 1971).

Podstawowym procesem przy wietrzeniu minerałów krzemianowych jest według J. R. Kramera (1968); „Wymiana Na, Ca, Mg i K na H w sieci krystalicznej minerałów, ze stratą lub bez straty Si”. A. Parker (1970) przyjmując największą intensywność migracji metali alkalicznych w środowiskach hipergenicznych (tab. 1) zaproponował nowy sposób obliczania wskaźnika przeobrażenia skał. Podatność minerałów na wietrzenie związana jest z trwałością wiązań tlenowych określonych pierwiastków (G. P. Nicholls, 1963; H. Sticher, R. Bach, 1966). Zgodnie z A. Parkerem (1970) wskaźnik wietrzenia oparty na wartościach siły wiązań tlenowych

metali alkalicznych jest przydatny dla wyznaczania względnego stopnia zwietrzenia skał, jak również dla określenia innych przeobrażeń, związanych z migracją tych pierwiastków. Zaletami tego wskaźnika są proste obliczenia oraz mała ilość pierwiastków, które oznacza się sprawnie metodami spektrometrycznymi. Proponowany przez A. Parkera (1970) wzór dla obliczenia wskaźnika jest następujący:

$$\frac{(Na)a}{Na-O} + \frac{(Mg)a}{Mg-O} + \frac{(K)a}{K-O} + \frac{(Ca)a}{Ca-O} \times 100$$

gdzie.

(Na)a — atomowa częstość sodu;

Na — O — wartość siły wiązania sodu z tlenem.

G. P. Nicholls (1963) obliczył wartość wiązań tlenowych dla różnych pierwiastków, które wynoszą kolejno dla: Na — 0,35, Mg — 0,9, K — 0,25, Ca — 0,7.

Tabela 5

Alkaliczne wskaźniki wietrzenia (AIW) skał prekambryjskich

Skała	Otwór wiertniczy	Skała świeża	Skała przeobrażona					
granitognejs gnejsy biotytowe	S-1 bis	76,2	78,4	60,9	75,8	52,9	78,6	47,4
	S-3	54,2	51,6	55,2	43,7	44,9	47,3	26,3
	S-4	57,2	39,7	62,9	40,1	37,5	4,1	4,9
	S-6	63,6	26,9	25,3	39,1	52,1	16,6	—
	S-7	48,4	45,5	40,3	58,4	59,9	22,7	7,3
	S-8	72,0	53,0	73,4	62,2	35,9	42,1	18,1
gnejs plagioklazowy	Kr-5	55,0	50,0	52,5	51,3	63,4	45,7	39,2
granitognejs	Kr-6	69,5	74,1	79,1	76,9	69,6	—	—
anortozyty	K-6	77,4	76,6	63,7	63,9	85,1	57,1	19,1
	K-7	90,9	61,5	88,0	100,7	67,2	27,2	18,9
	K-10	60,3	72,5	68,3	47,7	23,4	15,8	15,0
	K-16	52,4	70,7	82,8	54,6	—	—	—
	K-18	93,0	77,9	88,2	62,0	84,5	—	—
noryty	K-1	47,0	39,5	32,6	43,4	—	—	—
	K-5	65,1	68,9	67,8	52,1	77,7	—	—
	K-25	60,3	72,5	68,3	47,7	23,4	—	—

Wskaźnik proponowany przez A. Parkera (1970) nazwano „alkalicznym wskaźnikiem wietrzenia” (AIW) i obliczono jego wartość dla różnych skał o zmiennym stopniu przeobrażenia. W profilach gleb wietrzeniowych wytworzonych z granitów i bazaltów obserwuje się stopniowy spadek wartości tego wskaźnika w poziomach powierzchniowych (tab. 5). Stosunek wartości otrzymanej dla górnego poziomu do wartości wskaźnika dla skały macierzystej mieści się w granicach 0,35—0,45. Potwierdza on charakterystyczne wylugowanie gleb z pierwiastków alkalicznych.

Wyjątek stanowi gleba wytworzona z przeobrażonego bazaltu w Duninowie (tab. 4), w której, w wyniku procesów glebotwórczych, nastąpił wzrost zawartości potasu i częściowo sodu.

Zestawione wskaźniki alkalicznego przeobrażenia zwietrzałych gnejsów, anortozytów i norytów wykazują prawidłowość polegającą na zmniejszaniu się tych wartości w strefach silnie przeobrażonych (tab. 5). W oparciu o wartości tego wskaźnika oraz jego stosunku do wartości obliczonej dla skały macierzystej można ustalić, że gnejsy z otworu wiertniczego S-4 i S-7 uległy najsilniejszemu przeobrażeniu. Gnejsy (Kr-5) natomiast, granitognejsy (Kr-6) oraz noryty (K-1 i K-5), jak i anortozyt (K-16) zostały słabo wylugowane i w małym stopniu zwietrzałe. Przeobrażenie pozostałych gnejsów i anortozytów jest średnie, a stosunek wartości alkalicznego wskaźnika wietrzenia partii stropowej do skał świeżych mieści się w granicach 0,25—0,49. W strefach skał, gdzie występuje podwyższona wartość tego wskaźnika, np. w w profilu zwietrzałego gnejsu S-7 i Kr-5 oraz zwietrzałych anortozytów i norytów, stwierdza się najczęściej wzrost zawartości wapnia (A. Kabata-Pendias, 1970a).

Tabela 6

Alkaliczne wskaźniki przeobrażenia (AIW) dajek porfirowych z otworu wiertniczego P-1

Dajka	Głębokość w m	Wskaźnik
porfir kwarcowy	162,6—182,1	53,9
albitofir	306,5—313,3	66,3
porfir dacytowy	342,4—349,5	63,5
porfir dacytowy	434,4—455,6	65,4
mikrogranit porfirowy	459,2—583,9	
porfir dacytowy	698,8—700,3	69,8
mikrogranit		
porfirowy a)	881,4—887,3	79,9
b)	887,3—890,7	54,8
porfir mikrogranitowy	927,2—934,8	76,6
porfir mikrogranitowy	936,5—937,0	84,0
mikrogranit	938,4—1003,7	81,4

Wartości alkalicznego wskaźnika (AIW) obliczone dla przeobrażonych dajek porfirowych rejonu północno-wschodniego obrzeżenia Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (H. Pendias, praca w druku) zestawione są w tabeli 6. Uśredniony wskaźnik dla próbek pobranych w małych odstępach z dajek występujących na różnej głębokości wykazuje większy stopień przeobrażenia porfirów z wyższych poziomów. Najniższa wartość wskaźnika przypada na porfir kwarcowy, który w wyniku szczegółowych badań geochemicznych okazał się dajką zwietrzałą pod wpływem procesów hipergenicznych (H. Pendias, praca w druku). Wyjątek stanowi dajka mikrogranitu porfirowego, dla której zmiany wartości wskaźnika wyznaczają dwa odrębne poziomy, przy czym partia spągowa dajki uległa przeobrażeniom wyrażonym głównie stratą metali alkalicznych.



Alkaliczny wskaźnik wietrzenia (AIW) jest przydatny dla wyznaczenia stopnia przeobrażenia krystalicznych skał, zwłaszcza w warunkach dominacji procesów hydrolitycznych. Podobnie jak poprzednio opisane wskaźniki przeobrażenia interpretacja wartości AIW musi być oparta na głębszej znajomości procesów przeobrażeń danej skały, ażeby uniknąć błędnego wnioskowania w przypadku wtórnych zmian chemicznego składu skał przeobrażonych.

\*  
\*                      \*

Stosowane dotychczas chemiczne wskaźniki przeobrażenia skał opierają się na przedstawieniu ilościowych zmian zawartości składników chemicznych łatwo migrujących oraz na zmianach związanych z różnym stopniem uwodnienia lub utlenienia. Przydatność każdego z nich jest ograniczona, ponieważ w naturalnych warunkach układy fizyczno-chemicznej równowagi pomiędzy fazą stałą a roztworem są zróżnicowane i mogą powodować nietypowe zmiany składu chemicznego skał.

Przy korzystaniu z każdego z opisanych wskaźników przeobrażenia skał koniecznym warunkiem dla pełnej interpretacji jest uwzględnienie ewentualnych innych wtórnych procesów i reakcji, zacierających niekiedy zmiany spowodowane procesami hipergenicznymi.

Oprócz wymienionych chemicznych wskaźników przeobrażeń duże znaczenie odgrywają zmiany składu mineralnego, a przede wszystkim powstawanie minerałów ilastych. Istotnym uzupełnieniem przy stosowaniu chemicznych wskaźników dla wyznaczenia stopnia przeobrażenia skał powinno być określenie zespołu minerałów ilastych.

Na ogół każdy z opisanych wskaźników przeobrażeń może być zastosowany dla charakterystyki chemicznych zmian skał. Na szczególną uwagę zasługują jednak dwie metody wyznaczania stopnia przeobrażeń skał. Jedną z nich jest określanie migracji lub kumulacji pierwiastków w zwietrzelinie w stosunku do skały macierzystej w oparciu o stałą zawartość glinu (K. B. Krauskopf, 1967). W drugiej metodzie stopień wyługowania zwietrzeliny wylicza się na podstawie zmian zawartości metali alkalicznych z uwzględnieniem siły wiązań tlenowych tych metali (A. Parker, 1970).

Zakład Petrografii i Geochemii  
Instytutu Geologicznego  
Warszawa, ul. Rakowiecka 4  
Nadesłano dnia 22 stycznia 1973 r.

## PIŚMIENNICTWO

- BRYDON J. E., McKEAGUE J. A. (1971) — Differences between lateritic and podsolite weathering. A criticism. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 35, p. 1297—1298. London.
- GÖRLICH E., BADAŁ J., STOCH L. (1964) — Wyniki badań petrograficzno-mineralogicznych. *Biul. Inst. Geol.*, 176, p. 41—65. Warszawa.

- HVATUM O. Ø., LAG J. (1961) — Investigation on the silica to sesquioxide ratio in fractions of Norwegian clay deposits and of material suspended in glacial rivers. *Meld. Norg. Landbruks.*, 40, p. 1—9. Oslo.
- JACKSON M. L., SHERMAN D. (1953) — Chemical weathering of minerals in soils. *Adv. Agron.*, 5, p. 219—318. New York.
- KABATA-PENDIAS A. (1965) — Badania geochemiczno-mineralogiczne gleb wytworzonych z granitów i bazaltów Dolnego Śląska. *Rocz. Nauk roln.*, 90 (A), p. 1—60. Warszawa.
- KABATA-PENDIAS A. (1967) — Charakterystyka geochemiczna utworów triasu z rejonu Polski północno-zachodniej. *Kwart. geol.*, 11, p. 599—617, nr 2. Warszawa.
- KABATA-PENDIAS A. (1970a) — Wietrzenie skał metamorficznych podłoża północno-wschodniej Polski. *Biul. Inst. Geol.*, 238, p. 27—80. Warszawa.
- KABATA-PENDIAS A. (1970b) — Hipergeniczne przeobrażenia skał intruzji suwalskiej. *Kwart. geol.*, 14, p. 633—646, nr 3. Warszawa.
- KIMURA H. S., SWINDALE L. D. (1967) — A discriminant function using zirconium and nickel for parent rocks of strongly weathered Hawaiian soils. *Soil. Sci.*, 104, p. 69—76. London.
- KRAMER J. R. (1968) — Mineral-water equilibria in silicate weathering. *Internal. Geol. Congr. Rep. 23 Sec. Geochem.*, sec. 6, p. 149—160. Praga.
- KRAUSKOPF K. B. (1967) — Introduction to geochemistry. New York. Mc Graw-Hill Book. Comp.
- LIS J., PRZENTOSŁO S. (1962) — Próba zastosowania stosunku  $Fe^{3+}:Fe^{2+}$  dla wyznaczania stopnia zwietrzenia granitu na przykładzie granitu karkonoskiego. *Prz. geol.*, 10, p. 350—351, nr 7. Warszawa.
- LOUGHANAN F. C. (1969) — Chemical weathering of the silicate minerals. New York. Elsevier Pub.
- NGUYEM KHA, DUCHAUFOR PH. (1969) — Forms of iron in hydromorphic soils. *Sci. Sol.*, 1, p. 97—110. Nancy.
- NICHOLLS G. P. (1963) — Environmental studies in sedimentary geochemistry. *Sci. Prog.*, 51, p. 12—31. London.
- PARKER A. (1970) — An index of weathering for silicate rocks. *Geo. Mag.*, 107, p. 501—504. London.
- PEDRO G. (1968) — Distribution des principaux types d'alteration chimique à la surface du globe. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dynam.*, 10, p. 457—470. Paris.
- PENDIAS H. (1961) — Uwagi o wietrzeniu bazaltu w rejonie Legnicy i Lubania Śląskiego. *Kwart. geol.*, 5, p. 429—445, nr 2. Warszawa.
- PENDIAS H. (praca w druku) — Charakterystyka geochemiczna skał magmowych północno-wschodniego obrzeżenia Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Biul. Inst. Geol. Warszawa.*
- RUXTON B. P. (1968) — Measures of the degree of chemical weathering of rocks. *Journ. Geol.*, 76, p. 518—527. Chicago.
- SEGALEN P. (1964) — Le fer dans les sols. *Doc. techn.*, 4, Orstom, p. 150. Paris.
- SHORT N. M. (1961) — Geochemical variation in four residual soils. *Journ. Geol.*, 69, p. 564—571. Chicago.
- STICHER H., BACH R. (1966) — Fundamentals in the chemical weathering of silicates. *Soils a. Fert.*, 29, 321—325. London.
- STROUILLION R. (1965) — Lesivage des roches feldspathiques par l'eau en climate tempere. *C. R. Acad. Sci.*, 2, p. 485—488. Paris.

- VAN DER PLAS L., VAN SCHUYLENBORGH J. (1970) — Petrochemical calculation applied to soils — with special reference to soil formation. *Geoderma*, 4, p. 357—385. Amsterdam.
- WIEWIORA A. (1967) — *Studia mineralogiczno-geochemiczne procesów wietrzeniowych gabr Nowej Rudy*. *Arch. miner.*, 27, p. 245—336. Watszawa.
- ВАСИЛЬЕВ В. А. (1969) — Древние коры выветривания кристаллического фундамента южной Прибалтики. Изд. Минтис. Вильнюс.
- ЛИСИЦИНА Н. А. (1965) — Некоторые данные о геохимии коры выветривания осадочных пород гумидной зоны. Докл. АН СССР, сер. геол., 163, стр. 475—478. Москва.
- МАЦ В. Д. (1971) — Докембрийские коры выветривания сибирской и русской платформ. Докл. АН СССР, сер. геол., 200, стр. 682—685. Москва.

Алина КАБАТА-ПЕНДЯС, Хенрик ПЕНДЯС

### ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГИПЕРГЕНННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПОРОД

#### Резюме

В статье представлен обзор важнейших публикаций, касающихся способов подсчета химических показателей преобразования пород. На примере подсчета этих показателей, выполненного для различных пород, проведена оценка их пригодности.

Особого внимания заслуживают два приведенных метода обозначения степени преобразования пород. Подсчет общей миграции элементов на основе постоянного содержания алюминия (по К. Б. Краускопфу, 1967) дает полную картину химических изменений продуктов выветривания в сравнении с материнскими породами. Показатель алкалического выветривания (по А. Перкеру, 1970) точно показывает степень вымывания пород на основе содержания алкалических металлов с учетом силы кислородных связей этих металлов.

Необходимым условием полной интерпретации химических показателей преобразования пород является учет ряда других процессов и реакций, затирающих изменения, причиной которых являются гипергенные процессы.

Alina KABATA-PENDIAS, Henryk PENDIAS

### CHEMICAL INDICES FOR HIPERGENIC ALTERATION OF ROCKS

#### Summary

Various methods of calculation of indices of weathering for rocks are discussed. The usefulness of these indices for various rock series are evaluated.

From all the given methods two indices of weathering are of a greater importance. One of them is the calculation of gains and losses on the assumption of constant  $Al_2O_3$  (according to K. B. Krauskopf, 1967). The second one is based on the proportions of the alkali and alkaline earth metals including their bond strenghts with oxygen (according to A. Parker, 1970).

A whole interpretation of all the indices of weathering must involve all other processes influencing the hipergenic alteration of rocks.