

Clasificación morfogenética de las cortezas de intemperismo níquelíferas sobre las rocas ultrabásicas de Cuba

FRANCISCO FORMELL CORTINA

RESUMEN. Se ofrece una clasificación general morfogenética para las cortezas de Intemperismo níquelíferas de Cuba oriental. Esta clasificación se preparó considerando factores climáticos, geólogo-estructurales, geomorfológicos, hidrogeoquímicos e hidrodinámicos. Se distinguen los tipos de cortezas de manto, manto-lineales, lineales y cársicas. También se distinguen los productos de redeposición de las cortezas, de los cuales ha sido estudiado el tipo morfológico de manto. Además, se ofrece una clasificación especial para las cortezas de intemperismo de manto, que son las más extendidas y las que tienen mayor importancia industrial. La clasificación se confeccionó sobre la base de las características geomorfológicas de dichas cortezas, y en ella se definen las regularidades en la distribución, potencia y tipos de perfiles de las mismas, y se ofrecen ejemplos concretos de yacimientos hipergénicos de níquel vinculados con ellas.

1. INTRODUCCIÓN

Como resultado de los trabajos realizados durante varios años en las áreas de distribución de las cortezas de intemperismo níquelíferas del N de Oriente, y sobre la base de las características de las mismas, así como de los datos que se tienen en relación con las regularidades de su distribución y con los factores que determinan su formación, se ha preparado una clasificación morfogenética de dichas cortezas, tomando en consideración la experiencia acumulada durante años por los especialistas soviéticos en el estudio de los procesos de intemperismo.

GUINZBURG (1915) confeccionó la primera clasificación de las cortezas de intemperismo, subdividiendo "las formaciones arcillosas" en dos grupos genéticos: rocas arcillosas autóctonas y rocas arcillosas alóctonas. Al primer grupo relacionó las rocas arcillosas formadas en el lugar de yacimiento de las rocas madres que les dieron origen, por medio de la descomposición y extracción de las partes solubles (arcillas residuales de descomposición) o mediante la lixiviación de gran parte de la roca con

Manuscrito aprobado el 15 de septiembre de 1978.

Francisco Formell Cortina pertenece al Instituto de Geología y Paleontología, de la Academia de Ciencias de Cuba.

la acumulación del residuo no soluble (arcillas residuales de lixiviación). Las rocas arcillosas alóctonas fueron divididas en formaciones arcillosas sedimentarias y metamorfozadas. En la clasificación de Guinzburg existían subdivisiones más detalladas, fundamentadas en las diferencias de las condiciones de yacencia (superficiales y profundas) y de la edad de las formaciones arcillosas (actuales y antiguas). Esta clasificación fue el primer intento de caracterizar genéticamente la formación de las cortezas de intemperismo.

POLINOV (1934) le dedicó gran atención a la clasificación de los tipos de cortezas de intemperismo, y teniendo en cuenta la tendencia de los procesos geoquímicos, separó las cortezas de intemperismo eluviales y, conjugadas con ellas, las cortezas acumulativas, a las cuales relacionó los sedimentos continentales. En dependencia del origen de las rocas, las cortezas eluviales se subdividen en tres ciclos: Ortoeluvio, Praeluvio y Neoeluvio, separando en cada ciclo tres o cuatro fases con sus correspondientes formaciones conjugadas de cortezas de intemperismo acumulativas. Polinov dividió claramente la región o zona de intemperismo en los límites de la cual los procesos están dirigidos hacia la fragmentación y destrucción de las rocas, y las cortezas de intemperismo actuales, o sea, las partes superficiales de la corteza de la litosfera, las cuales, en un momento geológico dado, están formadas por productos friables del intemperismo.

Un adelanto considerable en la elaboración de una clasificación genética de las cortezas, fue el estudio detallado de las cortezas de intemperismo niquelíferas de los Urales, realizado por GUINZBURG *et al.* (1946). Esa clasificación tuvo un gran significado para los trabajos de prospección y búsqueda, ya que daba una noción sobre las diferencias de las condiciones de formación y morfología de los yacimientos silicato-niquelíferos. Por primera vez fueron destacadas en esta clasificación las cortezas de intemperismo de manto y las lineales con sus correspondientes variedades; también se separaron las cortezas relavadas, redepositadas y lavadas (derrubio). En trabajos posteriores, GUINZBURG (1958; 1963) publicó una clasificación genética detallada que tiene en cuenta una serie de factores que favorecen la formación de diferentes cortezas de intemperismo.

Una nueva etapa en el desarrollo de los conceptos de Guinzburg sobre la tipificación de las cortezas, se inició posteriormente con los trabajos de NIKITIN (1962; 1965) quien separó los tipos morfogenéticos de cortezas de intemperismo mixtas y algunos de sus subtipos (NIKITIN, 1962). Más tarde elaboró una clasificación morfogenética de los tipos de cortezas residuales, utilizables a los fines del mapeo geológico y

pronóstico de la mineralización silicato-niquelífera (NIKITIN, 1963). Un enfoque completamente distinto en la clasificación de las cortezas de intemperismo se destaca en los trabajos de RAZÚMOVA y GERASKOV (1963), quienes, sobre la base de las condiciones tectónicas, distinguen: 1) cortezas de intemperismo formadas en condiciones de plataforma, y 2) cortezas de intemperismo formadas en condiciones de zonas plegadas geosinclinales (RAZÚMOVA *et al.*, 1963). El primer grupo lo dividen en tres tipos: a) cortezas de intemperismo de los fundamentos plegados de las plataformas, b) cortezas de intemperismo de la superficie de erosión dentro de la capa sedimentaria de la plataforma, y c) cortezas de intemperismo intraformacionales. Los análogos de estos tipos, entre las cortezas de intemperismo de las zonas geosinclinales, son: a) cortezas de intemperismo relacionadas con grandes hiatos, b) cortezas de intemperismo relacionadas con hiatos insignificantes en el perfil, y c) cortezas de intemperismo intraformacionales.

Entre los últimos estudios dedicados a la clasificación de las cortezas de intemperismo se destacan los de NIKITINA *et al.* (1971), en los que gracias a un gran trabajo de síntesis de muchos materiales de las investigaciones minerales geoquímicas, realizan una caracterización de todos los perfiles conocidos de las cortezas de intemperismo, condensando sus variedades en tres tipos genéticos: completo, abreviado, e incompleto, los que se diferencian tanto por la cantidad de zonas como por la composición sustancial de las mismas. Siguiendo la zonación elaborada por Guinzburg, en el perfil completo destacan todas las cuatro zonas geoquímicas con sus correspondientes zonas minerales. En aquellos casos en los que, por determinados factores, están ausentes zonas intermedias del perfil, los denominan perfiles abreviados. Si, por otra parte, las condiciones no son favorables a los procesos de intemperismo, éstos pueden no alcanzar la formación de las zonas terminales del perfil. Los perfiles en los que están ausentes una o dos zonas superiores, proponen llamarlos: incompletos.

Dicha terminología, así como los principios de la clasificación morfogenética elaborados por NIKITIN (1963), han sido tomados en cuenta por el presente autor, tanto para caracterizar los perfiles típicos como los tipos y subtipos morfogenéticos de las cortezas de intemperismo niquelíferas de Cuba.

Hasta el presente, en Cuba no se han publicado trabajos específicos dedicados a la clasificación de las cortezas de intemperismo. La mayoría de los investigadores que han estudiado dichas cortezas se han interesado en la cuestión de la calidad industrial de las menas, debido a lo cual se ha utilizado más frecuentemente la clasificación industrial tecnológi-

ca de los tipos de menas níquelíferas.¹ De acuerdo con esta clasificación, utilizada por muchos geólogos, las menas se dividen en: (1) lateritas ferrosas, (2) lateritas níquelíferas, y (3) serpentinitas níquelíferas. Las menas lateríticas incluyen el horizonte superior de ocres de la corteza de intemperismo, y se subdividen en lateritas de balance, con alto contenido de níquel (1%), y lateritas fuera de balance, con contenido de níquel entre 0,7 y 1,0%; mientras que las llamadas zonas serpentiniticas incluyen las zonas de nontronitas y de serpentinitas lixiviadas; y también se subdividen en serpentinitas de balance, con contenido de níquel mayor de 1%, y serpentinitas fuera de balance, con contenido de níquel menor de 1%. La cantidad de hierro en estas menas no excede del 25%.

KORIN *et al.* (1973) ofrecen la interpretación geológica de esta clasificación, destacándose dos tipos de menas níquelíferas: (1) óxidos lateríticos con gran contenido de hierro y poco de magnesio en la parte superior del perfil de las cortezas de intemperismo, y (2) silicatos serpentiniticos con poco hierro y menas magnesiales de la parte inferior de dicho perfil. En ese mismo trabajo, teniendo en cuenta principios estructuro-morfológicos, se han señalado tres tipos industriales de cortezas de intemperismo níquelíferas: (1) de manto, (2) lineales, y (3) complejas.

Recientemente, BUGUELSKIY (1975) ha preparado una clasificación morfogénica para todas las cortezas de intemperismo de Cuba, que incluye los más variados tipos de rocas sobre las que se desarrollan cortezas de intemperismo. El presente autor ha tenido muy en cuenta los principios sobre los cuales se ha elaborado esa clasificación, así como también la experiencia en la confección de las clasificaciones mencionadas anteriormente.

2. CLASIFICACIÓN MORFOGÉNICA DE LAS CORTEZAS DE INTEMPERISMO NÍQUELÍFERAS DE CUBA

Al separar los distintos tipos de cortezas de intemperismo níquelíferas se han considerado los siguientes factores: (1) características climáticas de las regiones de desarrollo de dichas cortezas, (2) particularidades geológico-estructurales de las mismas, (3) características geomorfológicas de sus **regiones de desarrollo**, (4) características hidrogeoquímicas, (5) características morfológicas, y (6) perfiles de las cortezas de intemperismo formadas sobre ellas.

Por cuanto la formación de las cortezas de intemperismo está estrechamente relacionada con los procesos de destrucción y redeposición de

¹ Adamovich, A. F., Chejovlch, V. D., Trubino, D. I., Chejovlch, M. V., Shlrokov, V. N., y Pavlov, A. N. (1963): *La estructura geológica y los yacimientos minerales de los macizos montañosos de la Sierra de Nipe y la Sierra Cristal*. Informe manuscrito del Fondo Geológico Nacional. La Habana.

las mismas, en la clasificación general se incluyen los productos de su re-deposición, de acuerdo con los conceptos expuestos por GUINZBURG (1963) y posteriormente tomados en consideración también por BUGUELSKIY (1975).

Siguiendo los conceptos de Guinzburg, por cortezas de intemperismo residuales se entienden las cortezas formadas *in situ*. Pueden ser resultado de dos procesos distintos: (1) de disgregación de rocas cristalinas, silicato-sedimentarias o débilmente metamorfizadas con acumulación de minerales de nueva formación y sin desuniones de los componentes de las rocas de origen; o (2) de la lixiviación de minerales fácilmente solubles de las rocas y acumulación de residuos de los minerales no solubles. En dependencia de la composición de la roca madre, uno u otro proceso predominará.

Por cortezas redepositadas, Guinzburg entiende las formaciones eluvio-deluviales, y deluvio-proluviales producidas por la redeposición o traslación de las cortezas de intemperismo residuales y que están claramente enlazadas con ellas genéticamente. Por eso, en el sentido de Guinzburg, nosotros incluimos en la clasificación que presentamos los productos de redeposición de las cortezas de intemperismo niquelíferas.

3. CLASIFICACIÓN MORFOGENÉTICA GENERAL

En nuestra clasificación de las cortezas de intemperismo niquelíferas de Cuba se distinguen varios tipos morfológicos, los que se exponen en la Tabla 1, de acuerdo con lo que a continuación explicamos.

- A. Como tipo más importante por su amplia distribución, se destacan en primer lugar las cortezas de manto. La concepción más completa de cortezas de intemperismo de manto fue formulada en la monografía "Cortezas de intemperismo niquelíferas de los Urales" (NIKITIN *et al.*, 1970), entendiéndose que son aquéllas que corresponden a cualquier roca que ocupa un área considerable, más o menos isométrica, zona que posee en el perfil una posición subhorizontal cambiando desde la profundidad de menos intemperizadas a más intemperizadas en la superficie.

En dependencia de la forma del manto, NIKITIN *et al.* (1970) señalan dos subtipos: mantos isométricos y mantos alargados o cortezas de intemperismo pseudo-lineales.

El primer subtipo de manto propiamente dicho, o cortezas con forma de alfombra isométrica, está ampliamente desarrollado en las elevaciones peniplanadas de los macizos de rocas ultrabásicas que poseen, vistas en planta, formas más o menos isométricas. La corteza

TABLA 1. Clasificación morfogenética de las cortezas de intemperismo (I) y de los productos de su redistribución (II).

I-Cortezas de intemperismo residuales					
Subtipos Morfológicos	Tipos genéticos de perfiles	Composición sustancial de los productos de intemperismo	Espesor de las cortezas	Ejemplos de cortezas de intemperismo	Ejemplos de yacimientos industriales de níquel
Cortezas de manto					
isométricas	abreviado	kerolito-ocroso	3-5 m máx. = 10-15 m	Pinares de Mayari, Piloto, Cupeyal, Iberia, Buena Vista	Pinares de Mayari
alargadas (seudo-lineales)	abreviado	kerolito-ocroso	3-5 m máx. = 10-15 m	El Prado, Los Mulos	Los Mulos
irregulares	completo	kerolito-nontro- nito-ocroso	3-5 m máx. = 10-15 m	Playa La Vaca, Cupey, Quesigua, Punta Gorda	Punta Gorda
Cortezas de manto-lineales					
de manto lineales propiamente dichas	abreviado	kerolito-ocroso a veces con gibbsita	20-30 m máx. = 50 m	Moa, Ramona	Moa
de manto - grietas	completo	kerolito-nontro- nito-ocroso	10-15 m máx. = 50 m	Sol Líbano, Ocujaí, Martí	Sol Líbano, Ocujaí, Martí

(continúa)

TABLA 1 (continuación)

		Cortezas lineales		
de grietas lineales	abreviado	kerolito-ocroso-kerolito-garnierítico	20-30 m máx. = 50 m	Regiones de Moa y Levisa
contacto-grietas	completo	kerolito-nontronito-ocroso	10-15 m	Jaraguá
		Cortezas cársicas		
de manto - cársicas	abreviado	ocroso	no estudiado	Montecristo
de contacto-cársicas	no estudiado	ocroso-arcilloso	no estudiado	Región de Levisa
		Áreas del yacimiento Martí		
				no conocido
				no conocido

II- Productos de redeposición de las cortezas de intemperismo (residuales de manto)

rocas sobre las cuales se redepositaron los productos intemperizados	tipos faciales	composición sustancial de los productos de redeposición	espesor de los productos	ejemplos de los productos redepositados	ejemplos de yacimientos industriales
cortezas de intemperismo de las ultrabasitas	deluviales-proluviales	depósitos ocreos-arcillosos con concreciones de hierro	3-5 m máx. = 27 m	laderas septentrionales de la sierra de Moa	flanco N del yacimiento Punta Gorda
rocas carbonatadas carsificadas	deluviales-aluviales	depósitos ocreos-arcillosos con concreciones de hierro	1,5-3 m máx. = 75 m	Sierra de Cubitas, San Miguel de los Baños	no conocido

de este subtipo se desarrolla generalmente en las más altas superficies aplanadas que corresponden a los relictos del único peniplano antiguo elevado.

Otras veces las cortezas de manto pueden presentar formas alargadas o pseudo-lineales, condicionadas por la configuración alargada de los afloramientos de las rocas de origen, como por ejemplo las cortezas de intemperismo de la región del peniplano de Los Mulos y el Prado. La corteza de intemperismo pseudo-lineal normalmente posee una zonación subhorizontal y no está relacionada con dislocaciones tectónicas. En correspondencia con esto, durante la prospección deben esperarse potencias similares a las de las cortezas de manto isométricas.

En muchos lugares, sobre todo en las laderas suaves de las pendientes *N* de las sierras de Cristal y Moa, siguiendo las irregularidades del relieve accidentado unas veces, y otras peniplanado en escalones de montañas bajas y colinas, se desarrollan cortezas de intemperismo de manto, que se interrumpen cuando las pendientes se vuelven fuertes y superan el ángulo de pendiente crítica (BUGUELSKIY y FORMELL, 1967), dando lugar a formas caprichosas de su distribución, vistas en planta. Por ello, el autor propone introducir un nuevo subtipo de las cortezas de intemperismo de manto, adicionándolo a aquellos ya descritos por Nikitin, y que se denominará: de mantos irregulares, para incluir aquellas cortezas de intemperismo de manto que no son ni isométricas ni alargadas, y que poseen un contorno caprichoso, determinado por las condiciones concretas del relieve, que fija en este caso su distribución y la limita a veces, cuando las condiciones del mismo no son favorables.

- B. Además de diferenciar las cortezas de intemperismo de manto en su proyección horizontal, es necesario diferenciar las cortezas de intemperismo por la distribución de su potencia. En las rocas con diaclasamiento uniforme se desarrollan por los procesos de intemperismo cortezas de intemperismo de manto con potencias más o menos constantes. Ejemplo de tales cortezas son las partes septentrionales de la Meseta de Pinares de Mayarí.

En presencia de zonas de trituración con elevada cantidad de grietas, la superficie inferior de las cortezas de intemperismo adquiere un carácter irregular, debido a la formación de numerosos bolsones en las zonas débiles. En la clasificación de Nikitin se destaca este segundo tipo como un tipo especial complejo, llamado de manto-lineal, el cual por su naturaleza es una combinación de los tipos de manto y lineales. En general, todas las cortezas de intemperismo niquelíferas de manto de Cuba están complicadas en su lecho con la presencia fre-

cuenta de zonas de trituración en las rocas ultrabásicas, las cuales poseen una estructura tectónica compleja. Sin embargo, en algunos casos, como en los yacimientos Ramona y Moa, el desarrollo de la potencia de las cortezas es evidentemente tan notable, debido a la presencia de zonas tectónicas bien desarrolladas, que nos parece aconsejable distinguir en un tipo especial las cortezas de manto-lineales, para diferenciar aquellos casos con desarrollo anómalo del espesor debido a la presencia de zonas tectónicas.

- C. El tercer tipo morfológico de cortezas residuales es el correspondiente a las cortezas de intemperismo lineales. Estas cortezas poseen formas alargadas condicionadas por la presencia de dislocaciones tectónicas por debajo de las mismas, de manera que la zonación se desarrolla no sólo de arriba hacia abajo, como las cortezas de manto, sino en una gran medida desde el plano central de la dislocación tectónica hacia ambos lados de las rocas encajantes menos fracturadas. La potencia de las cortezas de intemperismo lineales frecuentemente alcanzan 50-80 m y a veces más.

A pesar del activo régimen tectónico que caracteriza las rocas ultrabásicas, en Cuba no se han reportado cortezas de intemperismo lineales propiamente dichas, en el área de desarrollo de dichas rocas. Esto es debido a que también otros factores, como son las precipitaciones atmosféricas, la temperatura, y las condiciones geomorfológicas, han actuado favorablemente, provocando que las cortezas lineales se desarrollaran al mismo tiempo que también se desarrollaba la corteza en área, formando siempre cortezas del tipo de manto-lineal. Por otra parte, son todavía insuficientes los trabajos de perforación en nuestro territorio y, sin un gran volumen de estos trabajos, es difícil apreciar el grado general de propagación de este tipo. No obstante, podemos mencionar que los trabajos realizados hasta ahora han puesto al descubierto este tipo de cortezas sobre otras rocas diferentes de las ultrabásicas, específicamente, el subtipo lineales de grietas. Este subtipo posee importancia industrial ya que con él se relaciona una serie de valiosos yacimientos minerales no metálicos.

Otro subtipo de cortezas lineales son las cortezas de contacto lineal. A pesar de que hasta ahora ellas no tienen importancia industrial, están representadas en el área de distribución de las rocas ultrabásicas. Como ejemplo de tales cortezas puede servir el afloramiento cercano al poblado de Jaraguá, en el camino de Baracoa, a Moa, descrito por BUGUELSKIY y FORMELL (1976). No está excluida la posibilidad de que un futuro estudio de este subtipo de cortezas de intemperismo arroje descubrimientos de zonas bastante grandes de mineralización hipergénica de níquel, dentro de sus límites.

- D. Dentro del cuarto tipo de cortezas nosotros incluimos las cortezas cársicas, relacionadas al tipo de cortezas de manto lineal (NIKITIN *et al.*, 1970). A este tipo corresponden las cortezas residuales que en Cuba tienen amplio desarrollo, ocupando grandes extensiones compuestas por rocas carsificadas de distintas edades, desde el Cretácico hasta el Plioceno. Las cortezas de intemperismo sobre ellas son, por lo general, poco potentes (0,5-1,5 m) y son formaciones de perfiles ocroso-arcillosos de tipo terrarrosa.

Nosotros proponemos incluir estas cortezas como un tipo independiente, primero, para separarlas y destacarlas de las cortezas de manto sobre las rocas ultrabásicas y, en segundo lugar, por su indiscutible gran desarrollo en el territorio cubano. Al mismo tiempo, hay que distinguir las cortezas de manto cársicas, donde se desarrolla un perfil residual producto de la descomposición sucesiva de las rocas carbonatadas subyacentes, de aquellos productos de redeposición de las cortezas de intemperismo que, a veces, se acumulan sobre la superficie carsificada de las rocas carbonatadas, como en el ejemplo de Lesca y de San Miguel de los Baños (FORMELL y BUGUELSKIY, 1974).

En general, las cortezas de manto cársicas no han sido estudiadas por el autor, pero han sido observados ejemplos en las áreas periféricas de los macizos ultrabásicos donde se desarrollan las rocas carbonatadas de la cobertura transgresiva sedimentaria. En algunos lugares se desarrollan cortezas de manto cársicas de perfil ocroso-arcilloso, como, por ejemplo, en la región de Montecristo (KORIN *et al.*, 1973). En algunas áreas del yacimiento Martí existen cortezas asociadas al contacto de las rocas ultrabásicas con las rocas carbonatadas Terciarias (Vershinin, comunicación personal). Este subtipo de cortezas se puede referir a las cortezas de contacto cársicas y puede tener importancia considerable, por lo que se recomienda su estudio ulterior detallado.

En la clasificación general preparada para las cortezas de intemperismo de las rocas ultrabásicas y sus productos de redeposición, se ha considerado, además de los tipos y subtipos morfogénéticos, la potencia de las cortezas, los tipos de perfiles, la denominación de los perfiles característicos, y se dan ejemplos tanto de cortezas de intemperismo como de yacimientos industriales de níquel vinculados con ellas (Tabla 1).

4. LOS PRODUCTOS DE REDEPOSICIÓN DE LAS CORTEZAS

Acerca de los productos de redeposición de las cortezas de intemperismo, en la actualidad solamente está estudiado un tipo morfológico: de mantos. Este tipo puede ser subdividido en dos subtipos de productos redepo-

sitados: (a) sobre rocas no carbonatadas y (b) sobre la superficie cársica de las rocas carbonatadas. La separación de estos subtipos es real, ya que, en el primer caso, la redeposición ocurre frecuentemente sobre las cortezas de intemperismo de las rocas ultrabásicas, modificando, en parte, la composición de las mismas, dándoles características muy específicas a sus perfiles generales, como es el caso del yacimiento Punta Gorda; en el segundo caso, la redeposición está estrechamente ligada con la formación del carso. La presencia de depresiones cársicas influye sobre la potencia de los productos de redeposición, posibilita su conservación y, en no pocos casos, una laterización secundaria de los productos redepositados, análogamente a como fue descrito por ZANS (1964) sobre el ejemplo de los yacimientos de bauxitas de Jamaica.

La composición sustancial de los productos de intemperismo redepositados se determina por la composición de las rocas madres. Por cuanto en el territorio de Cuba el camino de la transportación de los productos de la redeposición generalmente no es grande, en la mayoría de los casos se logra fácilmente determinar la relación entre los productos redepositados con las rocas primarias. Esta relación se confirma por la presencia de relictos de minerales de difícil descomposición de los microcomponentes.

En dependencia de las particularidades geomorfológicas de la región y de su historia geológica, los productos de redeposición se diferencian por su composición granulométrica y mineralógica. A medida que se avanza de un relieve de montañas medias al de montañas bajas, de colinas y de llanos, los productos de redeposición varían desde sedimentos deluviales-proluviales de fragmentos groseros, a deluviales- y deluvio-aluviales de las formaciones ocreo-arcillosas de granos medios a finos (limoso-arcillosas).

En la mayoría de los casos, no se observa la zonación en los productos de redeposición. Los productos de redeposición de las cortezas de intemperismo están aún insuficientemente estudiados; una descripción de los mismos se ofrece en los trabajos de ADAMOVICH y CHEJOVICH (1964); de FINKÓ *et al.* (1967), y de FORMELL y BUGUELSKIY (1974).

A causa de esto, en la clasificación propuesta sólo se consideran los subtipos de redepositos sobre las rocas no carbonatadas y sobre la superficie cársica de las rocas carbonatadas. De ellos se ofrece, además, los tipos de redeposición, la composición de los materiales, los tipos de perfiles característicos, el tipo de formación, la potencia, y algunos ejemplos que tienen significación científica y práctica, como es el caso del yacimiento Punta Gorda y los de las regiones de Lesca y San Miguel de los Baños.

TABLA 2. Clasificación de las cortezas de intemperismo niquelíferas, residuales de manto, según sus regularidades geomorfológicas

Características geomorfológicas						
Cantidad de precipitaciones atmosféricas (mm/cm/año)	Características hidrogeológicas módulo de infiltración subterránea (l/seg/km ²)	Espesor de las cortezas (en m)	Tipos de perfiles	Denominación de los perfiles	Ejemplos de regiones de distribución de las cortezas de intemperismo	Ejemplos de yacimientos industriales de níquel
Relieve erosivo-tectónico de montañas medias testigos de erosión elevados sobre el peniplano antiguo; altura absoluta 1 300-1 200 m, relativa 1 000- 700 m						
3000-2200	transferencia de aguas muy intensa 25	no establecido	incompleto	desintegración	puntos más elevados del sistema montañoso de las Sierras de Nipe, del Cristal y Moa, Cima de Loma Mensura, Pico Cristal, El Toldo	no hay
Superficies peniplanadas elevadas, relictos de un único peniplano antiguo intensamente desmembrado HA = 800-500 m HR = 500-400 m						
2200-1800	transferencia de aguas intensa 15-20	medio 3-5 m máx. 10-15 m	abreviado	kerolítico ocoso, a veces con gibbsita	meseta de Pinares de Mayarí, Los Mulos, El Prado, Cuyal, Piloto, Iberia, Buenavista	Pinares de Mayarí
Relieve de montañas bajas y colinas fuertemente desmembrado en lugares peniplanados HA = 500-100 m, HR = 100-50 m						
1800-1600	transferencia de aguas de intensidad media 10-15	medio 5-10 m máx. 20 m	completo	kerolítico-nontronítico ocoso	zona periférica de las laderas septentrionales de la Sierra Cristal	Ocujaí, Sol, Libano, Ramona, Martí

(continúa)

TABLA 2. (continuación)

3000-1800	transferencia de aguas intensa 15-20	medio 5-10 m máx. 50 m	abreviado	kerolito-ocroso, a veces con gibbsita	Atlántico, Cantarrana, Moa, Camarioca, Yagrumaje	Moa, Atlántico,
1800-1600	transferencia de aguas de intensidad media 10-15	medio 3-5 m máx. 10-15 m	completo	Kerolito nontronito-ocroso a veces con gibbsita	Cupey, Quesigua, Playa La Vaca, Punta Gorda	Punta Gorda
1000	Llanuras abrasivas, abrasivo-denudativas y denudativas suavemente onduladas y desmembradas difícil transferencia de aguas 1	no establecido	incompleto	des-integración	antigua Provincia de Las Villas, La Habana y Camagüey	no hay

5. CLASIFICACIÓN ESPECIAL DE LAS CORTEZAS DE INTEMPERISMO NIQUELÍFERAS, DE MANTO

Entre todos los tipos de cortezas de intemperismo niquelíferas de las rocas ultrabásicas, las más extendidas y mejor desarrolladas y, por lo tanto, de mayor interés científico y práctico-industrial, son las cortezas de intemperismo del tipo de manto. Por consiguiente, además de la clasificación general que incluye distintos tipos morfológicos, hemos creído conveniente preparar una clasificación morfogenética especial, sólo para las cortezas de intemperismo niquelíferas de manto (Tabla 2). Para ello hemos tomado en consideración que, como resultado de los trabajos realizados durante varios años, se han definido regularidades en la distribución, potencia y tipos de los perfiles de las cortezas, relacionadas con la interacción de factores geomorfológicos, hidrogeológicos y estructurales, que determinan varios tipos bien destacados de cortezas de intemperismo con perfiles característicos. Así, de acuerdo con las características geomorfológicas, se distinguen cinco subtipos de cortezas de intemperismo niquelíferas de manto:

- 1) Cortezas desarrolladas en un relieve de montañas medias, erosivo-tectónicas, relictos de erosión elevados sobre el peniplano antiguo en cotas que varían de 700 a 1 300 m de altura absoluta.
- 2) Cortezas desarrolladas sobre superficies extensas peniplanadas, elevadas, relictos del único peniplano antiguo intensamente desmembrado en cotas que varían de 500 a 800 m de altura absoluta.
- 3) Cortezas desarrolladas en un relieve de montañas bajas y colinas de los piedemontes muy desmembrados, a veces peniplanados, como resultado de procesos erosivo-abrasivos, erosivo-denudativos y denudativos, en cotas que varían de 500 a 50 m.
- 4) Como un subtipo especial se consideran las cortezas desarrolladas en el relieve de terrazas escalonadas. Puede dividirse en terrazas altas y terrazas bajas, pero, aunque incluye las mismas características hidrodinámicas de los subtipos 2 y 3, sus características geomorfológicas determinan regularidades de su distribución que aconsejan considerar estas cortezas como un subtipo independiente.
- 5) **Cortezas desarrolladas en las llanuras abrasivo-denudativas, planas o débilmente onduladas y desmembradas, en cotas que varían de 100 hasta menos de 5 m.**

A cada una de esas divisiones geomorfológicas corresponde un régimen hidrodinámico, el cual está condicionado por la cantidad de precipitaciones atmosféricas (BUGUELSKIY y FORMELL, 1973). De esta manera,

el factor climático condiciona el volumen de agua que llega al paisaje, y las particularidades geomorfológicas de la región influyen en su traslado posterior a las rocas acuíferas. Mientras más altas sean las cotas absolutas del relieve y más acentuadas las diferencias entre las divisorias de las aguas y las vaguadas, más rápido se desplazan en las rocas las aguas subterráneas, cediendo el lugar a nuevas aguas que ingresan en el paisaje, producto de las precipitaciones atmosféricas; la cantidad de estas últimas y el grado de diferenciación del relieve, constituyen los factores fundamentales que condicionan la intensidad de la transferencia de aguas en las rocas acuíferas. A su vez, “la intensidad de la transferencia de aguas provoca la modificación de la composición química en relación con el desarrollo en el espacio y en el tiempo del proceso de interacción de las aguas subterráneas y las rocas por las cuales ellas circulan” (BRODSKIY, 1953). Esta interacción condiciona la intensidad de migración de los elementos químicos y, por consiguiente, la intensidad de los procesos de intemperización, que determina, en última instancia, el tipo de perfil de intemperismo que se tendrá.

De acuerdo con el grado de intensidad de la transferencia de aguas, en las regiones de desarrollo de las cortezas de intemperismo níquelíferas de Cuba es posible distinguir cuatro zonas hidrodinámicas que concuerdan con las principales unidades geomorfológicas (BUGUELSKIY y FORMELL, 1973): (1) zona de transferencia de aguas muy intensa, (2) zona de transferencia de aguas intensa, (3) zona de transferencia de aguas de intensidad media; y (4) zona de difícil transferencia de aguas.

En la clasificación de las cortezas de intemperismo níquelíferas de manto, además de las características geomorfológicas e hidrodinámicas, para cada uno de los subtipos distinguidos se señala: la cantidad de precipitaciones atmosféricas promedio, el módulo de infiltración, la potencia promedio y máxima de las cortezas, los tipos de los perfiles y la denominación de los perfiles característicos, así como ejemplos, tanto de cortezas típicas desarrolladas en cada subtipo de relieve, como de los yacimientos industriales de níquel relacionados con esos subtipos de cortezas.

6. CONCLUSIONES

La confección de una clasificación morfogenética general para las cortezas de intemperismo níquelíferas de Cuba generaliza y sistematiza el conocimiento que se tiene sobre las condiciones de formación y las regularidades de distribución de las mismas; además pone de relieve otros tipos genéticos de acumulaciones hipergénicas que pueden resultar perspectivas. Por otra parte, la clasificación especial para las cortezas de intemperismo de manto, confeccionada sobre la base de sus características

morfológicas, ofrece un cuadro sintético de las variedades de cortezas níquelíferas de manto, que son las más ampliamente distribuidas en Cuba. En esta clasificación se establecen las regularidades de la distribución de este tipo de cortezas y los parámetros fundamentales que las caracterizan.

Ambas clasificaciones deben servir como un instrumento eficaz de apoyo para proyectar adecuadamente los trabajos de búsqueda de yacimientos hipergénicos de níquel.

REFERENCIAS

- ADAMOVICH, A. F., y CHEJOVICH, V. D. (1964): Sobre las condiciones geológicas de la formación de las lateritas en Cuba. *Rev. Tecnol.*, 2(5):17-29.
- BRODSKY, A. A. (1953): *Uno de los métodos gráficos de elaboración de los resultados de los análisis químicos de las aguas subterráneas* [en ruso]. En la colección "Voprosy Gidrogeologii i Inyenierno Gueologii M.," Editorial "AN SSSR".
- BUGUELSKIY, Y. Y. (1975): *Regularidades de la formación de las cortezas de intemperismo meníferas en las regiones húmedas tropicales (en el ejemplo de la Isla de Cuba)*. Resumen de la Disertación para optar por el grado científico de Doctor en ciencias geológico-mineralógicas [en ruso]. Moscú, 25 pp.
- BUGUELSKIY, Y. Y., y FORMELL CORTINA, F. (1967): Geoquímica e hidrogeoquímica de las cortezas de intemperismo ferro-níquelíferas de Cuba. *Academia de Ciencias de Cuba, Ser. Geol.*, 3:1-34.
- (1973a): La hidrogeoquímica y cuestiones de la génesis de las cortezas de intemperismo níquelíferas de Cuba. *Academia de Ciencias de Cuba, Ser. Geol.*, 12:1-18.
- (1973b): Influencia del factor hidrogeoquímico en la formación y distribución de las cortezas de intemperismo de Cuba. *Academia de Ciencias de Cuba, Ser. Geol.*, 13:1-15.
- (1974): Sobre la existencia en Cuba de cortezas de intemperismo bauxíticas. En *Geología de los minerales útiles de Cuba*, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, pp. 82-91.
- FINKO, V. I., KORIN, I. Z., FORMELL CORTINA, F. (1967): Acerca de la edad de la antigua corteza de intemperismo y de las lateritas de Cuba. *Academia de Ciencias de Cuba, Rev. Geol.*, 1(1):30-47.
- FORMELL CORTINA, F., y BUGUELSKIY, Y. Y. (1974): Sobre la existencia en Cuba de lateritas ferroníquelíferas redepositadas sobre calizas. En *Contribución a la Geología de Cuba*, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, pp. 117-139.
- GUINZBURG, I. I. (1915): Características experimentales de las formaciones arcillosas [en ruso]. *Izv. Petrograd. Politexn. In-ta*, 23, vol. 2.
- (1958): Tipos de antiguas cortezas de intemperismo de la URSS [en ruso]. En "*Materialy po gueologii, mineralogii i ispolzovaniiu Glin y SSSR*" M., Editorial "AN SSSR".
- (1963): Tipos de antiguas cortezas de Intemperismo, formas de su manifestación y clasificación [en ruso]. En la colección "*Kora Vivietrivaniia*", vol. 6. M., Editorial "AN SSSR".
- GUINZBURG, I. I., KATS, A. A., KORIN, I. Z., POPKOV, V. F., SAVELEV, I. I., y TRUBINA, K. N. (1946): Antiguas cortezas de intemperismo sobre las rocas ultrabásicas de los Urales. Tipos y morfología de las antiguas cortezas de intemperismo [en ruso]. *TRUDY IGN AN SSSR*, vol. 80.

- KORIN, I. Z., FINKO, V. I., y COUTIN, D. P. (1973): Geología y génesis de los yacimientos niquelíferos en las cortezas de intemperismo de Cuba [en ruso]. En *Gueologia i rudnie miestorozdieniia Kubi*, Editorial "NAUKA", Moscú.
- NIKITIN, K. K. (1962): Antigua corteza de intemperismo sobre las rocas ultrabásicas del maciso de Buriktalskiy [en ruso]. *Trudy "IGEM AN SSSR"*, vol. 69.
- (1963): Principios de confección de mapas resúmenes de distribución y pronóstico de las cortezas de intemperismo de las rocas ultrabásicas y de los yacimientos de minerales útiles vinculados con ellas [en ruso]. En la colección "*Kora Vivietrivaniia*", Editorial "AN SSSR", vol. 6. M.
- (1965): Principios de confección de los mapas de las cortezas de intemperismo meníferas de las ultrabásitas [en ruso]. En la colección "*Kora Vivietrivaniia*", Editorial "NAUKA", vol. 9. M.
- (1968): Clasificación de las cortezas de intemperismo y de los yacimientos de minerales útiles vinculados con ellas [en ruso]. En la colección "*Kora Vivietrivaniia*", Editorial "NAUKA", vol. 10.
- NIKITIN, K. K., IANITSKII, A. L., y VITOVSKAIA, I. V. (1970): *Cortezas de intemperismo niquelíferas de los Urales* [en ruso]. Editorial "NAUKA", Moscú, 286 pp.
- NIKITINA, A. P., VITOVSKAIA, I. V., y NIKITIN, K. K. (1971): *Regularidades mineralógico-geoquímicas de la formación, perfiles y yacimientos minerales de las cortezas de intemperismo* [en ruso]. Editorial "NAUKA", Moscú, 89 pp.
- POLINOV, B. B. (1934): *Cortezas de intemperismo* [en ruso]. Editorial "AN SSSR", Moscú.
- RAZUMOVA, V. N., y GERASKOV, N. P. (1963): Los tipos de las cortezas de intemperismo y las leyes generales de su distribución [en ruso]. *Trudy GIN AN SSSR*, Moscú, vol. 77.
- RAZUMOVA, V. N., GERASKOV, N. P., y CHERNIAJOVSKII, A. G. (1963): Tipos geológicos de cortezas de intemperismo y ejemplos de su distribución en los Urales meridionales [en ruso]. Editorial "AN SSSR".
- ZANS, V. A. (1954): Bauxite resources of Jamaica and their development. *Bull. Geol. Surv. Dept. Jamaica*, 1:307-332.

ABSTRACT. A general morphogenetic classification of the nickeliferous weathering crusts of eastern Cuba is offered. This classification was carried out considering the following factors: climatic, geologic-structural, geomorphological, hydrogeochemical, and hydrodynamical. Blanket, Linear, and Karstic types of weathering crusts are distinguished. The re-deposition products of the weathering crusts, of which the morphologic type of Blanket has been studied, are also distinguished. Besides, a special classification for the Blanket weathering crusts—which are the most extended and the most important industrially—is also offered. This classification was prepared on the basis of the geomorphological characteristics of the weathering crusts, and it defines the regularities of distribution, thickness, and types of profiles, of the crusts. Examples of nickel-bearing ore deposits associated with them are given.

CDU 551.311.231