

1. Boletín de Información Técnica. Ministerio de Minería y Metalurgia de Cuba. Artículos de revistas. Marzo-abril de 1972, La Habana.
2. KORIN, I. Z., V. O. FINKO y P. D. COUTIN: "Geología y genesis de los yacimientos niquelíferos en la corteza de intemperismo de Cuba". En el libro Geología de los yacimientos minerales de Cuba. Ed. Nauka, 1973 (en ruso).
3. VALLE, F.: "Cuba en el CAME". Nedeia no. 5, 1974 (en ruso).
4. VERSHININ, A. S., CARLOS CROMBET E. y JOSÉ ARIOSA I.: "Sobre el levantamiento geólogo-tecnológico de la corteza de meteorización de las lateritas". Izvestia vuzov. Gorny zhurnal, no. 5, 1977 (en ruso).
5. VERSHININ, A. S., JOSÉ ARIOSA, RAFAEL PÉREZ y ELMER RUZ: "Sobre los métodos óptimos de exploración del yacimiento 'Martí'". Izvestia vuzov. Geologia y razviedka, no. 4, 1978 (en ruso).
6. FINKO, V. I., I. Z. KORIN y F. FORMELL-CORTINA: "Sobre la edad de la antigua corteza de meteorización y las lateritas de Cuba". En el libro Geología y yacimientos minerales de Cuba. Ed. Nauka, Moscú, 1967 (en ruso).
7. VERSHININ, A. S., ALFREDO HURTADO G. y CARLOS CROMBET E.: "Varias particularidades de la estructura geológica y geoquímica de los yacimientos niquelíferos de la provincia de Oriente". En el libro La antigua corteza de meteorización de las hiperbasitas del norte de los Urales. Ed. del Instituto de Minas de Sverdlov, no. 118, 1975 (en ruso).
8. KUDRIASHOV, A. M.: "Particularidades geológicas del yacimiento Lipovsky y su rol en la localización de mineralización silicato-niquelífera". Autorreferencia de candidatura. Sverdlov, 1975 (en ruso).
9. KORIN, I. Z.: "Sobre los yacimientos del tipo carso de contacto en las cortezas de intemperismo". Izvestia AC-URSS, serie Geológica, no. 2, 1939 (en ruso).

CDU 519.251.9:527.621:550.812(627.16)

ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA UTILIZACIÓN DEL COEFICIENTE DE PROBABILIDAD ESTADÍSTICA EN LA ELECCIÓN DE LA DENSIDAD ÓPTIMA DE LAS REDES DE EXPLORACIÓN

RESUMEN

En el trabajo que se presenta a continuación se hace un análisis de la necesidad de tomar en consideración y establecer el coeficiente de variabilidad "t" para la determinación de la densidad óptima de las redes de exploración.

Para esta demostración se tomaron dos bloques del yacimiento "Martí", en Nicaro, en los cuales se aplicaron los métodos estadísticos y de autocorrelación para determinar el valor adecuado del coeficiente de probabilidad "t" y a través de él, la densidad óptima de la red.

НЕКОТОРЫЕ ОБОСНОВАНИЯ О ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОЭФФИЦИЕНТА СТАТИЧЕСКОЙ
ВЕРОЯТНОСТИ В ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ГУСТОТЫ РАЗВЕДОЧНЫХ СЕТОК

Резюме

В настоящей работе обосновывается необходимость применения и использования коэффициента вероятности "т" для определения оптимальной густоты разведочной сетки, в латеритовых никелевых месторождениях Кубы.

Приводится пример определения коэффициента вероятности "т" и расчет оптимальной густоты разведочной сетки на месторождениях Никаро. При этом использовались статистический метод и автокорреляционный анализ.

ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA UTILIZACION
DEL COEFICIENTE DE PROBABILIDAD ESTADISTICA
EN LA ELECCION DE LA DENSIDAD OPTIMA
DE LAS REDES DE EXPLORACION

Ing. Fernando Bravo Lorenzo
Candidato a Doctor, Asistente del Departamento
de Explotación de Yacimientos del ISMMMOA

Ing. Eva Sánchez Sánchez
Instructora Graduada del Departamento
de Ciencias Geológicas Aplicadas del ISMMMOA

Ing. O. V. Lepin
Candidato a Doctor, Profesor invitado
del Departamento de Yacimientos Minerales

El desarrollo desmesurado de la ciencia y las continuas complicaciones de sus tareas llevan a que esta cada vez más frecuentemente se dirija al análisis de sus fundamentos teórico-cognoscitivos, estructuras, idiomas y métodos fundamentales de investigación.

Las tendencias básicas en el desarrollo de las ciencias naturales, características también para la geología, como son un enorme crecimiento de la cantidad de información, una diferenciación e integración de los conocimientos, la matematización y el aumento del rol de los aspectos teóricos, hacen del análisis de los problemas metodológicos un problema sumamente actual.

Los problemas metodológicos en geología, así como en otras ciencias de la tierra, están elaborados insuficientemente. Esta situación puede explicarse, en primer lugar, por el débil desarrollo teórico de problemas particulares de las

ciencias. Y de esta forma, el estado teórico de los problemas teóricos de la geología, mientras no estén resueltos, estarán dados por la generalización empírica y las hipótesis.

Hasta el presente, el nivel general del conocimiento geológico se puede caracterizar como empírico, se descubren por lo general sencillas relaciones cuantitativas de objetos del conocimiento. Al mismo tiempo hay que decir que en las ciencias geológicas, como en otras, sucede una rápida acumulación de información, de nuevos datos y generalizaciones. Junto a ello, también las investigaciones cada vez son más y más profundas, dirigidas al esclarecimiento de los problemas internos de los procesos naturales y el establecimiento de sus leyes más generales.

El proceso de teorización de las ciencias y el establecimiento de sistemas deductivos engendran toda una serie de problemas metodológicos. Así, de esa forma, adquiere una gran actualidad el problema de la materialización de la geología.

El aparato matemático en el cual entran tan potentes medios de investigación como la lógica matemática, la teoría de las probabilidades, la matemática estadística, la topología, la teoría de información y otras, tiene un gran papel en el conocimiento de las leyes de la naturaleza.

La necesidad de conocer la esencia de los procesos geológicos, las leyes de desarrollo de la Tierra y su corteza, las leyes de formación y distribución espacial de los yacimientos minerales útiles, etcétera, exigen de los investigadores un acercamiento a los más variados métodos de las ciencias para su resolución.

En la etapa de búsqueda y exploración de los yacimientos minerales se suceden una serie de trabajos, dentro de los cuales está la fundamentación de las densidades óptimas de las redes de exploración.

Para ello uno de los métodos más utilizados lo es el "método estadístico", pero su aplicación mecánica puede llevarnos a cometer grandes errores en la elección de los parámetros deseados, impulsados por el loable propósito de disminuir los costos de la exploración geológica. En relación con lo antes expuesto, es que queremos puntualizar la importancia de la correcta elección del coeficiente de probabilidad estadística " t " y del error permisible para la determinación de la densidad óptima de las redes de exploración.

Los objetos geológicos son sistemas naturales mal organizados, como resultado de los diversos procesos geológicos que le han dado origen; por ello no pueden describirse de manera exacta, ni sus parámetros se definen con una ley exacta.

En su lugar tenemos el modelo, que no es más que una idea generalizada de las particularidades del objeto geológico. Al trabajar con los métodos estadísticos, utilizamos "selecciones", que es el conjunto de datos de la exploración. Los valores medios obtenidos de los diferentes parámetros geológicos son estimados con un determinado error.

¿Con qué probabilidad puede garantizarse que el error medio realmente no sobrepase el valor calculado?

La probabilidad del hecho de que el promedio auténtico se encuentre entre los límites establecidos se expresa mediante el intervalo de aceptación del valor promedio λ

$$\lambda = \bar{x} \pm \frac{t \sigma_x}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

El valor de t se determina en dependencia de la probabilidad exigida en función de la ecuación de Laplace. La probabilidad de que el valor de una magnitud casual se aparte de la esperanza matemática no es más que la desviación estándar $\sigma t = 0,68$. Para aumentar la probabilidad de determinación del error, el valor de σ se toma mayor.

A continuación se da una tabla con los valores de los coeficientes probabilísticos para las principales probabilidades.

P	0,7	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
t	1,0	1,15	1,28	1,44	1,65	1,96

El error absoluto de la determinación δ_a , se expresa entonces como

$$\delta_a = \frac{t \sigma_x}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

Este error no caracteriza el error real del cálculo, sino el máximo para la probabilidad aceptada; por ello es más conveniente el cálculo del error relativo δ :

$$\delta = \frac{\delta_a}{\bar{x}} \cdot 100 \quad ; \quad \delta = \frac{t \sigma_x}{\bar{x} \sqrt{n}} \quad (3, 4)$$

A partir de esta fórmula es que se calcula el número de observaciones necesarias para el cálculo del valor medio con una exactitud dada y la probabilidad exigida

$$n = \left(\frac{t \sigma_x}{\delta \bar{x}} \right)^2 \quad (5)$$

Veamos otra vía en el análisis del problema abordado. Una de las más completas características de los procesos casuales estacionarios puede obtenerse mediante el coeficiente de autocorrelación, el cual tiene la forma:

$$\tau_\tau = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n-\tau} x_i \cdot x_{i+\tau} (n-\tau) \right] - \bar{x}^2}{\sigma^2} \quad (6)$$

donde, τ , magnitud del intervalo o paso, \bar{x} y σ valores de la media y estándar de la magnitud analizada.

La exactitud de la determinación de este parámetro puede calcularse mediante la fórmula

$$\delta_x = \frac{1 - \tau_\tau^2}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

a partir del cual tendremos que si $\tau_\tau \geq 2 \delta_x$, puede decirse que existe autocorrelación del parámetro analizado.

La existencia de la autocorrelación para una determinada red indica que los valores contiguos del parámetro analizado son variables dependientes, de forma tal que la red descubre todos los puntos de máximos y mínimos valores. En ese caso, se garantiza la confección univariante del plano de isolíneas. La inexistencia de la autocorrelación entre los parámetros contiguos del horizonte menífero indica que ambos son variables independientes, y que dicha red no garantiza la localización de todos los puntos críticos de dicho horizonte. Bajo estas condiciones no se puede garantizar la confección de un plano de isolíneas univariante.

Veamos una experiencia práctica para la elección del coeficiente probabilístico t . Se tomaron dos bloques del yacimiento "Martí", en Nicaro, para analizar el parámetro de mayor variabilidad, la potencia del horizonte menífero.

En ambos bloques se aplicaron los métodos estadístico y de autocorrelación, para las redes experimentales de 12,5 x 12,5 m; 25 x 25; 17,5 x 17,5; 35 x 35 y 50 x 50 m,

utilizando diferentes variantes de esas redes. Los resultados se expresan en las tablas adjuntas.

De la tabla se observa que para el bloque P-16 no existe la autocorrelación en la red de base de 25 x 25, mientras que en las redes de 17,5 x 17,5 y en la de 12,5 x 12,5 sí se manifiesta. En las redes mayores que la de 25 x 25 no se observa la autocorrelación. Esto nos indica que el radio de autocorrelación es para este bloque de ≈ 20 m.

Para el bloque N-17 la autocorrelación se manifiesta perfectamente hasta la red de 25 x 25 y para las mayores no se observa; por lo que podemos concluir que el radio de autocorrelación es del orden de los 30 m.

Por el método estadístico notamos que ambos bloques según el grado de variabilidad pueden considerarse como irregulares, tomando en consideración este índice de variabilidad V. Para la red de 25 x 25 calcularemos la densidad de la red necesaria para explorar estos bloques utilizando la ecuación (5). En esta ecuación tomaremos como máximo error admisible de la potencia del horizonte menífero un 10 %, pues este valor corresponde a las reservas de categoría más alta, y corresponde al error admitido por el proceso industrial.

Para este cálculo tomaremos los valores de $t = 1$, lo que indica una probabilidad de 0,68, y $t = 2$ para una probabilidad de 0,95.

Bloque N-17

Para $t : 1$

$$n = \left(\frac{59,6 \times 1}{10} \right)^2 \approx 36$$

para $t : 2$

$$n = \left(\frac{59,6 \times 2}{10} \right)^2 \approx 144$$

Si conocemos que el área del bloque es de 50 625 m², las distancias entre perforaciones ubicadas según la red cuadrada será

para $t : 1$

$$l = \sqrt{\frac{50\ 625}{36}} = 37,5 \text{ m}$$

para $t : 2$

$$l = \sqrt{\frac{50\ 625}{144}} \approx 19 \text{ m}$$

Bloque P-16

para $t : 1$

$$n = \left(\frac{45,7 \times 1}{10} \right)^2 \approx 21$$

para $t : 2$

$$n = \left(\frac{45,7 \times 2}{10} \right)^2 \approx 84$$

El área de este bloque es de 37 425 m²; luego la distancia entre los pozos ha de ser

para $t : 1$

$$l = \sqrt{\frac{37\ 425}{21}} \approx 42 \text{ m}$$

para $t : 2$

$$l = \sqrt{\frac{37\ 425}{84}} \approx 21 \text{ m}$$

Como podemos observar, para valores de $t = 1$ la distancia entre pozos es mayor que la distancia de la red actual, pero ¿es conveniente utilizar esta red?

Para contestar esta pregunta sólo tenemos que observar los resultados del método anterior.

El radio de autocorrelación para el bloque p-16 es de 20 m y para el N-17 es de 30 m; si colocamos los puntos de observación a 37,5 y a 42 m tomando el valor de $t = 1$, los

valores contiguos de la potencia del horizonte menífero son variables aleatorias independientes.

Esto quiere decir que el valor del coeficiente de probabilidad que debemos elegir es $t = 2$.

Queremos aclarar, por último, que los métodos matemáticos aquí expuestos no permiten aún un cálculo de la densidad óptima de la red de exploración, ya que para ello se hace

TABLA 1. Resultados del cálculo del coeficiente de autocorrelación (ζ_a), coeficientes de variación (V y V_0), del índice de irregularidad (II) y error de la evaluación de la potencia media del cuerpo mineral (δ y Δ) para las redes de diferente densidad. Yacimiento "Martí", grupo IV, bloque B-17.

Densidad de la red, m	Variante	Número de pozos (N)	Número de parejas de pozos (n)	Potencia media del cuerpo, m	Coeficiente de autocorrelación, ζ_a	Error del coeficiente de autocorrelación $m\zeta$	$\zeta_a \sqrt{n-1}$	Coeficiente de variación total (V), %	Coeficiente de variación casual (V_0), %	Error relativo, % (δ)	Índice de irregularidad (II)	Error relativo, % (Δ)
12,5	-	361	342	7,93	0,65	0,03	11,9	46,0	37,1	2,0	2,9	1,1
12,5	-		342		0,53	0,04	9,8					
17,5	-	181	161*	7,91	0,46	0,06	5,8	54,3	49,2	3,7	2,9	2,1
17,5	-		161*		0,38	0,07	4,8					
25,0	-	100	90	7,93	0,33	0,09	3,1	62,7	59,6	6,0	2,9	3,8
25,0	-		90		0,29	0,10	2,8					
35,0	1	50	40*	7,90	0,13	0,18	0,8	58,1	58,1	8,3	2,5	6,1
35,0	2	50	40*	7,88	0,19	0,15	1,2	67,7	67,7	9,6	2,9	7,8
			40*		0,27	0,15	1,7					
	1	25	20	7,94	0,06	0,22	0,3	64,2	64,2	12,9	2,2	10,0
			20		0,05	0,23	0,2					
	2	25	20	8,18	0,09	0,22	0,4	51,0	51,0	10,2	2,5	12,5
			20		0,07	0,22	0,3					
50,0	3	25	20	8,38	0,13	0,22	0,6	69,8	69,8	14,0	2,5	12,5
50,0			20		0,11	0,22	0,5					
	4	25	20	7,46	0,15	0,21	0,7	61,8	61,8	12,4	3,1	17,5
			20		0,12	0,22	0,5					

Arriba: Dirección norte-sur, o NO-SE con el signo *.
Abajo: Dirección oeste-este, o SO-NE con el signo *.

necesaria la utilización de un conjunto de métodos geólogo-matemáticos para analizar el parámetro geólogo-industrial de mayor variabilidad, la comparación de sus resultados y la elección del valor óptimo del índice de variabilidad. La valoración científica de este conjunto de métodos adecuados para el análisis de esta tarea será objeto de próximas publicaciones.

TABLA 2. Resultados del cálculo del coeficiente de autocorrelación (ζ_a), coeficientes de variación (V y V_0), del índice de irregularidad (II) y del error de la evaluación de la potencia media del cuerpo mineral (δ y Δ) para las redes de diferente densidad. Yacimiento "Martí", Grupo V, bloque B-16.

Densidad de la red, m	Variante	Número de pozos (N)	Número de parejas de pozos (n)	Potencia media del cuerpo, m	Coeficiente de autocorrelación, ζ_a	Error del coeficiente de autocorrelación $m\zeta$	$\zeta_a \sqrt{n-1}$	Coeficiente de variación (V), %	Coeficiente de variación casual (V_0), %	Error relativo, % (δ)	Índice de irregularidad (II)	Error relativo, % (Δ)
2,5	-	285	271	2,0	0,77	0,02	12,6	37,0	25,1	1,5	2,6	1,1
12,5	-		268		0,69	0,03	11,3					
17,5	-	143	127*	2,0	0,38	0,08	4,3	41,1	36,9	2,9	2,5	2,1
17,5	-		126*		0,50	0,07	5,5					
25,0	-	80	72	1,9	0,25	0,12	2,1	45,7	45,7	5,2	2,6	4,1
25,0	-		70		0,09	0,12	0,8					
			30*		0,03	0,18	0,2					
35,0	1	40	31*	1,89	0,27	0,17	1,5	46,0	46,0	7,3	2,0	5,1
35,0	2	40	31*	1,86	0,06	0,19	0,2	45,7	45,7	7,2	2,6	8,2
			22*		0,35	0,17	1,5					
	1	20	16	1,84	0,12	0,25	0,5	49,0	49,0	10,8	2,0	10,5
			15		0,48	0,20	1,8					
	2	20	16	2,12	0,22	0,24	0,9	48,6	48,6	10,9	1,9	9,5
50,0			15		0,09	0,26	0,3					
50,0	3	20	16	1,82	0,18	0,24	0,7	55,0	55,0	12,3	2,7	17,9
			15		0,27	0,24	1,0					
	4	20	16	1,88	0,09	0,25	0,4	36,5	36,5	8,2	1,9	9,5
			15		0,15	0,25	0,6					

Arriba: Dirección Norte-Sur, o NO-SE con el signo *.
Abajo: Dirección Oeste-Este, o SO-NE con el signo *.

CDU 551.242:551.4(729.16)

1. La elección incorrecta del coeficiente de probabilidad "t" puede traer consigo una red de exploración insuficiente, lo que significaría un estudio geológico incompleto, y a la larga un aumento de los costos de producción de las plantas metalúrgicas procesadoras.
2. En la actualidad no está definida la probabilidad con la que han de calcularse los distintos parámetros. Por ello es que debe ser utilizada la vía experimental que se propone en el presente trabajo. No obstante es de recalcar el hecho de que la industria es la que debe establecer esta probabilidad de confianza, y a partir de allí elegir el coeficiente de probabilidad "t".

REFERENCIAS

1. POGREVITSKY, E. O.: Búsqueda y exploración de yacimientos minerales útiles. Ed. Nedra, Moscú, 1968.
2. NAZAROV, I. V.: Metodología de las investigaciones geológicas. Ed. Ciencia, Novosibirsk, 1982.

REGIONALIZACION INGENIERO-GEOLOGICA
DE LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CUBA

RESUMEN

En este artículo se hace un análisis del Plan Director de la ciudad de Santiago de Cuba, explicándose la metodología utilizada en la confección del esquema de regionalización ingeniero-geológica y se realiza un estudio de cada región, así como se ofrecen las conclusiones para el desarrollo de la ciudad.

Este trabajo forma parte del tema "Esquema ingeniero-geológico de la ciudad de Santiago de Cuba", el cual el autor prepara para defender próximamente en el Instituto de Minas de Leningrado, en opción por el grado de Candidato a Doctor.