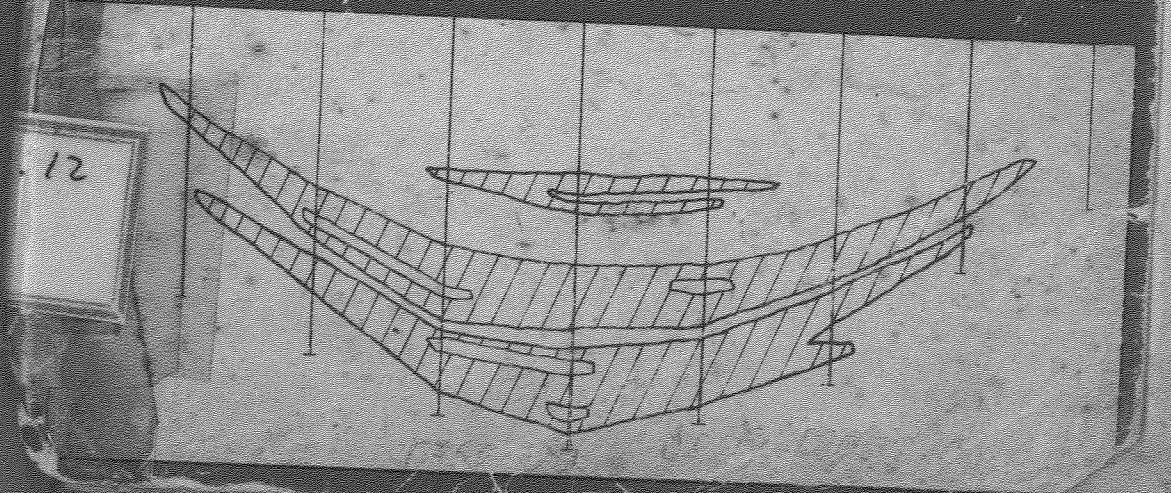
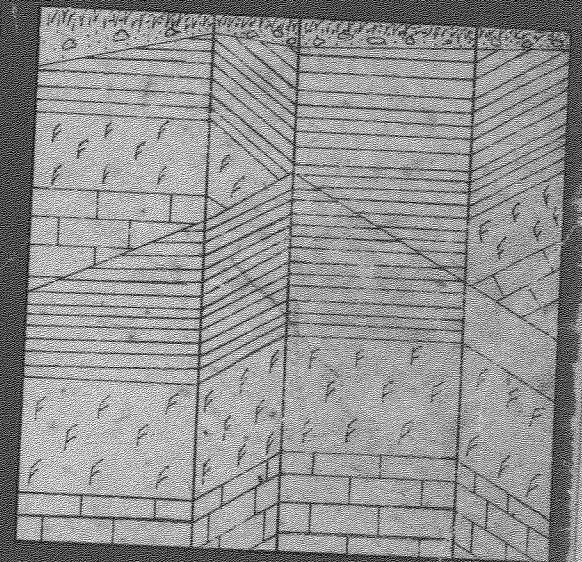
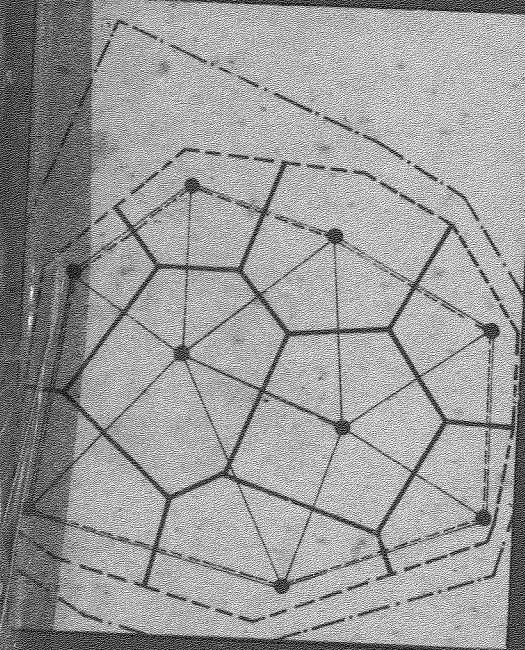


# BÚSQUEDA, EXPLORACIÓN Y EVALUACIÓN GEÓLOGO-ECONÓMICA DE YACIMIENTOS MINERALES SÓLIDOS

Segunda Parte

Oleg Vladimirovich Lepin  
José D. Ariosa Iznaga





# **BÚSQUEDA, EXPLORACIÓN Y EVALUACIÓN GEÓLOGO-ECONÓMICA DE YACIMIENTOS MINERALES SÓLIDOS**

**Segunda Parte**

**C. Dr. Oleg Vladimirovich Lepin  
Lic. José D. Ariosa Iznaga**



**Editorial  
Pueblo y Educación**



Este libro,  
en tus manos de estudiante,  
es instrumento de trabajo  
para construir tu educación.  
Cuidalo.

Edición: Ing. Margarita Gordillo Ascanio  
Diseño: Sonia Acosta Milián  
Lizabeth Álvarez de la Torre.  
Ilustración: Lic. José Daniel Ariosa Iznaga

© Oleg Vladimirovich Lepin y  
José Daniel Ariosa Iznaga, 1986  
© Editorial Pueblo y Educación, 1986

EDITORIAL PUEBLO Y EDUCACIÓN  
Calle 3ra. A No. 4605, entre 46 y 60,  
Playa, Ciudad de La Habana

SNLC. CU01.37692.6

## PRÓLOGO

Presentamos a los estudiantes del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, a ingenieros geólogos, geofísicos, de minas, economistas de la rama geológica y a todos aquellos que se interesan en la prospección geológica, el segundo tomo y final del texto *Búsqueda, exploración y evaluación geólogo-económica de los yacimientos minerales sólidos*.

Como en esta parte se tratan los estadios finales de los trabajos de prospección, se le ha prestado una atención singular a los aspectos económicos y a la evaluación geólogo-económica de esta actividad, de decisiva importancia, puesto que de ella depende, en buena medida, el abastecimiento de materias primas minerales para la economía nacional o para crear fondos exportables.

Con este texto concluye la labor que nos propusimos de garantizar, en primera instancia, el libro necesario para los estudiantes de la Facultad de Geología del ISMM de Moa. En su organización y redacción técnica se han seguido rigurosamente los principios utilizados en el primer tomo.

Queremos dejar constancia renovada de nuestro agradecimiento a todos los compañeros que han contribuido a la realización de esta obra: a los docentes del Departamento de Geología Aplicada de la Facultad de Geología, al Departamento de Textos, ambos del ISMM de Moa y a la Editorial Pueblo y Educación del Ministerio de Cultura.

*Los autores*



## CAPÍTULO 5

# Exploración de los yacimientos minerales útiles

En la primera parte se comprobó que la tarea principal de la exploración geológica es el estudio cuantitativo de todos los parámetros geólogo-industriales del yacimiento, con el fin de asegurar la confección correcta del proyecto de la empresa minera y garantizar su funcionamiento normal. Los análisis correspondientes deben realizarse continuamente hasta que termine la explotación del yacimiento. Además, al finalizar la exploración detallada del yacimiento, termina el estudio geológico propiamente dicho y el objeto pasa a la industria. Por esos motivos resulta lógico estudiar los dos primeros estadios de la exploración en un capítulo independiente.

Los principios y métodos fundamentales de la exploración y su base teórica ya fueron tratados en la primera parte. A manera de recordatorio, se formulan a continuación los procedimientos concretos que se aplican para resolver las tareas de la exploración:

- Realización de un sistema de observaciones de los cuerpos minerales en diversos puntos por medio de la localización del mineral útil; se debe atravesar toda la potencia de dichos cuerpos.
- Determinación de los valores concretos de cada parámetro geólogo-industrial del yacimiento en todos los puntos de observación.
- Estudio de la variabilidad de dichos parámetros y pronóstico de sus valores probables en el espacio entre los puntos de observación.
- Contorneo de los cuerpos minerales independientes y de todo el yacimiento, tanto en el plano como en la profundidad.
- Elaboración del modelo geológico pronóstico del objeto que se va a estudiar.
- Determinación de las reservas de mineral útil, evaluación de su valor para la economía nacional y grado de estudio.

Para resolver las tareas generales y particulares de la exploración se utilizan diferentes medios técnicos, y se realizan las siguientes observaciones y trabajos auxiliares: excavaciones mineras y pozos de perforación; documentación geológica de las observaciones realizadas, muestreo del mineral útil y sus rocas encajantes; trabajos topógrafo-geodésicos y de topografía minera, levantamiento geológico

co superficial y subterráneo; trabajos geofísicos y geoquímicos, tanto en la superficie como en los pozos de perforación y las excavaciones mineras; generalización matemática de la información obtenida; etc. Los volúmenes de dichos trabajos son muy importantes, sobre todo en los casos de yacimientos grandes en que los gastos totales de la exploración pueden alcanzar millones de pesos y los plazos necesarios para terminar el estudio del objeto a veces sobrepasan 5 años.

Al seleccionar la combinación más racional de tipos de trabajos concretos, se debe respetar el principio de la economía máxima de los gastos materiales, la mano de obra y el tiempo. Puesto que los gastos principales se relacionan con la perforación de los pozos y la ejecución de los laboreos mineros, la argumentación correcta de los volúmenes necesarios de esos trabajos y la ubicación espacial de los laboreos de prospección (lo que se denominará con posterioridad *argumentación del sistema de trabajos de exploración*) representan una tarea de suma importancia y necesitan un estudio suficientemente profundo.

Además, se sabe que la exploración orientativa y la detallada tienen objetivos principales diferentes, lo que hace específica la solución de sus tareas particulares y la ejecución de uno u otro trabajo concreto. Por eso, en este capítulo se prestará la atención necesaria a las particularidades esenciales de cada estadio de la exploración.

### 5.1 Sistemas de los trabajos de exploración

Es indudable que el concepto sistema de trabajos de exploración debería abarcar, estrictamente, todos los tipos de trabajos que se realizan para resolver las tareas de la exploración. Sin embargo, los volúmenes y objetivos de esos trabajos, así como los procedimientos de ejecución concretos, son muy diferentes. En primer término, algunos trabajos (hidrogeológicos, de ingeniería geológica, de carotaje; estudio del régimen térmico-gasífero del yacimiento; diversos levantamientos geológicos; muestreo del mineral útil) en su gran mayoría, no se pueden realizar sin la perforación de los pozos o ejecución de las excavaciones mineras, o sea, se consideran secundarios comparados con el sistema de cruceros de prospección para el estudio del mineral útil y sus rocas encajantes. En segundo lugar, la parte de los trabajos y ensayos mencionados no se organiza para todo el volumen del yacimiento de manera regular, sino en puntos separados que se seleccionan a partir de razonamientos y deducciones especiales. Por último, los gastos para realizar dichos trabajos son inferiores a los que se necesitan para perforar los pozos y ejecutar los laboreos mineros. Por lo tanto, con la finalidad de hacer más sencillo el estudio posterior, el concepto *sistema de los trabajos de exploración* (o más sencillamente sistema de exploración) comprende: el tipo, la profundidad, la ubicación espacial recíproca, el orden de ejecución y el número de laboreos de prospección necesarios, para resolver las tareas de la exploración de manera segura y confiable. De acuerdo con esto, en cada sistema de exploración se pueden distinguir los siguientes elementos principales:

- a) tipo, carácter y profundidad de los laboreos de prospección;
- b) ubicación espacial recíproca de dichos laboreos (configuración de la red de exploración) y su orden de ejecución;
- c) densidad de la red de exploración, que refleja la cantidad relativa de los laboreos de prospección utilizados.



Todos esos elementos se relacionan mutuamente y su combinación racional, es decir, el sistema óptimo de los trabajos de exploración, se debe escoger teniendo en cuenta su influencia recíproca y otros factores importantes tales como situación geográfica y condiciones minero-geológicas del yacimiento. Este problema se tratará con más detalle posteriormente; a continuación, se pasará revista a cada elemento del sistema de exploración por separado.

## Tipo, carácter y profundidad de los laboreos de prospección

Actualmente, en la URSS y en Cuba, para perforar los pozos se consume de 60 a 80% de los gastos totales durante la exploración de los yacimientos minerales útiles, lo que demuestra claramente la importancia primordial de este tipo de laboreo de prospección; esto es bien comprensible, porque en la mayoría de los casos la perforación de pozos garantiza la obtención de datos lo suficientemente completos y representativos de todos los parámetros geólogo-industriales del objeto, permite realizar la exploración para cualquier profundidad a la que se juzgan los cuerpos minerales y las condiciones minero técnicas del yacimiento. Además, estos trabajos son de 3 a 4 veces más baratos que los mineros, se realizan en plazos más cortos, ofrecen menos dificultades en cuanto a su organización, necesitan menos mano de obra y de menor calificación, y se caracterizan por el consumo reducido de energía.

La perforación mecánica a columna es el tipo de perforación más corriente durante la exploración geológica y se ejecuta tanto desde la superficie como en las excavaciones mineras. Su principal ventaja es la posibilidad de extraer del pozo y estudiar directamente las rocas y minerales útiles ocultos en el subsuelo a gran profundidad y a veces hasta sin deteriorar sus particularidades estructuro-texturales y condiciones de yacencia. Con menos frecuencia se aplican la perforación de percusión con recuperación del testigo (por vía hidráulica o neumática), la perforación rotaria sin recuperación del testigo y la de percusión a cable. En la actualidad, la perforación de pozos a mano no se encuentra en la práctica de los trabajos de exploración.

A pesar de sus ventajas considerables, los pozos de perforación también tienen importantes insuficiencias. Primeramente, la trayectoria real del pozo se desvía de la proyectada cuando la profundidad de perforación es grande, y hace difícil determinar su posición espacial con suficiente exactitud para obtener la intersección del cuerpo mineral en el punto previsto por el proyecto. Esto implica errores en la determinación de la morfología y las condiciones de yacencia del depósito mineral, y la red de observaciones en el plano de este resulta irregular y difiere mucho de la necesaria.

En segundo lugar, los pozos de perforación, incluso los ejecutados con la recuperación de testigo, dan resultados inferiores comparados con las excavaciones mineras en cuanto a la plenitud y autenticidad de la información obtenida, ya que representan aberturas extremadamente estrechas en la corteza terrestre y son inaccesibles a las observaciones y mediciones directas. Este defecto se manifiesta siempre, pero de manera más palpable en los casos de utilización del sistema PTII (sistema con tubos portatestigos interiores intercambiables) que, en los últimos años, se aplica cada vez más en la práctica de los trabajos de exploración y presenta un testigo de diámetro muy reducido. Además, la perforación rotaria

con la recuperación de testigo se acompaña con frecuencia del desgaste selectivo de este último o de pérdidas considerables, lo que desvirtúa la idea acerca de las potencias de las capas perforadas y la calidad del mineral útil.

Como la obtención del testigo orientado en el espacio es difícil y se utiliza muy raramente, los datos sobre las condiciones de buzamiento de las rocas, menas y diferentes elementos estructurales (fallas, grietas y otros) tienen un carácter indirecto e impreciso.

En tercer lugar, al perforar los pozos, incluso los de gran diámetro, es casi imposible extraer cristales intactos de minerales útiles cuya calidad depende de sus propiedades físicas (mica, materia prima piezoóptica) y por consiguiente no se pueden asegurar resultados auténticos en la exploración.

Por último, la perforación es inútil para tomar las muestras tecnológicas destinadas al estudio en condiciones de plantas piloto, ya que, en este caso se necesitan cientos o miles de toneladas de mineral útil.

Por los defectos mencionados de los pozos de perforación, las excavaciones mineras, aunque sean más costosas, lentas y complejas, desde el punto de vista de su organización, no solo se aplican ampliamente en los trabajos de exploración, sino que a veces sirven de medio técnico principal para resolver dichas tareas.

Los tipos principales de excavaciones mineras son: zanjas, trincheras, canteiras de exploración, pozos criollos, socavones, pozos de mina, cortavetas, galerías, recortes y contrapozos. Últimamente, la mayoría de las excavaciones mineras de exploración se ejecuta mediante los trabajos de voladura y diferentes mecanismos para arrancar, cargar y transportar las rocas y menas. No obstante, la realización de dichas excavaciones es de 2 a 3 veces más lenta que en la industria minera a causa de la calificación insuficiente de los trabajadores, la mala organización de los trabajos, la utilización de equipamiento menos potente y la necesidad de realizar un volumen de trabajos auxiliares (documentación geológica, muestreo, trabajos geofísicos y otros).

Sin embargo, dichas desventajas se compensan en gran medida con:

- a) la observación de las rocas y menas directamente en su yacencia propia;
- b) la ejecución de las mediciones necesarias prácticamente con cualquier precisión;
- c) la organización de todos los tipos de muestreo de acuerdo con cualquier nivel de estudio del subsuelo y aplicación del mejor procedimiento para tomar las muestras;
- d) la obtención de datos más complejos y auténticos sobre las condiciones minero-técnicas e hidrogeológicas del yacimiento;
- e) la variación de la dirección de la excavación minera en dependencia de los cambios de las condiciones de buzamiento del cuerpo mineral.

Además, los laboreos mineros de prospección algunas veces se pueden utilizar en la explotación posterior del yacimiento y la materia prima valiosa extraída durante su ejecución (oro, diamante, metales raros, moscovita, minerales piezoópticos y otros) se puede utilizar en la economía nacional, con la ganancia correspondiente. En esos casos, los gastos reales para ejecutar los trabajos mineros de exploración disminuyen y la eficiencia se incrementa.

Lamentablemente, las condiciones minero-técnicas difíciles (rocas inestables y friables, terrenos movedizos, afluencias importantes de las aguas subterráneas y



otras) y las limitadas posibilidades técnicas de las brigadas geológicas provocan con mucha frecuencia el uso insuficiente de las excavaciones mineras o la ausencia de estas, aun cuando las condiciones geológicas del yacimiento requieren su aplicación. Un caso semejante es la ejecución poco mecanizada de las excavaciones mineras ligeras (trincheras, pozos criollos) al ser deficitaria la mano de obra, porque en dichas condiciones, como norma, se prescinde de su aplicación. Esto tiene como consecuencia el estudio incompleto y poco confiable de la zona de oxidación del yacimiento, las potencias y las condiciones de yacencia de los cuerpos minerales cerca de la superficie, así como la poca seguridad y autenticidad de los datos de exploración sobre la morfología de las acumulaciones minerales, la calidad del mineral útil y las condiciones minerotécnicas de explotación del yacimiento. Con mucha frecuencia las reservas calculadas tienen un grado de estudio insuficiente, son de categorías inferiores y deben reanudarse los trabajos de exploración con la prolongación correspondiente de los plazos necesarios para confeccionar el proyecto de la empresa minera y poner esta en funcionamiento. Más aún, la economía en el dominio de los trabajos mineros de exploración puede provocar dificultades muy grandes durante el funcionamiento de las plantas de beneficio y el uso incompleto e irracional del subsuelo.

En dependencia del tipo de laboreo que se utiliza, los sistemas de exploración pueden ser: de perforación, mineros y combinados.

La subdivisión posterior de esos sistemas, de acuerdo con el carácter concreto de los laboreos (pozos de perforación con recuperación del testigo o los de percusión a cable; pozos de perforación verticales o inclinados; socavones, cortavetas y trincheras; pozos criollos y pozos de mina, etc.) o su profundidad, es extremadamente complicada, insensata e inútil, aunque se da en ciertos manuales.

Detallar más la clasificación la hace poco cómoda para su aplicación práctica y las condiciones necesarias de utilización racional de cada variante del sistema quedan mal expresadas. Por lo tanto, es mejor estudiar los factores que influyen en la opción de los tipos concretos de laboreos de prospección y sus combinaciones óptimas con respecto a las particularidades del objeto geológico. Esos factores se dividen en tres grupos; geográficos, geológicos y minero-técnicos.

Entre los factores geográficos la mayor importancia la tienen el relieve, las condiciones del transporte de la región que se va a estudiar y su clima.

Cuando el relieve de la región es poco accidentado (llanuras, altiplanicies, etc.) deben preferirse los sistemas de perforación para realizar la exploración del yacimiento, ya que en este caso se utilizan con gran resultado las instalaciones de perforación móviles o automotrices, mientras que la aplicación de excavaciones mineras es imposible sin ejecutar pozos de mina, que son los laboreos más complejos y costosos. Por otra parte, el relieve montañoso y accidentado complica mucho la selección de los lugares convenientes para ubicar las instalaciones de perforación y el traslado de estas de un punto a otro. Además, en este caso el volumen de la perforación se incrementa considerablemente al aumentar la profundidad de la exploración. Por eso, la utilización de los socavones resulta más eficiente, tanto en el sentido económico como de organización, que la perforación de los pozos.

Las buenas condiciones de transporte en la región, permiten aplicar con facilidad todos los tipos de laboreos de prospección, mientras que la ausencia de vías de comunicación o su mal estado son poco favorables para organizar los trabajos mineros, los cuales necesitan un equipamiento más pesado y voluminoso, así como una cantidad mayor de materiales y mano de obra.

El clima de la región influye sobre la organización y ejecución de los trabajos, tanto mineros como de perforación. Pero, en sentido general, se puede decir que en las regiones septentrionales con clima muy frío, se deben preferir los sistemas mineros para la protección del equipamiento y los trabajadores, en las condiciones subterráneas más favorables y estables. En las regiones áridas la perforación es difícil por la falta de agua para lavar el pozo y los trabajos mineros resultan a veces más racionales.

Los factores geológicos desempeñan un papel preponderante al escoger el tipo de laboreo de prospección. Estos determinan la variabilidad (la complejidad) del yacimiento y las condiciones de yacencia de los cuerpos minerales. La variabilidad del yacimiento es el resultado de la manifestación conjunta de la variabilidad de sus diferentes parámetros geólogo-industriales. Como la variabilidad puede ser diferente para cada parámetro, el tipo de laboreo de prospección se selecciona de acuerdo con el parámetro más complejo, ya que en este caso los índices menos variables se estudiarán aún con más confianza.

Las recomendaciones generales, en cuanto a la selección del tipo de laboreo de prospección en función de la variabilidad del yacimiento, son las siguientes:

1. Los yacimientos muy regulares y regulares (minerales útiles sedimentarios, la mayor parte de los magmáticos, los metamorfogénicos de hierro, los estratiformes) se exploran exclusivamente por medio de la perforación.
2. Los yacimientos irregulares (por ejemplo, los hidrotermales y *skarn* de la mayoría de los metales no ferrosos) son objetos para la aplicación de los sistemas combinados con un predominio bien marcado de los trabajos de perforación.
3. Para explorar los yacimientos muy irregulares (hidrotermales y pegmatíticos de estaño, wolframio, molibdeno, parcialmente de oro o moscovita), es preciso aplicar los sistemas combinados, fundamentalmente los trabajos mineros.
4. Los yacimientos extremadamente irregulares (hidrotermales y pegmatíticos de materia prima piezoóptica, piedras preciosas, parcialmente oro, moscovita y metales raros) deben estudiarse mediante los sistemas mineros o los combinados, donde predominan las excavaciones mineras.

Es conveniente señalar que hoy día el sistema de exploración puramente minero se aplica muy raras veces y se reemplaza con éxito por el combinado, aun cuando los objetos de estudio sean complejos en grado sumo.

Las condiciones de yacencia de los cuerpos minerales no solo pueden influir sobre la opción del tipo principal de laboreo de prospección, sino que determinan en gran medida su aspecto concreto, orientación y profundidad. Así, al ser profunda la yacencia de los cuerpos minerales irregulares (algunas veces hasta extremadamente irregulares), los sistemas de perforación sustituyen a los mineros. Por otra parte, si el mineral útil aflora en la superficie, los horizontes superiores del yacimiento se exploran generalmente por medio de las excavaciones mineras, no obstante el carácter muy regular del objeto. Los cuerpos minerales horizontales y con buzamiento suave se exploran con pozos de perforación de cualquier tipo y con mucha menos frecuencia mediante un sistema combinado de trabajos de perforación y pozos criollos; para los cuerpos inclinados y abruptos, la combinación de los pozos de perforación inclinados y laboreos mineros de diferentes tipos, es la más recomendable, desde las zanjás y trincheras hasta los pozos criollos con recortes o pozos de mina con todo el sistema de cortavetas, galerías, recortes, contrapozos, etcétera.



En cuanto a los factores minero-técnicos, hay que tener en cuenta sobre todo la dureza y estabilidad del mineral útil y sus rocas encajantes, lo importantes que son las afluencias probables de agua en las excavaciones mineras y los sistemas de explotación posibles.

De acuerdo con la dureza y estabilidad del mineral útil y las rocas, se determina el tipo de perforación, el diámetro del pozo perforado, el tipo de corona o trépano, la construcción del pozo de perforación, el carácter de la excavación minera y su sección transversal, la forma de ejecución de los trabajos mineros y a veces los lugares donde se ubican dichas excavaciones (en el mismo cuerpo mineral, en las rocas encajantes según el contacto con el cuerpo mineral, etc.). Además, como se señaló anteriormente, la inestabilidad de las rocas encajantes y las afluencias considerables de agua pueden constituir factores desfavorables para la aplicación de los laboreos mineros en la exploración del yacimiento.

Los posibles sistemas para preparar la explotación del objeto y organizar la extracción corriente del mineral útil, se deben tener en cuenta obligatoriamente al escoger los medios técnicos de exploración. Por ejemplo, si se supone la explotación a cielo abierto o la aplicación de los métodos de extracción geotecnológicos (disolución, fundición o gasificación subterráneos), el sistema de perforación resulta más racional para explorar el objeto. A veces se complementa con excavaciones mineras ligeras de tipo superficial (trincheras, zanjas, pozos criollos de poca profundidad, canteras de explotación), pero nunca son recomendables los laboreos subterráneos importantes (socavones, cortavetas, galerías y otros), ya que ellos no se utilizan para la explotación posterior y provocan dificultades técnicas considerables durante el funcionamiento de la cantera o el sector tecnológico subterráneo. Por el contrario, al planificar la explotación subterránea del yacimiento, el papel de las excavaciones mineras durante la exploración es más importante, ya que los gastos para su ejecución forman parte del costo de producción del producto de la empresa minera futura (lo que disminuye los gastos totales de la exploración) y la existencia de tales excavaciones acelera su puesta en explotación. En este caso, las dimensiones de los laboreos mineros de exploración y su equipamiento, así como su ubicación espacial, deben escogerse de manera que se puedan utilizar durante la explotación posterior.

### Configuración de la red de exploración y orden de ejecución de los laboreos de prospección

En dependencia de la ubicación espacial de los cruceros de prospección, se pueden distinguir dos grupos de sistemas de exploración:

- ubicación de los cruceros de prospección según una red geométrica regular;
- ubicación según líneas (perfiles) orientadas en ciertas direcciones.

En el primer grupo se conocen, de acuerdo con la configuración de su cuadrícula, las redes cuadrada, rectangular y rómbica. La red cuadrada corresponde mejor al principio de la autenticidad equivalente de los resultados obtenidos al ser homogéneo el objeto en el plano de esta red. Estos casos se observan durante la exploración de los cuerpos isométricos o de forma análoga (estratos, cuerpos lenticulares, depósitos en forma de manto, *stockworks*, etc.), cuya variabilidad de la potencia es más o menos uniforme en todas las direcciones. Debe notarse que para dichas redes la orientación de sus lados en el espacio no tiene ninguna importancia.

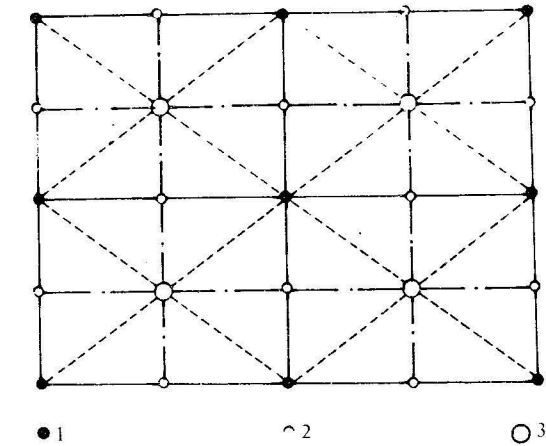


Fig. 5.1 Conversión de la red rectangular en rómbica y viceversa: 1- pozos de perforación de la red de exploración inicial; 2- pozos de perforación de la primera etapa de densificación de la red; 3- pozos de perforación de la segunda etapa de densificación de la red

Las redes rectangulares se aplican si la anisotropía del cuerpo mineral es bien evidente. En tal caso, el lado largo de la cuadrícula coincide con la dirección de la variabilidad mínima del parámetro geólogo-industrial más complejo y el corto con el de la variabilidad máxima; la proporción de ambos lados depende del grado de heterogeneidad del objeto. La configuración de la red debe garantizar el respeto del principio de la autenticidad equivalente.

En muchos manuales y libros de consulta se señala y sostiene que las redes rómbicas se utilizan cuando la anisotropía del objeto se manifiesta débilmente y por eso dichas redes ocupan un lugar intermedio entre las cuadradas y las rectangulares. Sin embargo, las redes rómbicas casi no se aplican de manera independiente en la práctica de los trabajos de exploración. Como regla, estas se crean al densificarse las redes rectangulares mediante la ejecución de los laboreos de prospección complementarios en los centros de las cuadrículas existentes (fig. 5.1). Con esta densificación las distancias entre los puntos de observación en ambas direcciones principales se conservan, pero se reduce en dos veces la distancia entre las secciones de exploración (perfiles) contiguas que se pueden confeccionar según esas direcciones. Los lados de la cuadrícula rómbica no se utilizan para crear el sistema de secciones de exploración, ya que esto desfigura mucho las condiciones de yacencia reales de los cuerpos minerales y falsea la idea sobre la anisotropía real del objeto.

La ubicación de los laboreos de prospección según el sistema de líneas (perfiles) se utiliza cuando la estructura tectónica del terreno es compleja o los cuerpos minerales son muy alargados en el plano (bandeados). En el primer caso, la distancia entre las líneas contiguas, las cuales se trazan transversalmente al rumbo de las estructuras geológicas principales, se determina de manera que se garantice la interpolación confiable de los datos obtenidos y la interpretación segura y sin ambigüedades de la estructura del yacimiento. En cuanto a la distancia entre los laboreos de prospección en dichas líneas, estas son variables, ya que esos laboreos se ubican con el propósito de obtener la información en los puntos

más importantes para el estudio de la estructura geológica (zonas de charnela de los pliegues, fallas, zonas de erosión del mineral útil, etc.) y un corte completo de toda la serie de capas entre tales puntos (fig. 5.2).

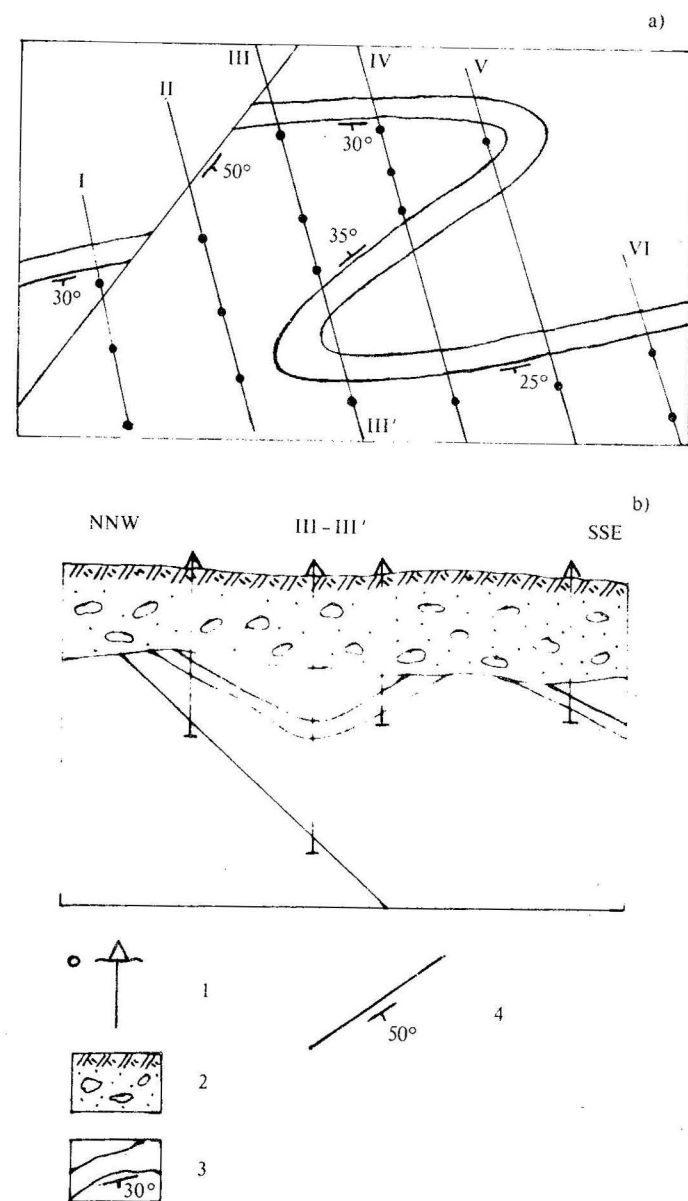


Fig. 5.2 Esquema de ubicación de los laboreos de exploración: a) por el sistema de líneas en el plano; b) por el sistema de líneas en el perfil; 1- perforaciones; 2- depósitos friables; 3- horizontes meníferos; 4- fallas

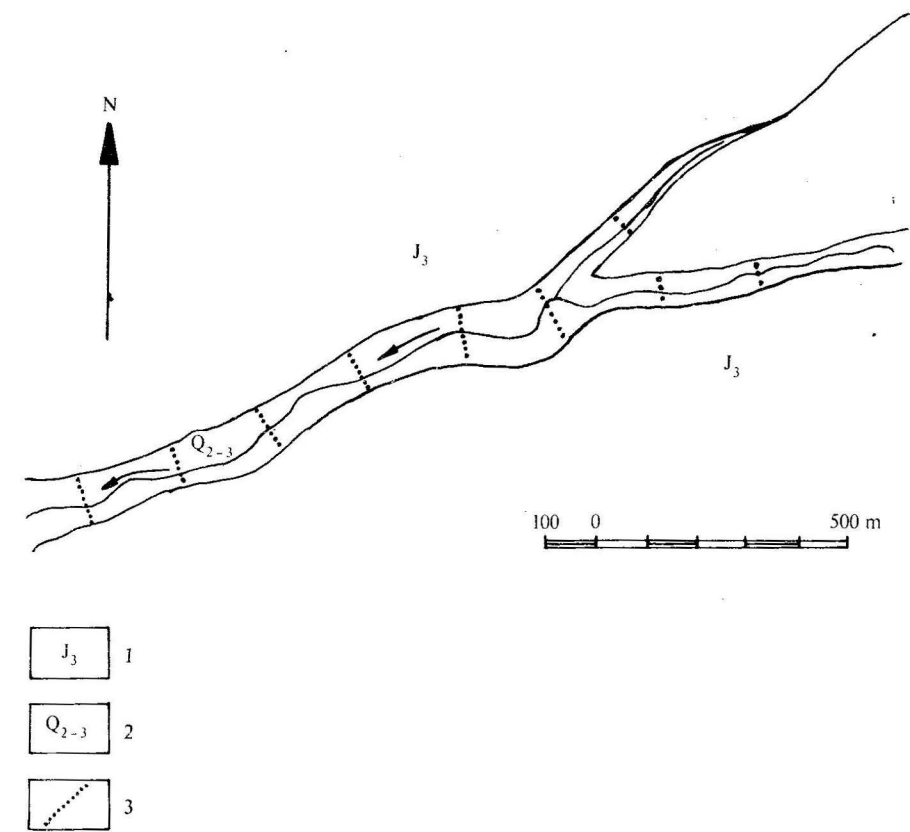


Fig. 5.3 Distribución de los laboreos de exploración por líneas durante la explotación de placeres: 1- argilitas y aleurolitas del Jurásico superior; 2- deposiciones cuaternarias friables; 3- perforaciones

Como lo demuestra la experiencia acumulada, los cuerpos minerales bandeados se caracterizan por un alto grado de anisotropía; la variabilidad de estos cuerpos según su extensión es varias veces menor que en dirección transversal. Por consiguiente, el principio de la autenticidad equivalente no se respeta si no se ubican los puntos de observación según una red rectangular con cuadrículas muy alargadas. Además, la extensión de dichos cuerpos nunca es rectilínea, por cuya razón la orientación de los perfiles tiene que variar y la red resulta irregular. Un ejemplo clásico de los objetos de este género son los placeres aluviales; durante su exploración los perfiles se ubican a cientos de metros uno de otro, mientras que los laboreos de prospección en los perfiles equidistan de 10 a 20 m (fig. 5.3).

Cualquiera que sea la ubicación espacial de los laboreos de prospección, su mejor orden de ejecución es el paralelo sucesivo, que permite explorar el objeto en plazos más cortos y con gastos mínimos. Su esencia es que para empezar los trabajos se realizan simultáneamente algunos laboreos (su número depende de las



posibilidades técnicas de la brigada geológica y de la mano de obra disponible) en los puntos que garantizan la obtención de la información máxima sobre el objeto y la probabilidad más alta de dar con el mineral útil (sectores centrales de los cuerpos minerales supuestos, zonas de charnela de los pliegues y otros). Una vez obtenidos los datos en esos puntos, se precisa la posición necesaria de los laboreos próximos, los cuales se ubican en las mismas líneas y permiten desarrollar el estudio del objeto hacia su periferia, zonas de fallas o charnelas; lo mismo se hace para ubicar y realizar los laboreos de tercer orden y los trabajos se continúan hasta obtener resultados negativos (ausencia del cuerpo mineral, por ejemplo) en los últimos puntos, o sea, hasta que se garantice el contorno seguro del cuerpo mineral en diferentes direcciones.

Tanto las redes geométricas regulares como los sistemas de perfiles, deben permitir la confección de las secciones de exploración según unas u otras direcciones, en dependencia de la orientación de los laboreos de prospección. Desde este punto de vista los sistemas de exploración se pueden agrupar como sigue:

- sistemas de secciones de exploración verticales (cortes geológicos);
- sistemas de secciones de exploración horizontales;
- sistemas de secciones tanto verticales como horizontales.

Los sistemas del primer grupo corresponden a la exploración de los yacimientos con ayuda de los pozos perforados a partir de la superficie, a los cuales a veces se les añaden trincheras, pozos criollos (incluso con recortes) o socavones trazados en la dirección del perfil de exploración. Esos sistemas son los más corrientes en la práctica de los trabajos de exploración.

Los sistemas de secciones horizontales se observan al aplicarse los laboreos de prospección horizontales, socavones, cortavetas, galerías, recortes y algunas veces trincheras o pozos de perforación ubicados en diferentes niveles hipsométricos (fig. 5.4). Aunque este grupo de sistemas de exploración se da en la mayoría de los manuales y libros de consulta [12, 16, 26, 29], su existencia parece artificial y poco argumentada, pues en su aspecto puro, es decir, sin laboreos de prospección verticales o inclinados, se encuentran muy raras veces y, además, hasta en esos casos los datos obtenidos permiten confeccionar las secciones de exploración, tanto horizontales (planos de los horizontes explorados) como verticales (perfiles geológicos transversales y longitudinales). Por este motivo, sería más conveniente unir dichos sistemas de exploración con los del tercer grupo.

Los sistemas de secciones verticales y horizontales son muy frecuentes en la exploración al aplicarse las combinaciones de los pozos de perforación y excavaciones mineras. Estos sistemas aseguran el mejor estudio de la morfología y las condiciones de yacencia de los cuerpos minerales.

Todo lo expuesto anteriormente, se refiere al sistema principal de ubicación espacial de los laboreos de prospección, el cual tiene que garantizar un estudio regular del cuerpo mineral en toda su superficie de extensión. Sin embargo, en el transcurso de la exploración se necesita un estudio más detallado y cuidadoso de ciertos sectores, zonas de fallas, ensanchamientos y estrechamientos bruscos del cuerpo mineral, zonas de erosión, acunamiento o afloramiento en la superficie, tanto actual como antigua, y sectores con condiciones hidrogeológicas y minero-técnicas específicas. En esos casos los laboreos de prospección se pueden ubicar fuera del sistema general de secciones de exploración y, realizarlos independientemente, o por grupos.

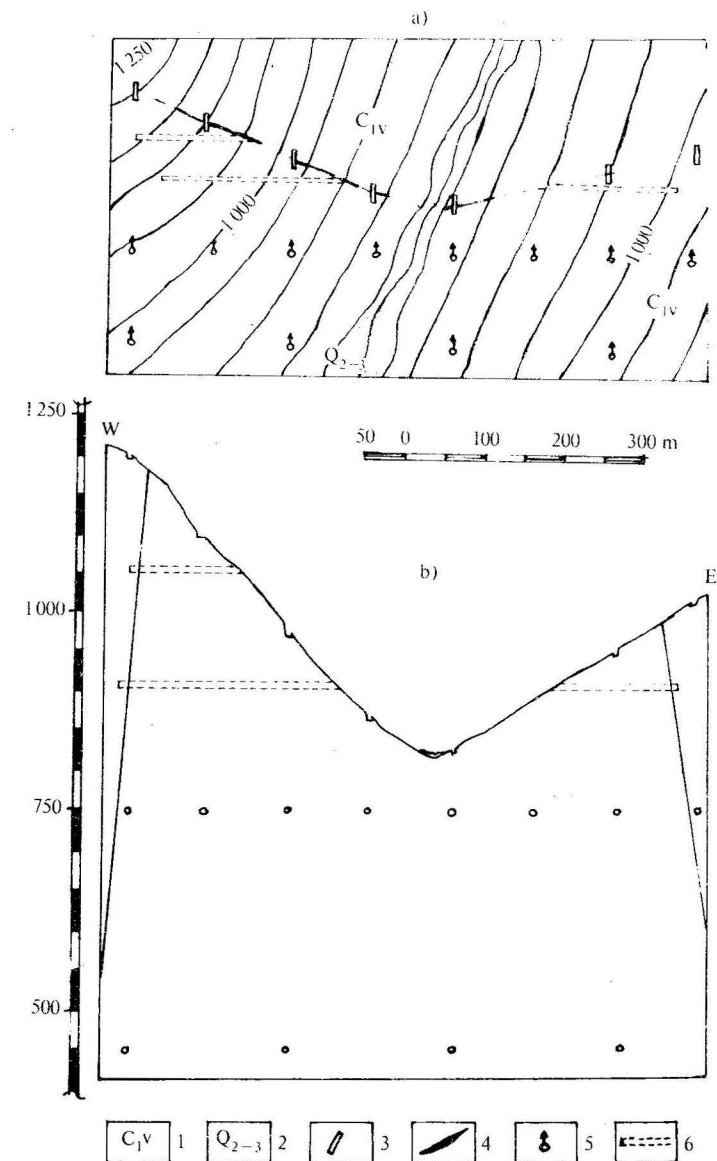


Fig. 5.4 Sistema de exploración por pisos: a) de filones estanníferos en el plano; b) proyección vertical; 1- rocas encajantes; 2- depósitos aluviales; 3- trincheras; 4- cuerpo mineral; 5- perforaciones inclinadas; 6- socavones con recortes

## Densidad de la red de exploración

Este elemento del sistema de exploración es importantísimo, puesto que determina el volumen, los gastos y los plazos de los trabajos necesarios para resolver con éxito las tareas de la exploración. La densidad de la red de exploración se

puede expresar de dos modos: a través de la superficie explorada que corresponde a un laboreo de prospección ( $S_0$ ) y a través de la distancia entre los laboreos contiguos ( $l$ ). Es evidente que para las redes geométricas regulares son posibles ambos modos, ya que la superficie  $S_0$  es constante geoméricamente y representa una cuadrícula de la red (fig. 5.5). Por esta razón dicha superficie se relaciona con las distancias entre los laboreos de prospección contiguos por medio de expresiones matemáticas muy sencillas:

$$S_0 = l^2 \text{ (para la red cuadrada)}$$

$$S_0 = l_1 l_2 \text{ (para la rectangular)}$$

Por otra parte, si los laboreos de prospección se ubican según un sistema de líneas, las distancias entre ellos, como regla, son desiguales y el valor  $S_0$  resulta variable. Además, en tales casos dichas distancias dependen poco del estadio de los trabajos de exploración. La densidad de la red se puede determinar casi exclusivamente a través del intervalo que separa las líneas de exploración contiguas.

Al argumentar la densidad óptima de la red de exploración, es necesario asegurar la precisión y autenticidad requeridas de los resultados, con el mínimo de cruceros de prospección por unidad de superficie del objeto. Existen diferentes procedimientos para resolver esta tarea fundamental de la exploración, pero el papel más importante lo desempeña el método geológico. Este método tiene como base la confección de los modelos gráficos pronósticos del objeto (mapas geológicos, diferentes proyecciones, cortes y perfiles, planos de isolíneas, planos de horizontes y otros), los cuales se utilizan para ubicar los laboreos de prospección, ante todo en los puntos de inflexión supuesta de las superficies geológicas o en los lugares donde se esperan cambios bruscos de los valores de diferentes parámetros geólogo-industriales del yacimiento. Además, las ideas sobre el grado, carácter y estructura de la variabilidad del yacimiento, adoptadas para crear su modelo pronóstico, sirven para escoger las distancias concretas entre los laboreos de prospección, con el propósito de precisar todos los aspectos de la variabilidad en el espacio entre los puntos de inflexión mencionados. El método en cuestión es universal y tiene un carácter importantísimo cuando se utilizan los sistemas de líneas para explorar el yacimiento, ya que en este caso se reducen considerablemente las posibilidades de otros métodos de argumentación.

El método de analogías utiliza la semejanza bien establecida entre el objeto que se va a estudiar y otros yacimientos del mismo tipo o sus sectores, los cuales han sido explorados anteriormente con suficiente detalle. El instrumento principal de este método para escoger la densidad racional de la red de exploración es la clasificación geólogo-industrial de los yacimientos minerales útiles. Con frecuencia en la solución de dicha tarea se aplican las clasificaciones y recomendaciones que se dan en las instrucciones de la Comisión Estatal de Reservas Minerales Útiles, confeccionadas para cada tipo de materia prima mineral por separado.

El método de analogía es sencillo y rápido, pero es preciso tener en cuenta el hecho de que sus resultados no son más que aproximados. Esto se comprende fácilmente al recordar que en la naturaleza nunca se encuentran dos yacimientos perfectamente equivalentes, aunque estos sean del mismo tipo geólogo-industrial y que las instrucciones mencionadas proponen intervalos bastante amplios en lo referente a las distancias recomendables entre los cruceros de prospección y permiten variar la densidad de la red para el mismo objeto de 2 a 4 veces.

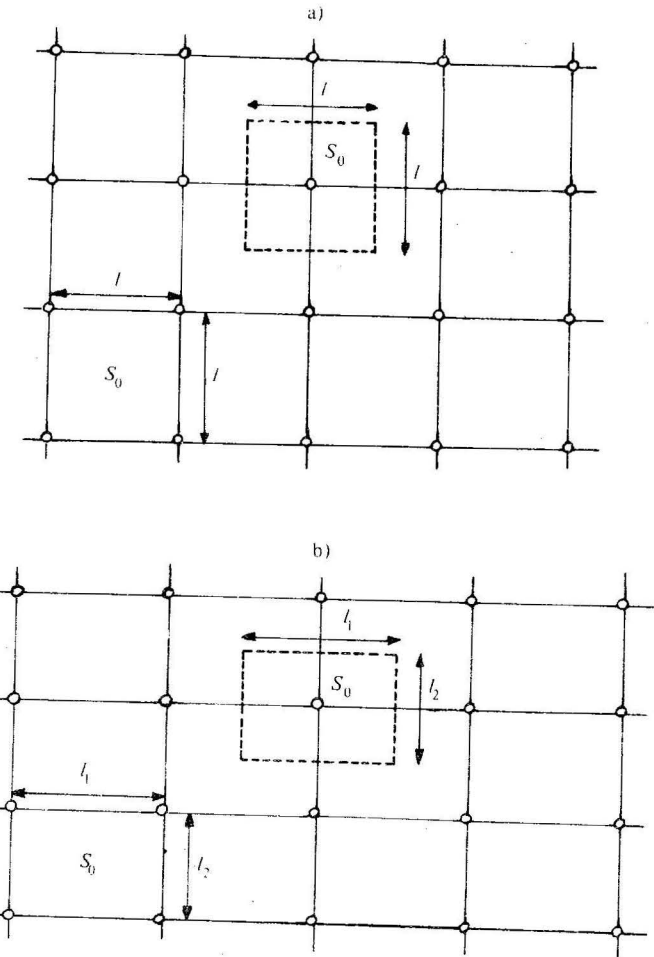


Fig. 5.5 Correspondencia entre la superficie  $S_0$  y el largo de los lados ( $l$ ,  $l_1$ ,  $l_2$ ) de una cuadrícula de la red de exploración

Los métodos matemáticos para la determinación de la densidad de la red de exploración, basados en las relaciones entre diferentes índices de la variabilidad del cuerpo mineral y el número de puntos de observación necesario para que el error probable de la determinación de los valores promedio de dichos parámetros sea admisible, ya fueron estudiados de manera bastante profunda en el epígrafe 2.4.4 de la primera parte. Estos métodos resuelven la tarea planteada de diversos modos, según lo completa que resulte la información adquirida: mediante el cálculo del número de cruceros de prospección necesario para un bloque geológico homogéneo o a través de una rarificación de la red lo suficientemente densa, hasta obtener las distancias requeridas entre las observaciones contiguas. El primer procedimiento es menos exacto y sus resultados no sirven más que para dar



al geólogo una orientación general al proyectar el sistema de trabajos de exploración, mientras que el segundo se aplica con mucho éxito para argumentar de manera confiable y definitiva la densidad racional de la red de exploración. A propósito, no es inútil señalar que todos los métodos de este grupo necesitan dos suposiciones iniciales: la magnitud máxima admisible del error en la exploración y la posibilidad de su surgimiento. No existe un enfoque único en lo referente a la expresión cuantitativa de esas suposiciones; por eso, los métodos matemáticos permiten argumentar diferentes densidades de la red de exploración para el mismo objeto geológico.

El método de comparación de los datos obtenidos durante la exploración y explotación del yacimiento se considera el más exacto y seguro en el dominio de la argumentación de la densidad óptima de la red de exploración. En este caso, la información acerca de los parámetros geólogo-industriales, adquirida durante la explotación del yacimiento (resultado de la exploración de explotación; mediciones de la topografía minera en las áreas explotadas; cómputo del mineral útil que sale del pozo de mina o de la cantera; datos del muestreo de explotación, etc.), se utiliza como patrón confiable con el cual se pueden comparar los resultados del estudio de los parámetros correspondientes alcanzados durante la exploración.

Al comprobarse una buena coincidencia entre los datos de la exploración y explotación (es decir, si los errores de los valores promedio para los parámetros geólogo-industriales analizados son inferiores a los admisibles y la estructura y el carácter de su variabilidad para toda la superficie del cuerpo mineral se establecieron correctamente), la densidad de la red utilizada se admite como suficiente. Esto no quiere decir que esa densidad sea la óptima, ya que existe cierta probabilidad de lograr resultados análogos mediante una red menos densa. En ese caso, el método en cuestión debe complementarse con el de la rarefacción de la red existente, cuyos resultados se utilizarán para argumentar la densidad óptima de la red de exploración en otros sectores del mismo yacimiento o para otros objetos del mismo tipo con ayuda del método de analogía. Por otra parte, si los datos de la exploración y explotación difieren, eso significa que la densidad de la red existente es insuficiente y tal conclusión no puede ayudar en la opción de su densidad necesaria.

Se ha generalizado bastante el falso criterio de que los resultados de la explotación representan un patrón perfecto, debido a que durante la explotación del yacimiento algunas veces no se computan todas las pérdidas de mineral útil o se determina incorrectamente su dilución. Dichos errores implican ideas falsas acerca de la morfología del cuerpo mineral y su calidad. Además, los trabajos mineros de preparación y de extracción del mineral útil a menudo se detienen antes de encontrar las zonas supuestas con la estructura tectónica complicada, erosión probable del mineral útil, ramificación o acuñamiento de los cuerpos minerales, etc., lo que hace menos auténticos nuestros conocimientos en cuanto a las condiciones de yacencia de dichos cuerpos, su configuración en el plano y su estructura interna. Esto se debe tener en cuenta al determinar el grado de correspondencia real entre los datos de la exploración y la explotación para evitar las equivocaciones y recomendaciones erróneas.

Los métodos experimentales consisten en la creación de una red cuya densidad debe ser, sin lugar a dudas, más que suficiente. Esta red, que abarca todo el objeto o un sector típico, proporciona al geólogo datos confiables y seguros y, por consiguiente, permite argumentar la densidad óptima de la red de exploración para

otros sectores del yacimiento u objetos análogos. Las diferentes modificaciones de dichos métodos se pueden subdividir en dos grupos:

1. Utilización de los modelos de diversos yacimientos, tanto reales como hipotéticos, para verificar con estos las posibilidades de redes diferentes por su densidad, configuración y ubicación espacial desde el punto de vista de la precisión y autenticidad de los resultados conseguidos.
2. Densificación experimental de la red de exploración en yacimientos reales o sus sectores.

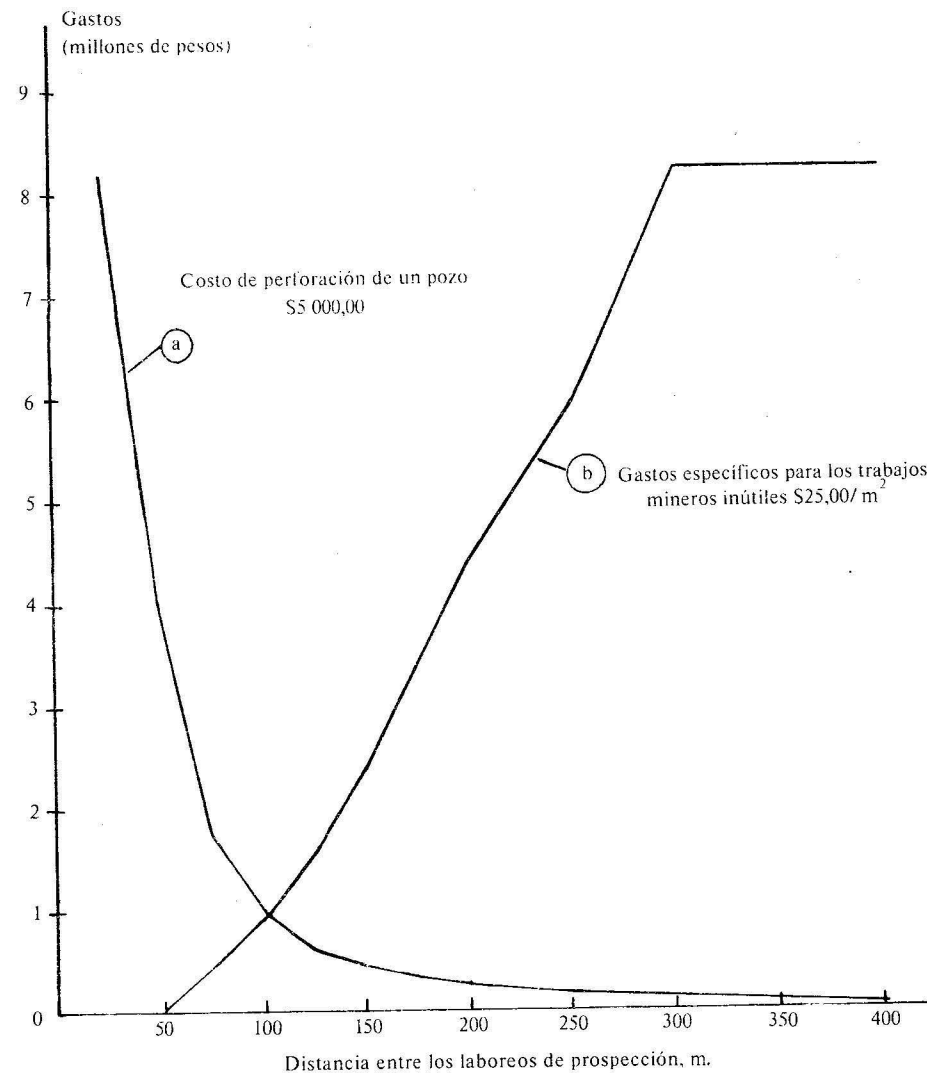
Los modelos de los objetos geológicos permiten analizar la posibilidad de aplicación de cualesquiera de los sistemas de exploración, seleccionar entre estos los mejores, o sea, los que garanticen la información más completa y confiable con gastos mínimos y luego aplicar esos sistemas para explorar los objetos o sectores análogos.

La densificación experimental de la red de exploración se organiza para controlar la certeza de las ideas acerca de la elaboración del modelo geológico pronóstico del objeto. Esta densificación puede abarcar sectores enteros especialmente seleccionados con este propósito o se puede realizar según dos perfiles mutuamente perpendiculares. La densificación se ejecuta sucesivamente hasta obtener los valores promedio estables de los parámetros geólogo-industriales de interés y la correlación invariable de los datos adquiridos en los laboreos de prospección contiguos. Los valores promedio de diferentes parámetros se consideran estables si las diferencias entre las magnitudes calculadas mediante la red inicial y la densificada son inferiores a la longitud del intervalo de aceptación. Al cumplirse ambas exigencias, el sector experimental se puede utilizar como patrón confiable para escoger la densidad racional de la red de exploración y recomendarla para otros sectores del mismo yacimiento.

Los métodos matemático-económicos todavía se aplican poco en la argumentación de la densidad de la red de exploración, aunque tienen ventajas esenciales comparados con los matemáticos y experimentales, lo que hace indudablemente buenas sus perspectivas. Entre ellos vale la pena citar los de V.S. Ogarkov, V.I. Rayevski y G. N. Permiakov. Todos esos métodos tienen como base la subdivisión de la superficie menífera en bloques de dos tipos:

1. Bloques normales, dentro de los cuales los valores de los parámetros geólogo-industriales no salen fuera de los límites que permiten conservar invariable la tecnología de los trabajos mineros y del beneficio.
2. Bloques anómalos, que necesitan la aplicación de métodos especiales para realizar los trabajos mineros de preparación y extracción del mineral útil o cierta modificación de su esquema de tratamiento.

Para revelar y limitar los bloques anómalos durante la exploración, se requiere la densificación de la red de observaciones y el aumento correspondiente de los gastos, cuyo total asciende bruscamente a medida que disminuye la superficie del bloque anómalo que se propone descubrir. Por otra parte, al no encontrar estos bloques durante la exploración, es necesario modificar el esquema de extracción y elaboración del mineral útil en la empresa minera en activo, lo cual implica, no solo gastos inútiles improductivos que se incrementan rápidamente con el aumento de la superficie del bloque anómalo desconocido (fig. 5.6), sino también la alteración del plan de funcionamiento de la empresa minera.



Diámetro máximo del bloque, m	< 50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-200	200-225	225-250	250-275	275-300	> 300
Número de bloques	No	3	2	1	1	2	No	1	No	1	No

Fig. 5.6 Yacimiento de carbón pardo; con diferente densidad de la red de exploración: a) gastos para la exploración; b) trabajos mineros inútiles

Cuando los gastos improductivos complementarios durante la explotación y los gastos totales para explorar el yacimiento son iguales, se puede determinar (gráficamente o mediante los cálculos matemáticos) la densidad de la red de exploración, que debe ser óptima desde el punto de vista económico. Así, por ejemplo, V. S. Ogarkov propone calcular la distancia máxima admisible entre los cruceros de prospección ( $l$ ) en yacimientos de carbón de plataforma, mediante las siguientes fórmulas:

$$l = \sqrt[4]{\frac{DS}{BP}} \quad (126)$$

$$l = \sqrt[4]{\frac{DS}{5BP}} \quad (127)$$

donde:

$D$  - gastos necesarios para realizar un pozo de perforación, pesos;

$S$  - superficie del yacimiento,  $m^2$ ;

$B$  - gastos específicos para los trabajos mineros inútiles a causa de la existencia de bloques anómalos no revelados, pesos/ $m^2$ ;

$P$  - índice de estabilidad del yacimiento, igual a la relación entre la superficie total de los bloques anómalos y el área total del estrato del carbón.

La primera fórmula es válida en el caso de la explotación subterránea y la segunda se aplica al realizarse la explotación a cielo abierto.

Esas fórmulas, que aparecen en algunos manuales y libros de consulta son, en nuestra opinión, incorrectas. En primer término, no tienen en cuenta todo el volumen de los trabajos mineros inútiles, sino una parte pequeña, ya que al deducirse estas expresiones matemáticas, en vez de la superficie total de los bloques anómalos en realidad se utiliza un valor inferior a la superficie de un bloque independiente. Dichas fórmulas se basan en la igualdad de los gastos para la exploración y los trabajos mineros inútiles, lo cual es incorrecto, ya que al no existir los bloques anómalos, la exploración es indispensable y no se pueden evitar ciertos gastos. Por último, es totalmente incomprensible utilizar diferentes fórmulas para la explotación subterránea y a cielo abierto.

También es preciso destacar que la relación entre los gastos para realizar un pozo de perforación y la distancia entre ellos nunca se puede expresar con ayuda de la raíz cuarta. Eso se comprende fácilmente si se analiza un ejemplo sencillo: al aumentar cuatro veces los gastos para un pozo de perforación, el número de dichos pozos disminuirá también en cuatro veces, siempre que se mantengan iguales otras condiciones de la realización de la exploración; para la red cuadrada la distancia entre los puntos de observación contiguos será dos veces más grande, mientras que las fórmulas de V. S. Ogarkov dan un aumento solo de 1,4 veces.

No obstante los defectos mencionados, la tarea de la argumentación de la densidad óptima de la red de exploración para cada objeto geológico concreto se resuelve por métodos matemático-económicos de manera objetiva e invariable y en eso consiste su ventaja incuestionable. Por otra parte, esos métodos no tienen en cuenta las consecuencias económicas de las afectaciones del plan de funcionamiento de la empresa minera, así como las dificultades de índole técnica y en la organización de los trabajos, que se presentan al no ser encontrados los bloques anómalos durante la exploración. Este es el punto más débil, que solo permite considerar aproximadamente las distancias calculadas entre los labores de prospección.



Todo lo expuesto hasta aquí es válido al argumentar la densidad de la red geométrica regular con distancias constantes entre los puntos de observación de toda la superficie del objeto. Sin embargo, como se conoce, los objetos geológicos se caracterizan generalmente por una u otra estructura de la variabilidad, cuyo resultado es la subdivisión del cuerpo mineral en bloques geológicos homogéneos. En ese caso, la red de densidad uniforme no corresponde al principio de la autenticidad equivalente: solo una parte de los bloques se estudiará con suficiente detalle, mientras que en los más variables el grado de estudio no alcanzará el nivel necesario y en los más sencillos se obtendrán detalles superfluos. Por este motivo, las redes de exploración uniformes se aplican, por lo general, en los comienzos del trabajo durante los estadios de búsqueda y evaluación o en la exploración orientativa, cuando todavía no se conoce la estructura de la variabilidad del objeto. En cuanto a la exploración detallada, la densidad de la red varía según el carácter del objeto que se va a estudiar, por cuya razón este sistema de ubicación de los laboreos de prospección con frecuencia se denomina *de bloques*.

Una variedad del sistema de bloques es la exploración por pisos u horizontes, que se realiza cuando el buzamiento del cuerpo mineral es abrupto. En el sistema de pisos, los cuerpos minerales deben cortarse con los laboreos de prospección en determinados niveles hipsométricos, correspondientes a los horizontes de explotación posibles. En ciertos manuales (por ejemplo, E.O. Pogrebitsky y V. I. Ternovoi, 1977) el sistema de pisos se contrapone al de bloques, lo cual es incorrecto e infundado.

De lo anterior se deduce que en la argumentación de la densidad de la red pueden distinguirse dos etapas:

1. Determinación de la densidad de la red inicial para realizar los trabajos de búsqueda y evaluación o la exploración orientativa.
2. Densificación de la red inicial en el final de la exploración orientativa o durante los estadios ulteriores de la exploración.

Para densificar la red se utilizan dos procedimientos fundamentales:

- a) cambio de la orientación de los lados de la cuadrícula o de su configuración;
- b) reducción de las distancias entre los laboreos de prospección según los lados de la cuadrícula.

En el primer caso, los laboreos complementarios se ubican en los centros de las cuadrículas existentes, lo cual tiene como resultado el cambio de la orientación de sus lados para la red cuadrada (fig. 5.7 a) o la transformación de la red rectangular en rómbica y viceversa (fig. 5.7 b). Este procedimiento reduce dos veces la superficie de la cuadrícula de la red.

El segundo método se aplica con más frecuencia (a veces sin argumentación conveniente) y no requiere explicaciones especiales. En este caso, la superficie de la cuadrícula se reduce cuatro veces.

Al ubicarse los laboreos de prospección según un sistema de líneas o perfiles, se argumentan casi exclusivamente las distancias entre ellas, lo cual determina la densidad de la red, ya que las distancias entre los laboreos sobre esas líneas son variables, dependen de las particularidades concretas del objeto que se va a estudiar y no se modifican prácticamente durante las diferentes etapas de los trabajos de exploración. Por lo tanto, la red se densifica por un solo procedimiento: efectuar los laboreos en líneas ubicadas entre las existentes. En cuanto a la dis-

tancia inicial entre las líneas de exploración, esta se puede determinar sobre la base de los métodos siguientes: geológicos, de analogía, de rarificación de la red existente, de comparación de los datos obtenidos durante la exploración y explotación del yacimiento y los métodos experimentales.

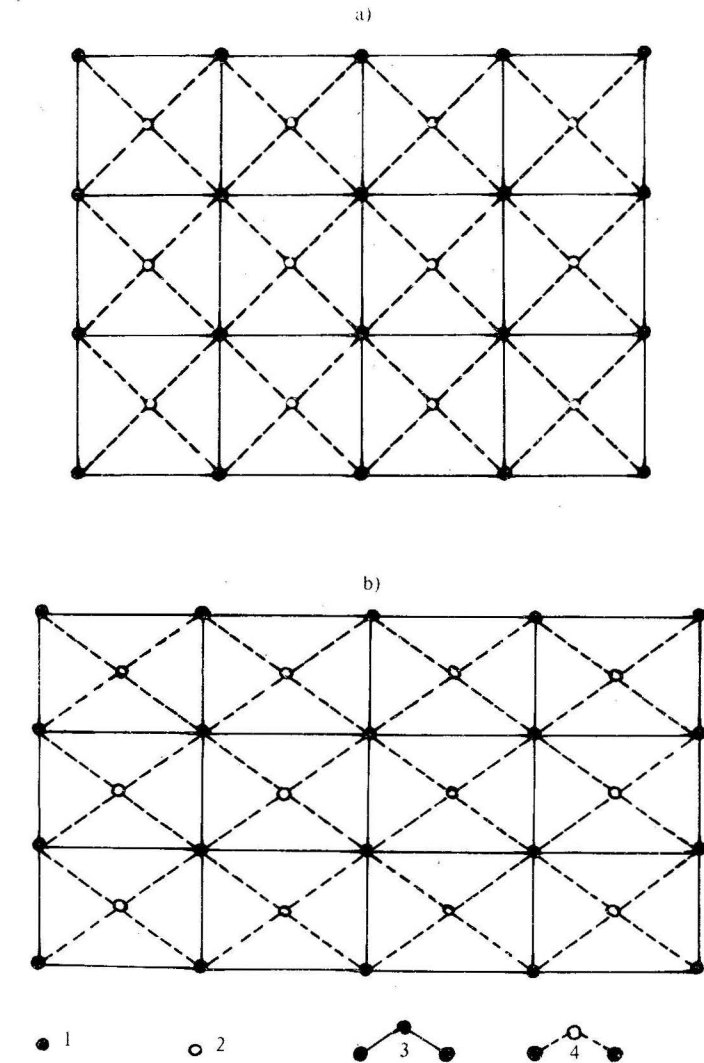


Fig. 5.7 Densificación de la red de exploración mediante la ejecución de laboreos de prospección complementarios en el centro de las cuadrículas: a) red cuadrada; b) red rectangular; 1- perforaciones realizadas; 2- perforaciones proyectadas; 3- cuadrículas de la red existente; 4- cuadrículas de la red densificada

## 5.2 Exploración orientativa

La exploración orientativa es un estadio decisivo para la puesta en práctica de los yacimientos minerales útiles. Después de finalizar este estadio de los trabajos geológicos, el yacimiento se incorpora al grupo de objetos industriales y sus reservas forman parte del balance estatal para la materia prima mineral dada o se evalúa como no industrial y no se permite su estudio ulterior por muchos años y a veces para siempre. Por lo tanto, la exploración orientativa es importantísima y sus resultados tienen que ser no solo auténticos sino lo suficientemente completos como para argumentar de manera definitiva la conclusión acerca del valor industrial del yacimiento, el valor relativo de sus diferentes sectores y el lugar que ocupa el objeto estudiado entre otros yacimientos del mismo mineral útil. Para resolver esta tarea principal se confecciona el informe técnico-económico (ITE) acerca de la racionalidad de la exploración detallada del yacimiento y su puesta en práctica, el cual se basa en los resultados de la exploración orientativa. Una vez aprobado, este informe es tomado por los organismos de planificación correspondientes y ministerios ramales, para utilizarlos en la planificación perspectiva del desarrollo de la industria minera y otras ramas vinculadas a esta.

### 5.2.1 Características generales

De acuerdo con las tareas generales de la exploración orientativa, sus tareas particulares se formulan como:

1. Contorneo del yacimiento en el plano y en la profundidad.
2. Estudio de la estructura tectónica del yacimiento, determinación de los elementos de yacencia para los principales cuerpos minerales, zonas meníferas y series productivas.
3. Formación de una idea correcta acerca de la morfología y las condiciones de yacencia de los cuerpos minerales más importantes.
4. Caracterización multilateral de la calidad del mineral útil, con detalles suficientes como para escoger correctamente las vías y los modos de utilización de la materia prima mineral, revelar tipos naturales de mena y sus clases industriales y trazar de manera confiable y exacta los límites del cuerpo mineral.
5. Descubrimiento y contorneo aproximado de sectores industriales y no industriales dentro del yacimiento y sus cuerpos minerales más importantes.
6. Determinación del grado, carácter y estructura de la variabilidad de los parámetros geólogo-industriales del yacimiento; revelación de las regularidades que controlan sus variaciones según la superficie del objeto y en la profundidad; obtención de los datos necesarios para probar la existencia y pronosticar la posición espacial aproximada de columnas meníferas, zonas de ensanchamiento, estrechamiento, erosión o ramificación de los depósitos minerales.
7. Estudio detallado de la zona de oxidación del yacimiento y delimitación de las menas oxidadas y las primarias.

8. Recolección de los datos necesarios para esclarecer las condiciones minero-técnicas, hidrogeológicas e ingeniero-geológicas de explotación del yacimiento.
9. Estudio detallado de la constitución geológica del yacimiento, con el fin de precisar su tipo genético y geólogo-industrial, elaborar un modelo geológico confiable del objeto y realizar su evaluación geólogo-económica.
10. Determinación de la escala general del yacimiento y cálculo de reservas del mineral útil en categorías industriales ( $C_1$  y algunas veces B) en cantidad suficiente para asegurar el funcionamiento de la empresa minera durante el período de amortización de las inversiones capitales.

La exploración orientativa se organiza en los yacimientos cuya evaluación resultó positiva en el estadio precedente, o sea, después de finalizar los trabajos de búsqueda y evaluación. Además, entre estos objetos deben seleccionarse los mejores por la calidad del mineral útil y los índices técnico-económicos de explotación.

Según el principio de la totalidad en las investigaciones, durante este estadio de los trabajos de búsqueda y exploración, el yacimiento debe estudiarse de manera regular en toda su superficie, lo que permitirá revelar la estructura de la variabilidad del objeto y seleccionar sus sectores mejores y peores. Sin embargo, dada la posibilidad de obtener resultados negativos, ya que finalmente el yacimiento puede ser no industrial, la red regular no tiene que densificarse demasiado. Además, al tener la seguridad, con ayuda de esta red, de que existe una cantidad suficiente de menas industriales, será necesario un estudio más detallado de los sectores típicos del yacimiento o sus cuerpos principales para caracterizar correctamente la variabilidad del objeto.

En la mayoría de los casos, el objeto de la exploración orientativa es todo el yacimiento en sus límites naturales. No obstante, algunos yacimientos de ciertos minerales útiles (carbón, esquistos combustibles, menas de hierro o manganeso, fosforita, caliza, dolomita, bauxita y otros) son tan grandes, que abarcarlos por completo con la red de exploración orientativa, es irracional desde el punto de vista económico. En dichas ocasiones, los trabajos de este estadio se organizan dentro de grandes sectores que se delimitan como partes estructurales independientes de esos yacimientos.

También conviene añadir que los límites en profundidad del objeto de la exploración orientativa, pueden no coincidir con los del yacimiento, ya que la extensión vertical del mineral útil a veces alcanza unos kilómetros y sobrepasa mucho las profundidades técnicamente accesibles durante la explotación. En esos casos, la exploración orientativa se planifica hasta la profundidad máxima de la explotación en la región dada, teniendo en cuenta las empresas mineras tanto en activo como proyectadas y las que se están construyendo. Como norma, esta profundidad es inferior a 1 500 a 1 800 m, incluso para objetos muy grandes (Donbás, Krivoi Rog), y disminuye hasta 500 a 1 000 m al ser pequeños y medios los yacimientos minerales útiles. Lo dicho no significa que en este estadio de los trabajos geológicos se prohíba la perforación de pozos más profundos; por el contrario, con mucha frecuencia se necesita la perforación de pozos estructurales cuya profundidad puede alcanzar 2 000 m, y aún más, con el propósito de argumentar la evaluación de las perspectivas totales del yacimiento.

Por otra parte, la profundidad de la exploración orientativa en los yacimientos minerales útiles corrientes, cuya explotación se realiza a cielo abierto (mate-

ria prima friable para construcción, caliza, dolomita, etc.), corresponde generalmente a la posición del nivel de las aguas subterráneas y puede ser del orden de unas decenas de metros. Sin embargo, aquí también deben realizarse unos cuantos laboreos de prospección hasta una profundidad mayor y asegurar una completa intersección de toda la potencia del mineral útil, con vistas a esclarecer las perspectivas generales del objeto.

### *5.2.2 Particularidades de la realización de diferentes tipos de trabajos en el estadio de la exploración orientativa*

Durante la exploración orientativa se realiza un volumen considerable de trabajos geológicos, entre los que se destacan el levantamiento geológico y los trabajos geofísicos y geoquímicos; se desarrollan diversos sistemas de exploración y se efectúa el muestreo del yacimiento. También se ejecutan investigaciones hidrogeológicas e ingeniero-geológicas, se estudian las condiciones minero-técnicas de explotación del yacimiento, se realizan determinados trabajos topogeodésicos y la evaluación geólogo-económica de dicho yacimiento, correspondiente a este estadio de la prospección geológica.

#### **Levantamiento geológico**

El mapa geológico del yacimiento es uno de los resultados más importantes de la exploración orientativa y sirve de base para generalizar e interpretar resultados de los trabajos de búsqueda y exploración, así como elaborar y argumentar el modelo geológico del objeto estudiado. Para yacimientos grandes y sencillos por su constitución geológica (sedimentarios, metamorfogénicos y parcialmente magmáticos), dichos mapas se confeccionan, como regla, a escala 1:5 000 a 1:10 000, mientras que para los medianos y pequeños, con una estructura geológica compleja (postmagmáticos y en parte magmáticos), se utilizan escalas de 1:2 000 a 1:5 000. El levantamiento geológico a esas escalas se realiza con el amarre instrumental de los puntos de observación, cuyo número debe corresponder más o menos a uno por cada centímetro cuadrado del mapa.

Es evidente que el volumen de los trabajos y sus gastos se incrementan muy rápido al aumentar la escala del mapa geológico y por eso su selección correcta tiene mucha importancia en cuanto a respetar el principio de la economía máxima del tiempo y los recursos. Además, es preciso darse cuenta de que los resultados de la exploración orientativa pueden ser negativos y por consiguiente un mapa geológico detallado resultaría inútil. Por ese motivo se recomienda organizar el levantamiento geológico en dos etapas sucesivas, lo que permite reducir los gastos innecesarios.

En la primera etapa, que comienza al mismo tiempo que otros trabajos de exploración y termina cuando la información adquirida permite decidir definitivamente si el objeto es industrial o no, se confecciona un mapa geológico a la escala precedente, más pequeña en comparación con la escala necesaria del mapa final. Con este objetivo se utilizan, por lo general, todos los afloramientos naturales de rocas del basamento, los laboreos de prospección ya realizados y los resultados

de los trabajos geofísicos, al mismo tiempo que se crean afloramientos artificiales en un volumen mínimo.

Una vez comprobado el valor industrial del yacimiento que se va a estudiar, se comienza la segunda etapa mediante la creación de la red necesaria de observaciones geológicas complementarias, para hacer más detallado el mapa confeccionado anteriormente y su escala. Con este fin se utilizan ampliamente los trabajos mineros y de perforación. El mapa geológico final tiene que dar una idea completa y clara acerca de la subdivisión estratigráfica y composición litológica de las rocas que constituyen el yacimiento; las manifestaciones de rocas magmáticas dentro de este, sus relaciones mutuas espaciales y cronológicas; la estructura tectónica del yacimiento y las fases principales de dislocaciones tectónicas premeníferas, intrameníferas y posmeníferas; la historia del desarrollo geológico del territorio y la génesis del yacimiento.

Conviene señalar que los estadios anteriores de los trabajos geológicos, por su volumen, son suficientes para asegurar un buen respeto del principio de la totalidad en las investigaciones, por cuya razón, durante la exploración orientativa, el levantamiento geológico debe acompañarse de la búsqueda de minerales útiles. La búsqueda se orienta tanto a los cuerpos todavía no encontrados del mineral útil principal, como a las acumulaciones de otros tipos de materia prima mineral, sobre todo en los flancos del yacimiento y sus horizontes más profundos. En la práctica de la exploración existen muchos ejemplos positivos en ese sentido: la revelación de menas ricas de plomo y cinc en la parte profunda del yacimiento cuprífero de Dzhezkazgán; el hallazgo de arcillas refractarias en muchos yacimientos bauxíticos del Kazajastán del norte; el descubrimiento de estratos importantísimos de fosforita en el transcurso de la exploración de menas de vanadio de Kara-Tau (Asia Central) etcétera.

#### **Trabajos geofísicos y geoquímicos**

Durante la exploración orientativa, los métodos geofísicos se aplican para resolver diferentes tareas relacionadas con el descifrado de la constitución geológica del territorio, la búsqueda de los cuerpos minerales no revelados anteriormente y la obtención de datos complementarios acerca de los cuerpos ya conocidos. De manera general, esas tareas se pueden desarrollar de la forma siguiente:

1. Determinación de la potencia de los depósitos friables y el relieve de la superficie de las rocas del basamento.
2. Trazado de los contactos entre diferentes tipos de rocas, revelación y estudio de la extensión de las fallas y zonas tectónicas.
3. Revelación y contorno aproximado de zonas meníferas y cuerpos minerales, rocas adyacentes alteradas y horizontes productivos.
4. Descubrimiento de los cuerpos minerales "ciegos" en el espacio entre los laboreos de prospección, contorno de los cuerpos minerales y series productivas.
5. Comprobación de los datos de perforación sobre la potencia, estructura interna, calidad y condiciones de yacencia de los cuerpos minerales mediante el carotaje de los pozos de perforación.

El complejo de métodos geofísicos que se aplica en este estadio de los trabajos, se selecciona de acuerdo con las propiedades geológicas del yacimiento y el tipo



de materia prima mineral. Como el objetivo de dichos trabajos es la reducción de los gastos y los plazos de la exploración, al escoger uno u otro método geofísico hay que comparar el volumen y el costo de la información obtenida con la ayuda de estos métodos y lo que se lograría al utilizar en su lugar los trabajos mineros o de perforación. De no hacerlo, muchos métodos de exploración geofísica que se aplican por tradición pueden hacerse más costosos y menos eficientes, para un objeto geológico dado, que los medios técnicos ordinarios.

En cuanto a los trabajos geoquímicos, su papel durante la exploración orientativa es menos importante en comparación con los estadios precedentes, pero eso no significa que su utilización sea irracional.

En primer lugar, las investigaciones litogeoquímicas e hidroggeoquímicas, tanto en la superficie como en los laboreos de prospección, hacen más eficiente la búsqueda de los cuerpos minerales ocultos. En segundo lugar, el estudio de las aureolas de dispersión primarias y la zonalidad geoquímica de las acumulaciones minerales permite pronosticar la profundidad posible de la meniferación y la zonalidad del yacimiento, determinar su nivel de erosión y llegar a extraer conclusiones más argumentadas en lo referente a la escala del objeto estudiado.

## Sistemas de exploración

Los pozos de perforación son los más usuales durante la exploración orientativa por cuanto permiten evaluar el yacimiento y clasificarlo entre los objetos industriales o no industriales en plazos más cortos y con gastos mínimos. Hoy día, los sistemas de perforación se aplican con gran resultado para realizar este estadio de la exploración, incluso en los yacimientos muy irregulares (pegmatitas con moscovita y metales raros, menas de estaño, wolframio y otros).

Las excavaciones minerales desempeñan un papel muy secundario y se utilizan, como regla, cuando el relieve del terreno es favorable y las condiciones minero-técnicas del yacimiento son sencillas. Su aplicación es racional para estudiar el mineral útil en su parte aflorada, la zona de oxidación y su zonalidad, y la variabilidad de diferentes parámetros geólogo-industriales en los horizontes superiores de yacimientos extremadamente complejos (oro, estaño, materia prima piezo-óptica, piedras preciosas). En este último caso es inadmisible prescindir de la utilización de excavaciones mineras, ya que los trabajos de perforación no garantizan una característica confiable de la calidad del mineral útil, del grado y carácter de la variabilidad de este parámetro y, además, no permiten evaluar el objeto de manera confiable.

La configuración de la red de exploración y la orientación de sus lados o de los perfiles, se decide de acuerdo con las reglas generales expuestas anteriormente en dependencia de la morfología, el grado de anisotropía y las condiciones de yacencia de los cuerpos minerales que forman el yacimiento.

El geólogo, al argumentar el sistema de exploración para este estadio de los trabajos, posee, por lo general, pocos e insuficientes datos reales sobre el yacimiento, lo que no le permite escoger la densidad racional de la red de manera suficientemente confiable. Por ese motivo, el método principal que se aplica para resolver esta tarea es el de analogía, junto con el método geológico.

Con respecto al número de laboreos de prospección necesarios, hay que tener en cuenta los llamados laboreos de contorno, cuya ubicación concreta depende de la complejidad de la morfología de los depósitos minerales. Estos laboreos,

destinados a comprobar la ausencia del mineral útil, son indispensables para resolver una de las tareas más importantes de la exploración orientativa: asegurar una perfecta delimitación del yacimiento.

## Muestreo

Durante la exploración orientativa, el estudio de la calidad del mineral útil se debe organizar de manera que se pueda llegar a una conclusión bien argumentada acerca de las vías posibles de utilización de la materia prima mineral, calcular las reservas de componentes en la mena, tanto principales como secundarios y revelar y evaluar los minerales útiles acompañantes en las rocas encajantes y suprayacentes. A partir de esto, es preciso prever todos los aspectos necesarios del muestreo de acuerdo con el tipo de mineral útil, y aplicar los métodos más seguros y confiables para las operaciones de dicho muestreo.

En este estadio de la exploración, las muestras ordinarias deben tomarse de cada tipo natural de mena (cada variedad litológica del mineral útil) por separado. Al ser grandes las potencias de dichos tipos de mena estos se dividen en secciones cuyo largo será el mínimo posible dentro de los límites recomendados para este mineral útil. Es preciso señalar que el aumento de la longitud de la sección de la muestra ordinaria, así como el agrupamiento de esas muestras, son injustificados y no se recomiendan, ya que aunque esto reduce los gastos para el muestreo, al mismo tiempo desfigura las regularidades reales que controlan la distribución de los componentes útiles dentro del cuerpo mineral y pueden provocar ideas erróneas acerca de sus límites y las particularidades de su estructura interna.

Además del muestreo de los cuerpos del mineral útil principal es necesario tomar muestras ordinarias de todas las variedades de rocas encajantes y suprayacentes, las cuales pueden ser interesantes desde el punto de vista práctico, con la condición obligatoria de que en la región dada exista una necesidad actual o perspectiva de dicha materia prima. Estas muestras se toman mediante una red rareficada; el largo de una sección independiente aumenta hasta el máximo posible para el mineral útil correspondiente según las recomendaciones vigentes y se utilizan ampliamente los métodos de muestreo geoquímicos y geofísicos.

Si es posible la aplicación de métodos más rápidos y eficientes para el estudio de la calidad del mineral útil sin la toma de muestras (mineralógicos, geofísicos, nucleares y otros), deben utilizarse desde el principio junto con otros métodos de muestreo tradicionales. Este procedimiento permite acumular datos reales suficientes para argumentar la posibilidad de emplear más ampliamente la determinación indirecta de la calidad del mineral útil durante los estadios posteriores de la exploración.

Las muestras agrupadas se confeccionan por tipos naturales de mena después de obtener los resultados de los ensayos en las ordinarias. Esas muestras agrupadas se someten a ensayos y análisis según un programa que debe garantizar la revelación de todos los componentes útiles secundarios y todas las vías posibles de utilización de la materia prima mineral. Además, en este estadio es preciso tomar y estudiar detalladamente las muestras monominerales para los principales minerales de la mena y a veces incluso para sus diferentes generaciones.

Para evaluar correctamente la utilidad de la materia prima mineral para la economía nacional, es indispensable conocer sus propiedades tecnológicas, pero durante la exploración orientativa es irracional pretender definir con precisión

todos los índices técnico-económicos de la elaboración de la materia prima mineral. Esto aumenta de manera notable los plazos necesarios para realizar la exploración, el costo del muestreo y, por añadidura, esos trabajos pueden resultar inútiles si no se comprueba el valor industrial del yacimiento. Por lo tanto, el muestreo tecnológico empieza a nivel de laboratorio a través de muestras tomadas de cada tipo natural de mena por separado. Solo después de obtener los resultados de los ensayos se procede a la revelación de las clases industriales del mineral útil y a la toma de muestras de laboratorio ampliadas para esas clases. El estudio de las muestras de laboratorio y las ampliadas permite escoger un esquema tecnológico general para la elaboración del mineral útil y determinar aproximadamente los índices técnico-económicos posibles, lo que es suficiente, como norma, para lograr una evaluación geólogo-económica bien argumentada del yacimiento.

## Investigaciones hidrogeológicas y de ingeniería geológica

Los resultados de estos trabajos deben permitir el cálculo aproximado de las afluencias posibles de agua a las excavaciones mineras de la futura empresa, la evaluación preliminar de las condiciones ingeniero-geológicas del yacimiento, desde el punto de vista de su explotación, y la característica de las fuentes posibles para abastecer de agua al complejo industrial y al pueblo correspondiente.

El volumen y el programa concreto de investigaciones correspondientes varían dentro de límites muy amplios en función de la complejidad de las condiciones hidrogeológicas e ingeniero-geológicas del yacimiento. Sin embargo, los puntos generales a esclarecer en este estadio de la exploración son más o menos los mismos para cualesquiera yacimientos minerales y se reducen a lo siguiente:

1. Características generales de los complejos acuíferos, incluso sus condiciones de yacencia, extensión y alimentación, particularidades del régimen y composición química de las aguas subterráneas.
2. Régimen de los depósitos y corrientes de agua vecinos y carácter de las relaciones entre las aguas subterráneas y superficiales.
3. Cantidad y calidad de las aguas subterráneas y superficiales en las fuentes propuestas para organizar y garantizar el abastecimiento a la industria y a la población.
4. Lugares más indicados para los puntos de recepción y distribución del agua.
5. Características de las rocas que constituyen el yacimiento desde el punto de vista ingeniero-geológico.
6. Obtención de datos sobre los fenómenos cársicos, deslizamientos y otros fenómenos físico-geológicos.

Para resolver esas tareas, es necesario el levantamiento hidrogeológico de la región del yacimiento, a escala 1:25 000 a 1:50 000, las observaciones del nivel, régimen y composición química de las aguas subterráneas en los laboreos de prospección, así como los bombeos de prueba que se realizan para los principales horizontes acuíferos en algunos laboreos de prospección.

Además de esto, en los yacimientos con condiciones hidrogeológicas e ingeniero-geológicas complejas y extremadamente complejas se deben perforar pozos hi-

drogeológicos especiales en los cuales se realizan bombeos experimentales y se organizan observaciones permanentes sobre el régimen de las aguas subterráneas. En dichos yacimientos, es necesario tomar muestras en forma de monolitos para estudiar la humedad, capacidad acuífera, plasticidad, coherencia, dureza, porosidad, masa específica y volumétrica, índices de elasticidad y filtración y otras propiedades físico-mecánicas de las rocas encajantes.

Si es necesario, también se organizan los estudios geocriológicos, incluyendo en estos la termometría de los laboreos de prospección y la toma de muestras de rocas congeladas, con el fin de establecer su porcentaje de hielo, humedad total, grado de compresión relativa al pasar la roca del estado congelado al de deshielo, resistencia mecánica en ambos estados, etcétera.

## Estudio de las demás condiciones minero-técnicas de explotación del yacimiento

En todas las excavaciones mineras, y sobre la base del testigo de los pozos de perforación, se debe estudiar el agrietamiento de las menas y sus rocas encajantes, con el objetivo de pronosticar su estabilidad y escoger los modos de entibación de las excavaciones mineras. Si el mineral útil yace a una profundidad de más de 500 m, o se encuentra en la zona de actividad hidrotermal, son obligatorias las observaciones geotermales en todos los laboreos de prospección. En los yacimientos de carbón debe estudiarse la abundancia de gases mediante la toma de muestras de gas en todos los cruceros de prospección y para cada estrato de carbón encontrado.

## Trabajos topógrafo-geodésicos

Estos trabajos tienen como objetivo la creación de la base gráfica a la escala requerida para permitir la confección de mapas y cortes geológicos, diferentes proyecciones, etc.; la ubicación concreta en el terreno de los puntos donde se ejecutarán los laboreos de prospección proyectados; la determinación de las coordenadas de los laboreos ya realizados y su traslado exacto a los materiales gráficos.

Para solucionar estas tareas, en primer lugar, es necesario crear una red local de puntos de triangulación y altimétricos de referencia, a partir de los cuales se desarrolla la red de puntos de base para el levantamiento topográfico a gran escala. Con frecuencia, en vez de crear puntos de triangulación especiales se pueden utilizar los del sistema de triangulación estatal. La red de puntos de base permite obtener diferentes planos topográficos de la superficie, ubicar en el terreno los orificios de los pozos de perforación o las excavaciones mineras proyectadas y ejecutar su amarre instrumental después de realizar esos laboreos de prospección. Los métodos principales que se utilizan con este propósito son la poligonometría y la nivelación.

Cuando se utilizan las excavaciones mineras subterráneas, es necesario organizar los trabajos de topografía minera para darle las coordenadas necesarias a esas excavaciones, orientarlas en el espacio, controlar dicha orientación durante su avance y calcular las coordenadas de los puntos donde los laboreos mineros o pozos de perforación encuentran los cuerpos minerales.

## Evaluación geólogo-económica del yacimiento

Los datos acumulados en el transcurso de la exploración orientativa deben permitir el cálculo de reservas del mineral útil y la confección del informe técnico-económico acerca de la racionalidad de la exploración detallada del yacimiento y su puesta en práctica.

Para calcular las reservas es preciso orientarse por las condiciones industriales provisionales, las cuales deben elaborarse al final de este estadio de los trabajos geológicos. El cálculo se efectúa mediante los métodos más confiables y sencillos: bloques geológicos y de secciones (perfiles).

La mayoría de las reservas calculadas se clasifica en categoría  $C_2$  y determina las perspectivas generales del yacimiento; las reservas de la categoría  $C_1$  se deben calcular solo en la cantidad necesaria para asegurar el funcionamiento de la futura empresa minera durante la primera etapa de su desarrollo. Además, algunas veces se obtienen reservas en categoría B dentro de los sectores de densificación experimental de la red de exploración, pero esto no es obligatorio.

En el informe técnico-económico se analizan todos los sistemas de explotación posibles en las condiciones concretas del yacimiento estudiado sobre cuya base se seleccionan las variantes más probables de extracción y elaboración del mineral útil. Luego, para cada variante, se determinan los principales índices técnico-económicos necesarios para la evaluación del yacimiento (capítulo 9). Los cálculos correspondientes se realizan tanto utilizando los datos concretos de la exploración orientativa como los materiales generalizados estadísticamente que se dan en diferentes normas ramales, instrucciones y libros de consulta.

La comparación de los índices calculados permite escoger la mejor variante, que garantice una combinación óptima de gastos mínimos para obtener el producto de la empresa minera por una parte, y de la masa máxima posible del producto anual por otra. La eficiencia económica de la variante seleccionada determina el carácter industrial del yacimiento y la comparación de este con otros yacimientos conocidos del mismo mineral útil, a través de sus índices técnico-económicos, permite establecer su valor relativo y el orden de su exploración detallada y asimilación industrial.

## 5.3 Exploración detallada

La exploración detallada es el último estadio de estudio propiamente geológico del yacimiento y después de finalizar esta, el objeto se propone para su asimilación industrial. Este estadio tiene como objetivo principal la acumulación de datos necesarios acerca de todos los parámetros geólogo-industriales del yacimiento, con suficiente detalle para asegurar la correcta confección del proyecto de la empresa minera y su conveniente puesta en explotación.

El resultado final de la explotación detallada es el informe geológico general sobre el yacimiento, con el cálculo final de reservas del mineral útil. Este informe se fundamenta en todos los datos obtenidos en el transcurso de los trabajos geológicos a partir de la búsqueda detallada. Las reservas calculadas se aprueban por la CER, pasan a formar parte del balance estatal de reservas de minerales útiles y sirven de base para argumentar y otorgar las inversiones capitales que garantizarán la proyección y construcción de las empresas mineras.

### 5.3.1 Características generales

Las tareas particulares, cuya solución es indispensable para lograr el objetivo principal de la exploración detallada, son las siguientes:

1. Contorneo de los cuerpos minerales independientes, precisión de su morfología y condiciones de yacencia.
2. Estudio de las regularidades que controlan la formación y la ubicación espacial de los cuerpos minerales.
3. Estudio detallado de la composición sustancial y las propiedades tecnológicas del mineral útil, con vistas a garantizar la confección del proyecto de tratamiento.
4. Delimitación exacta de sectores no industriales dentro de los cuerpos minerales y geometrización espacial de diferentes tipos naturales y clases industriales de materia prima mineral.
5. Análisis de las particularidades de la variabilidad de los parámetros geólogo-industriales más importantes en toda la superficie del yacimiento, selección de bloques geológicos homogéneos dentro de este, delimitación de columnas meníferas, ensanchamientos, estrechamientos, y zonas de erosión o ramificación de los cuerpos minerales.
6. Estudio detallado de las condiciones minero-técnicas, hidrogeológicas e ingeniero-geológicas, tanto para el yacimiento en su totalidad como dentro de sus sectores independientes o para los cuerpos minerales más grandes.
7. Cálculo de reservas en categorías industriales ( $A_1$ , B y  $C_1$ ) y evaluación geólogo-económica definitiva del yacimiento.

La exploración detallada se organiza solo en los yacimientos que se han evaluado positivamente a través del ITE y fueron admitidos como objetos cuya próxima asimilación industrial es segura. Por lo general, el objeto de la exploración es el mejor sector del yacimiento y solo algunas veces todo el yacimiento, si este es pequeño. Este estadio de exploración se lleva a cabo generalmente para satisfacer demandas de consumidores concretos de la materia prima mineral (plantas y combinados siderúrgicos, fábricas de porcelana o de vidrio, empresas de construcción, etc.), aunque para ciertos tipos de materia prima deficitaria (oro, estaño, wolframio, molibdeno, diamante, asbesto, moscovita y otros) hay que tener en cuenta las necesidades de una región económica importante o de todo el país. La argumentación de lo necesario que es la exploración detallada del objeto debe ser más rigurosa cuando se trata de nuevos tipos de minerales útiles. En este caso deben existir obligatoriamente consumidores concretos de la materia prima mineral, un esquema de tratamiento del mineral útil técnicamente realizable y la resolución de los organismos de planificación acerca de la construcción ulterior de la empresa minera basada en el yacimiento propuesto.

Los límites concretos del objeto de la exploración detallada tienen que corresponder a los límites supuestos de la futura cantera o mina, por cuya razón el Instituto Integral de Proyectos debe aprobar, como norma, la solución de los límites geológicos al respecto. Algunas veces como dichos límites se pueden utilizar contornos naturales bien expresados (fallas grandes, contactos de grandes cuerpos intrusivos posmeníferos, depósitos y corrientes de agua importantes, vías férreas y otros).



Si la exploración detallada se ejecuta en terrenos adyacentes a empresas mineras en activo, los límites del sector que se va a estudiar se aprueban tanto por el organismo de proyección como por los dirigentes técnicos de la mina o cantera. Para esto se debe garantizar una buena subdivisión del yacimiento en sectores, con la finalidad de que el subsuelo se utilice de manera plena y el volumen de inversiones capitales complementarias para laborear excavaciones mineras principales sea el mínimo posible.

Además de ponerse de acuerdo con el organismo de proyección en lo referente a los límites generales del sector que se va a explorar, también hay que acordar con este organismo la ubicación espacial de las reservas de diferente categoría dentro del área a estudiar, ya que esto determina en gran medida la ubicación espacial concreta de los laboreos de prospección. En sentido general, las reservas de categorías más altas (A y B) deben colocarse en los horizontes superiores del yacimiento y en las zonas donde se supone la ejecución de pozos de mina, cortavetas y galerías principales, trincheras de corte y otras excavaciones mineras capitales. Por otra parte, las reservas de esas categorías deben calcularse en los sectores que se proponen para empezar la extracción del mineral útil en primer lugar.

### *5.3.2 Particularidades de la realización de diferentes tipos de trabajos en el estadio de la exploración detallada*

Durante este estadio final de la prospección geológica se realizan trabajos que, por su índole, son similares a los del estadio anterior. Su diferencia radica en la escala, que es más detallada y, por lo tanto, el volumen y el tipo de los trabajos presenta sus especificidades.

### **Levantamiento geológico**

El mapa geológico del yacimiento, adjunto al informe geológico general, se confecciona, como regla, a escalas 1:2 000 a 1:5 000, aunque en el caso de objetos grandes y sencillos se admite la escala 1:10 000 y para yacimientos muy complejos se necesitará un mapa a escala 1:1 000. Como se puede apreciar, en la mayoría de los casos esta tarea se puede solucionar con éxito mediante los mapas geológicos que se han elaborado durante la exploración orientativa.

Estos se complementan y precisan teniendo en cuenta nuevos datos que se obtienen al realizar los laboreos de prospección de la etapa detallada.

Solo raras veces es necesario organizar un levantamiento geológico especial para confeccionar el mapa a escala más grande. En esos casos los trabajos en la superficie son triviales y se ejecutan según una red regular de puntos de observación ubicados y amarrados geodésicamente. Esta red se crea desde el principio, ya que el valor industrial del yacimiento y la necesidad de elaborar el proyecto para su explotación son indiscutibles. Dichos trabajos se pueden completar con el levantamiento geológico subterráneo en las excavaciones mineras.

Si la búsqueda y la exploración orientativa fueron realizadas de manera correcta y cuidadosa, el hallazgo de nuevos cuerpos minerales durante la exploración detallada es poco probable. Sin embargo, la búsqueda sigue realizándose en

el transcurso de este estadio, sobre todo en los horizontes más profundos del yacimiento, con el fin de revelar cuerpos minerales "ciegos" aún desconocidos, en el espacio entre los laboreos de prospección. Por este motivo, el volumen de los trabajos de búsqueda disminuye en comparación con el estadio precedente y tienen una importancia secundaria.

### **Trabajos geofísicos y geoquímicos**

En este estadio los métodos geofísicos se aplican, por lo general, en los pozos de perforación y las excavaciones mineras y tienen los siguientes objetivos.

1. Descubrir los cuerpos minerales "ciegos" fuera de los laboreos de prospección y precisar los contornos de los cuerpos ya conocidos.
2. Precisar la posición espacial y los elementos morfológicos de las fallas.
3. Estudiar el desarrollo de fenómenos cársicos dentro del sector explorado, revelar las zonas con agrietamiento fuerte y afluencias de agua importante.
4. Ejecutar el carotaje de todos los pozos de perforación con el propósito de obtener datos más exactos y seguros sobre la potencia, estructura interna, calidad y condiciones de yacencia de los cuerpos minerales.

El complejo de métodos concretos, que será más eficiente para un yacimiento dado, se selecciona en dependencia de las particularidades geológicas y las propiedades físicas de las menas y sus rocas encajantes.

Los trabajos geoquímicos se realizan en poco volumen, con el objetivo de revelar los cuerpos minerales ocultos, y esclarecer importantes aspectos de la génesis del yacimiento y su zonalidad. El método principal que se aplica en este estadio es la investigación litogeoquímica de los cuerpos minerales, así como de sus aureolas de dispersión primarias.

### **Sistemas de exploración**

Como norma, en el estadio de exploración detallada se incrementa notablemente el papel desempeñado por las excavaciones mineras y se logra una combinación más racional con los pozos de perforación, según los principios tratados en el epígrafe 5.1.

Se mantiene la configuración de la red de exploración aceptada en el estadio precedente, pero su desarrollo posterior se lleva a cabo considerando la estructura de la variabilidad del yacimiento ya revelada y la ubicación espacial requerida de las reservas de diferentes categorías. Por eso, generalmente las redes geométricas se vuelven irregulares por su densidad y se manifiestan claramente sistemas de bloques en la geometría de dichas redes. Por otra parte, en este estadio siempre es necesario tender a que los bloques de exploración sean más sencillos por su configuración y se relacionen con futuros pisos o bloques de explotación.

La densidad de la red para la exploración detallada se puede determinar mediante cualesquiera de los métodos anteriormente estudiados. Como regla, para resolver este problema se utiliza un conjunto de diferentes métodos entre los cuales el geológico y el de analogía son los principales. La conclusión final parte de la comparación y el análisis crítico de los resultados obtenidos en cada método.

Como las reservas se calculan separadamente para diferentes categorías, la densidad de la red de exploración proyectada tiene que ser desigual para diversos bloques geológicos. Además, durante la exploración detallada se hacen más numerosos los laboreos de prospección que se ejecutan fuera de la red general para precisar unas u otras particularidades de la estructura geológica del terreno, sus condiciones hidrogeológicas y minero-técnicas de explotación.

Para la argumentación de la densidad de la red para los yacimientos integrados por toda una serie de cuerpos minerales, se toman en consideración solo los cuerpos más importantes que pueden asegurar la obtención de la mayoría de las reservas separadas. En este caso las reservas de los cuerpos menores corresponden a categorías tanto superiores como inferiores en dependencia de su variabilidad.

## Muestreo

El estudio de la calidad del mineral útil durante la exploración detallada tiene sus rasgos específicos. En primer término, es posible agrupar muestras ordinarias o aumentar su longitud, ya que en el estadio precedente se revelaron las regularidades generales de la variabilidad de este parámetro geólogo-industrial y se han establecido tipos y clases naturales de mena. Por lo tanto, las muestras ordinarias pueden abarcar toda la potencia del tipo natural de mena en un crucero de prospección dado. Al ser grande la potencia de dichos tipos naturales se recomienda en la mayoría de los manuales y libros de consulta, dividirla en secciones independientes, de manera que su longitud corresponda a la potencia de la capa que se extraerá durante la explotación, o sea hasta 5 a 10 m. Aunque esto es correcto en principio, muy a menudo los resultados son negativos, ya que es casi imposible hacer coincidir los límites de las muestras que se toman durante la exploración con los contornos de futuras capas extraíbles y, sobre todo, asegurarlo en todos los cruceros de prospección. Por esa razón, resulta irracional utilizar, sin argumentación especial, las muestras ordinarias cuya longitud sobrepase los 3 m.

Si los trabajos anteriores han probado la utilidad de los métodos geofísicos o mineralógicos en el estudio de la calidad del mineral útil, estos deben ser ampliamente utilizados durante la exploración detallada, con el propósito de sustituir los métodos de muestreo tradicionales que son mucho más costosos y lentos.

En segundo lugar, en este estadio de exploración disminuye de manera importante el volumen del muestreo de minerales útiles secundarios: entre estos se estudian solo los que fueron evaluados positivamente a través del ITE y cuya extracción y utilización se planifica durante la explotación del yacimiento. Por otra parte, para esos tipos de materia prima mineral, el estudio de su calidad debe organizarse con suficiente detalle para garantizar la obtención de sus reservas en altas categorías y la correcta confección del proyecto de explotación y elaboración.

En tercer lugar, la exploración detallada necesita un estudio más confiable y auténtico de las propiedades técnicas del mineral útil, tales como su composición granulométrica (tamaño de fragmentos), masa volumétrica, calidad de los cristales independientes y otras. Para resolver esta tarea es indispensable ejecutar excavaciones mineras y tomar muestras volumétricas, de manera que estas correspondan por sus particularidades físico-mecánicas a la masa menífera que se obtendrá durante la explotación ulterior.

Por último, la exploración detallada debe brindar los índices cuantitativos en lo referente al proceso tecnológico de tratamiento del mineral útil y permitir la geometrización espacial de diferentes clases tecnológicas (industriales) de materia prima mineral. La primera de esas tareas se resuelve, por lo general, mediante el estudio de muestras tecnológicas industriales en las empresas en activo de las ramas correspondientes de la economía nacional. Solo como una excepción se pueden adoptar por analogía (para nuevos sectores de los yacimientos bien estudiados, cuya explotación se realiza desde hace mucho tiempo y al ser confirmada de manera segura la identidad de las propiedades tecnológicas del mineral útil en sectores viejos y nuevos) los criterios tecnológicos cuantitativos para confeccionar el proyecto de elaboración de la materia prima mineral. En el caso de nuevos tipos de mineral útil, que hasta ahora no se utilizan en la economía nacional, son obligatorios los ensayos de muestras semiindustriales de gran volumen y para esto hay que construir instalaciones experimentales, a las escalas correspondientes, e incluso plantas piloto, lo que hace mucho más costosos los trabajos de muestreo y prolonga mucho sus plazos.

Para esclarecer la localización de diferentes clases industriales de mineral útil se organiza el mapeo tecnológico del sector que se va a explorar. Con este fin, según toda su extensión, se toman regularmente numerosas muestras agrupadas, sobre cuya base se estudian la composición sustancial y las propiedades tecnológicas del mineral útil a nivel de laboratorio según un programa reducido. Los resultados obtenidos permiten delimitar los sectores del cuerpo mineral, que sean diferentes por sus propiedades tecnológicas y, además, escoger de manera más correcta y segura los lugares donde se tomarán muestras tecnológicas industriales y semiindustriales.

## Investigaciones hidrogeológicas y de ingeniería geológica

Estos trabajos tienen como objetivos principales la acumulación de datos necesarios para proyectar el desagüe de las excavaciones mineras de la futura empresa, realizar los cálculos con vistas a garantizar la estabilidad de los taludes en la cantera o escoger el modo de entibación y mantenimiento de excavaciones mineras subterráneas, seleccionar los terrenos más indicados para la construcción industrial y las fuentes de agua industrial y potable.

Además del complejo de investigaciones ya realizadas en el estadio de la exploración orientativa deben organizarse las observaciones estacionarias siguientes:

- sobre el régimen y la composición química de las aguas subterráneas y superficiales en los depósitos y corrientes más importantes;
- trabajos hidrogeológicos experimentales (bombeos e inyecciones) en algunos pozos de prospección independientes o en grupos de pozos especialmente perforados, de acuerdo con la complejidad de las condiciones hidrogeológicas;
- estudio de propiedades físico-mecánicas de rocas a nivel de laboratorio mediante las muestras previamente tomadas o directamente en el campo.

## Estudio de las demás condiciones minero-técnicas de explotación

Durante la exploración detallada continúa realizándose el estudio del agrietamiento de las rocas y las menas, la abundancia de gas en el yacimiento y sus condiciones geotermiales. La metodología de esos trabajos es análoga a la utilizada en el estadio precedente, pero las observaciones se hacen con más detalle y en mayor volumen.

## Explotación experimental del yacimiento

En muchas ocasiones es imposible tomar muestras industriales y semiindustriales solo mediante los laboreos de prospección principales. Esto se aplica, en primer lugar, a los sistemas de perforación, los cuales son incapaces de proporcionar la masa necesaria de mineral útil y asegurar el tamaño conveniente de sus fragmentos. Además, para determinados minerales útiles (piedras preciosas, materia prima piezoóptica y otros) no se pueden determinar los principales índices técnico-económicos de la empresa minera y las formas de utilización de la materia prima, sin ensayar la explotación experimental. Por lo tanto, dichos trabajos, incluso la construcción de una empresa minera especial (mina, cantera, instalación de trituración y beneficio, etc.), pueden ser necesarios al explorar nuevos tipos de materia prima mineral, estudiar yacimientos de minerales útiles muy específicos por su calidad y complejos por sus condiciones naturales, y determinar las vías de utilización de los minerales útiles secundarios en los yacimientos complejos. Además de resolver dichas tareas, la explotación experimental también permite formarse una idea correcta y definitiva en cuanto a las condiciones de explotación del objeto.

## Trabajos topógrafo-geodésicos

Como regla, los volúmenes de estos trabajos disminuyen en comparación con el estadio de exploración orientativa. Ellos tienen que asegurar la ubicación espacial concreta de los laboreos de prospección proyectados y la determinación de sus coordenadas después de ser realizados, orientación de las excavaciones mineras subterráneas, y traslado de nuevos datos complementarios a diferentes materiales gráficos (planos, proyecciones, perfiles, etcétera).

## Evaluación geólogo-económica del yacimiento

Al finalizar la exploración detallada se debe elaborar y aprobar por los organismos apropiados las condiciones industriales permanentes para el yacimiento estudiado y realizar su evaluación definitiva. Esto se hace a partir del cálculo general de reservas del mineral útil, el cual demuestra claramente si se ha logrado la relación requerida entre las reservas de diferente categoría (véase el tema 8.1), y si se puede comenzar la proyección y la construcción de la empresa minera.

En este estadio de exploración, el cálculo de reservas se puede ejecutar mediante cualquier método conocido, pero deben preferirse los que se relacionen

bastante bien con la geometrización del yacimiento, llevada a cabo durante la exploración, y permitan utilizar los bloques de cálculo para proyectar directamente la extracción del mineral útil (métodos de bloques geológicos, bloques de explotación, secciones, isolíneas).

Las reservas de altas categorías (A y B) se deben calcular en los cuerpos minerales principales y ubicarse en grandes bloques compactos y de configuración sencilla.



## Documentación geológica

Para estudiar los yacimientos minerales útiles durante la búsqueda y exploración, hay que realizar volúmenes considerables de trabajos mineros y de perforación, con vistas a posibilitar las observaciones directas de las menas y sus rocas encajantes, la toma de diferentes muestras y sus ensayos y aclarar las particularidades de la constitución geológica de un sector dado de la corteza terrestre. Los gastos considerables de trabajo y materiales vinculados a la ejecución de esas tareas, resultan injustificados si los resultados obtenidos no se anotan debidamente para permitir posteriormente su generalización y la creación del modelo geológico del objeto que se va a estudiar. La anotación de los resultados de los trabajos y las observaciones geológicas en forma de determinados documentos se denomina documentación geológica. Sin embargo, este concepto tiene un sentido más amplio, ya que abarca no solo los documentos geológicos obtenidos sino también el proceso de su confección.

La importancia de la documentación geológica es extremadamente grande para los laboreos de prospección que, con frecuencia, son inaccesibles a observaciones reiteradas en idénticas condiciones, ya que:

- a) los sectores aflorados en las excavaciones mineras se alteran con el tiempo debido al intemperismo, la oxidación, la influencia de las aguas subterráneas, el derrumbe de las rocas, etc.;
- b) la fortificación enmascara intervalos importantes de esas excavaciones;
- c) la ejecución de los trabajos de arranque modifica la configuración de las excavaciones mineras y las hace inaccesibles al hombre o dichas excavaciones desaparecen definitivamente;
- d) el testigo de los pozos de perforación se oxida y sufre la intemperización, y se utiliza para el muestreo;
- e) los pozos de perforación se taponean y liquidan, etc.

Por lo tanto, la ejecución correcta y a tiempo de la documentación geológica es una condición obligatoria para la realización exitosa de los trabajos de búsqueda y exploración.

La documentación geológica es la primera y más importante etapa en la asimilación de los datos geológicos obtenidos durante el estudio del objeto. Los errores cometidos en esta etapa, en la mayoría de los casos, son irreparables y por eso desde el principio se debe garantizar una alta calidad en dicha documentación y su confección no se puede confiar a trabajadores no calificados y aún con menos razón a los que no poseen una preparación geológica especial.

La documentación geológica debe reflejar correctamente y con suficiente detalle las particularidades geológicas del objeto y garantizar un amarre exacto de los puntos de observación. Para lograr este doble objetivo dicha documentación debe ser breve, exacta, objetiva y, además, demostrativa y bien comprensible.

El carácter breve de la documentación geológica consiste en que esta refleje solo los datos y observaciones de mayor importancia, y omita todos los detalles superfluos. Dicha selección de lo importante y secundario es una tarea creadora cuya solución es imposible sin una calificación geológica conveniente de quien realiza este trabajo.

La exactitud de la documentación geológica se garantiza con un estudio cuidadoso y completo de todos los rasgos del objeto o fenómeno que fueron admitidos como importantes, la realización de las mediciones indispensables y una correcta representación de los resultados obtenidos.

La documentación geológica será objetiva si con ella se señalan, sin ideas preconcebidas, todos los rasgos e índices del objeto que se observan realmente. Desde este punto de vista, durante la ejecución de la documentación geológica es absolutamente inadmisibles toda interpretación personal de los resultados obtenidos y su acomodamiento artificial a las ideas adoptadas anteriormente sobre el objeto, así como la eliminación de los hechos que contradicen a las hipótesis ya formuladas. Es preciso recordar bien que tales contradicciones señalan el camino del conocimiento correcto de la esencia del fenómeno u objeto que se va a estudiar.

El carácter demostrativo y comprensible se logra con la utilización de un sistema bien meditado de signos convencionales y formas normalizadas de los documentos que se van a confeccionar. Según la variedad de los objetos y fenómenos geológicos, estos signos convencionales serán diferentes, pero para el mismo objeto tienen que unificarse sobre la base de las exigencias e instrucciones más generales de los organismos geológicos del país.

De acuerdo con su destino, la documentación que se prepara en el transcurso de los trabajos de búsqueda y exploración se subdivide en:

- a) documentación de los trabajos topógrafo-geodésicos;
- b) documentación del levantamiento geológico;
- c) documentación de los laboreos de prospección;
- d) documentación del muestreo;
- e) documentación de los trabajos hidrogeológicos e ingeniero-geológicos;
- f) documentación de los trabajos geofísicos;
- g) documentación del cálculo de reservas.

La mayoría de esos tipos de documentación se estudia con detalle en las asignaturas correspondientes, así como en diferentes guías metodológicas e instrucciones, por cuya razón resulta insensato repetir este material ampliamente conocido. En cuanto a la documentación del cálculo de reservas, se le prestará la debida atención en el capítulo correspondiente.

## 6.1 Tipos de documentación geológica

De acuerdo con el carácter de los documentos utilizados la documentación geológica puede ser de cuatro tipos:

- a) materiales de texto;
- b) representaciones gráficas;
- c) fotografías;
- d) muestras de minerales útiles y diferentes rocas.

Los materiales de texto comprenden las descripciones de los afloramientos, laboreos mineros, testigo de perforaciones, muestras, etc., así como diferentes libretas de documentación, registros, actas y tablas.

Las representaciones gráficas comprenden:

- a) esquemas de los afloramientos, sectores de laboreos mineros, testigo de los pozos perforados, muestras de mena o roca, flora y fauna, cristales individuales;
- b) columnas litólogo-estratigráficas para los laboreos de prospección y el yacimiento;
- c) mapas y perfiles geológicos, planos de búsqueda y exploración, planos de diferentes horizontes, planos de muestreo;
- d) planos de diferentes proyecciones para el cálculo de reservas;
- e) bloques diagramas;
- f) gráficos diversos.

Las fotografías, por su esencia, son una variedad de las representaciones gráficas, pero se diferencian de estas por el modo de ejecución y por ser mucho más exactas y objetivas. Estas se obtienen mediante la fotografía especial, a escala, de las superficies afloradas de rocas del basamento y minerales útiles en las excavaciones mineras y los afloramientos naturales. Los fotoesquemas obtenidos deben descifrarse, con el fin de crear una base geológica fotogramétrica que luego se completa con observaciones visuales cuidadosas de los rasgos de la composición, estructura y textura de las menas y rocas encajantes, los cuales no se reflejan en las fotografías (composición mineral, carácter de las alteraciones en las rocas encajantes, material que rellena las grietas tectónicas, defectos de los cristales y otros). Además de las macrofotografías, en la documentación geológica se utilizan ampliamente microfotografías de secciones delgadas y pulidas, así como fotografías aéreas y cósmicas de sectores importantes de la superficie terrestre.

Las muestras que se utilizan como documentos geológicos pueden representar diferentes rocas y minerales útiles, restos fósiles de flora y fauna, testigo y lodo de perforación, etc. Esos materiales son necesarios para confeccionar las colecciones patrones y realizar un estudio sistemático de los rasgos característicos y la composición sustancial de las menas y las rocas.

Las colecciones patrones se preparan para diferentes tipos de menas y rocas en cada brigada geológica y comprenden tanto las muestras como las secciones delgadas y pulidas. Además, esas colecciones deben mostrar las principales especies de la flora y la fauna antiguas, variedades de estructuras y texturas de las

menas y rocas, etc. Su objetivo principal es contribuir a la determinación y descripción uniformes de las rocas y las menas por todos los geólogos de la brigada.

En dependencia del grado de generalización de los datos obtenidos, la documentación geológica se subdivide en primaria y final.

La documentación geológica primaria debe reflejar de manera objetiva y exacta los resultados de las observaciones, mediciones, ensayos, etc., y no debe comprender ningún elemento de pronóstico o de generalización de los datos reales. Como ejemplos se pueden citar esquemas y descripciones de los afloramientos naturales de rocas del basamento, libretas de documentación de los pozos de perforación, actas sobre el inicio de la perforación del pozo o su liquidación, testigo de los pozos de perforación, y otros. La calidad de los documentos geológicos iniciales debe responder a exigencias rigurosas formuladas por los organismos geológicos. Las comisiones ramales especiales controlan periódicamente la documentación inicial y, con actas apropiadas, evalúan el grado de correspondencia entre dicha documentación y los rasgos reales del objeto que se estudia.

Los documentos geológicos iniciales son datos valiosísimos sobre el terreno o yacimiento y se deben guardar incluso después de terminada su exploración. Las legislaciones vigentes en la URSS y en Cuba, sobre el uso del subsuelo, estipulan especialmente que todos los organismos que realizan cualquier estudio geológico de este, asumen la plena responsabilidad en la conservación de todos los tipos de documentación geológica inicial que se puedan utilizar en las investigaciones ulteriores y durante la explotación del mineral útil.

La documentación geológica final se confecciona sobre la base de los documentos iniciales y con frecuencia se apoya en un pronóstico argumentado en cuanto al comportamiento de los índices del objeto geológico fuera del volumen accesible a las observaciones directas. Con este grupo se relacionan las columnas estratigráficas del yacimiento, mapas y perfiles geológicos, diferentes planos de isóneas, proyecciones, bloques diagramas, esquemas de cálculo de reservas, tablas y otros.

## 6.2 Contenido de la documentación geológica

El contenido de la documentación geológica varía mucho y depende de su tipo, particularidades concretas del objeto y tareas de los trabajos geológicos. En este manual se ofrecen solo las ideas más generales al respecto, y se propone al que se interese en una información más completa y concreta, dirigirse a las guías metodológicas e instrucciones correspondientes.

Al estudiar los cuerpos minerales, se deben reflejar en la documentación geológica primaria sus rasgos más importantes, que son los siguientes:

- a) particularidades morfológicas y carácter de sus contactos con la roca encajante;
- b) condiciones de yacencia;
- c) estructura interna, tipos naturales de mena, composición mineral, estructura, textura y relaciones espaciales mutuas;
- d) carácter de las alteraciones de las rocas encajantes cerca del cuerpo mineral;
- e) relaciones espaciales entre los cuerpos minerales y sus sectores enriquecidos (columnas minerales) de una parte y los elementos estructurales (grietas, plie-

gues, fallas) o las rocas de composición petrográfica o litológica determinada de otra;

- f) potencia y relaciones espaciales mutuas de los cuerpos minerales que se unen en series u horizontes productivos;
- g) propiedades físicas del mineral útil.

Durante la documentación de las rocas encajantes se debe prestar una gran atención a su potencia, composición litológica, textura y estructura, carácter de la estratificación, esquistosidad o fluidez, manifestaciones del metamorfismo e intemperismo, carácter de los contactos con otras variedades de rocas, condiciones de yacencia, restos fósiles de flora y fauna, propiedades físicas, carácter del agrietamiento, vetas y filones que cortan la roca y su orientación espacial.

Además, en la documentación geológica se ofrece la información necesaria acerca de las muestras tomadas, relaciones mutuas de diferentes etapas de mineralización, particularidades morfológicas de las fallas y su edad relativa.

El contenido de la documentación geológica se puede expresar mediante esquemas, fotoesquemas y textos que se acompañan con muestras convenientes. El texto debe ser breve y exacto y reflejar solo los datos cuya representación gráfica resulta imposible (particularidades de la estructura y textura del mineral útil y su roca encajante, su composición mineral, sus colores, morfología y relaciones mutuas de los agregados minerales, defectos de los cristales, carácter y orientación de las ranuras y los "espejos" de deslizamiento, tipo de material que rellena las grietas y cavidades, etcétera).

En los documentos geológicos primarios de todo tipo se indica, obligatoriamente, una serie de datos generales:

- a) organismo que ejecuta los trabajos;
- b) nombre del objeto que se va a estudiar (yacimiento, sector y cuerpo mineral concreto);
- c) número del laboreo de prospección o del afloramiento natural que se va a documentar, su ubicación y sus coordenadas;
- d) orientación espacial del afloramiento o del laboreo de prospección;
- e) escala lineal y numérica y signos convencionales (para representaciones gráficas);
- f) fecha de realización de la documentación;
- g) apellido y nombres de la persona que ejecutó la documentación y su firma.

La numeración de los objetos del mismo tipo que se proponen para documentar debe ser uniforme en cada yacimiento, con el fin de evitar números repetidos que puedan provocar confusiones y errores graves. Si los trabajos se hacen a la vez en varios sectores o cuerpos minerales hay que prever, para cada objeto, series de números independientes para los laboreos de prospección del mismo tipo y las muestras, de manera que ningún número se repita. Como norma, no se indican los números de los laboreos de prospección proyectados. Sin embargo, esta regla tiene una excepción: esos laboreos se numeran si es necesario respetar rigurosamente el orden de ejecución. En todos los casos, la numeración de los laboreos de prospección y las muestras debe ser sencilla y lógica y debe facilitar su búsqueda ulterior en los materiales gráficos correspondientes.

Las escalas de las representaciones gráficas dependen del tipo de documentación geológica y sus objetivos. Por ejemplo, los esquemas de los afloramientos y

las excavaciones mineras se ejecutan generalmente a escalas 1:20 a 1:100, aunque, si es necesario, determinados sectores se pueden hacer a escalas más grandes (1:10, 1:5 y 1:1) para aclarar las particularidades de diferentes tipos de mineralización, detalles importantes de los contactos del cuerpo mineral, rasgos característicos de la textura del mineral útil o su roca encajante, particularidades de los contactos tectónicos o intrusivos, minerales individuales o sus agregados y otros hechos importantes que contribuyen al conocimiento correcto de las regularidades de formación y localización del mineral útil.

Las columnas litólogo-estratigráficas se confeccionan a escalas 1:200 a 1:1 000 y con menos frecuencia a escala 1:2 000.

Los perfiles geológicos se deben preparar a la misma escala que el mapa o el plano geológico y a veces a escala más grande. Se recomienda utilizar las mismas escalas en el sentido tanto horizontal como vertical si es técnicamente posible. De no ser así, la representación gráfica de las condiciones de yacencia de la mena y las rocas se desfigura y provoca errores graves en la interpretación de la constitución geológica del terreno.

Los planos y las proyecciones que se hacen durante la búsqueda y exploración de yacimientos minerales útiles pueden ser de diferente escala, pero con más frecuencia se utilizan las escalas de 1:500 a 1:10 000. La escala concreta se selecciona de acuerdo con la complejidad del objeto y sus dimensiones, de manera que en estos materiales gráficos estén señalados todos los elementos principales de la morfología y las condiciones de yacencia de los cuerpos minerales, así como los de la estructura geológica del terreno. La posibilidad de señalar esos elementos depende tanto de su tamaño como de la precisión posible de los trabajos gráficos, que no sobrepasa 0,1 a 0,2 mm.

### *6.3 Particularidades de la documentación geológica primaria de diversos laboreos de prospección*

Cada laboreo de prospección presenta rasgos particulares y se ejecutan para resolver tareas específicas en dependencia de diversos factores. Para esto, la documentación tiene una gran importancia y debe ajustarse al tipo y características del laboreo.

#### **Trincheras**

En las trincheras orientadas transversalmente al rumbo del mineral útil y su roca encajante es suficiente documentar el fondo y una pared lateral donde afloran mejor las rocas del basamento. Sin embargo, algunas veces se hace la documentación del fondo y todas las paredes. Esto resulta necesario si la estructura geológica del sector atravesado con esta trinchera es compleja. Además, si la trinchera está orientada a lo largo de una cuesta, se documentan su fondo, una pared lateral y ambas paredes transversales; estas últimas se abaten sobre el plano del fondo. Conviene destacar que esas recomendaciones son válidas solo si la trinchera descubre una potencia suficiente de rocas del basamento. Por el contrario, si las paredes muestran casi exclusivamente las rocas friables, es obsoleto confeccionar esquemas y descripciones, ya que esto implica un incremento inútil de los volúmenes de documentación geológica primaria.



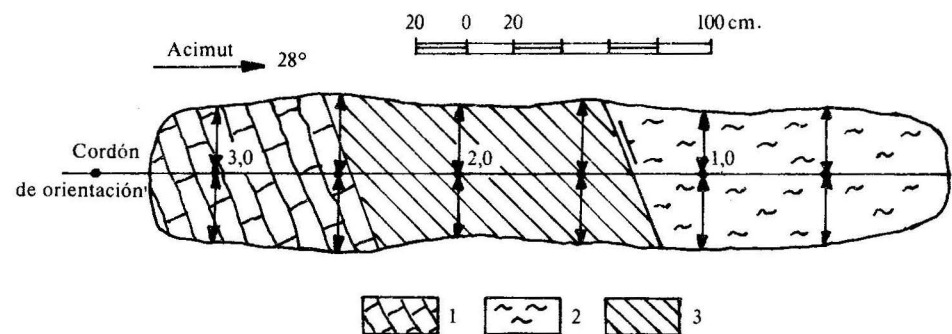


Fig. 6.1 Esquema del marcado, mediciones y documentación del fondo de una trinchera: 1- caliza; 2- argilita; 3- mena de plomo (Pb) y cinc (Zn)

Si la trinchera sigue el rumbo del cuerpo mineral es suficiente documentar su fondo.

La primera operación en la documentación de una trinchera es la limpieza de su fondo y si es necesario también se limpian sus paredes. Luego se realiza la marcación de la trinchera por intervalos utilizando con este objetivo un cordón de orientación con marcas. Este cordón se tiende a lo largo de la pared longitudinal o del fondo de la trinchera y sirve para las mediciones necesarias de la superficie que se va a documentar y para el amarre de los puntos de interés en el esquema. Después de realizadas dichas mediciones se dibujan a la escala adoptada los contornos de las superficies en cuestión (fig. 6.1).

Una vez terminadas esas operaciones preparatorias, se procede a la descripción de rocas, minerales útiles, grietas, fallas, fenómenos cárlicos, diques y otros hechos y fenómenos geológicos encontrados. Esta descripción se realiza por intervalos si el buzamiento de las rocas y menas es suave y por capas si este es abrupto. La posición de los contornos geológicos se determina sobre la base de las mediciones exactas y se trazan en el esquema con toda la precisión posible, según la escala adoptada. Se miden los elementos de yacencia de los contactos geológicos, sistemas de grietas y clivaje y se indican en el esquema los resultados obtenidos. El contenido del esquema y del texto debe corresponder a las exigencias expuestas. Si la trinchera está orientada transversalmente a la cuesta, su fondo se dibuja de acuerdo con las mediciones realizadas según la pendiente y en el esquema se da, obligatoriamente, el acimut y el ángulo de inclinación del fondo.

## Pozos criollos

Como regla, la documentación de los pozos criollos se elabora a medida que estos se profundizan, sobre todo si es necesario fortificar sus paredes. El mayor interés durante la documentación se presta a las paredes. Si la constitución geológica del sector que se va a estudiar es sencilla, basta confeccionar el esquema de una pared larga orientada transversalmente al rumbo del cuerpo mineral o de la roca y realizar las descripciones correspondientes. En los casos más complejos y en los pozos criollos de poca profundidad ejecutados en una cuesta bien expresada, hay que documentar una pared larga y una corta y si la constitución geológica es extremadamente compleja se confeccionan los esquemas de todas sus

paredes desplegándolas en el plano de la pared larga ubicada al norte del pozo (fig. 6.2). Además, después de terminada la ejecución del pozo criollo se documenta su fondo. Lo mismo se hace después de cada ciclo de profundización del pozo si la constitución geológica del sector es compleja.

Las operaciones preparatorias son: nivelación o aplanamiento, limpieza o lavado de las superficies que se proponen para documentar, marcaje de los intervalos con ayuda de una plomada con marcas o una cinta métrica, mediciones necesarias y ejecución del dibujo a la escala adoptada de la superficie que se va a documentar. Las operaciones principales durante la documentación del pozo criollo son las mismas que en el caso de las trincheras.

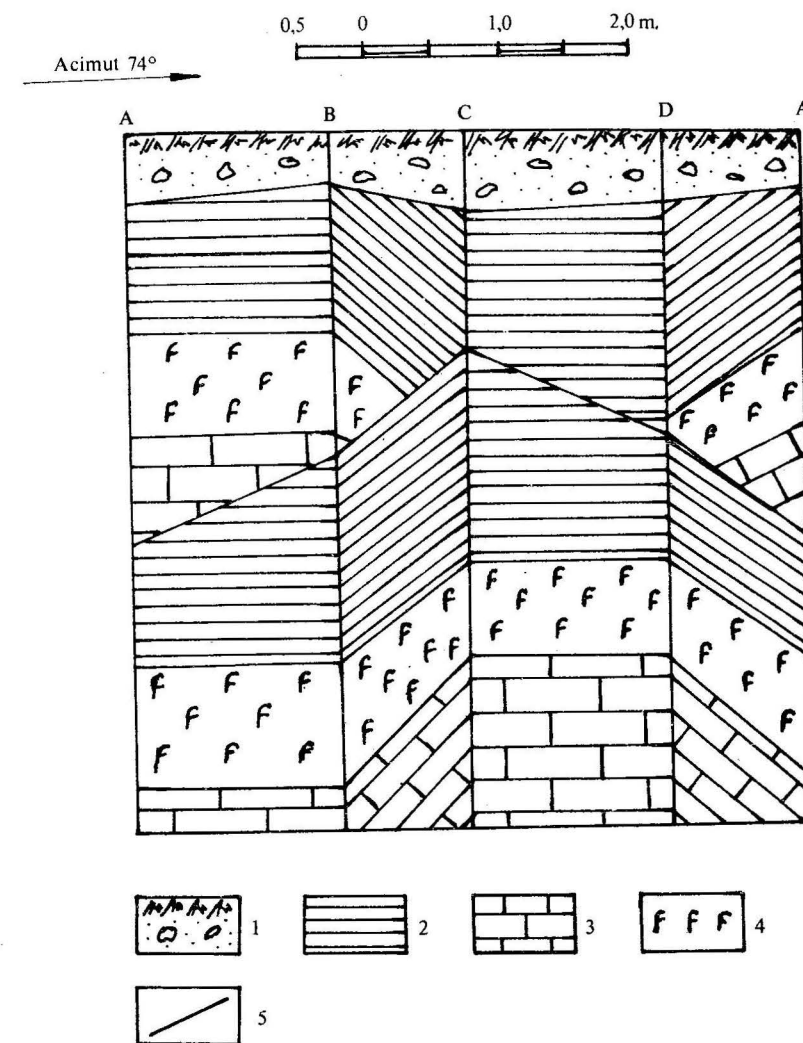


Fig. 6.2 Despliegue de un pozo criollo: 1- depósitos friables; 2- esquistos arcillosos; 3- caliza; 4- fosforita; 5- falla

## Cortavetas y recortes

Como regla, en esas excavaciones se documenta una de las paredes y solo si es completa la constitución geológica del terreno se hacen esquemas y descripciones de ambas paredes y del techo. Antes de empezar la documentación hay que arrancar todos los bloques salientes de la mena o roca y lavar cuidadosamente las superficies de interés. Luego se trazan los límites del intervalo que se va a documentar, se realiza su amarre instrumental utilizando el punto más cercano de la base topográfica minera, se marcan y se indican en el esquema los puntos de apoyo que facilitan la ejecución de descripciones y la toma de muestras, y se miden las dimensiones de la excavación minera. Con más frecuencia como puntos de apoyo se pueden utilizar las marcas del cordón de orientación.

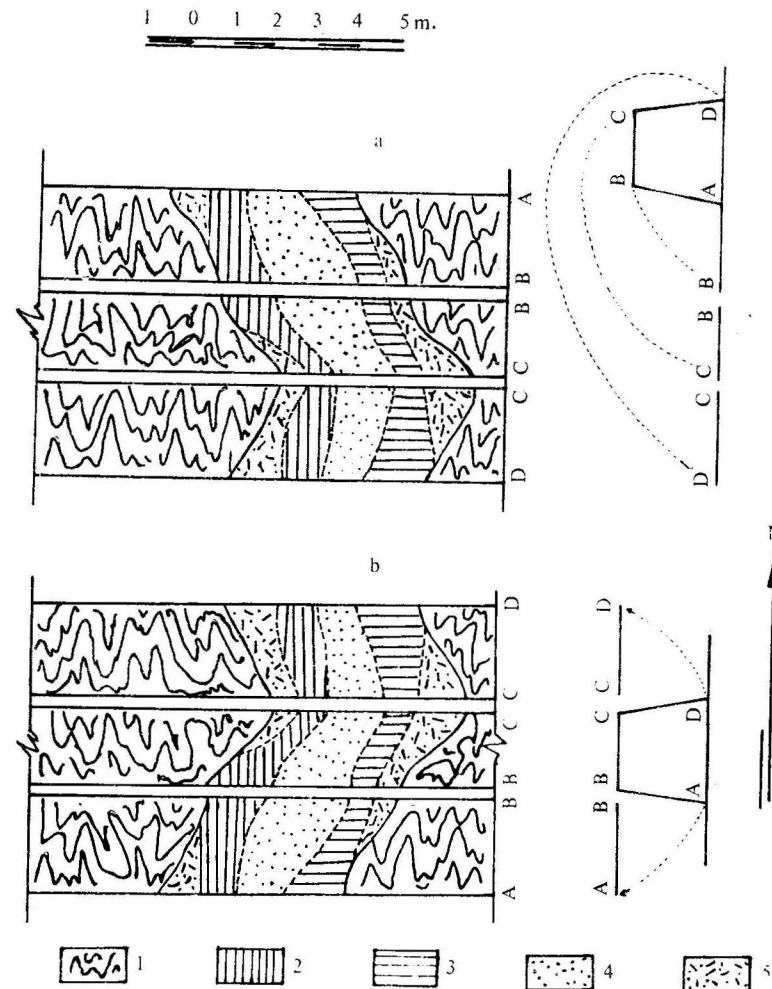


Fig. 6.3 Despliegue de una cortaveta: a) espejular; b) directa: 1- neis; 2- pegmatita apográfica; 3- pegmatita pegmatoidal; 4- núcleo cuarcífero; 5- agregado cuarzo-moscovítico

Las observaciones, los esquemas y las descripciones se hacen según las reglas generales y no se diferencian de los trabajos análogos que se realizan en las trincheras o los pozos criollos.

Si se documentan diversas superficies del mismo laboreo minero, la relación mutua entre sus esquemas se presenta de manera demostrativa mediante su despliegue, que se puede efectuar de dos modos diferentes. El primero consiste en que esas superficies se giran sucesivamente alrededor de sus líneas de intersección en el sentido de las manecillas del reloj hasta que se encuentren en el plano del piso de la excavación minera; la primera que se gira es la pared izquierda, según el sentido del avance de dicha excavación (fig. 6.3a). La desventaja principal de este procedimiento es el carácter especular de la imagen resultante con respecto a la real. Esto provoca grandes dificultades, al comparar el esquema dibujado con lo que se observa realmente en la excavación minera correspondiente y al analizar las relaciones espaciales mutuas de los diferentes elementos geológicos.

En el segundo modo (fig. 6.3b) las paredes se vuelven alrededor de sus líneas de intersección con el techo hasta que se encuentren en el plano de este último, lo que tiene como resultado una imagen verdadera del techo y una ubicación normal de las paredes con respecto a este. Por lo tanto, este segundo procedimiento es preferible y se recomienda su amplia utilización.

Si las cortavetas y recortes se ejecutan con fortificación, su documentación se realiza después de terminado cada ciclo de avance y el tiempo necesario para esto se incluye en el ciclo de ejecución del laboreo minero. Por otra parte, si las rocas encajantes son estables, la documentación se realiza por intervalos ampliados con el fin de llegar a una idea más correcta sobre las particularidades de la estructura geológica del terreno y la morfología del cuerpo mineral. Sin embargo, el largo del intervalo a documentar nunca debe ser mayor de 5 a 10 m.

Conviene señalar que si la excavación minera se orienta siempre según el rumbo o buzamiento de un cuerpo mineral potente y homogéneo, la documentación total de esta excavación resulta insensata. En tales ocasiones basta documentar los intervalos donde se toman las muestras.

## Galerías, contrapozos, pozos de mina inclinados o "ciegos", socavones

En las galerías se documentan ambas paredes, si el buzamiento de las rocas y los cuerpos minerales es suave, o una pared y el techo (a veces solamente el techo) si este es abrupto. Además de esto, se elabora la documentación del frente a medida de su avance por intervalos determinados (sobre todo si se organiza el muestreo del frente de la galería), así como en los lugares más importantes, para la correcta interpretación de la constitución geológica del sector. El esquema del frente se ubica junto al del techo o al de la pared y en estos últimos se traza una línea transversal que corresponde a la posición del frente documentado.

En los contrapozos, pozos "ciegos" o inclinados hay que documentar una pared orientada transversalmente al rumbo de las rocas y menas y el frente a medida de su avance, generalmente después de realizados 2 o 3 ciclos de avance, o sea cada 3 a 5 m.

El orden de las operaciones preparatorias y principales y su contenido son los mismos que en el caso de la documentación de las cortavetas y recortes.

En dependencia de su orientación con respecto a los elementos de yacencia de las rocas y los cuerpos minerales los socavones se pueden documentar de la misma manera que las cortavetas o las galerías.

## Canteras de exploración

En las canteras, en primer lugar, hay que documentar los taludes de los horizontes principales (excluyendo los horizontes de destape) a medida de su avance. Con este objetivo se confeccionan los esquemas por intervalos y las descripciones correspondientes. Como norma, el largo de este intervalo varía de 5 a 20 m. Si el talud está orientado según el rumbo de las rocas o los minerales útiles, su documentación total es irracional, ya que resulta poco informativa. En tales ocasiones es suficiente limitarse a los esquemas y las descripciones del frente transversal en el comienzo de cada ciclo de avance del escalón correspondiente, en la dirección del buzamiento del cuerpo mineral.

Además de esto, se elabora la documentación del piso y del techo de cada escalón con el fin de confeccionar y relacionar mutuamente los planos de los horizontes.

La documentación primaria en las canteras tiene sus rasgos específicos. En primer lugar, los taludes de los escalones nunca son verticales, mientras que los esquemas se ejecutan en proyecciones verticales y esto desfigura la imagen realmente observada. Son muy raros los casos en que se logra una completa eliminación de las rocas arrancadas que enmascaran la parte inferior del talud y es prácticamente imposible limpiar y preparar debidamente la superficie que se va a documentar. A esto hay que añadir que si la altura del escalón sobrepasa 5 m, su mayor parte se documenta de manera aproximada sin mediciones exactas ni el trazado preciso de los contornos geológicos. Por último, las superficies que se deben documentar son grandes, por cuya razón la escala de los esquemas disminuye hasta 1:200 a 1:500. En esos casos resulta muy importante la documentación detallada de los sectores típicos a escalas más grandes, lo que permite precisar las ideas del geólogo acerca de los factores que controlan la localización de los minerales útiles, la morfología y estructura interna de los cuerpos minerales y los principales elementos de la estructura geológica del terreno.

Todas las particularidades mencionadas hacen difícil la documentación de las canteras por los métodos ordinarios y por eso se utiliza ampliamente la fotodocumentación. Sin embargo, las fotografías no pueden revelar todos los detalles necesarios y además de las fotografías ejecutadas a la escala adoptada hay que hacer otras más detalladas o esquemas dibujados a escala más grande en los sectores que son importantes para la correcta interpretación de la constitución geológica del terreno, de la morfología, estructura interna y condiciones de yacencia de los cuerpos minerales.

El orden y el contenido de las operaciones preparatorias y principales durante la documentación de las canteras son los mismos que en el caso de las excavaciones mineras subterráneas. Sin embargo, como consecuencia de las dimensiones considerables de las superficies que se deben documentar, su limpieza y sus esquemas detallados se realizan generalmente por intervalos determinados (con más frecuencia en los lugares donde se toman las muestras) para los sectores pequeños. La posición de esos puntos de documentación se determina con precisión mediante levantamientos de topografía minera. Luego, en el talud del escalón se estudia el comportamiento de los elementos geológicos principales (horizontes de

apoyo, contactos de los cuerpos minerales y diferentes variedades de rocas, fallas, zonas de rocas alteradas, etc.) entre dichos puntos y se completa y precisa el esquema.

## Pozos de perforación rotaria a columna

Los principales documentos primarios que se confeccionan para cada pozo de perforación son: libreta de documentación geológica, testigo, la llamada columna intermedia de las rocas atravesadas con el pozo y diferentes actas.

La libreta de perforación es un documento más técnico que geológico y se atiende por el perforador. Sin embargo, el auxiliar del geólogo debe revisarla y completarla sistemáticamente, realizando las correcciones necesarias. En esta libreta, además de los datos de cómputo generales, se señalan la construcción del pozo, diámetro de la perforación para cada intervalo ejecutado, tipo de perforación y de lavado del pozo, límites de cada ciclo de perforación, largo total del testigo extraído por ciclos; color del lodo de perforación y sus demás rasgos característicos, velocidades de la perforación y sus cambios en determinados intervalos, caídas del instrumento de perforación, datos sobre las desviaciones artificiales del pozo, profundidades donde se encontraron las aguas subterráneas y tipo de estas (freáticas, de presión hidrostática, artesianas etc.), casos de absorción parcial o de pérdida completa del líquido de perforación. También se hace una breve descripción de las rocas y los minerales útiles atravesados por el pozo de perforación.

El testigo se extrae del tubo portatestigo con ayuda de dispositivos especiales que permiten mantener inalterada la sucesión normal de sus diferentes columnas y fragmentos. Luego estos se lavan y se colocan en cajas especiales con compartimientos longitudinales, en el mismo orden en que fueron extraídos del tubo portatestigo, señalándose este orden con flechas. Los límites del testigo que corresponde a un ciclo de perforación dado, se indican con tabletas especiales que tienen escritos los datos indispensables y además se recomienda poner los números correspondientes a cada columna individual del testigo o sus fragmentos importantes.

Si para la documentación geológica o la toma de muestras también se utiliza el lodo de perforación hay que ponerlo en bolsas especiales y acompañarlas con tabletas de madera donde se indican el número del ciclo de perforación y sus límites en la profundidad del pozo.

Al comparar el largo total del testigo obtenido con el del intervalo perforado se puede determinar la recuperación lineal del testigo. Si el testigo está muy desgastado es imposible evaluar su largo y por esa razón se determina su volumen, que permite calcular la recuperación volumétrica del testigo.

La libreta de documentación geológica se confecciona por el geólogo del sector o el auxiliar del geólogo y representa una descripción detallada del testigo obtenido por intervalos de profundización del pozo. Se debe destacar que la descripción del testigo es más difícil que la de las excavaciones mineras, ya que por lo general este se desgasta más o menos; el aspecto exterior de las rocas y los minerales en la superficie lateral del testigo puede ser diferente al que se observa en los afloramientos naturales y las excavaciones mineras; el carácter de los contactos, agrietamientos, los elementos de yacencia de diferentes superficies geológicas, los planos de deslizamiento y fallas se manifiestan de manera confusa o no



se observan. Por tales motivos es necesaria una documentación cuidadosa y concienzuda del testigo, así como experiencia en el ejecutante de esta tarea.

Si se pueden observar en el testigo particularidades estructuro-texturales de minerales útiles y sus rocas encajantes, sucesión de diferentes etapas de mineralización, carácter de los contactos de diferentes variedades de rocas y otros factores que son importantes para interpretar correctamente la estructura del yacimiento o su génesis, dicha descripción tiene que acompañarse de esquemas a gran escala o fotografías.

En la libreta de documentación geológica se deben señalar los números de las muestras, sus intervalos de toma y su destino.

La columna intermedia del pozo de perforación se confecciona sobre la base de la libreta de documentación geológica, indicándose para cada ciclo de perforación los intervalos integrados por diferentes rocas con los vacíos correspondientes a los lugares donde el testigo se desgastó por completo.

Las actas se levantan al iniciar el pozo de perforación o liquidarlo, al atravesar el mineral útil y ejecutar las mediciones de control de la profundidad del pozo perforado.

### Pozos de perforación rotaria sin recuperación del testigo

Todos los documentos principales que se confeccionan para estos pozos son análogos a los que fueron estudiados anteriormente en el caso de la perforación rotaria a columna. La única diferencia es que el testigo falta por completo y se sustituye por el lodo de perforación, de acuerdo con lo cual la posición de los contactos geológicos encontrados se determina con menos precisión y la documentación tiene un carácter cualitativo en lo referente a la posición espacial, potencia y estructura interna de los cuerpos minerales.

### 6.4 Principales tipos de documentación final de las excavaciones mineras y pozos de perforación

A partir de la documentación primaria de las excavaciones mineras de cualquier tipo se confeccionan los registros, en los cuales, además de los datos de cómputo generales sobre la excavación dada, se señalan sus dimensiones, número de muestras tomadas, tipos y volúmenes de trabajos auxiliares ejecutados.

Los esquemas y las descripciones hechas en las excavaciones mineras se ejecutan de manera más exacta y cuidadosa en las libretas finales de documentación geológica. Se confeccionan y se completan sistemáticamente las libretas de documentación de los trabajos geofísicos y las observaciones hidrogeológicas estacionarias.

Al generalizar los documentos primarios para un pozo de perforación a columna, en primer lugar, hay que confeccionar la columna final del pozo de perforación con cuyo objetivo se analizan los datos de la columna intermedia, la información acerca de la recuperación real del testigo por cada capa perforada, los cambios en la velocidad de la perforación, las caídas del instrumento de perforación, los resultados del carotage geofísico del pozo, etc. Esto permite decidir las

rocas en cuyos intervalos no se pudo recuperar el testigo y precisar los límites de las diferentes capas.

Los resultados de los trabajos de carotage y las observaciones hidrogeológicas se inscriben en las libretas de registro correspondientes.

Utilizando la columna final del pozo de perforación se confecciona su pasaporte que comprende: los datos de cómputo generales, la construcción del pozo y el modo de perforación, los límites de los ciclos de perforación y los de diferentes capas, índices geológicos de esas últimas, la recuperación del testigo por cada capa, los resultados de la inclinación, la posición del nivel estático de cada horizonte acuífero encontrado, los números de las muestras y sus intervalos de toma, y los resultados de los análisis y ensayos. Además, en el pasaporte se dibujan los diagramas del carotage y la columna geológica de las rocas y los minerales útiles atravesados con su descripción litológico-petrográfica.

Todos los pozos perforados se inscriben en un registro y también se confecciona el catálogo de sus coordenadas.

La generalización ulterior de los materiales primarios consiste en la preparación de diferentes planos, perfiles, proyecciones, gráficos, tablas, etc. y se realiza de acuerdo con las tareas concretas que se deben resolver con ayuda de esos documentos finales. Según las particularidades del objeto y el carácter de la información obtenida, los procedimientos concretos para confeccionar dichos documentos y sus formas pueden ser muy diversos, por cuya razón resulta irracional explicarlos aquí con detalle. Las recomendaciones generales al respecto se encuentran en los manuales y libros de estudio para las asignaturas Geología general, Geología estructural, y Geometría minera, así como en diferentes guías metodológicas e instrucciones ramales.

### 6.5 Documentación del muestreo

La documentación primaria del muestreo comprende el amarre de los lugares donde se toman las muestras, la descripción del material tomado, la enumeración de las muestras, la preparación de las etiquetas para cada muestra, el levantamiento de las actas para la toma de muestras y la confección de la libreta del muestreo.

En la etiqueta se deben señalar los datos de cómputo generales, número de la muestra, lugar de su toma, procedimiento utilizado para tomarla, tamaño de la muestra y una breve reseña característica del material tomado. La etiqueta se envuelve en un pedazo de papel y se pone en la bolsa con la muestra, mientras que una tableta con el número de la muestra se fija a la bolsa.

Las actas se levantan al tomar las muestras tecnológicas de laboratorio ampliadas, las semiindustriales o industriales y comprende los datos sobre el lugar donde se toma la muestra, los procedimientos que se utilizan con este objetivo, la clase industrial del mineral útil y tipos naturales de este que integran la muestra, el tamaño de los fragmentos, modo y grado de reducción de la muestra si esto se ha realizado. Si las muestras tecnológicas se seleccionan a mano o sufren una clasificación mecánica se precisa en el acta cuál método se utilizó con este objetivo, cuáles fueron las clases obtenidas, así como sus masas y su proporción relativa. El acta debe acompañarse con una copia del plano geológico donde se indica el lugar de la toma de muestra.

En la libreta del muestreo se señalan: el número del laboreo de prospección y el de la muestra; el punto de toma de la muestra y la longitud del intervalo al

que corresponde esta; el tipo de muestra y aspecto del muestreo; el carácter del material que constituye la muestra; la masa inicial de dicha muestra y el diámetro inicial de sus fragmentos; el número de cuarteos de la muestra durante su tratamiento; la masa de la muestra final y el diámetro de sus partículas; la fecha de entrada de la muestra en el laboratorio, y los resultados de los análisis y ensayos.

Los documentos finales son los planos del muestreo que se confeccionan sobre la base de la libreta correspondiente. En esos planos, junto a cada muestra indicada (o en una tabla especial aparte si falta el espacio disponible), se señalan su largo y los principales índices de la calidad del mineral útil establecidos a través de sus ensayos.

Además de esto, se confeccionan las libretas de control del muestreo, en las cuales se da toda la información acerca de las muestras principales y de control, se determinan las divergencias y se calculan los errores casuales y sistemáticos para cada operación del muestreo.

### 6.6 Vías para el perfeccionamiento de la documentación geológica

Como se indicó al comienzo de este capítulo, la documentación geológica es una de las operaciones más importantes durante los trabajos de búsqueda y exploración. Al mismo tiempo, es una de las más laboriosas: de este trabajo se ocupa más de la mitad del personal ingeniero-técnico de la empresa geológica durante los trabajos de campo y hasta 80% durante los trabajos de gabinete. Hasta ahora, la documentación geológica no está mecanizada y se realiza visualmente y a mano. Las libretas de documentación geológica de las excavaciones mineras en grandes yacimientos componen tomos enteros del informe geológico y la sistematización y generalización de esos materiales constituye una tarea difícil.

Por otra parte, en el transcurso de la exploración del yacimiento, el geólogo tiene que revisar y consultar esos documentos más de una vez, para precisar sus ideas sobre la constitución geológica del yacimiento, la génesis y las particularidades de la localización de los cuerpos minerales, su morfología, estructura interna y calidad del mineral útil; por eso, el problema de la sistematización racional de los datos iniciales, con el fin de facilitar una rápida búsqueda de la información necesaria, tiene mucha importancia.

Una de las vías más prometedoras en la solución de este problema es la utilización de tarjetas perforadas, sobre las que se ejecuta la documentación geológica. En estos últimos tiempos estas tarjetas se emplean en muchas empresas geológicas territoriales y organismos científicos de la URSS. La esencia de este método consiste en la codificación de las características principales del objeto mediante diferentes combinaciones de recortes en los sectores correspondientes de la perforación periférica de la tarjeta. Esto permite seleccionar fácil y rápidamente, del grupo de tarjetas, solo aquellas con valores análogos o iguales de determinado índice.

Para preparar el grupo de tarjetas perforadas hay que elaborar previamente la llamada *tarjeta de codificación*, en la cual se determina el orden general de ubicación de la información y se delimitan los sectores de la perforación destinados para diferentes índices del objeto (fig. 6.4).

Unidades Decenas										Unidades Decenas Unidades									
1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7				
Sector		Número de filón		Tipo de laboreo		Orientación del laboreo		Número del laboreo		Distancia desde la boca del laboreo, m									
Datos generales sobre la ubicación del objeto de documentación																			
Potencia del filón, m																			
Acimut del buzamiento																			
Ángulo de buzamiento		Principales grupos de moscovita		Contenido de moscovita por sus dimensiones		Rendimiento de moscovita industrial (n. 10%)		Tipo de zonalidad Rocas encajantes											
Carácter de los contactos		Número de la muestra		Tipo de falla y amplitud		kg/m <sup>3</sup>													
1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7	1 2 4 7				
Unidades Decenas										Unidades Decenas Cientos									

Fig. 6.4 Tarjeta perforada de codificación tipo K-6 para la documentación geológica de filones pegmatíticos con moscovita

Los esquemas y las descripciones en el espacio disponible de cada tarjeta se hacen como siempre, pero a pequeñas escalas y de manera breve. La característica cuantitativa de los índices se inscribe en la perforación mediante diferentes combinaciones de recortes con ayuda de un perforador especial. Los principales tipos de dichos recortes se dan en la figura 6.5. Conviene señalar que la utilización de los sistemas de codificación y de recortes que corresponden a los casos B y D (fig. 6.5), aunque garantizan una mayor densidad de la información por unidad de perforación, pueden causar la expulsión del grupo de ciertas tarjetas cuyos recortes son más profundos que los necesarios y esto implica la necesidad de la reselección de las tarjetas obtenidas. Por ese motivo dichos sistemas se utilizan raramente.

Las tarjetas perforadas son de papel grueso y tienen dimensiones normalizadas de tres tipos:

Tipo K-6	147 x 105 mm
Tipo K-5	207 x 147 mm
Tipo K-4	297 x 207 mm

Las tarjetas del mismo tipo se ponen en una caja de selección especial de manera que su vértice cortado esté arriba a la derecha. La caja de selección representa dos placas que imitan a la perfección la tarjeta perforada de este tipo y se unen por medio de cuatro barras metálicas. En la placa delantera se coloca la tarjeta de codificación. El macizo de tarjetas perforadas se fija en dicha caja con

## Confección de los proyectos para la realización de los trabajos de búsqueda y exploración

ayuda de dos a cuatro espigas que pasan a través de los orificios de servicio situados en los vértices opuestos de la tarjeta. Esos orificios no se pueden utilizar para inscribir información alguna.

Para hallar las tarjetas con la información necesaria se utilizan espigas análogas que se introducen en los orificios correspondientes a la combinación indispensable. Una vez hecho esto, la caja de selección se coloca de manera que los recortes en cuestión estén orientados hacia arriba y se extraen las espigas de servicio. La caja se sacude ligeramente y las tarjetas necesarias salen del macizo mientras que las demás siguen colgando sobre las espigas de búsqueda. Durante cada operación las tarjetas se pueden seleccionar solo de acuerdo con un índice.

Últimamente, en la práctica de los trabajos de búsqueda y exploración ha comenzado la utilización de sistemas más perfectos para la codificación y la búsqueda de la información geológica mediante computadoras. Esos sistemas requieren la fijación de la documentación geológica en bandas magnéticas o tarjetas perforadas especiales. Sin embargo, es difícil la amplia utilización de estos sistemas, como consecuencia de la formalización insuficiente de los conceptos y términos geológicos y lo compleja y laboriosa que resulta la codificación de estos últimos y su traducción en un lenguaje comprensible para las computadoras.

La utilización exitosa, tanto de tarjetas perforadas como de computadoras, necesita la unificación y formalización de la documentación geológica primaria dentro de grandes regiones, o sea, dentro de cada empresa geológica territorial. Ya se dan los primeros pasos en esta dirección, mediante la confección de las colecciones patrones de menas, rocas, minerales, restos fósiles, estructuras, texturas y otros índices de los objetos, así como la elaboración de las clasificaciones de dichos índices, que fueron bien argumentados, estrictamente lógicos, sin contradicciones y con una base cuantitativa. Sin embargo, esta experiencia es limitada: sin resolver este problema importantísimo, hoy día no se puede hacer más rápida y confiable la documentación geológica.

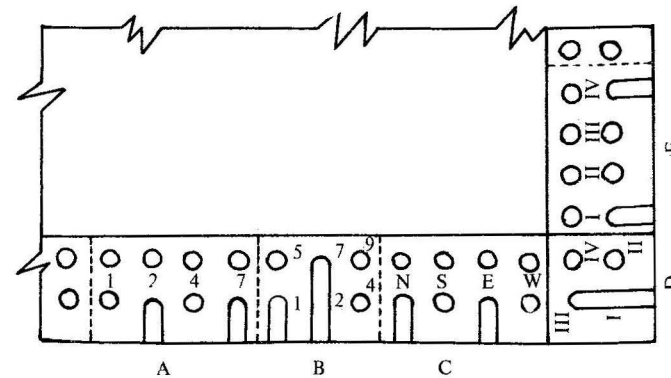


Fig. 6.5 Tipos de recortes utilizables para introducir la información en la tarjeta perforada: A- cifra 9; B- cifra 8; C- buzamiento del cuerpo mineral hacia el NE; D- estructuras disyuntivas del III tipo; E- presencia en el cuerpo mineral de los tipos naturales de mena I y IV

Los trabajos de búsqueda y exploración, así como cualquiera otra rama de la producción social necesitan una buena dirección de todos los procesos productivos. Una de las formas más importantes de la gestión económica es la planificación de los trabajos.

La confección de los proyectos para los trabajos de búsqueda y exploración es una realización técnico-económica de los planes correspondientes que deben determinar los métodos y plazos de ejecución de los trabajos, aprobar las soluciones técnicas concretas al respecto, establecer los volúmenes de cada tipo de trabajos y su ubicación espacial y precisar el costo presupuestado total de los trabajos proyectados.

El proyecto para la realización de los trabajos de búsqueda y exploración se elabora sobre la base de la tarea geológica oficial, que es el índice de planificación más importante en lo referente al incremento de las reservas de mineral útil y a los recursos que se asignan para ejecutar los trabajos proyectados. Este proyecto sirve de documento fundamental para determinar los tipos de trabajos necesarios, su contenido, métodos de ejecución, aplicación de determinados medios técnicos, ubicación espacial de los trabajos, plazos y orden relativo de realización.

Los proyectos y el presupuesto correspondiente se confeccionan para cada objeto de exploración por separado, con los plazos necesarios para cumplir la tarea geológica oficial relacionada con un estadio independiente de los trabajos geológicos; esos plazos, como norma, son inferiores a tres años.

En la URSS dichos proyectos y presupuestos se aprueban por las empresas geológicas territoriales y si el costo presupuestario total de los trabajos proyectados sobrepasa 1,5 millones de rublos se necesita la aprobación del Ministerio de Geología.

En Cuba todos los proyectos y presupuestos se aprueban por el Viceministerio de Geología del Ministerio de la Industria Básica.

Los proyectos se componen del texto, diferentes tablas y anexos gráficos. Por lo general, dicho proyecto tiene dos partes principales: geólogo-metodológica y técnico-productiva.



## 7.1 Parte geólogo-metodológica

La parte geólogo-metodológica del proyecto comprende la tarea geológica oficial, una breve caracterización geográfica de la región, un análisis de los resultados de los trabajos realizados con anterioridad, la caracterización geológica del objeto de los trabajos proyectados, la argumentación y descripción de la metodología de esos trabajos y la determinación de sus volúmenes.

La tarea geológica oficial se da en forma unificada y ofrece la información necesaria sobre el organismo que va a realizar los trabajos; los documentos directivos y de planificación que sirvieron de base para proyectar los trabajos dados; el tipo de mineral útil, nombre del objeto y su situación administrativa; objetivo principal de los trabajos proyectados; tareas geológicas más importantes y su orden de solución; parámetros de la evaluación del objeto; y plazos de ejecución de los trabajos y de presentación del informe.

La tarea geológica oficial debe formularse de manera completa y concreta para que sea posible un debido control de su cumplimiento y una evaluación cualitativa y cuantitativa de ese cumplimiento.

La breve caracterización geográfica de la región debe contener todos los datos indispensables para la opción de la metodología general de los trabajos geológicos, selección de su forma de organización, cálculo de los índices técnico-económicos principales de los trabajos proyectados y evaluación geólogo-económica de los yacimientos minerales que se pueden revelar. Entre esos datos se encuentran la situación geográfica y administrativa de la región, sus condiciones físico-geográficas (relieve, sistema fluvial, clima, vegetación, a veces el mundo animal), población y existencia de mano de obra disponible, vías de transporte y su estado en diferentes períodos del año, base energética y de combustibles, existencia de materiales de construcción locales, grado de asimilación industrial y agrícola de la región, coeficientes especiales que se deben utilizar para los salarios, y precios de materiales.

Todos los datos de este epígrafe deben ser completos y definitivos y a la vez breves, por cuya razón, al componerse este, es preciso seleccionar cuidadosamente la información que es realmente indispensable para confeccionar el proyecto de los trabajos geológicos concretos, excluyendo todos los detalles secundarios y sin importancia.

Las condiciones geográfico-económicas de la región deben ilustrarse con mapas y esquemas a pequeña escala sobre los que se señalan los objetos de trabajos proyectados, poblaciones más importantes, principales vías de transporte, aeropuertos, muelles, grandes empresas mineras, líneas de transmisión eléctrica y otros.

El análisis de los resultados de los trabajos anteriores debe abarcar solo los que se relacionan directamente con el proyecto. En este epígrafe se da la información sobre levantamientos geológicos, investigaciones geofísicas, geoquímicas y otros trabajos de búsqueda y exploración ejecutados en la región, con un breve análisis de la idoneidad de la metodología utilizada para dichos trabajos y una conclusión sobre la confiabilidad de los resultados obtenidos (mapas geológicos, hidrogeológicos, geofísicos y otros, esquemas estratigráficos, reservas calculadas de mineral útil, etc.). Como anexos gráficos a este epígrafe figuran los cartogramas del grado de estudio de la región y en la lista de la literatura utilizada se señalan las obras más importantes, tanto publicadas como manuscritas, que reflejan los resultados de los trabajos anteriores.

La característica geológica del objeto de los trabajos comprende los datos sobre la geología de la región del campo menífero, yacimiento concreto o sector; el volumen y el carácter de dichos datos, de acuerdo con el tipo de mineral útil y el estadio de los trabajos geológicos proyectados, son muy variables.

La constitución geológica de la región y el campo menífero se describe generalmente de manera breve, pero con suficiente detalle para que se comprendan las regularidades fundamentales del desarrollo geológico del sector dado de la corteza terrestre y sus rasgos metalogénicos principales; además, se determina correctamente la situación geológica del yacimiento, con respecto a la estructura geológica general de la región o del campo menífero.

Es obligatoria la información sobre la estratigrafía y litología de rocas sedimentarias presentes en la región, los complejos de rocas magmáticas y metamórficas, la tectónica de dicha región, sus condiciones hidrogeológicas y todos los yacimientos y manifestaciones de minerales útiles revelados dentro de sus límites. A partir del análisis riguroso de esos datos, el autor del proyecto debe formular sus criterios acerca de la historia del desarrollo geológico del territorio.

Para ilustrar la constitución geológica de la región se utilizan un mapa geológico a pequeña o mediana escala (1:50 000 a 1:200 000 y menos), con una columna estratigráfica y varios perfiles geológicos, así como diferentes esquemas tectónicos, mapas de minerales útiles, a veces también hidrogeológicos, geomorfológicos y otros documentos gráficos.

Al caracterizar la constitución geológica del yacimiento o sector, se presta mayor atención a:

- a) la descripción litólogo-estratigráfica del corte geológico, con el fin de destacar los complejos de rocas favorables para la mineralización y los horizontes-pan-talla;
- b) las particularidades petrográficas, condiciones de yacencia y la edad geológica de rocas magmáticas y sus relaciones posibles con acumulaciones de minerales ya conocidas;
- c) la estructura tectónica del yacimiento y el papel de sus elementos independientes en el control de la meniferación;
- d) las particularidades morfológicas, composición sustancial, zonalidad y regularidades de localización de las acumulaciones de minerales útiles revelados;
- e) las condiciones hidrogeológicas del yacimiento y las condiciones naturales (paisaje-geográficas) de realización de los trabajos proyectados.

Los datos mencionados sirven de base para expresar de manera clara y bien argumentada el punto de vista del autor en lo referente a la génesis del yacimiento y las regularidades de la ubicación espacial de las acumulaciones minerales útiles, definir el complejo de criterios de búsqueda y de evaluación, y evaluar las perspectivas de diferentes áreas, yacimientos y sectores. También hay que aclarar todos los aspectos confusos y discutibles de la constitución geológica del yacimiento que necesitan una debida precisión durante los trabajos posteriores.

La constitución geológica del yacimiento o su sector tiene como anexos gráficos un mapa geológico a escala grande o mediana, una columna estratigráfica, perfiles geológicos, fotografías y si esa constitución es compleja, también se dan esquemas tectónicos, bloques-diagramas y otros materiales necesarios.

La argumentación y descripción de la metodología de los trabajos proyectados es la parte más importante del proyecto. En este epígrafe, sobre la base de un

análisis crítico de los datos acerca de la constitución geológica, las condiciones naturales y el grado de estudio del objeto, se debe realizar su evaluación geólogo-económica pronóstico, caracterizar las tareas vinculadas con el cumplimiento de la tarea geológica oficial, considerar las posibilidades de aplicación de unos u otros trabajos y argumentar su metodología concreta de ejecución, determinar los volúmenes de cada tipo de trabajos y su orden de realización.

Para resolver esas tareas, en primer lugar, hay que crear una base geólogo-pronóstico para la elaboración del proyecto, que representa una generalización de los datos adquiridos sobre los criterios de búsqueda y de evaluación, índices de la mineralización industrial y las regularidades de la localización de los minerales útiles, a partir de las ideas adoptadas sobre la génesis del yacimiento. Esta base comprende diferentes mapas, planos y proyecciones geólogo-pronóstico, perfiles geológicos proyectados según las líneas de exploración y otros materiales indispensables sobre los que se delimitan las áreas de extensión de la red de la mineralización útil revelada y supuesta, los horizontes productivos y cuerpos minerales independientes, tanto realmente encontrados como supuestos, elementos principales de la estructura geológica y factores que controlan la localización de la mineralización. Esos materiales permiten concentrar el mayor volumen de los trabajos geológicos proyectados dentro de los sectores más favorables que garantizarán la revelación y la exploración de una cantidad máxima de reservas con gastos mínimos de tiempo y fondos materiales. Ellos también contribuyen a concretar las tareas de los trabajos proyectados y a la precisión de la ubicación espacial de las reservas esperadas de diferentes categorías.

Al proyectarse la exploración orientativa y sobre todo la detallada, así como los trabajos de exploración en la empresa minera en funcionamiento, la parte más importante de este epígrafe es el análisis de la variabilidad de los principales parámetros geólogo-industriales del yacimiento. Este análisis debe abarcar tanto los métodos geológicos basados en el estudio de los materiales geólogo-pronóstico mencionados como los métodos matemáticos seleccionados, teniendo en cuenta las particularidades concretas del objeto que se va a estudiar y el sistema de exploración anteriormente utilizado. Sobre la base de la comparación de los resultados de todos esos métodos, se extrae la conclusión definitiva sobre el grado de complejidad del objeto y se argumenta una metodología racional para su estudio ulterior.

Una base geólogo-pronóstico segura y un análisis correcto de la variabilidad del objeto junto con analogías bien argumentadas permiten precisar el complejo de tipos de trabajos que son indispensables para resolver las tareas concretas planteadas y escoger los medios técnicos convenientes para su ejecución, de acuerdo con las condiciones del paisaje geográfico de la región. Los principios más generales de selección de los métodos concretos de trabajos de búsqueda, incluyendo los geofísicos y geoquímicos, así como los sistemas de exploración y trabajos de muestreo, se han expuesto con suficiente detalle en los capítulos correspondientes de este manual y no necesitan ser repetidos. En este epígrafe del proyecto, basta con limitarse a la opción de los medios técnicos necesarios para la realización de los trabajos de cada tipo, sin ofrecer su característica técnica completa ni sus regímenes tecnológicos de aplicación, ya que esto se dará ulteriormente en la parte técnico-productiva.

Al escoger las soluciones metodológicas y técnicas de las tareas planteadas, algunas veces son posibles diferentes variantes y se necesita una cuidadosa comparación de dichas variantes, con el fin de seleccionar la que mejor pueda fun-

damentar el proyecto de los trabajos geológicos. Al hacerlo, los principios fundamentales por los cuales hay que guiarse son la posibilidad de información geológica, la efectividad económica, la sencillez de la organización y la seguridad de la ejecución de los trabajos en cada variante.

Lamentablemente, hasta ahora no se han elaborado métodos aceptados por todos para la evaluación de la posibilidad de información de diferentes variantes de los trabajos de búsqueda y exploración, aunque con este objetivo se pueden utilizar los métodos matemáticos de análisis de esa posibilidad de información, expuestos en el epígrafe 2.4.1 de la primera parte de este texto. Por eso, solo se realiza generalmente una comparación cualitativa de diferentes variantes desde este punto de vista.

Mucho mejor es la comparación cuantitativa de la efectividad económica de las variantes posibles, la cual puede realizarse utilizando el costo de producción de los trabajos proyectados o los gastos reducidos.

En la práctica se prefiere con más frecuencia el costo de producción, aunque al acompañar las variantes totalmente diferentes de los trabajos geológicos que necesitan la aplicación de medios técnicos distintos (sobre todo de una nueva técnica), las inversiones capitales específicas por unidad de trabajos proyectados varían mucho y es mejor comparar dichas variantes a través de sus gastos reducidos. Además, en muchas ocasiones es más racional comparar los gastos totales para la realización de un determinado tipo de trabajo en diferentes variantes que sus costos de producción.

La sencillez de la organización de los trabajos y la seguridad de su ejecución se evalúan para cada variante de manera cualitativa y tienen un papel secundario al escoger la variante óptima. También, hay que tener en cuenta el daño al medio a causa de la ejecución de los trabajos proyectados, lo cual resulta, a veces, tan decisivo que obliga a prescindir de una variante muy eficiente desde el punto de vista económico si esta causa algún daño irreparable al medio y provoca un empeoramiento de las condiciones sociales de vida.

Las tareas de comparación de las variantes de perforación superficial o subterránea, de sondeos ordinarios o múltiples, sistemas de exploración mineros o de perforación, son los más corrientes al argumentar la metodología de los trabajos proyectados. En el primer caso, la posibilidad de información geológica de ambas variantes se puede considerar equivalente y lo principal es la comparación de su efectividad económica. En estas condiciones el criterio para escoger la variante óptima está dado por la siguiente desigualdad:

$$G_1 + Q_1 L_1 \geq G_2 + Q_2 L_2$$

donde:

$G_1$  - gastos vinculados con la ejecución de los laboreos mineros (cortavetas, recorres, cámaras) necesarios para organizar la perforación subterránea, pesos;

$G_2$  - gastos para la construcción de los caminos de acceso y preparación de los terrenos para las instalaciones de perforación en la superficie, pesos;

$L_1$  - largo total de las perforaciones subterráneas, m;

$L_2$  - largo total de las perforaciones superficiales, m;

$Q_1$  - costo de la perforación para los sondeos subterráneos, pesos/m;

$Q_2$  - costos de perforación para los sondeos superficiales, pesos/m.

Al comparar esas variantes se utilizan como factores complementarios la sencillez de la organización de los trabajos y el daño causado al medio.

Si se analizan las variantes de utilización de sondeos ordinarios y múltiples, su posibilidad de información geológica, complejidad de la organización de los trabajos y el daño al medio son prácticamente iguales y por eso el criterio principal es el mínimo de gastos para la perforación, lo que se expresa por la siguiente desigualdad:

$$G_3n + Q_3 L_3 \leq G_4n + Q_4 L_4$$

donde:

$G_3$  - gastos vinculados con el transporte de la instalación de perforación hacia un punto nuevo, pesos;

$G_4$  - gastos necesarios para empezar la perforación de un pozo complementario a partir del pozo principal, pesos;

$Q_3$  - costo de perforación de los sondeos ordinarios, pesos/m;

$Q_4$  - costo de perforación de los sondeos múltiples, pesos/m;

$L_3$  - largo total de los sondeos complementarios, m;

$L_4$  - largo total de los pozos complementarios, m;

$n$  - número de cruceros de prospección complementarios.

La comparación de las variantes correspondientes a los sistemas de exploración mineros y de perforación es racional solo si estos últimos garantizan una suficiente posibilidad de información; o sea, suficiente autenticidad y confiabilidad de los datos reales. Dicho de otro modo, esta comparación puede resultar necesaria al explorar yacimientos muy regulares, regulares y parcialmente irregulares en las regiones con relieve montañoso accidentado, al utilizarse para el levantamiento geológico los pozos de perforación, las excavaciones mineras, etc. En todos esos casos deben preferirse los sistemas mineros más informativos si los gastos son iguales en ambas variantes y solo al ser mucho más eficientes económicamente los sistemas de perforación, estos pueden superar a los mineros.

Después de escogida y argumentada la mejor variante para cada tipo de trabajo, se describe con detalle su metodología de ejecución y se determina el volumen necesario, sobre cuya base se confecciona la tabla general de los trabajos proyectados y sus volúmenes.

Sobre la base del sistema proyectado para los diferentes trabajos y a partir de la suposición de que estos fueron realizados por completo y utilizando datos reales de los trabajos anteriores, se deben evaluar los resultados que se esperan al final de los trabajos proyectados. Con frecuencia, para este propósito se realiza un cálculo de las reservas esperadas que comprende la argumentación del método de contorno de los cuerpos minerales y del propio cálculo, metodología de la determinación de los valores promedio de los parámetros básicos, principios del bloqueo y categorización de reservas. Luego se ejecutan los cálculos necesarios y se evalúa el incremento esperado de las reservas de mineral útil.

## 7.2 Parte técnico-productiva

La parte técnico-productiva del proyecto se compone de las generalidades, la organización de los trabajos y sus aspectos económico-sociales, característica de los tipos concretos de trabajos proyectados, protección del medio, cálculos presupuesto-financieros y determinación de la efectividad esperada de los trabajos de búsqueda y exploración.

En las generalidades se caracteriza la organización de los trabajos, la situación de las bases de suministro material, los talleres, laboratorios, etc., las vías y los métodos de transporte del personal y los materiales, el sistema de comunicaciones con las bases, los sectores y con organismos geológicos superiores donde se ejecutan los trabajos.

La organización de los trabajos y sus aspectos económico-sociales comprenden la organización proyectada del sistema energético de la empresa geológica, las líneas de transmisión eléctrica, comunicaciones, el abastecimiento de agua y arcilla, el suministro de alimentos, el transporte, los talleres auxiliares, las construcciones y los edificios provisionales, con el cálculo de los índices técnico-económicos fundamentales para cada tipo de los trabajos enumerados. Además, en este epígrafe se proyectan las medidas que se deben tomar en el campo acerca de la seguridad para cada tipo de los trabajos previstos, así como las medidas contra los incendios y para la defensa civil.

La característica de los tipos concretos de trabajos proyectados debe ofrecer la siguiente información:

- volumen de los trabajos de cada tipo;
- condiciones de ejecución de los trabajos, incluyendo una clasificación de las áreas de acuerdo con la complejidad de su realización;
- métodos de trabajos concretos a utilizar;
- equipamiento necesario y su característica técnica completa;
- tecnología de realización de los trabajos proyectados;
- materiales indispensables;
- orden de ejecución de los diferentes trabajos;
- personal necesario;
- índices técnico-económicos más importantes de cada tipo de trabajos.

En este epígrafe se efectúan los cálculos de control necesarios para los principales tipos de equipamientos (máquinas y torres de perforación, bombas, compresores, tubos de perforación, etc.), se argumentan y se determinan los parámetros tecnológicos de ejecución de los trabajos (cantidad de líquido de lavado a inyectar en el pozo de perforación; velocidad de rotación de la corona y presión axial sobre el fondo del pozo; número, profundidad y ubicación recíproca de los barrenos; tipo de explosivo y su masa por barreno, etc.), se elaboran programas de construcción del pozo de perforación y pasaportes de las excavaciones mineras; se confeccionan los ciclogramas de realización de los diversos trabajos; se determinan el costo de producción para cada tipo de trabajos y los gastos de tiempo totales para su realización.

Se debe prestar una gran atención a las medidas para la protección del suelo y del medio contra la influencia dañina de los trabajos proyectados. Con este objetivo hay que prever:

- las medidas concretas necesarias para proteger los bosques, las tierras fértiles, las aguas superficiales y subterráneas, la fauna, los monumentos culturales y naturales;
- la reconstitución de los terrenos gastados o compensación del daño así causado;



- c) una correcta ubicación de las escombreras durante la ejecución de las excavaciones mineras, así como de los montones del mineral útil que mientras tanto se está extrayendo;
- d) métodos de desagüe que excluyen su influencia negativa sobre el medio;
- e) correctos procedimientos para liquidar materiales lubricantes y combustibles cuyo uso ulterior es imposible, así como reactivos químicos y otros desechos industriales;
- f) conservación y mantenimiento de las excavaciones mineras que se utilizarán posteriormente durante la explotación del yacimiento;
- g) liquidación de las excavaciones mineras y los pozos de perforación que no se pueden utilizar con posterioridad.

Los cálculos presupuesto-financieros son necesarios para determinar los gastos totales de tiempo, de trabajo, materiales y monetarios que corresponden a la realización de cada tipo de trabajos (tanto principales como auxiliares), el costo presupuestario total de los trabajos proyectados y la plantilla de personal de la empresa geológica.

Esos cálculos tienen como resultado un presupuesto general de gastos necesarios para realizar los trabajos de búsqueda y exploración, y se ejecutan sobre la base de las instrucciones vigentes acerca del orden de la planificación, proyección y financiamiento de los trabajos geológicos, guías y normativas proyecto-presupuestarias aproximadas para diferentes tipos de trabajo.

A partir de la documentación presupuestaria del proyecto se confecciona un plan calendario para la realización de los trabajos de búsqueda y exploración en el cual se destacan las etapas correspondientes planteadas sobre la base de la tarea geológica oficial. Para cada etapa se establece su costo presupuestario y, por consiguiente, el plan calendario por etapas es un documento principal de acuerdo con el cual se organizan el financiamiento y el control de la actividad de la empresa geológica.

La efectividad esperada de los trabajos proyectados se determina generalmente a través del costo de exploración de una unidad de reservas de mineral útil o los volúmenes de los tipos de trabajos principales (pozos de perforación, excavaciones mineras) por unidad de reservas exploradas. Esos índices se calculan de acuerdo con las recomendaciones expuestas en el epígrafe 9.3 del presente texto.

En Cuba se ha dictado la instrucción para la proyección de los trabajos de prospección geológica para minerales sólidos, la cual determina el orden de elaboración, análisis y aprobación de los proyectos para la ejecución de los trabajos de prospección geológica y se considera obligatoria para todas las empresas del Ministerio de la Industria Básica que realizan dichos trabajos en la República de Cuba.

Esta instrucción fue confeccionada siguiendo básicamente las normativas del CAME.

## CAPÍTULO 8

### *Cálculo de reservas de minerales útiles*

Ya se conoce que bajo el nombre de reservas se entiende la cantidad de mineral útil en el subsuelo expresada en unidades de peso o de volumen y determinada sin tener en cuenta las pérdidas y el empobrecimiento posibles durante su explotación. Además, las reservas de mineral útil deben corresponder a las exigencias formuladas en las condiciones industriales para la materia prima mineral.

Según la legislación sobre el subsuelo, vigente en la URSS, todos los trabajos geológicos relacionados con el estudio de dicho subsuelo deben anotarse en los registros estatales. En lo referente a las reservas de minerales útiles esas tareas las asumen la Comisión Estatal de Reservas de minerales útiles adjunta al Consejo de Ministros de la URSS (CER de la URSS) y las comisiones centrales y territoriales de reservas, adjuntas a los ministerios de geología de las Repúblicas Federativas, algunos ministerios ramales y las grandes empresas geológicas regionales. Las resoluciones de esas comisiones en cuanto al grado de autenticidad de las reservas calculadas y su preparación para la asimilación industrial son obligatorias para todos los organismos y empresas que realizan los trabajos de búsqueda y exploración o la explotación de minerales útiles. Sobre la base de las reservas aprobadas por las comisiones correspondientes, el fondo geológico estatal de la URSS confecciona y publica anualmente los balances de reservas unificados para cada tipo de materia prima mineral. En Cuba, como las riquezas del subsuelo son patrimonio nacional, estas son controladas por el Estado a través de las empresas geológicas que realizan los estudios geológicos y las tareas del cálculo de reservas, y son registradas en el Centro Nacional del Fondo Geológico, organismo que realiza la función de comisión estatal de reservas y que está adscrito al Ministerio de la Industria Básica.

El cálculo de reservas es una operación muy importante y de alta responsabilidad, que finaliza cada estadio de los trabajos de búsqueda y exploración y determina en gran medida el valor industrial del yacimiento. Las reservas aprobadas de la materia prima mineral sirven de base para la planificación perspectiva y corriente del desarrollo de la industria minera y algunas otras ramas vinculadas con la elaboración de minerales útiles (metalurgia, industria química, construcción y otras), así como para asignar las inversiones capitales en la construcción y reconstrucción de las empresas industriales correspondientes.

De lo expuesto se deduce que la tarea fundamental del cálculo de reservas es la determinación de la cantidad de mineral útil. Sin embargo, esta tarea no es la única. En efecto, para elaborar un proyecto de empresa minera, construirla y ponerla en funcionamiento, es necesario conocer no solo la cantidad total de mineral útil en el suelo, sino también su distribución entre los diferentes cuerpos minerales independientes y pisos de explotación; las condiciones de yacencia de las acumulaciones de mineral útil y su valor económico; la ubicación espacial de sectores integrados por materia prima de diferente calidad y el grado de autenticidad en la determinación de los principales parámetros geólogo-industriales del yacimiento. Por lo tanto, el cálculo de reservas necesita los requisitos siguientes:

1. Determinación de los límites de los cuerpos minerales, o sea su contorno.
2. Geometrización espacial de los cuerpos minerales con el fin de caracterizar su morfología, estructura interna, calidad y condiciones de yacencia.
3. Verificación de la correspondencia de las reservas calculadas con las exigencias de las condiciones industriales y determinación de su valor económico.
4. División del cuerpo mineral en bloques de cálculo independientes, de acuerdo con el grado, carácter y estructura de la variabilidad de los parámetros geólogo-industriales y su grado de estudio.
5. Ejecución de las operaciones de cálculo indispensables para determinar la cantidad de mineral útil en cada bloque de cálculo.
6. Evaluación de la confiabilidad y precisión de las reservas calculadas en cada bloque.
7. Determinación de las reservas totales del yacimiento y su clasificación según el grado de estudio, mediante la sumatoria de las reservas de los bloques de cálculo independientes.

La división de las reservas según su valor económico y grado de estudio hace necesaria la elaboración de su clasificación sobre la base de esos índices.

### 8.1 Clasificación de reservas de minerales útiles sólidos

En la URSS se utiliza la clasificación unificada de las reservas de minerales útiles sólidos que establece sus principios uniformes de cálculo y cómputo. Esta clasificación fue aprobada por el Estado Soviético en 1960 y tiene el vigor de un documento estatal obligatorio. Más aún, por resolución de la Comisión Geológica del CAME esta clasificación se considera como base de las clasificaciones de reservas de minerales útiles en todos los países socialistas. De acuerdo con este principio, en Cuba fue puesta en vigor la norma ramal NR 02-55-75-1982 "Minerales útiles y sólidos: clasificación de reservas" donde se establecen los principios únicos de cálculo y control de las reservas de minerales útiles sólidos en el subsuelo según su grado de estudio e importancia económica. De acuerdo con la clasificación soviética, las reservas se dividen según su valor económico y grado de estudio, mientras que los yacimientos o sus sectores se dividen a su vez según su grado de preparación para la asimilación industrial.

En dependencia del valor económico se separan dos grupos de reservas que tienen que calcularse y aprobarse por separado: reservas balanceadas y no balanceadas.

El primer grupo lo forman las reservas de minerales útiles que corresponden perfectamente a las exigencias de las condiciones industriales y por eso la utilización de dichas reservas es económicamente racional.

Las reservas no balanceadas tienen unos u otros índices que no se corresponden con las condiciones industriales vigentes, por lo que su explotación no es rentable en la actualidad. Esas reservas pueden pasar al grupo de reservas balanceadas si se modifican las exigencias de las condiciones industriales, pero su cálculo y cómputo son permisibles solo si está bien argumentada la posibilidad de dichas modificaciones y aprobada la necesidad de la utilización industrial de esas reservas en el futuro próximo.

Según el grado de estudio (de exploración) las reservas de minerales útiles se clasifican en cuatro categorías: A, B, C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub>. Además, para evaluar las perspectivas generales de grandes yacimientos, campos meníferos, regiones o cuencas meníferas se pueden utilizar las reservas de pronóstico; en Cuba, estas se catalogan en tres categorías: P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> y P<sub>3</sub>; la categoría de las reservas en el bloque de cálculo se determina a partir de las siguientes consideraciones básicas:

#### Categoría A

Las reservas de esta categoría se deben calcular dentro de los contornos trazados sobre la base de los laboreos de prospección. Dentro del bloque de cálculo tiene que asegurarse la obtención de datos confiables y exactos sobre la morfología, estructura interna y condiciones de yacencia de los cuerpos minerales; se deben garantizar la revelación, contorno y geometrización espacial exacta de diferentes tipos naturales y clases industriales de materia prima mineral, columnas meníferas, sectores no industriales y estériles; se deben aclarar todos los aspectos de la calidad del mineral útil con suficiente detalle para permitir la elaboración de su proyecto de extracción y tratamiento, y se debe asegurar el conocimiento completo y seguro de las condiciones minero-técnicas de explotación del yacimiento.

Las reservas de categoría A están destinadas para la argumentación de las inversiones capitales en la proyección y construcción (reconstrucción) de las empresas mineras, así como la planificación corriente de la extracción y elaboración del mineral útil en las empresas en funcionamiento.

#### Categoría B

Como regla, los contornos dentro de los cuales se calculan las reservas de categoría B se trazan sobre la base de los laboreos de prospección, pero estos se ubican según una red menos densa que la necesaria para la categoría A. Además, las reservas de categoría B se pueden calcular dentro de zonas limitadas que se obtienen mediante la interpolación de los datos reales y algunas veces (si son sencillas las condiciones de yacencia y baja la variabilidad de los cuerpos minerales) por la extrapolación de dichos datos.

Dentro del bloque de cálculo deben conocerse las particularidades fundamentales de la morfología, estructura interna y condiciones de yacencia de los cuerpos minerales. Deben revelarse los tipos naturales y las clases industriales de materia prima mineral, las columnas meníferas, los sectores no industriales y estériles y para ellos se determinan el porcentaje estadístico y las principales regu-

laridades de su ubicación espacial, pero no se logran su contorno y geometrización exactos. La calidad de la materia prima debe aclararse con suficiente detalle para determinar las vías de su utilización industrial y elegir definitivamente su esquema principal de tratamiento. Para este bloque deben conocerse las condiciones minero-técnicas de explotación más importantes.

Las reservas de categoría B, junto con las de categoría A o independientemente, se utilizan para argumentar las inversiones capitales en la proyección y construcción (reconstrucción) de las empresas mineras y planificar la extracción y elaboración del mineral útil en las empresas en activo.

Las reservas de esta categoría se pueden calcular tanto dentro de los contornos que se apoyan en una red de laboreos de prospección dispersa como en las zonas de interpolación o extrapolación amplia de los datos de exploración. Los límites de la extrapolación se determinan por las regularidades geológicas establecidas que controlan la localización de la meniferación y la variabilidad de la calidad del mineral útil.

El grado de estudio de las reservas de categoría  $C_1$  debe asegurar la formación de una idea general sobre la morfología, estructura interna y condiciones de yacencia de los cuerpos minerales. Es necesario revelar los principales tipos naturales y clases industriales de materia prima mineral, sectores no industriales y estériles y determinar de manera aproximada su proporción cuantitativa y sus relaciones espaciales mutuas. En cuanto a la calidad del mineral útil, hay que obtener los datos generales sobre sus diferentes aspectos y especialmente acerca de sus propiedades tecnológicas. Las condiciones de explotación del yacimiento deben caracterizarse de manera general.

Las reservas de categoría  $C_1$  (junto con las de categorías A y B y con menos frecuencia independientemente) se utilizan para argumentar las inversiones capitales en la proyección y construcción (reconstrucción) de las empresas mineras. Además, estas sirven de base para la planificación y la proyección de la explotación detallada de los yacimientos minerales útiles.

## Categoría $C_2$

Para calcular las reservas de esta categoría los contornos se trazan a partir de la extensión de las estructuras geológicas o de los complejos de rocas favorables. El contorno se hace utilizando tanto las consideraciones geológicas más generales como los datos geofísicos que las confirman y laboreos de prospección que dan con el cuerpo mineral raras veces. En ocasiones con la categoría  $C_2$  se relacionan las reservas no exploradas adyacentes a los bloques y sectores de los cuerpos minerales que fueron bien estudiados y cuyas reservas se evalúan en las categorías A y B.

Las conclusiones acerca de la morfología, estructura interna, calidad, condiciones de yacencia de los cuerpos minerales y particularidades de su explotación se obtienen sobre la base de los datos reales obtenidos en los laboreos de prospección con una extrapolación muy amplia o se utilizan con este propósito las analogías con otros sectores y yacimientos bien estudiados. Por lo tanto, la importan-

cia mayor para el cálculo de reservas en categoría  $C_2$  la tiene una correcta idea sobre las regularidades que controlan la localización de la meniferación.

Las reservas de categoría  $C_2$  están destinadas para la planificación y proyección de la exploración orientativa y detallada de los yacimientos minerales útiles y junto con las reservas de categorías más altas para la planificación perspectiva del desarrollo de las ramas correspondientes de la economía nacional (industria minera, química, metalurgia y otros).

## Reservas de pronóstico

Estas reservas están inexploradas y no se pueden geometrizar ni siquiera de manera aproximada. Esto quiere decir que su cantidad se determina de modo indirecto fuera de los contornos geométricos y sobre la base de los valores supuestos de los parámetros de cálculo. El cálculo de reservas de pronóstico se apoya en el conocimiento de las regularidades de formación y ubicación de los yacimientos minerales útiles, al cual se añaden los resultados de investigaciones especiales (geológicas, geofísicas, geoquímicas y otras) realizadas con vistas a esclarecer la constitución geológica del territorio a estudiar y reconstruir su historia de desarrollo geológico. Dichas reservas permiten extraer conclusiones sobre la posibilidad de ampliar la base mineral y aseguran la planificación perspectiva de los trabajos de búsqueda y exploración.

En las recomendaciones de la Comisión Geológica del CAME, así como en las obras científicas de ciertos autores se propone subdividir las reservas de pronóstico en grupos y categorías de acuerdo con su grado de confiabilidad y su escala [12] o también considerando su valor industrial [27]. Esa subdivisión resulta completamente superflua e infundada. Es que, en primer lugar, resulta insensato hablar de confiabilidad en algo absolutamente inseguro, como son las reservas de pronóstico. Basta con citar al respecto a A.B. Kazhdán, uno de los partidarios más entusiastas de dichas propuestas, el cual subdivide las reservas de pronóstico en tres categorías según su confiabilidad  $D_1$ ,  $D_2$  y  $D_3$ , cuando dice que a veces las reservas de pronóstico se expresan con dos cifras que determinan el rango de sus valores más probables y los contenidos de componentes útiles se pronostican en forma cualitativa (materia prima pobre, ordinaria, rica) [12, p. 21].

En segundo lugar, en la clasificación de las reservas exploradas (categorías A, B,  $C_1$  y  $C_2$ ), la escala del objeto no se toma en consideración y por eso no existe razón alguna para utilizarla con el propósito de subdividir las reservas de pronóstico.

Por último, la división de las reservas de minerales útiles, según su valor industrial, en balanceadas y no balanceadas es uno de los principios fundamentales de su clasificación, independientemente de su grado de estudio. Por lo tanto la propuesta de E.O. Pogrebitsky y V.I. Ternovoi, sin contribuir esencialmente a la clasificación de las reservas, puede prestarse a equívocos en lo referente a las reservas no balanceadas de perspectiva próxima (20 a 25 años) y las de perspectiva lejana (40 a 50 años).

Las exigencias mencionadas para el grado de estudio de los diferentes parámetros geólogo-industriales, cuyo cumplimiento es necesario para relacionar las reservas calculadas con determinadas categorías tienen un carácter muy general. Estas se precisan y se concretan para diferentes tipos de minerales útiles en las instrucciones especiales elaboradas por la CER de la URSS, por las cuales el



geólogo debe guiarse al argumentar la categoría de las reservas en los bloques de cálculo concretos en unos u otros yacimientos explorados.

Es preciso destacar que las reservas se dividen en categorías sin ninguna relación con su valor económico y por eso las de altas categorías (A y B) pueden ser tanto balanceadas como no balanceadas.

Para concluir la revisión de la clasificación de las reservas según su grado de estudio, resulta racional dar la comparación de su división en categorías, adoptada en los países socialistas y algunos países capitalistas importantes (tabla 8.1).

Tabla 8.1  
COMPARACIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE RESERVAS ADOPTADAS EN DIFERENTES PAÍSES

CATEGORÍAS DE RESERVAS	PAÍSES				
	Países socialistas	EE.UU.	Inglaterra	Francia	R F A
	A	Medidas (Measured)	Probadas (Proved)	Ciertas (Certains)	Seguras (Sicher)
	B	Deducidas (Indicated)	Probables (Probable)	Probables (Probables)	Probables (Wahrscheinlich)
	C <sub>1</sub>				Señaladas (Angeden- tet)
	C <sub>2</sub>	Supuestas (Inferred)	Posibles (Possibles)	Posibles (Possibles)	Supuestas (Vermutet)

Como demuestra la tabla, en la mayoría de los países capitalistas analizados la división de reservas en categorías es muy semejante a la adoptada en los países del CAME, pero tiene un carácter menos detallado. Solo en la RFA se utiliza la misma clasificación que en los países socialistas.

En dependencia del grado de preparación para la asimilación industrial los yacimientos de minerales útiles y sus sectores se clasifican según su complejidad, estableciéndose el porcentaje requerido de las reservas de categorías industriales (A, B y C<sub>1</sub>) para cada grupo de objetos. Según este principio se destacan tres grupos de ellos:

Grupo I: yacimientos (sectores) de constitución sencilla con cuerpos minerales regulares, tanto por su potencia como por la distribución de componentes útiles en la mena (grandes depósitos estratiformes de menas de hierro, manganeso, cromo, cobre, níquel, menas polimetálicas y bauxita; *stockworks* grandes de menas de cobre, molibdeno, wolframio y metales raros; yacimientos de menas apatito-nefelínicas, fosforita, sales minerales, carbón, caliza, dolomita y la mayoría de los yacimientos de materia prima para la construcción).

Los yacimientos de este grupo, salvo los de carbón, se consideran preparados para la asimilación industrial si al menos 30% de las reservas de categorías industriales se relacionan con las categorías A y B, y al menos 10% con la categoría A. En el caso del carbón esta proporción debe ser otra: si el carbón se utiliza en la producción de coque metalúrgico, las categorías A y B tienen que formar al menos 60% de las reservas totales de categorías A, B y C<sub>1</sub> y la categoría A, al menos 30%; para los demás tipos de carbón las reservas de categorías A y B deben sobrepasar 50% de las totales, y al menos 20% de reservas de categoría A.

Grupo II: yacimientos (sectores) de constitución compleja con cuerpos minerales irregulares por su potencia o por la distribución de componentes útiles en la mena (cuerpos estratiformes y lenticulares de constitución compleja de menas de hierro, manganeso, cromo, cobre, níquel, menas polimetálicas, bauxita y carbón; cuerpos complejos tipo *stockworks* de menas de cobre, estaño, carbón, molibdeno, wolframio y metales raros; yacimientos filoneanos de cobre, níquel, oro, estaño, cuerpos lenticulares de rocas asbestíferas y talquíferas, de apatito y fosforita).

En esos yacimientos es económicamente irracional obtener las reservas de categoría A en la etapa de exploración detallada y por eso los objetos se consideran preparados para la asimilación industrial si al menos 20% (para los yacimientos de carbón al menos 50%) de las reservas totales de categorías B y C<sub>1</sub> se relacionan con la categoría B. De paso conviene señalar que en esas ocasiones las reservas de categoría B se diferencian de las de categoría A solo por su geometrización menos confiable (o esta falta por completo), en lo referente a las clases industriales de la mena, columnas meníferas, sectores no industriales y estériles, así como los contornos generales del cuerpo mineral. Por otra parte, las propiedades tecnológicas del mineral útil y las condiciones de explotación minero-técnicas se deben aclarar con el mismo detalle que se necesita para la categoría A.

Grupo III: yacimientos (sectores) de constitución muy compleja con cuerpos minerales muy irregulares por el contenido del componente útil (cuerpos filoneanos y lenticulares medianos y pequeños de menas de cromo, estaño, mercurio, antimonio, cobalto, metales raros, polimetálicas; yacimientos de diamante, moscovita, materia prima piezoóptica, piedras preciosas).

La obtención de las reservas de categoría B (sin hablar ya de la categoría A) durante la exploración detallada de esos yacimientos es irracional por razones económicas y la proyección y la construcción (reconstrucción) de las empresas mineras se permite sobre la base de las reservas de categorías C<sub>1</sub>. En este caso las propiedades tecnológicas de la materia prima mineral y las condiciones de explotación del yacimiento se estudiarán con el detalle propio de la categoría A.

Se debe destacar que el exceso considerable de reservas de altas categorías en comparación con las recomendaciones arriba expuestas, aunque ocurre en la práctica de los trabajos de búsqueda y exploración representa un error muy grave, ya que implica el aumento del costo de la exploración, hace más largos sus plazos y necesita inversiones capitales complementarias que quedarán sin rendimiento conveniente durante muchos años. Es preciso recordar que las reservas de altas categorías deben garantizar la planificación del funcionamiento de la futura empresa minera solo dentro del período de 5 a 10 años próximos y que la conversión del resto de las reservas de categorías C<sub>1</sub> en las de categorías A y B es una de las tareas de la exploración de explotación en la empresa minera en activo, que se resuelve en esas condiciones con gastos menores en comparación con los de la exploración detallada.

## 8.2 Parámetros básicos del cálculo de reservas

De acuerdo con el tipo de mineral útil el cálculo de reservas se puede realizar en unidades de volumen o de peso. En el primer caso, la tarea del cálculo se reduce a la determinación del volumen total ocupado por el mineral útil ( $V$ ) y se resuelve más fácilmente utilizando la fórmula:

$$V = S\bar{m} \quad (128)$$

donde:

$S$  - área de la proyección del cuerpo mineral en un plano determinado;  
 $\bar{m}$  - potencia media del cuerpo mineral en la dirección normal a este plano.

El cálculo de reservas del mineral útil en unidades de peso ( $Q$ ) necesita el conocimiento de un parámetro más: la masa volumétrica media del mineral útil ( $\bar{d}$ ). En este caso la fórmula tiene el siguiente aspecto:

$$Q = V\bar{d} = S\bar{m}\bar{d} \quad (129)$$

Para la mayoría de los minerales útiles meníferos (salvo las menas de metales ferrosos y la bauxita), así como para ciertos tipos de materia prima mineral no menífera (mica, asbesto, diamante, apatito, cuarzo piezoóptico y otros) es necesario calcular las reservas, tanto de la mena como del componente útil ( $P$ ). En estas ocasiones se utiliza una de las siguientes fórmulas en dependencia del modo de expresión del contenido de componente útil:

$$P = V\bar{c} = S\bar{m}\bar{c} \quad (130)$$

$$P = Q\bar{c} = S\bar{m}\bar{d}\bar{c} \quad (131)$$

$$P = \frac{Q\bar{c}}{100} = \frac{S\bar{m}\bar{d}\bar{c}}{100} \quad (132)$$

donde:

$\bar{c}$  - contenido promedio del componente útil expresado en unidades de peso por metro cúbico de mena (130); por una tonelada de mena (131) o en tanto por ciento (132).

Las fórmulas anteriores muestran que los parámetros básicos del cálculo de reserva son:

- El área del cuerpo mineral.
- La potencia media del cuerpo mineral.
- La masa volumétrica media del mineral útil.
- El contenido medio del componente útil en la mena.

Antes de comenzar el cálculo de reservas hay que determinar las magnitudes de esos parámetros a partir de la información adquirida en el transcurso de los trabajos de búsqueda y exploración. Esta tarea es de suma importancia, ya que de su correcta solución dependen en gran medida la precisión y autenticidad del cálculo de reservas. Por lo tanto, se debe prestar la debida atención a esos parámetros y los procedimientos a utilizar para determinar sus magnitudes en casos de objetos geológicos concretos.

### 8.2.1 Área del cuerpo mineral

La determinación del área ocupada por el mineral útil es una tarea técnica de las más sencillas, si se conocen sus contornos generales y los límites de los blo-

ques de cálculo por los cuales ella se subdivide. Por consiguiente, la primera operación que se debe realizar y la más importante para el cálculo de reservas es el contorno de los cuerpos minerales que se hace en diferentes proyecciones de dichos cuerpos (horizontales o verticales, muy raras veces inclinadas) o en el plano del perfil geológico. Los límites que se trazan en esos documentos gráficos pueden ser tanto naturales, coincidentes con los contornos de la mineralización útil, como convencionales; por ejemplo, los límites que reflejan la correspondencia del mineral útil a las exigencias industriales. De acuerdo con esto, en el cálculo de reservas se utilizan, como norma, tres tipos de contornos: contorno cero o contorno de acuñamiento, contorno industrial y contorno interior.

### Contorno cero

El contorno cero es el lugar geométrico de los puntos donde la potencia del cuerpo mineral se iguala a cero. Dicho de otro modo, representa el límite exterior del cuerpo, por cuya razón a veces se le llama contorno exterior. No obstante, al ser discontinuos los cuerpos minerales dicho contorno puede surgir dentro del área mineralizada.

Según su definición, el contorno cero siempre debe trazarse utilizando la potencia del cuerpo mineral. De lo amplia y completa que sea la información obtenida durante la exploración, depende el procedimiento a aplicar para resolver esta tarea. Los procedimientos son los siguientes:

- a) utilización de los contornos geológicos naturales;
- b) trazado del contorno sobre la base de la extrapolación limitada;
- c) trazado del contorno sobre la base de la extrapolación ilimitada.

El trazado del contorno cero con la utilización de los límites naturales (planos de fallas y líneas de intersección con los cuerpos minerales u horizontes productivos; contornos de las estructuras favorables; límites de extensión de las variedades litológicas favorables de rocas encajantes; horizontes-pantalla y otros) es el más argumentado y preferible, por cuanto corresponde bien a las particularidades naturales del objeto.

Lamentablemente, con frecuencia la aplicación de este procedimiento es imposible, por cuya razón el geólogo se ve obligado a utilizar otros métodos de contorno, los cuales tienen un carácter formal.

La extrapolación limitada se utiliza para determinar la posición espacial de los puntos de apoyo a través de los cuales con posterioridad se traza el contorno cero. Esta tiene dos variantes. En la primera se explota la tendencia bien expresada del acuñamiento del cuerpo mineral, que se establece mediante dos laboreos de prospección contiguos. Sobre esta base se puede calcular el gradiente de reducción de la potencia que determina el llamado *ángulo de acuñamiento* ( $\gamma$ ). Al considerar este ángulo como valor constante, es fácil obtener el punto que corresponde a la potencia igual a cero (punto 0) por el método gráfico (fig. 8.1) o analítico. En el último caso se utiliza la siguiente expresión:

$$\frac{x}{l} = \frac{m_2}{m_1 - m_2} \quad (133)$$

Sin embargo, la práctica de los trabajos geológicos demuestra claramente que el acuñamiento regular de los cuerpos minerales es muy raro. Por eso el proce-

dimiento anterior, conocido como *contorneo mediante el ángulo de acuñaamiento* puede aplicarse solo a sectores limitados del cuerpo mineral; generalmente si la zona de extrapolación, por su ancho, es inferior a la distancia entre los cruceros de prospección contiguos ( $l$ ). La utilización del ángulo medio del acuñaamiento, calculado para importantes sectores del contorneo exterior que se propone en muchos manuales y libros científicos, no tiene ninguna argumentación y no puede hacer este método más exacto. Al mismo tiempo, este procedimiento es más complejo y complicado por cuyos motivos resulta irracional exponerlo aquí.

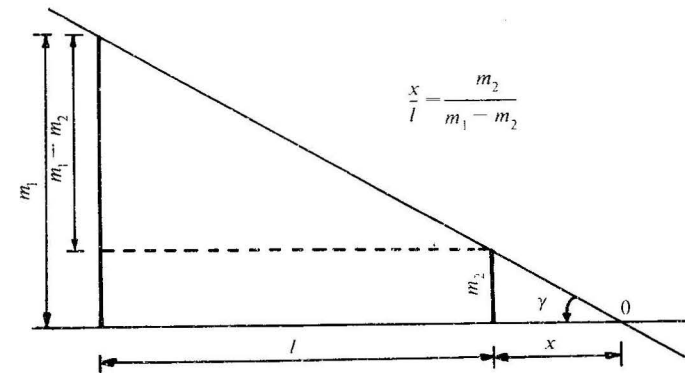


Fig. 8.1 Esquema de solución gráfica y analítica de la obtención del punto de contorno cero mediante el ángulo de acuñaamiento

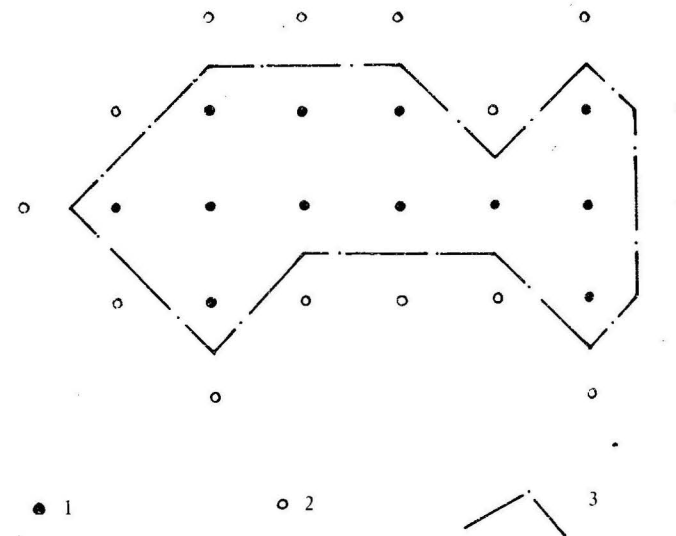


Fig. 8.2 Trazado del contorno cero entre los laboreos de prospección meníferos y sin mena: 1- perforaciones meníferas; 2- perforaciones sin mena; 3- contorno nulo (cero)

En la segunda variante, el cuerpo mineral se encuentra en uno de los laboreos de prospección contiguos y está ausente en otro. En este caso el contorno cero pasa entre esos laboreos y su posición exacta es desconocida. Por eso, con frecuencia se admite que el punto de dicho contorno se ubica en la mitad de la distancia entre el laboreo de prospección que corta el mineral útil y otro que no lo corta (fig. 8.2). Nosotros también somos partidarios de este criterio, ya que este procedimiento garantiza, al menos, un carácter uniforme del contorneo. Sin embargo, también es aceptable trazar el contorno cero a un cuarto de la distancia entre los laboreos de prospección contiguos: más cerca del que corta el mineral útil, si su potencia es pequeña y más allá de este en el caso opuesto; este método complica el contorneo sin hacerlo más exacto, ya que se conocen muchos ejemplos de acuñaamiento brusco de los cuerpos minerales potentes, así como el acuñaamiento gradual y lento de los depósitos minerales poco potentes. Lo mismo se aplica a la utilización de los perfiles verticales con el fin de precisar la posición de los puntos de contorno cero.

Al utilizar la extrapolación ilimitada, el contorno cero se traza fuera de la zona estudiada mediante los laboreos de prospección, a una distancia del último laboreo que depende de la densidad de la red de exploración, las dimensiones de la parte explorada del cuerpo mineral y el pronóstico geológico. Si los cuerpos minerales, cuyo acuñaamiento se supone, yacen horizontalmente o con buzamiento suave, esta distancia (a partir del último laboreo de prospección que ha detectado la presencia del mineral útil) será igual, según los casos, al intervalo de observaciones en esta dirección, a su mitad o a dos intervalos. Para los cuerpos con buzamiento abrupto, el contorno cero se traza a uno o dos pisos de exploración más abajo a partir de los últimos cruceros de prospección.

Si no se supone el acuñaamiento del cuerpo mineral en alguna dirección, el contorno cero no debe trazarse en el sector correspondiente, puesto que se sale fuera del límite del dibujo.

Los cuerpos minerales con buzamiento abrupto, estudiados solo en la superficie actual, se delimitan en la profundidad en función de su largo o área observados. Los procedimientos correspondientes son completamente formales y su aplicación es admisible solo si falta la información directa o indirecta acerca del comportamiento de la meniferación en la profundidad. En el caso de los cuerpos filoneanos el área de proyección se considera igual al triángulo cuya altura corresponde a la mitad del largo explorado del cuerpo (regla de Hoover, fig. 8.3a) o al paralelogramo con altura igual a una cuarta parte de este largo (fig. 8.3b).

En ambas variantes las áreas meníferas son equivalentes y la selección del procedimiento correcto para trazar el contorno depende solo de nuestra idea sobre el carácter del acuñaamiento del cuerpo mineral.

Al ser isométrica la parte estudiada del cuerpo mineral (por ejemplo, los *stockworks*) su contorno cero en la profundidad se traza como un hemisferio o un cono con la altura igual al radio medio de la superficie aflorada del cuerpo (fig. 8.4).

Ninguno de los procedimientos formales tiene en cuenta la morfología real del objeto y sus verdaderas condiciones de yacencia y por consiguiente ellos pueden provocar errores muy graves durante el cálculo de reservas. Un ejemplo típico de ese error cometido durante la exploración de un filón pegmatítico en Karelia del norte se da en la figura 8.5.

Además de los métodos generales tratados, los cuales permiten trazar el contorno cero, existen también dos procedimientos particulares aplicables en los



casos en que existe información complementaria. Esos procedimientos son el contorno sobre la base de las observaciones directas del acuífamento del cuerpo mineral en las excavaciones mineras y la utilización de los resultados de los trabajos geofísicos. Ambos casos son sencillos y no necesitan explicaciones especiales.

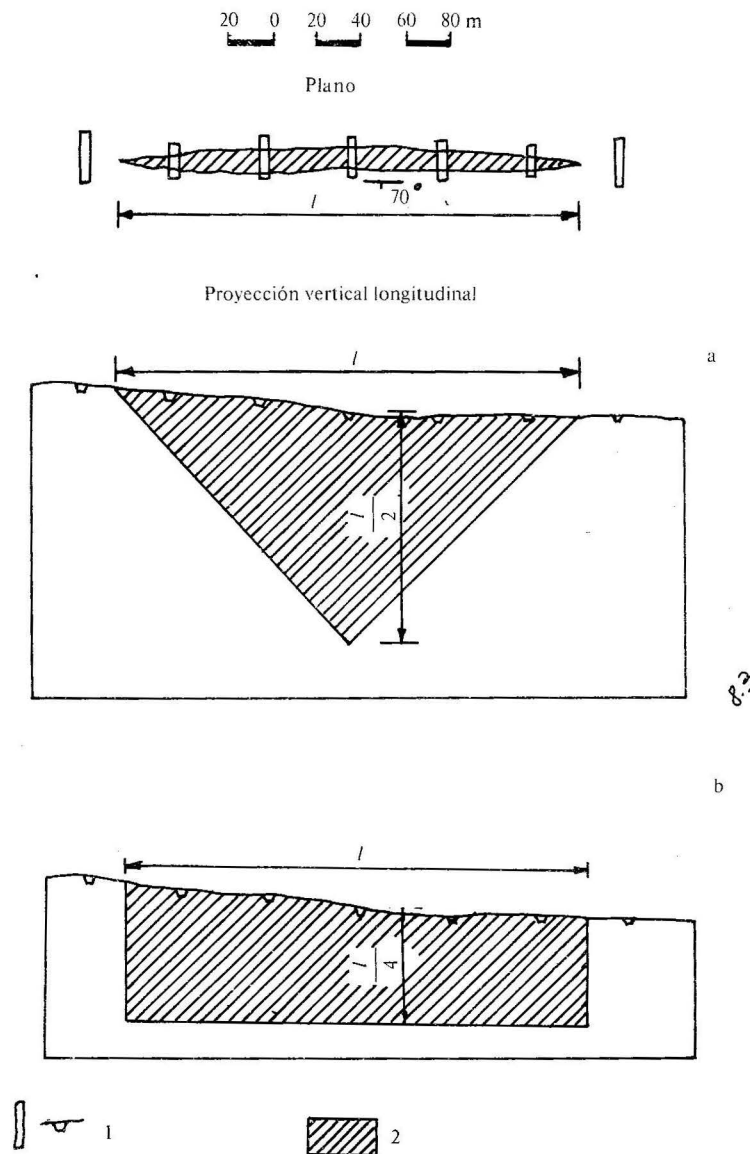


Fig. 8.3 Contorno en la profundidad de los cuerpos filoneanos con buzamiento abrupto: a) según la regla de Hoover; b) según la regla del paralelogramo; 1- trincheras; 2- cuerpo mineral

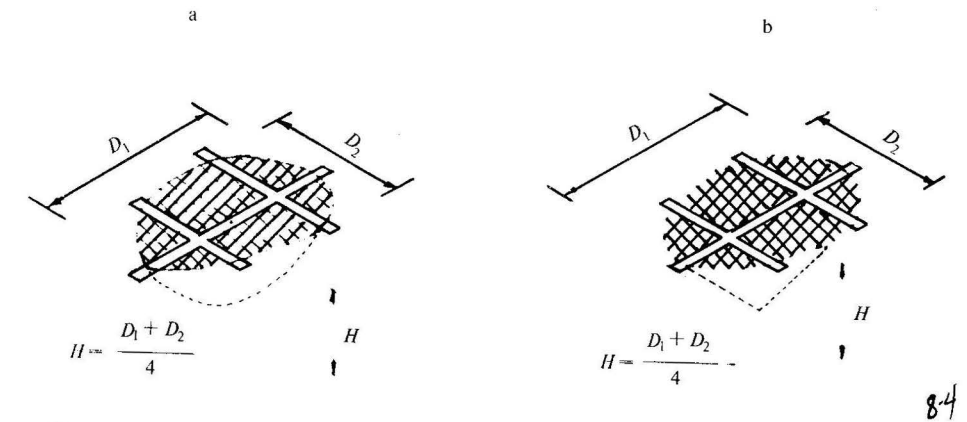


Fig. 8.4 Contorno en la profundidad de los cuerpos isométricos con buzamiento abrupto: a) según la regla del hemisferio; b) según la regla del cono

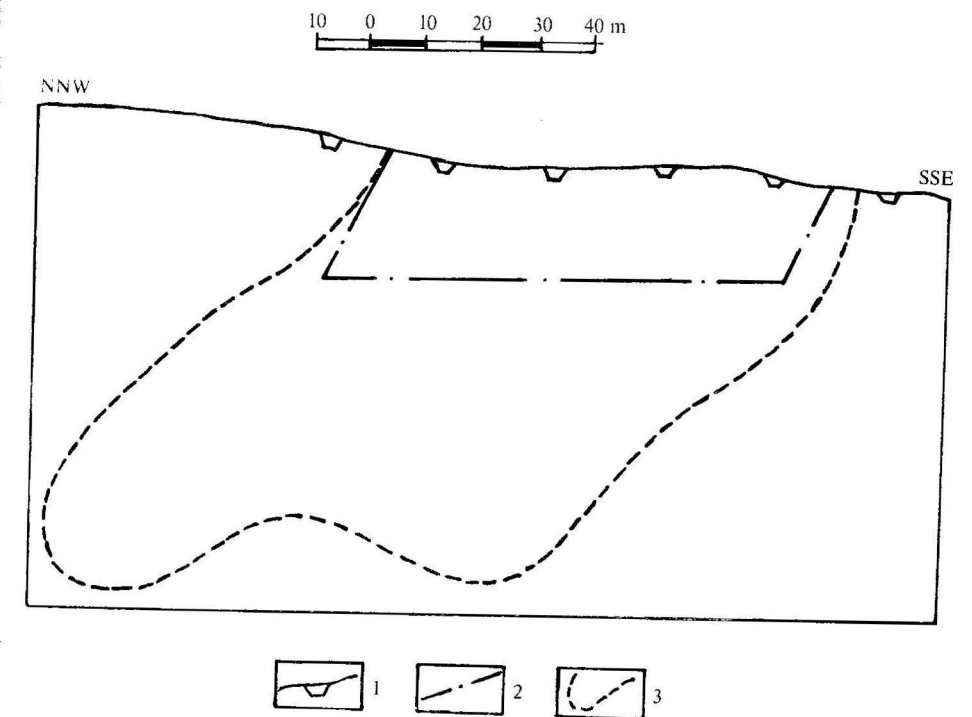


Fig. 8.5 Contorno erróneo de filón pegmatítico con moscovita en proyección vertical según la regla del paralelogramo: 1- trincheras; 2- contorno cero; 3- contorno real del filón

Si el contorno cero no coincide con los límites geológicos ya trazados y se dibuja a través de los puntos de apoyo obtenidos por uno u otro método indirecto, esos puntos se pueden unir mediante líneas rectas o diversas curvas. Los partidarios del primer procedimiento creen que los mismos puntos de apoyo en la mayoría de los casos son convencionales y no coinciden con la posición real de la línea de acunamiento del cuerpo mineral. Por eso, la línea quebrada del contorno cero no es más convencional que alguna curva gradual y además garantiza un carácter uniforme del contorno y la determinación sencilla del área del bloque de cálculo.

Los adeptos de los contornos curvilíneos sostienen como argumento principal el carácter curvilíneo de los límites naturales de los cuerpos minerales, pero olvidan por completo el hecho de que el contorno que se traza no es real sino convencional y que el carácter de las curvas correspondientes al contorno real es desconocido.

## Contorno industrial

El contorno industrial es el límite entre la parte del cuerpo mineral dentro del cual se cumplen todas las exigencias de las condiciones industriales y otros sectores donde unos u otros parámetros no corresponden a esas exigencias. Dicho de otro modo, este contorno sirve para separar las reservas balanceadas de las no balanceadas y en esto reside su importancia principal. En dependencia de las particularidades concretas del objeto a explorar este contorno se puede trazar sobre la base de cualquier índice de las condiciones industriales, pero más frecuentemente con este fin se utilizan la potencia mínima industrial del cuerpo mineral, el contenido de los bordes (o si este no se da, el mínimo industrial) de componente útil y el metro-porciento o metro-gramo mínimo.

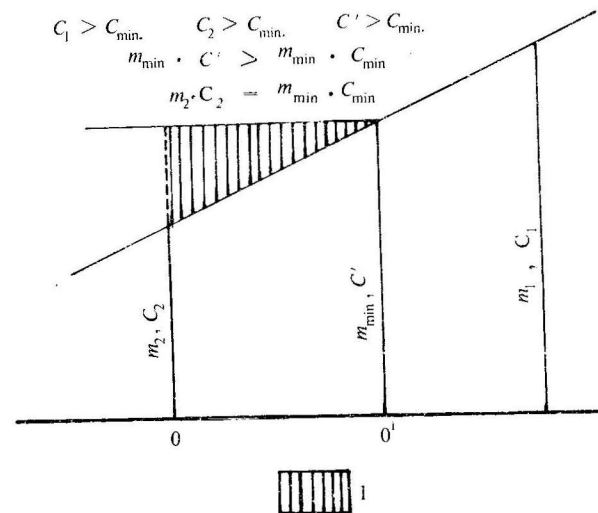


Fig. 8.6 Esquema ilustrativo de la utilización del metro-porciento para el trazado del contorno industrial: 1- rocas encajantes que se extraen junto a la mena

El contorno industrial solo se traza sobre la base de la potencia del cuerpo mineral, si la calidad de la materia prima mineral cumple las exigencias de las condiciones industriales en todos los cruceros de prospección. Si en unos u otros puntos el mineral útil es no industrial por su calidad, se traza el contorno industrial complementario de acuerdo con este parámetro y la consideración conjunta de ambos contornos permitirá trazar el contorno industrial definitivo, de manera que dentro de él, tanto la potencia del mineral útil como su calidad, correspondan a las exigencias industriales.

Si los cuerpos minerales son grandes y regulares por su potencia (con más frecuencia tales son los minerales útiles sedimentarios) los límites industriales a veces se pueden trazar solo en función de la calidad de la materia prima mineral, es decir, mediante la separación de los sectores que son industriales o no según el contenido de uno u otro componente.

El metro-porciento mínimo se denomina al producto de la potencia mínima industrial por el contenido de los bordes (o mínimo industrial); se utiliza para delimitar los sectores del cuerpo mineral poco potentes pero ricos en componente útil, ya que en este caso se pueden extraer las acumulaciones minerales cuya potencia es inferior a la mínima industrial junto con una parte de las rocas encajantes estériles (fig. 8.6) y este empobrecimiento inevitable podrá compensarse con el alto contenido del componente útil en la mena. No hay duda que la utilización del metro-porciento trae como consecuencia el incremento de las reservas de minerales útiles, contribuye al uso más completo del subsuelo y hace más sencillos los contornos industriales de los cuerpos minerales. Por otra parte, se prohíbe categóricamente utilizar el metro-porciento en el caso de menas pobres (no industriales por su calidad), cualquiera que sea su potencia, ya que esto iría en contra de los principios económicos de la exploración y evaluación de minerales útiles: la elaboración de la mena no será rentable y sus reservas tienen que calificarse como no balanceadas.

El único modo utilizable para la obtención de los puntos de apoyo del contorno industrial fuera de los cruceros de prospección es la interpolación de los datos reales. Este modo es válido cualquiera que sea el parámetro en cuya base se traza dicho contorno. La interpolación puede ejecutarse entre dos cruceros de prospección contiguos (uno de los cuales muestra valores industriales de los parámetros correspondientes y otro que muestra valores no industriales) o entre un laboreo de prospección y un punto del contorno cero. En ambos casos se supone que dentro de la zona de interpolación cada parámetro geólogo-industrial varía de manera regular rectilínea, lo que permite resolver la tarea planteada gráfica o analíticamente. Un ejemplo de solución gráfica en el caso de contorno según la potencia del cuerpo mineral se da en la figura 8.7.

El modo analítico se basa aquí en las siguientes proporciones:

$$\frac{x}{l-x} = \frac{m_{\min} - m_2}{m_1 - m_{\min}} \quad (134)$$

$$\frac{x}{l'-x} = \frac{m_{\min}}{m_1 - m_{\min}} \quad (135)$$

Los puntos de apoyo del contorno industrial así obtenidos se pueden unir con ayuda de líneas rectas o curvas, aunque la opinión de los autores está a favor de los límites rectilíneos.

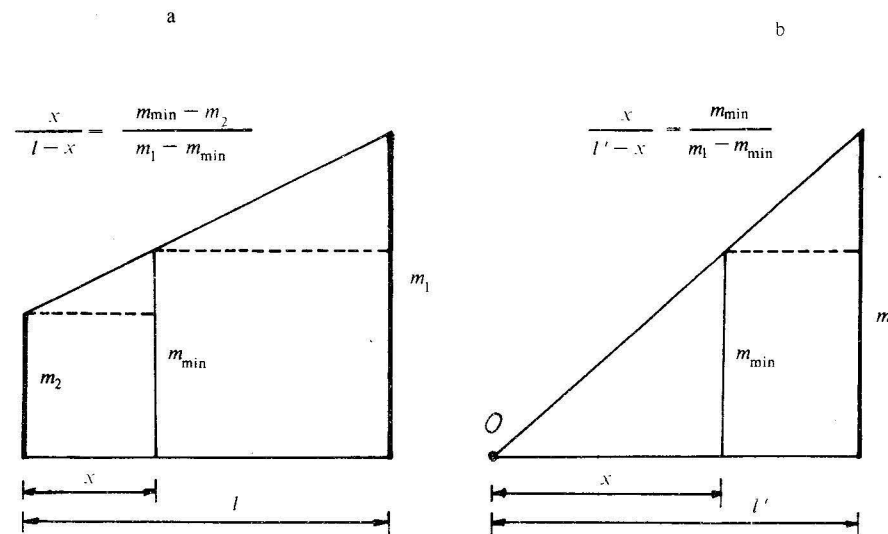


Fig. 8.7 Obtención del punto de apoyo del contorno industrial por la potencia del cuerpo mineral: a) entre dos pozos de perforación; b) entre un pozo de perforación y un punto del contorno cero

En la gran mayoría de los casos el contorno industrial es inferior con respecto al cero y solo como una excepción, al ser muy bruscas y momentáneas las variaciones de la potencia del cuerpo mineral en las zonas de fallas, esos contornos pueden coincidir.

Si las condiciones industriales contienen exigencias complementarias para las reservas no balanceadas hay que trazar no solo el contorno industrial sino también el de las menas no balanceadas. La metodología y los procedimientos concretos para obtenerlo no se diferencian en nada de los que se utilizan para trazar el contorno industrial.

### Contorno interior

El contorno interior se obtiene al unir entre sí, mediante líneas rectas, los laboreos de prospección contiguos que se ubican en la periferia de la zona limitada con el contorno industrial o situada entre este y el contorno de menas no balanceadas. En este caso la línea del contorno interior debe coincidir con los lados o diagonales de las cuadrículas de la red de exploración.

El contorno en cuestión es indispensable para clasificar las reservas a calcular según su grado de estudio: dentro de este contorno las reservas se relacionan con categorías más altas que en la llamada banda intercontorno (entre el contorno interior y el industrial o de menas no balanceadas), lo cual representa la zona de interpolación o extrapolación de los datos reales. Sin embargo, es conveniente señalar que esos razonamientos son válidos si y solo si los valores de los parámetros geólogo-industriales en los laboreos de prospección contiguos están mutuamente relacionados. En caso opuesto no solo no se garantiza la variabilidad rectilínea

de sus valores sino que tampoco existe la certeza de que entre los puntos de observación el cuerpo siempre sea industrial.

Después de obtener esos tres contornos, hay que dividir el cuerpo mineral en bloques de cálculo mediante contornos auxiliares. Esa división se hace dentro de áreas limitadas con el contorno interior y en la banda intercontorno, de manera que los bloques de cálculo sean diferentes desde el punto de vista de la variabilidad de los parámetros geólogo-industriales o el grado de estudio. Si los bloques homogéneos según esos índices resultan demasiado grandes, se recomienda subdividirlos, con el fin de obtener bloques cuyas reservas correspondan aproximadamente a la producción anual de la futura empresa minera.

Una vez terminado el contorno de los bloques de cálculo se procede a la determinación de sus áreas. Si el bloque se delimita con una línea quebrada es racional subdividirlo en unas cuantas figuras geométricas sencillas cuyas áreas se calculan por las fórmulas apropiadas sobre la base de las mediciones necesarias realizadas. Cuando el contorno del bloque es curvilíneo, su área se determina, como regla, mediante el planímetro, realizando dos mediciones independientes con dos posiciones diferentes del instrumento. Si la diferencia entre esas mediciones es inferior a 5%, se calcula el valor promedio, el cual se considera como el área del bloque. En ambos casos las áreas de los bloques medidas en los materiales gráficos deben convertirse a metros cuadrados, teniendo en cuenta la escala del dibujo correspondiente.

Con menos frecuencia las áreas se miden con ayuda de un papel semitransparente, en el cual se traza una red cuadrada con cuadrículas de 5 x 5 mm y raramente de 10 x 10 mm (método de la red milimétrica). En el centro de cada cuadrícula se sitúa un punto. Este papel se coloca en cualquier posición sobre la superficie que se va a medir y se calcula el número de puntos que van a quedar dentro de esta. Al multiplicar este número por el valor  $\Delta S$ , que corresponde al área de una cuadrícula a escala del dibujo ( $m^2$ ), se obtiene el área del bloque. Luego, el papel se cambia de posición con respecto a la superficie y se reanuda el cálculo de los puntos, lo que dará como resultado un segundo valor del área del bloque. El promedio de ambas mediciones se admite como el resultado definitivo. Este método garantiza una suficiente precisión solo cuando los bloques de cálculo son grandes y sencillos por su configuración.

Si dentro del bloque se encuentran pocos puntos (menos de unas decenas), la determinación de su área es inexacta. Además, para los bloques con límites complejos este procedimiento provoca un error sistemático: las áreas siempre se sobreestiman porque numerosos puntos del papel en la zona adjunta al contorno del bloque corresponden a las áreas inferiores a  $\Delta S$ .

Si en el cálculo de reservas se utiliza la potencia media del cuerpo mineral en la dirección normal al plano de su proyección (potencia vertical si el contorno del cuerpo se hace en el plano y potencia horizontal si ello se realiza en la proyección vertical), no se necesita ninguna corrección del área medida ( $S_m$ ). Por otra parte, al utilizar la potencia normal del cuerpo hay que convertir el área medida en la real ( $S_r$ ), teniendo en cuenta el ángulo de buzamiento ( $\alpha$ ). Las fórmulas a utilizar con este propósito son las siguientes (fig. 8.8):

a) si el contorno se hace en el plano horizontal:

$$S_r = S_m \sec \alpha \quad (136)$$

b) si el contorno se hace en la proyección vertical:

$$S_r = S_m \csc \alpha \quad (137)$$



$$S_r = LB \quad S_h = LBh \quad B = \frac{Bh}{\cos \alpha} \quad S_r = \frac{Sh}{\cos \alpha}$$

$$= S_h \sec \alpha \quad S_v = LB_v \quad B = \frac{B_v}{\sin \alpha} \quad S_r = \frac{S_v}{\sin \alpha}$$

$$= S_v \csc \alpha$$

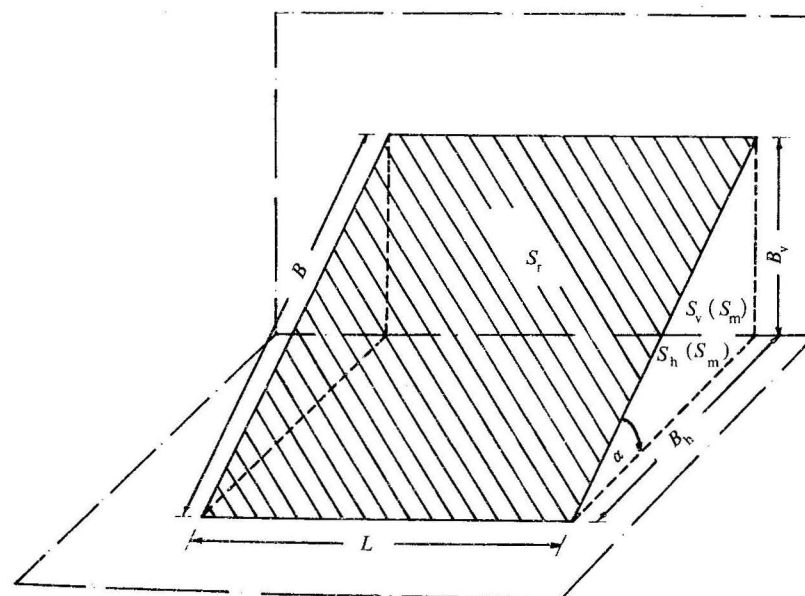


Fig. 8.8 Esquema para la determinación de la superficie real del cuerpo a partir de las mediciones de su proyección vertical y horizontal

Como conclusión, es preciso señalar que todos los tipos de contornos necesarios para el cálculo de reservas se trazan por separado para cada cuerpo mineral independiente o cada zona menífera. Algunas veces, si la geometrización selectiva de los cuerpos minerales es imposible a causa de la densidad insuficiente de la red de exploración, estos se unen en zonas u horizontes productivos para los cuales se trazan todos los contornos. En esos casos se calcula el volumen de la zona productiva y luego se determina el de la mena mediante el coeficiente de menificación relacionado con el carácter discontinuo del horizonte menífero. Esto quiere decir que el contorneo no puede existir por sí solo y se relaciona estrechamente con la interpretación y correlación de los datos reales obtenidos durante la exploración, o sea, con la elaboración del modelo geológico pronóstico del objeto que se estudia.

### 8.2.2 Potencia media del cuerpo mineral

La potencia media del cuerpo mineral para un bloque de cálculo se determina a través de las mediciones de este parámetro en los cruceros de prospección.

Como se señaló anteriormente, en el cálculo de reservas se puede utilizar la potencia normal ( $m_n$ ), horizontal ( $m_h$ ) o vertical ( $m_v$ ).

La orientación espacial del laboreo de prospección en muchas ocasiones no permite medir directamente esas potencias y por eso es necesario saber convertir las potencias diagonales observadas ( $m_d$ ) en una de las potencias anteriores. En el caso más general esto se logra mediante la fórmula de I.N. Ushakov:

$$m_n = m_d \cos \varphi \quad (138)$$

donde:

$\varphi$  - ángulo entre la dirección en la cual se mide la potencia del cuerpo mineral y la normal a su plano axial.

Si la potencia se mide en una sección orientada en el buzamiento del cuerpo mineral para las observaciones mutuas de diferentes tipos de potencia, se pueden utilizar las siguientes fórmulas cuya procedencia está clara si uno presta suficiente atención a la figura 8.9:

$$m_n = m_v \cos \alpha \quad (139)$$

$$m_n = m_h \sin \alpha \quad (140)$$

$$m_n = m_d \cos(\alpha - \beta) \quad (141)$$

$$m_h = m_d \frac{\cos(\alpha - \beta)}{\sin \alpha} \quad (142)$$

$$m_v = m_d \frac{\cos(\alpha - \beta)}{\cos \alpha} \quad (143)$$

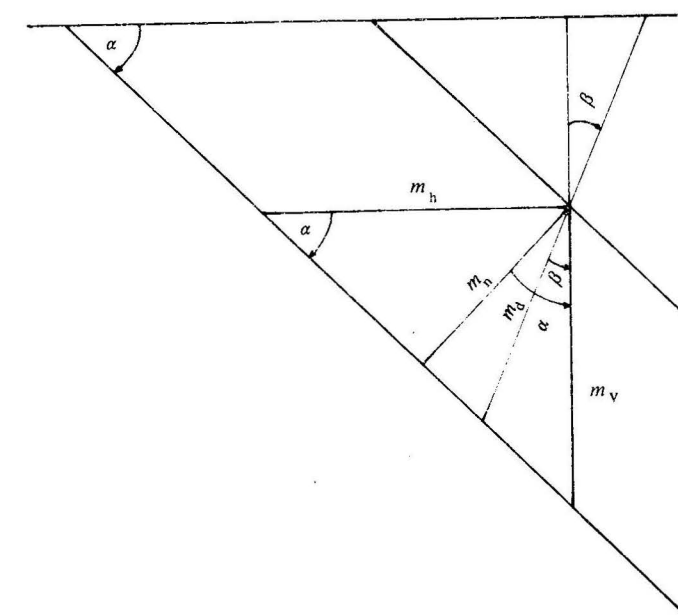


Fig. 8.9 Correlación entre los diferentes tipos de potencia del cuerpo mineral

Los valores particulares de la potencia del cuerpo mineral, a partir de los cuales se deduce su valor promedio, se determinan por diversos procedimientos y con diferentes precisión, en dependencia de las particularidades concretas del objeto y los medios técnicos utilizados. Si son claros y bruscos los contactos entre el mineral útil y su roca encajante, la potencia del cuerpo se puede medir directamente con ayuda de la cinta métrica o la regla en las excavaciones mineras, afloramientos naturales o según el testigo de los pozos de perforación. En los dos primeros casos, la precisión de las mediciones será del orden de  $\pm 0,01$  m y en el último disminuye considerablemente a causa de la recuperación incompleta del testigo, lo cual generalmente hace necesaria la corrección de los datos obtenidos teniendo en cuenta los resultados del carotaje de los pozos de perforación.

Si el límite entre el mineral útil y la roca encajante es gradual y se establece solo a través del muestreo, la potencia del cuerpo mineral se determina de manera indirecta con la precisión, que depende del largo de la sección de una muestra independiente (epígrafe 4.6 de la primera parte).

La determinación de la potencia de los cuerpos minerales con estructura interna simple no ofrece ninguna dificultad, mientras que si esta última es compleja, es necesario decidir cuáles son los intervalos que se pueden considerar cuerpos minerales independientes y cuáles intervalos tienen que formar, junto con las intercalaciones estériles, los cuerpos de estructura interna compleja. Esta tarea se resuelve a partir de los principios fundamentales expuestos en el epígrafe 2.1 y en plena correspondencia con las exigencias de las condiciones industriales. En cualquier caso los intervalos del cuerpo mineral separados por su potencia deben ser industriales por la calidad de la materia prima y permitir la variante única de correlación de dichos intervalos entre los cruceros de prospección contiguos sin ninguna contradicción con el modelo geológico adoptado del objeto.

Los valores promedio de la potencia para un bloque de cálculo se determinan por separado para cada cuerpo mineral independiente. Al hacerlo se utiliza con más frecuencia la media aritmética calculada mediante la fórmula (35). Si los puntos donde se mide la potencia se ubican de manera irregular según la superficie del bloque y la variabilidad de este parámetro es considerable, generalmente se recomienda la utilización de la media ponderada, que tiene en cuenta las zonas de influencia de las mediciones correspondientes con ayuda de las siguientes fórmulas:

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i l_i}{\sum_{i=1}^n l_i} \quad (144)$$

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (145)$$

donde:

$m_i$  - magnitud de la potencia del cuerpo mineral en algún crucero de prospección;  
 $l_i, S_i$  - largo o área de la zona de influencia de la medición correspondiente;

$n$  - número de cruceros de prospección donde se mide la potencia del cuerpo mineral.

Conviene destacar que la aplicación de esas fórmulas es racional solo si existe correlación entre los valores contiguos de la potencia, o sea, al ser suficientemente densa la red de exploración. La media ponderada permite evaluar más correctamente el papel de los laboreos de prospección periféricos, en comparación con la media aritmética y hace más exacta la evaluación del valor promedio de la potencia del cuerpo mineral como lo demuestra la figura 8.10.

Según el esquema de la figura 8.10a se efectúa el cálculo del valor real ( $\bar{m}_r$ ) de la potencia media y el de la media aritmética ( $\bar{m}_a$ ):

$$\bar{m}_r = \frac{S}{L} = \frac{\frac{2,5+5,0}{2} \cdot 40 + \frac{5,0+7,0}{2} \cdot 30 + \frac{7,0+6,0}{2} \cdot 30 + \frac{6,0+3,0}{2} \cdot 35 + \frac{3,0+2,0}{2} \cdot 35}{40+30+30+35+35} = \frac{770}{170} = 4,53 \text{ m}$$

$$\bar{m}_a = \frac{2,5+5,0+7,0+6,0+3,0+2,0}{6} = \frac{25,5}{6} = 4,25 \text{ m}$$

$$\Delta m = \frac{4,53 - 4,25}{4,53} = 0,062$$

El valor ponderado de la potencia ( $\bar{m}_{mp}$ ), de acuerdo con la figura 8.10b, se calcula de la forma siguiente:

$$\bar{m}_{mp} = \frac{(2,5)(20) + (5,0)(35) + (7,0)(30) + (6,0)(32,5) + (3,0)(35) + (2,0)(17,5)}{20+35+30+32,5+35+17,5} = \frac{770}{170} = 4,53 \text{ m}$$

$$\Delta m = 0,00$$

Si la red de exploración es poco densa, las zonas de influencia supuestas para cada medición pueden diferenciarse mucho de las reales, lo que traerá como consecuencia un error aún más grande que el de la media aritmética (fig. 8.11).

Para el esquema de la figura 8.11a, los cálculos son:

$$\bar{m}_r = \frac{S}{L} = \frac{\frac{3,0+4,0}{2} \cdot 25 + \frac{4,0+8,0}{2} \cdot 10 + \frac{8,0+5,0}{2} \cdot 40 + \frac{5,0+3,5}{2} \cdot 25 + \frac{3,5+7,0}{2} \cdot 10 + \frac{7,0+2,5}{2} \cdot 10 + \frac{2,5+4,5}{2} \cdot 35 + \frac{4,5+9,0}{2} \cdot 15 + \frac{9,0+3,0}{2} \cdot 10 + \frac{3,0+3,5}{2} \cdot 20}{25+10+10+25+10+10+35+15+10+20} = \frac{765,5}{170} = 4,51 \text{ m}$$

$$\bar{m}_a = \frac{3+8+7+9+3,5}{5} = \frac{30,5}{5} = 6,10 \text{ m}$$

$$\Delta m = \frac{6,10 - 4,51}{4,51} \cdot 100 = +35,3\%$$

En la figura 8.11b las fórmulas que se aplican para el cálculo son:

$$\bar{m}_{mp} = \frac{(3,0)(17,5) + (8,0)(40) + (7,0)(52,5) + (9,0)(45) + (3,5)(15)}{17,5 + 40 + 52,5 + 45 + 15} =$$

$$= \frac{1197,5}{170} = 7,04 \text{ m}$$

$$\Delta m = \frac{7,04 - 4,51}{4,51} = +0,561 = +56,1\%$$

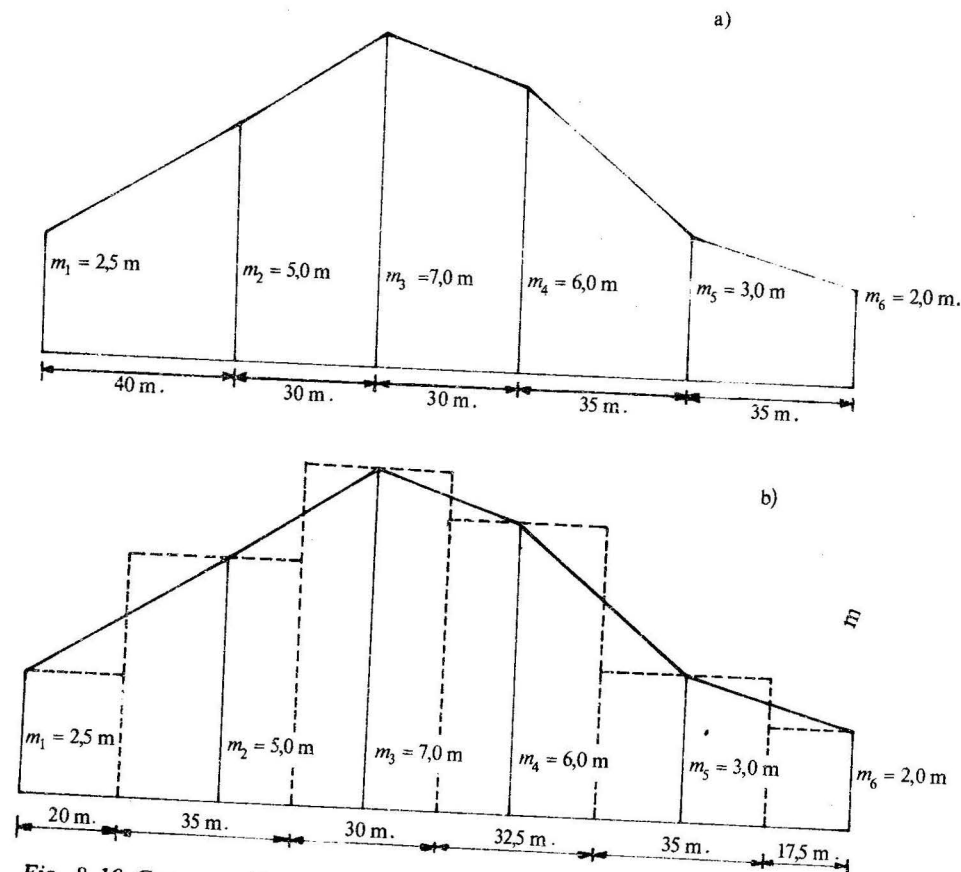


Fig. 8.10 Comparación del cálculo de la potencia media por el método de la media ponderada y el de la media aritmética: a) esquema para el cálculo del valor real ( $\bar{m}_r$ ) de la potencia media y de la media aritmética ( $\bar{m}_a$ ); b) esquema para calcular el valor ponderado de la potencia ( $\bar{m}_{mp}$ )

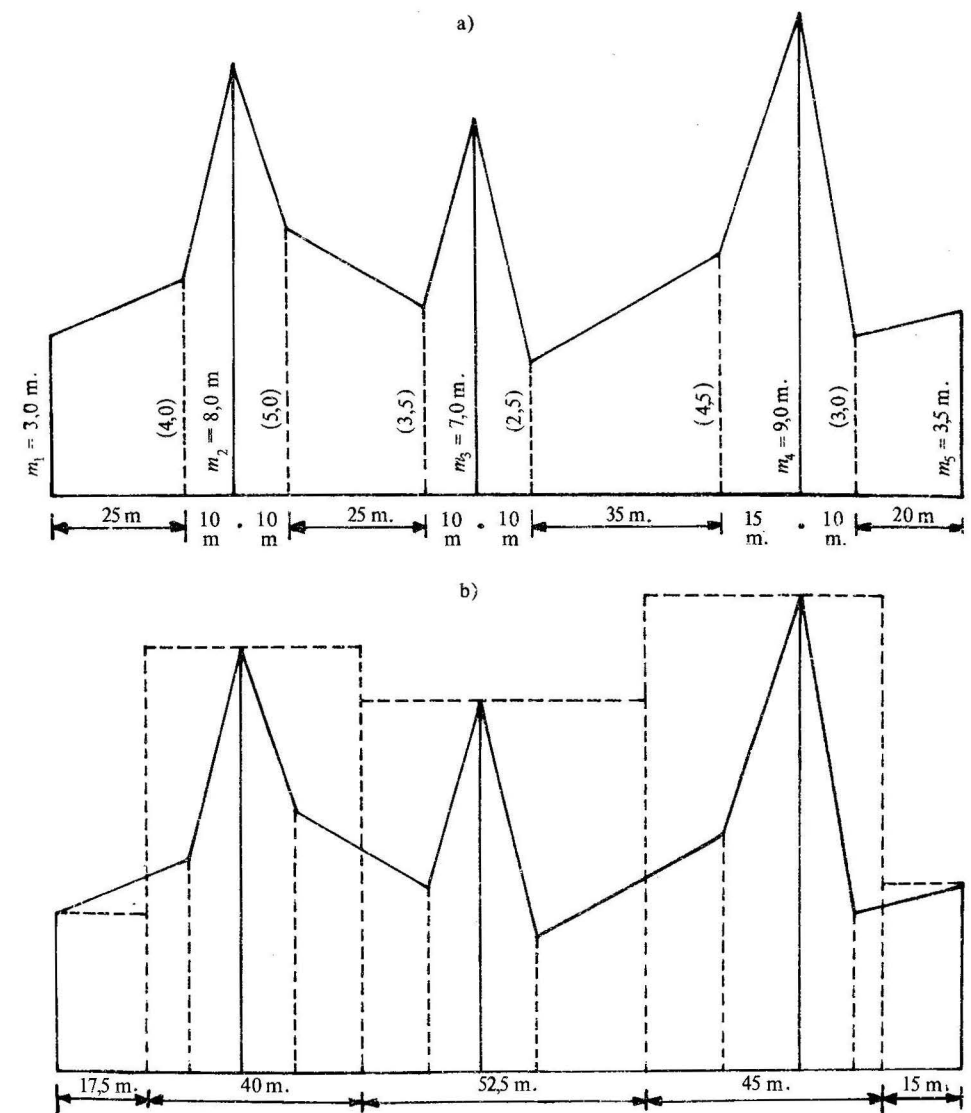


Fig. 8.11 Gráficos que demuestran la incapacidad del método de la media ponderada si no existen las correlaciones de los valores contiguos de la potencia: a) esquema para el cálculo del valor real de la potencia media ( $\bar{m}_r$ ) y de la media aritmética ( $\bar{m}_a$ ); b) esquema para calcular el valor medio ponderado de la potencia ( $\bar{m}_{mp}$ )

Todos los métodos de cálculo mencionados son válidos solo para los bloques ubicados dentro del contorno interior. En cuanto a los bloques de la *banda intercontorno* la utilización de las fórmulas (35), (144), y (145) tendrá como resultado la sobrevaluación de la potencia media (fig. 8.12), ya que, como norma, la potencia del cuerpo mineral según su contorno industrial es inferior a la observada



en los laboreos de prospección vecinos del contorno interior. Como se deduce de la figura 8.11 en esas ocasiones la potencia media en el bloque tiene que calcularse según la fórmula modificada:

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i + nm_{\min}}{2n} \quad (146)$$

donde:

$m_{\min}$  - potencia mínima industrial;

$m_i$  - magnitud de la potencia del cuerpo mineral en algún punto del contorno interior;

$n$  - número de puntos del contorno interior que se utilizan en el cálculo.

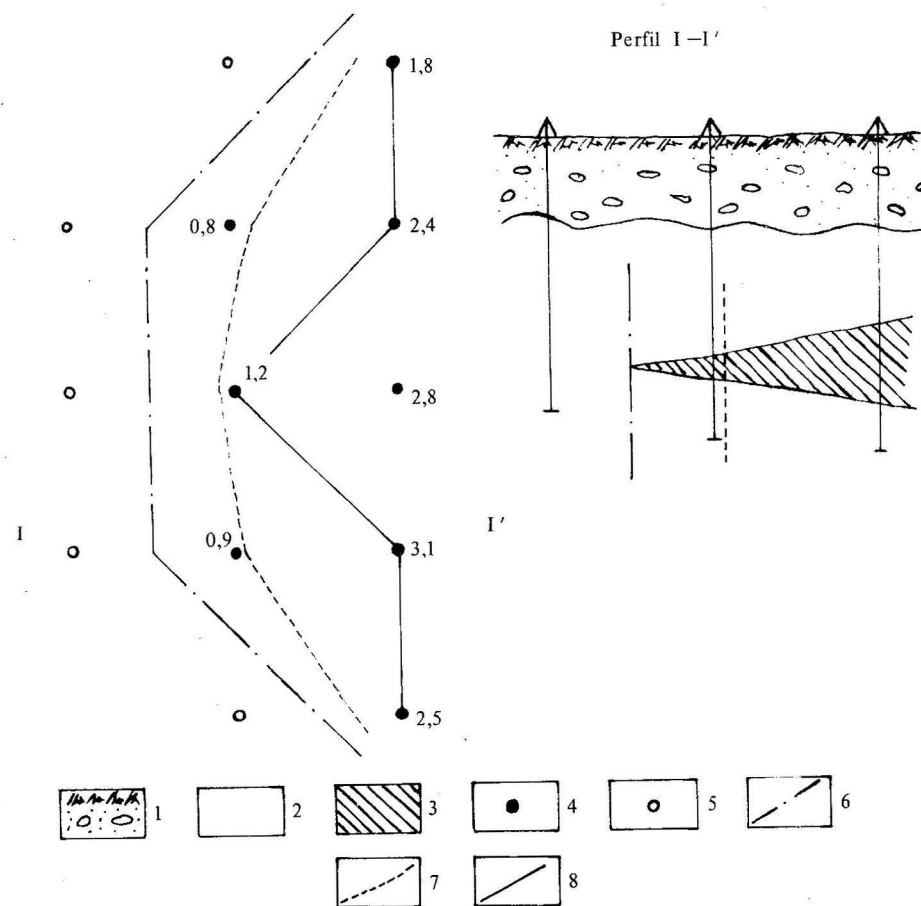


Fig. 8.12 Esquema ilustrativo para la deducción de la fórmula del cálculo de la potencia media en los bloques de la banda intercontorno: 1- depósitos friables; 2- rocas encajantes; 3- cuerpo mineral; 4- potencia del cuerpo mineral en el pozo de perforación; 5- perforaciones sin mena; 6- contorno cero; 7- contorno industrial; 8- contorno interior

En este caso se recomienda utilizar solo el método de la media aritmética, ya que las zonas de influencia de las mediciones individuales aquí son pequeñas y más o menos iguales. Además, el contorneo aproximado del bloque en esta zona y la baja categoría de reservas calculadas hacen completamente superfluas las tentativas de precisar el valor promedio de la potencia con ayuda de su media ponderada.

En resumen, algunos métodos de cálculo de reservas (método de secciones, de isóneas, estadístico) no necesitan la determinación de la potencia media del cuerpo mineral, por cuanto el volumen del mineral útil o sus reservas se calculan mediante procedimientos especiales y la fórmula (128) no se utiliza.

### 8.2.3 Masa volumétrica media del mineral útil

Como se ha señalado en el capítulo 4, la masa volumétrica del mineral útil se puede determinar por diferentes procedimientos: mediante el pesaje de las muestras y la determinación de sus volúmenes en los laboratorios; a través de la toma de muestras volumétricas y las mediciones necesarias de sus volúmenes en el campo; sobre la base del carotaje gamma-gamma en los pozos de perforación y las excavaciones mineras. El segundo método, la determinación de la masa volumétrica en el campo mediante la toma de muestras especiales, es el más exacto y auténtico. Este método es obligatorio y fundamental para minerales útiles pulverulentos fuertemente agrietados o cavernosos. En otros casos, este método se utiliza para controlar los resultados de los trabajos de laboratorio o las mediciones geofísicas.

Además de las determinaciones directas de la masa volumétrica en los cruces de prospección concretos, los valores de este parámetro se pueden obtener de manera indirecta para cualquier muestra química o mineralógica.

Esas determinaciones se realizan para cada clase industrial de mineral útil, al menos de 10 a 20 veces si su calidad es homogénea y de 30 a 40 veces si es irregular o muy irregular.

Con este propósito se utilizan las correlaciones entre la magnitud de la masa volumétrica de una parte y de otra el contenido del componente útil o mineral valioso en la mena, contenido de cenizas en la hulla o su metamorfismo, etc. Esas dependencias correlativas se establecen, como norma, con bastante certeza y se aproximan a las funcionales. Sobre esta base se confeccionan las ecuaciones de regresión o se dibujan los nomogramas cuya utilización exitosa es conocida en la práctica del cálculo de reservas.

La masa volumétrica del mineral útil se determina generalmente en su estado natural húmedo, y puede variar mucho incluso en el mismo punto del cuerpo mineral de acuerdo con la temporada y la posición del nivel de las aguas freáticas. Además, las reservas de minerales útiles deben calcularse en estado seco sin el agua que ellas pueden contener. Por lo tanto, en la mayoría de los casos, el valor de la masa volumétrica obtenido a través de la muestra húmeda correspondiente ( $d_h$ ) debe corregirse mediante la siguiente fórmula:

$$d_s = d_h \left( \frac{100 - W}{100} \right) \quad (147)$$

donde:

$d_s$  - masa volumétrica del mineral útil seco;

$W$  - humedad de la muestra, %.

La masa volumétrica del mineral útil es mucho menos variable que el contenido de componente útil o la potencia del cuerpo mineral, por cuya razón es posible determinarla de manera selectiva utilizando con esta finalidad solo una parte de los cruceros de prospección. Las variaciones de este parámetro para cada clase industrial de mineral útil son aún menores y por eso el valor promedio de la masa volumétrica en el bloque de cálculo se obtiene casi siempre por el método de la media aritmética. Sin embargo, si en el bloque se encuentran diferentes clases de mena y los puntos donde se determina la masa volumétrica se ubican de manera muy irregular, el valor promedio de este parámetro se puede calcular como media ponderada. En el caso más general la fórmula que se utiliza tiene el siguiente aspecto:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i m_i d_i}{\sum_{i=1}^n S_i m_i} \quad (148)$$

donde:

$d_i$  - valor de la masa volumétrica del mineral útil en algún cruceo de prospección.

La utilización de la media ponderada sobre la base de las áreas de las zonas de influencia de cada valor individual de la masa volumétrica solo es racional si existe la correlación de sus valores contiguos, fenómeno que se confirma muy raras veces en la práctica de los trabajos geológicos. En cuanto a la potencia del cuerpo mineral en los puntos donde se determina la masa volumétrica, esta se utiliza en la fórmula (148) solo cuando está bien establecida una correlación confiable de esos parámetros.

#### 8.2.4 Contenido medio del componente útil en la mena

La correcta determinación del contenido medio del componente útil en el bloque de cálculo es lo más importante para los minerales útiles cuyo cálculo de reservas necesita la utilización de este parámetro en la fórmula correspondiente. No obstante, para otros tipos de materia prima mineral los contenidos promedio de unos u otros componentes también deben determinarse para cada bloque de cálculo, ya que esto permite obtener una característica comparativa de esos bloques desde el punto de vista de la calidad del mineral útil y planificar correctamente su extracción y elaboración.

Durante la exploración, los contenidos de componentes se determinan a través de muestras individuales y por eso la tarea del cálculo de los contenidos promedio para cada bloque se subdivide en dos partes:

- cálculo del contenido promedio del componente en un cruceo de prospección a lo largo de toda la potencia del cuerpo mineral;
- extensión de los contenidos determinados en los cruceros de prospección a los volúmenes adyacentes del subsuelo.

Para obtener el contenido medio del componente en un cruceo de prospección siempre se utiliza el método de la media ponderada sobre la base de las longitudes de las secciones de muestras individuales. La fórmula apropiada tiene el siguiente aspecto:

$$c' = \frac{\sum_{i=1}^n C_i l_i}{\sum_{i=1}^n l_i} \quad (149)$$

donde:

$c_i$  - contenido del componente en alguna muestra;

$l_i$  - largo de la sección de esta muestra;

$n$  - número de muestras que fueron tomadas en el cruceo de prospección dado.

Este cálculo se realiza dentro del intervalo de la potencia del cuerpo mineral que corresponde a las exigencias de las condiciones industriales y representa una capa menifera independiente. Si esta última abarca las intercalaciones estériles o zonas no industriales, sus potencias y contenidos de componentes de interés tienen que utilizarse en dicho cálculo.

Es fácil probar que en un caso particular, cuando los largos de las secciones de muestra son iguales, la fórmula (149) se simplifica y se convierte en la media aritmética.

La extensión de los contenidos medios calculados para cada cruceo de prospección a los volúmenes adyacentes del subsuelo se hace con más frecuencia por vía estadística, a través del cálculo de su valor promedio para un bloque entero. Con este fin, en la práctica de los trabajos geológicos se utiliza tanto el método de la media aritmética como el de la media ponderada. Es preciso destacar que los resultados de esos métodos pueden ser muy diferentes, aunque se utilicen los mismos datos iniciales, por cuya razón la correcta selección del método o modo de cálculo tiene mucha importancia.

No debe resultar sorprendente que en la literatura científica y metodológica sobre el cálculo de reservas se prestaba y se presta una gran atención a este problema importantísimo. Lamentablemente, las conclusiones y recomendaciones de diversos autores al respecto muy a menudo son completamente contradictorias. Para conciliar los criterios opuestos se propuso el tercer método de cálculo del contenido medio de componente en el bloque conocido como método de la media integral [22, 27]. El análisis crítico de lo escrito sobre la materia hace creer que la solución más lógica, argumentada y correcta de dicho problema fue obtenida por el científico soviético V.I. Kuzmin [18]. Él demostró, mediante sencillas transformaciones de las fórmulas (52) y (53), que entre los valores promedio de cualquier parámetro, calculados por el método de la media ponderada ( $\bar{X}_p$ ) y el de la media aritmética ( $\bar{X}_a$ ) existe una dependencia funcional estricta expresada por la fórmula:

$$\bar{X}_p = \bar{X}_a (1 + \tau_{xy} \bar{V}_x \bar{V}_y) \quad (150)$$

donde:

$\tau_{xy}$  - coeficiente de correlación de los valores del parámetro  $X$  y de otro parámetro  $Y$  utilizado para calcular la media ponderada;

$\bar{V}_x$  y  $\bar{V}_y$  - coeficientes de variación de los parámetros  $X$  y  $Y$  expresados en fracciones de uno.

De esta fórmula se deduce fácilmente que la media aritmética es un caso particular de la media ponderada y puede coincidir con esta solo bajo ciertas condiciones: ausencia o manifestación muy débil de la correlación entre los parámetros  $X$  y  $Y$  ( $\tau_{xy} \rightarrow 0$ ) y valores constantes o poco variables de cualquier parámetro ( $V_x \rightarrow 0$  o  $V_y \rightarrow 0$ , o ambos límites a la vez). Por lo tanto, se debe concluir que la media ponderada siempre debe ser más precisa que la media aritmética. A lo expuesto conviene añadir que sobre la base de los trabajos experimentales, V.I. Kuzmin probó con posterioridad que este razonamiento teórico es justo y por eso la CER de la URSS adoptó la resolución sobre la utilización obligatoria del método de la media ponderada para la determinación del contenido medio del componente en un bloque de cálculo.

Entre otras obras científicas consagradas a este problema merece ser mencionada la de M.V. Shumilin [28], el cual probó en los experimentos que las evaluaciones del contenido promedio en un bloque de cálculo, obtenidos por el método de la media ponderada, teniendo en cuenta las potencias del cuerpo mineral en los cruceros de prospección correspondientes, siempre son confiables y no desviadas, mientras que la evaluación de la media aritmética aunque resulte confiable y de eficiencia máxima siempre está desviada al existir la correlación entre esos dos parámetros.

Por último, el contenido medio real del componente en un bloque de cálculo se puede determinar como la relación entre las reservas del componente en este bloque y las reservas correspondientes de la mena. Al dividir el bloque explorado, según una red muy densa, en zonas de influencia de los laboreos de prospección con sus áreas  $S_i$ , podemos expresar sus reservas de mena como:

$$Q = \sum_{i=1}^n S_i m_i d_i$$

y sus reservas de componente útil como:

$$P = \sum_{i=1}^n S_i m_i d_i c_i$$

donde:

$m_i$ ,  $d_i$  y  $c_i$  - potencia del cuerpo mineral, su masa volumétrica y contenido del componente útil en algún laboreo de prospección.

$n$  - número de laboreos de prospección.

El contenido medio del componente en este bloque será:

$$\bar{c} = \frac{P}{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i m_i d_i c_i}{\sum_{i=1}^n S_i m_i d_i} \quad (151)$$

La fórmula (151) no es más que la de la media ponderada que tiene en cuenta las áreas de las zonas de influencia de cada crucero de prospección, los valores de la potencia del cuerpo mineral real y la masa volumétrica del mineral útil en esos cruceros. Dicho de otro modo, el contenido medio real en el bloque de cálculo siempre se expresa con la fórmula de la media ponderada.

Para resumir lo expuesto anteriormente, se puede establecer lo siguiente: al calcular los contenidos medios de componentes en los bloques de cálculo conviene utilizar el método de la media ponderada, teniendo en cuenta la potencia del

cuerpo mineral, las dimensiones de la zona de influencia de los contenidos obtenidos en cada crucero de prospección los valores contiguos del contenido (si se correlacionan) y la masa volumétrica del mineral útil (si esta es suficientemente variable). La opinión fuertemente arraigada en la práctica de los trabajos geológicos y la mayoría de los manuales y libros científicos de que una amplia utilización del método de la media ponderada es indeseable a causa de sus cálculos más complejos hoy día no se puede considerar más que un anacronismo basado en tradiciones negativas.

En cuanto al método de la media integral, carece de argumentación matemática confiable, contradice los razonamientos teóricos y experimentos mencionados y por estos motivos se recomienda prescindir de su utilización.

Además de los métodos de la media ponderada y la media aritmética, bien conocidos y ampliamente utilizados desde hace mucho tiempo, en los últimos años se han multiplicado las tentativas de evaluar el contenido medio del componente en un bloque de cálculo con ayuda de un nuevo método denominado *Kriging*.

Sus partidarios sostienen que este método permite hacer más correcta esta evaluación por cuanto tiene en cuenta la influencia de los contenidos del componente útil establecidos tanto dentro del bloque de cálculo como fuera de sus límites.

El *Kriging* consiste esencialmente en la determinación del peso estadístico que se atribuye a cada valor del contenido de componente con vistas a reducir la dispersión del contenido medio en el bloque. Esta tarea fue tratada con detalle por el científico francés G. Materón [21]. Aquí su estudio se limitará al breve análisis de sus ventajas y desventajas.

## El *Kriging* discreto

Esta variante se aplica para evaluar el contenido medio del componente en la zona de influencia de un crucero de prospección, teniendo en cuenta los contenidos en los cruceros vecinos de la red de exploración cuadrada (fig. 8.13). Dicho de otro modo, se trata de sustituir el contenido real en el pozo de perforación A (C) por el contenido medio en un bloque más amplio ( $\bar{c}$ ) que abarca las perforaciones vecinas (pozos de perforación de la primera aureola  $B_1, B_2, B_3$  y  $B_4$  y los de la segunda aureola  $C_1, C_2, C_3$  y  $C_4$ ). El cálculo del contenido medio en esos casos también se puede realizar sin el pozo de perforación A o sin una parte de las perforaciones vecinas. Las fórmulas a utilizar para dichos cálculos son las siguientes:

$$\bar{c} = (1 - \lambda - \mu) c + \lambda c' + \mu c'' \quad (152)$$

$$\bar{c} = \lambda' c' + (1 - \lambda') c'' \quad (153)$$

donde:

$c'$  - contenido medio aritmético del componente calculado sobre la base de los pozos de perforación de la primera aureola;

$c''$  - contenido medio aritmético del componente calculado sobre la base de los pozos de perforación de la segunda aureola;

$\lambda, \lambda'$  - peso estadístico de los pozos de perforación de la primera aureola;

$\mu$  - peso estadístico de los pozos de perforación de la segunda aureola.

Por otra parte, el contenido medio del componente en este bloque también se puede determinar mediante los métodos tradicionales como la media aritmética o media ponderada, sobre la base de las zonas de influencia de las perforaciones.



Como es interesante comparar los resultados de todos los métodos de cálculo, vamos a analizar las 29 variantes principales posibles de la ubicación espacial de los laboreos de prospección, las cuales aparecen en la figura 8.14. En cada variante se determina el contenido medio en el bloque dos veces: con el pozo de perforación central (A) y sin este.

En cuanto a los coeficientes de peso estadístico del *Kriging* ellos están representados en la tabla 8.2. La subdivisión del bloque en zonas de influencia de cada laboreo de prospección se muestra en la figura 8.14 para las variantes con el laboreo central y en la figura 8.15 para las variantes sin este.

Los cálculos del contenido medio en el bloque se realizaron por las fórmulas (35), (152), (153), y por la siguiente expresión:

$$\bar{c}_p = \frac{\sum_{i=1}^n c_i s_i}{\sum_{i=1}^n s_i}$$

donde:

$c_i$  - contenido del componente en algún pozo de perforación;

$s_i$  - área de la zona de influencia correspondiente;

$n$  - número de pozos de perforación utilizados en la variante dada.

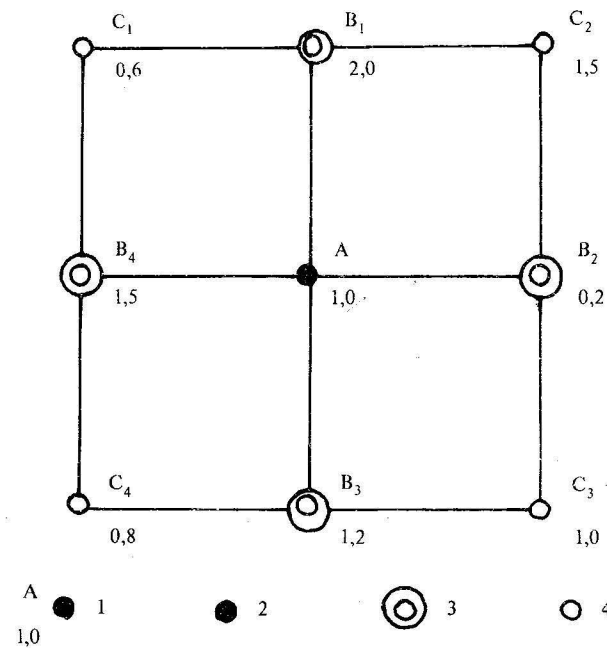


Fig. 8.13 Esquema para la utilización del *Kriging* discreto: 1- designación del pozo de perforación (letra) y contenido medio del componente útil (valor numérico); 2- perforación central; 3- perforaciones de la primera aureola; 4- perforaciones de la segunda aureola

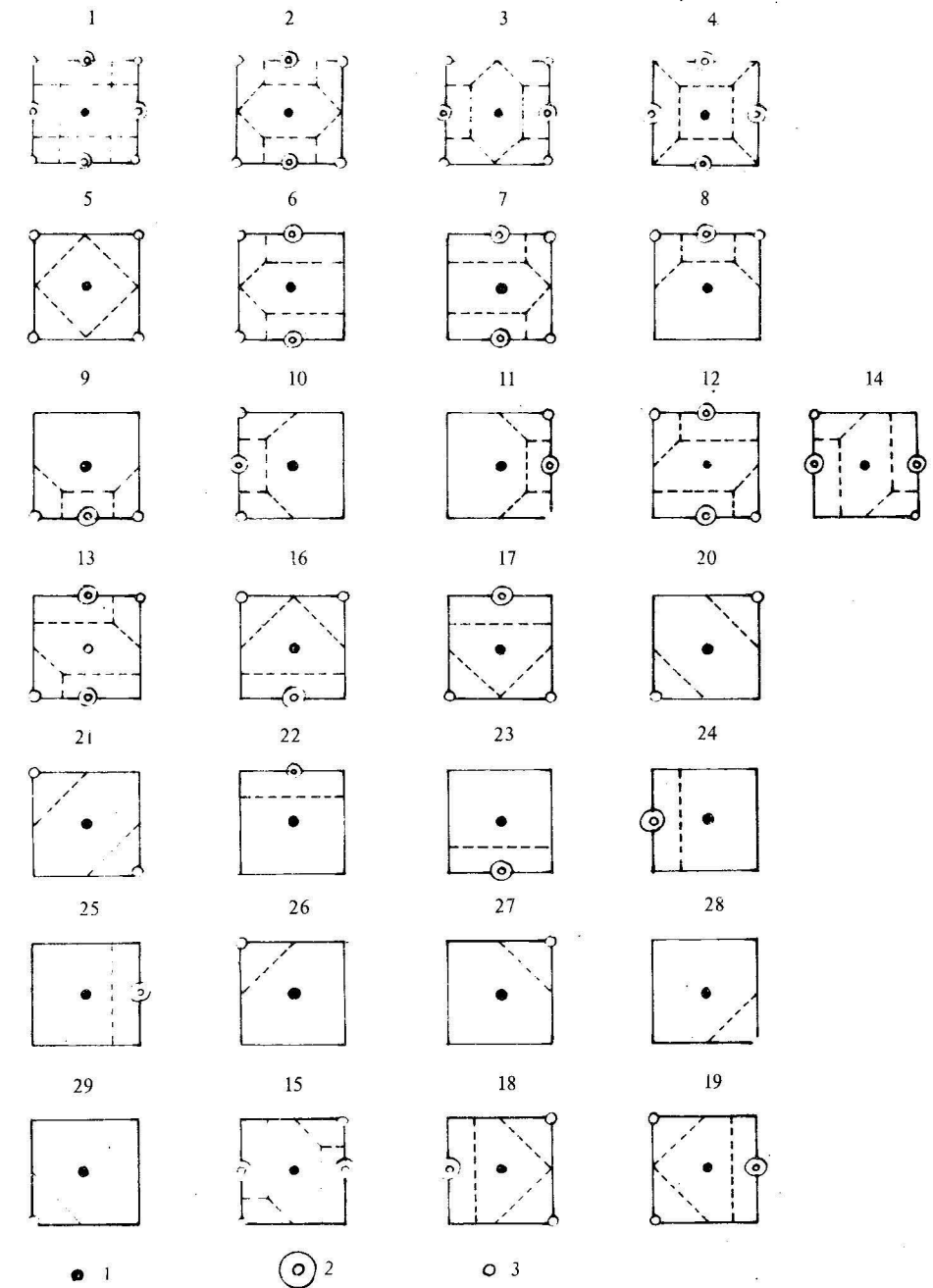


Fig. 8.14 Zonas de influencia de los valores del contenido del componente útil para las variantes con el pozo de perforación central: 1- perforación central; 2- perforación de la primera aureola; 3- perforación de la segunda aureola

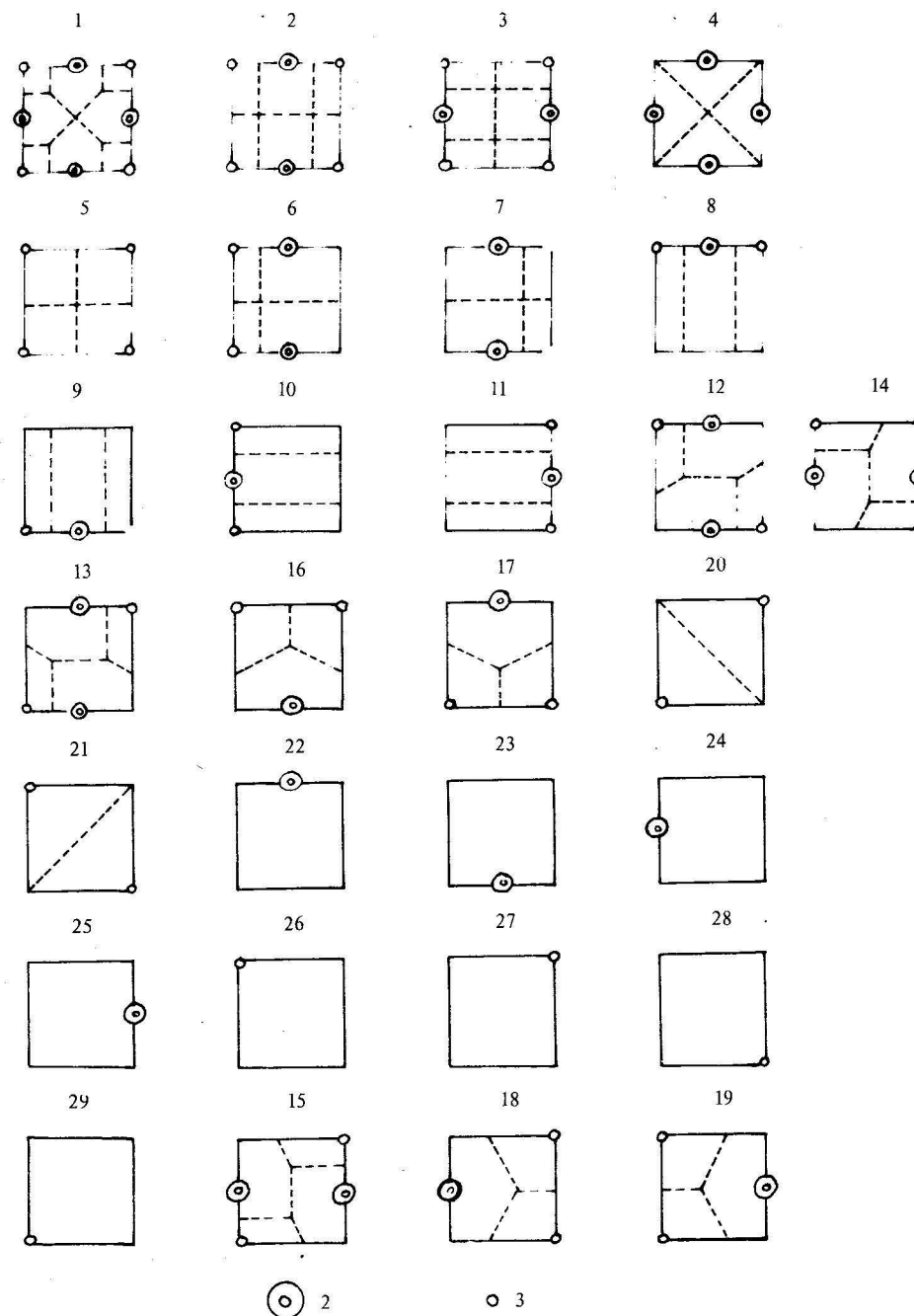


Fig. 8.15 Zonas de influencia de los valores del contenido del componente útil para las variantes sin pozo de perforación central: 1- perforación de la primera aureola; 2- perforación de la segunda aureola

Tabla 8.2  
VALORES DE LOS COEFICIENTES DE PESO ESTADÍSTICOS DEL KRIGING

Variante Coe- ficiente														13, 14, 15
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
$\lambda$	0,41	0,25	0,25	0,62	0,00	0,34	0,34	0,18	0,18	0,18	0,18	0,33	0,33	
$\mu$	0,25	0,37	0,37	0,00	0,57	0,24	0,24	0,33	0,33	0,33	0,33	0,25	0,25	
$\lambda^*$	0,62	0,40	0,40	1,00	0,00	0,59	0,59	0,35	0,35	0,35	0,35	0,57	0,57	
Variante Coe- ficiente														17, 18 19
	16	17	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29		
$\lambda$	0,21	0,21	0,00	0,00	0,36	0,36	0,36	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00		
$\mu$	0,34	0,34	0,47	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,33	0,33	0,33		
$\lambda^*$	0,39	0,39	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00		

En la tabla 8.3 se muestran los resultados de los cálculos del contenido medio del componente obtenidos por diferentes procedimientos.

Tabla 8.3  
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE CÁLCULO DEL CONTENIDO MEDIO DEL COMPONENTE OBTENIDOS POR DIFERENTES PROCEDIMIENTOS

Variante	Con el pozo de perforación central		Sin el pozo de perforación central			
	Mediante el Kriging	Media ponderada	Media aritmética	Mediante el Kriging	Media ponderada	Media aritmética
1	1,09	1,11	1,09	1,14	1,16	1,10
2	1,14	1,14	1,16	1,23	1,29	1,18
3	0,95	0,95	0,94	0,93	0,91	0,93
4	1,14	1,17	1,18	1,23	1,23	1,23

Variante	Con el pozo de perforación central			Sin el pozo de perforación central		
	Mediante el <i>Kriging</i>	Media ponderada	Media aritmética	Mediante el <i>Kriging</i>	Media ponderada	Media aritmética
5	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98
6	1,13	1,17	1,12	1,23	1,38	1,15
7	1,26	1,27	1,34	1,46	1,51	1,43
8	1,20	1,13	1,28	1,38	1,53	1,37
9	1,00	1,01	1,00	1,01	1,05	1,00
10	0,99	1,01	0,98	0,98	1,10	0,97
11	0,94	0,95	0,93	0,88	0,73	0,90
12	1,15	1,19	1,16	1,26	1,34	1,20
13	1,24	1,25	1,30	1,41	1,47	1,38
14	0,90	0,91	0,86	0,83	0,83	0,83
15	0,99	0,97	1,00	0,98	0,94	1,00
16	1,06	1,06	1,08	1,11	1,13	1,10
17	1,18	1,23	1,20	1,33	1,45	1,27
18	1,19	1,18	1,25	1,35	1,38	1,33
19	0,72	0,73	0,65	0,51	0,45	0,53
20	1,07	1,04	1,10	1,15	1,15	1,15
21	0,91	0,95	0,87	0,80	0,80	0,80
22	1,36	1,25	1,50	2,00	2,00	2,00
23	1,07	1,05	1,10	1,20	1,20	1,20
24	1,18	1,13	1,25	1,50	1,50	1,50
25	0,71	0,80	0,60	0,20	0,20	0,20

Variante	Con el pozo de perforación central			Sin el pozo de perforación central		
	Mediante el <i>Kriging</i>	Media ponderada	Media aritmética	Mediante el <i>Kriging</i>	Media ponderada	Media aritmética
26	0,87	0,95	0,80	0,60	0,60	0,60
27	1,05	1,06	1,25	1,50	1,50	1,50
28	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
29	0,93	0,98	0,90	0,80	0,80	0,80

Antes de abordar el análisis de los datos de esta tabla es preciso señalar que solo las cinco primeras variantes de la ubicación de los pozos de perforación garantizan el cálculo del contenido medio en el bloque sobre la base de la interpolación de datos reales y solo ocho variantes (12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19), permiten realizar este cálculo utilizando zonas de extrapolación relativamente pequeñas. Las 16 variantes de cálculo restantes admiten una amplia extrapolación de los datos de exploración y por consiguiente para esas variantes se puede hablar más de la autenticidad y certeza del pronóstico realizado que de la precisión del cálculo del contenido medio en el bloque. Por esta razón analizaremos con detalle solo 13 variantes basadas exclusiva o principalmente en la interpolación de los valores reales del contenido del componente y pasaremos revista de forma más general a las demás variantes.

Comparando los valores promedio calculados por diferentes métodos es fácil extraer las siguientes conclusiones:

1. Al ser regular la red de exploración (variantes 1,4,5) todos los métodos dan resultados muy semejantes o coinciden perfectamente sin ninguna relación con la existencia del pozo de perforación central. Al admitir como valor verdadero del contenido medio en este bloque 1,10% es posible comprobar que en diferentes variantes con el pozo central, el error de cálculo varía de -10,9% a +7,3%. En una variante (4) el contenido medio obtenido por el método de *Kriging* se caracteriza por el error mínimo en comparación con los resultados de otros métodos, pero en las demás variantes todos los métodos son prácticamente equivalentes. Si el pozo de perforación central no existe, el error de la determinación del contenido medio oscila entre -10,9% y +11,8% siendo mejor en una variante (1) el resultado del método de la media ponderada.
2. Si se excluyen dos perforaciones de la primera aureola (variantes 2 y 3) los resultados de diferentes métodos de cálculo también son muy próximos, aunque los errores de la determinación del valor promedio aumentan: ellos varían de -14,6% a +5,5% si existe el pozo de perforación central y de -17,3% a +17,3% si este no existe. En un caso (variante 2 sin el pozo central) el método de la media aritmética da el mejor resultado y en otros casos todos los métodos son equivalentes.



3. Si las redes de exploración irregulares provocan el surgimiento de pequeñas zonas de extrapolación (variantes 12-19), diferentes métodos de cálculo dan resultados análogos. El error del cálculo aumenta y oscila entre  $-40,8\%$  y  $+18,2\%$  en las variantes con el pozo de perforación central y entre  $-59,0\%$  y  $+33,6\%$  sin este. Si existe el pozo central, los mejores resultados se obtienen en cuatro casos de utilización del *Kriging*: en tres casos de utilización del método de la media ponderada y en dos casos al utilizarse el de la media aritmética. Sin este pozo central el método de la media aritmética es mejor en siete variantes y en una variante (14) los resultados de todos los métodos coinciden.
4. En los casos de la extrapolación amplia de los datos reales la diferencia entre los contenidos medios obtenidos por diferentes métodos aumenta aunque los resultados se mantienen iguales. El error de la determinación del valor promedio va desde  $-45,5\%$  hasta  $+36,4\%$  al existir el pozo de perforación central y desde  $-81,7\%$  hasta  $+81,7\%$  sin este. Los errores mínimos en las variantes con el pozo central se garantizan en 11 casos de utilización de la media ponderada, tres casos de utilización de la media aritmética y en un caso al utilizarse el *Kriging*; en un solo caso (variante 28) los tres métodos dan resultados iguales. Si no existe el pozo central la media aritmética es la mejor en cuatro casos, la media ponderada en dos casos y en diez casos los resultados de los tres métodos son idénticos.

El ejemplo tratado demuestra claramente que la utilización del *Kriging* no ofrece ningún aumento en la precisión de la evaluación del contenido medio en el bloque en comparación con los métodos tradicionales de la media aritmética y media ponderada. Por añadidura, el *Kriging* discreto fue elaborado solo para redes cuadradas, cuando la variabilidad del componente corresponde al esquema isótropo de De Veiss, mientras que los demás métodos son universales. Por último, las operaciones de cálculo de estos métodos son sencillas y bien conocidas y la aplicación del *Kriging* exige el conocimiento del coeficiente de dispersión absoluta del esquema de De Veiss y los coeficientes de peso estadísticos correspondientes, los cuales varían en dependencia de la relación entre la potencia del cuerpo mineral y la distancia entre los laboreos de prospección.

A partir de lo expuesto resulta irracional la utilización del *Kriging* discreto y superflua la atención que se le presta en la literatura especial y los libros de estudio.

### El *Kriging* continuo

Se utiliza para evaluar el contenido medio del componente en el bloque limitado por las excavaciones mineras ejecutadas según el rumbo y el buzamiento del cuerpo mineral; su esencia consiste en la determinación del coeficiente de peso estadístico que se aplica a cada valor del contenido obtenido en cualquiera sección muestreada del cuerpo mineral dependiendo esos coeficientes de su ubicación concreta en el bloque.

Para determinar esos coeficientes de peso estadísticos se admite que el carácter de la distribución de los valores del contenido de componente en el bloque es análogo al de la distribución de los potenciales en un campo electrostático y que la influencia de las muestras ubicadas fuera del contorno del bloque es igual a cero. Para estas condiciones G. Materón calculó las redes de los coeficientes en

cuestión en diferentes casos: para los bloques limitados con dos, tres o cuatro excavaciones. Esos cálculos fueron realizados mediante el aparato matemático de las funciones de una variable aleatoria compleja.

Sin entrar en detalles de la metodología de los cálculos propuesta por G. Materón y haciendo caso omiso de lo complicado y complejo que son dichos cálculos debe notarse solo que la analogía entre un campo electrostático y el modelo de la variabilidad del contenido del componente útil nunca fue probada por este autor y es sumamente dudosa. Por eso no se dispone de ningún argumento para creer que el *Kriging* continuo pueda precisar las evaluaciones del contenido medio del componente en un bloque de cálculo. Además, este método es aplicable solo si los cuerpos minerales son de tipo filoneo y con poca potencia; es decir, cuando ellos se encuentran siempre dentro de la excavación minera. Como esos casos son bastante raros en la práctica de la exploración de yacimientos minerales útiles, la posibilidad de la utilización del *Kriging* continuo es muy limitada. Por consiguiente, este método tiene que considerarse secundario y su aplicación no se recomienda más que para acumular los datos necesarios que permitirán extraer las conclusiones definitivas bien argumentadas sobre sus ventajas y desventajas.

### Muestras con un contenido extremadamente alto de componente útil

El problema de la consideración correcta de las muestras con un contenido anómalo extremadamente alto, se plantea con mucha frecuencia durante el cálculo de los contenidos medios de componentes útiles en algunos bloques de los yacimientos de minerales útiles irregulares y extremadamente irregulares (oro, platino, estaño, moscovita, materia prima piezoóptica, piedras preciosas y otros). Esas muestras, aunque sean únicas, pueden causar un brusco cambio de la cifra de reservas de mineral útil en el bloque correspondiente y muy a menudo provocan la sobrevaluación de las reservas calculadas.

Lamentablemente, hasta ahora no existe un enfoque único en lo referente a la consideración de las muestras extraordinarias. Basta con decir a este respecto que para resolver esta tarea fueron propuestos más de 60 métodos diferentes. Tampoco existe la definición aceptada por todos del concepto *muestra extraordinaria*. Así, por ejemplo, la CER de la URSS recomienda considerar como tales las muestras cuya incorporación en el cálculo general aumenta las reservas del mineral útil en el bloque en más de 10%. Es fácil cerciorarse de que ese procedimiento no solo carece de argumentación teórica sino también es poco objetivo; al variar el volumen del bloque de cálculo las mismas muestras pueden figurar como corrientes o extraordinarias; algunos autores proponen destacar las muestras extraordinarias en función de la frecuencia mínima de su aparición, mediante las curvas de distribución [31]. Por otra parte, E.O. Pogrebitsky y V.I. Ternovoi sostenían que en la naturaleza no existían muestras extraordinarias y que toda restricción o eliminación de los contenidos realmente establecidos no se puede justificar [27].

Nuestro criterio es que cualquier contenido anómalo, tanto extremadamente alto como muy bajo, en primer lugar, debe controlarse utilizando el duplicado de la muestra principal y 1 o 2 muestras de control tomadas (si ello es posible) en el mismo cruce de prospección. Si los análisis de control confirman el resultado inicial hay que admitir que la muestra extraordinaria refleja las particularidades de la variabilidad del contenido de componente útil que existen en la realidad y

por eso nunca puede sustituirse por una u otra cifra convencional. Lo único que debe hacerse en esas ocasiones es la reducción de la zona de influencia de dichas muestras, o sea del volumen del cuerpo mineral en el cual se extienden sus resultados de análisis. Desde este punto de vista tenemos que apoyar la idea de A.B. Kazhdán [12] de que los contenidos extraordinarios pueden relacionarse solo con cruceros de prospección completos y nunca con muestras independientes: basta con reducir el volumen de la muestra o tomar una muestra monomineral para obtener con toda facilidad los contenidos anómalos altos del componente útil incluso en los casos de menas ordinarias y poco variables.

Para delimitar la zona de influencia de un crucero de prospección extraordinario por su contenido de componente útil hay que recomendar la ejecución de laboreos de prospección complementarios junto a él con el fin de trazar el contorno de la zona anómala. En efecto, la práctica demuestra que generalmente no se observan contenidos extraordinarios cuando la red de exploración es suficientemente densa, por cuanto las zonas de influencia de los cruceros de prospección independientes corresponden más o menos a los volúmenes del subsuelo dentro de los cuales se manifiestan contenidos anómalos. Sin embargo, a veces la densificación de la red de exploración es imposible o económicamente irracional. En esas ocasiones los contornos de las zonas de contenidos anómalos altos deben trazarse de manera aproximada a partir de las ideas generales sobre los factores geológicos que controlan la localización de la meniferación. Esas zonas anómalas deben formar los bloques de cálculos independientes, los cuales siempre se refieren a las categorías de reservas inferiores de acuerdo con su grado de estudio real, ya que se caracterizan por una variabilidad más grande de la calidad del mineral útil en comparación con los sectores adyacentes de los cuerpos minerales.

En cuanto a los procedimientos formales aplicables para limitar o eliminar los contenidos anómalos, ninguno de ellos tiene una argumentación teórica sólida. Esos procedimientos tienen como objetivo la reducción artificial del contenido medio del componente útil y las reservas del mineral útil en unos u otros bloques con el propósito de disminuir el riesgo al proyectar la empresa minera o planificar su funcionamiento. No pensamos que su utilización sea racional y provechosa aunque esos procedimientos se aplican de manera bastante amplia en la práctica de los trabajos de búsqueda y exploración y por este motivo no les prestamos más atención. Se puede hallar la información necesaria al respecto en numerosos libros científicos publicados en este sentido [3, 14, 17, 29, 31, 32, 34,].

Cualquier procedimiento de este grupo es igualmente válido y es imposible señalar el que sería ciertamente mejor. Como la utilización de todo método formal de la limitación de los contenidos extraordinarios implica el déficit de las reservas de minerales útiles, este tiene que añadirse a las reservas de cada bloque de cálculo en cantidades proporcionales a la importancia relativa de dichos bloques.

### 8.3 Métodos de cálculo de reservas

En la literatura fueron descritos más de 20 métodos y las variantes aplicables para el cálculo de reservas de minerales útiles sólidos. Entre estos métodos los más conocidos son:

- El del promedio aritmético.
- El de bloques geológicos.
- El de bloques de explotación.
- El de secciones.

- El de isolíneas.
- El de regiones próximas.
- El de triángulos.
- El estadístico.

En los últimos tiempos el método de regiones próximas se utiliza muy raras veces y no se aplica el de triángulos. Una de las razones principales de este fenómeno es la tendencia bien manifiesta de vincular el método de cálculo de reservas con las particularidades esenciales de la constitución geológica del yacimiento y la estructura de la variabilidad de sus parámetros geólogo-industriales más importantes lo que no se puede lograr mediante esos dos métodos envejecidos. No obstante creemos racional estudiarlos aquí, sobre todo porque los principios a partir de los cuales se separa la región próxima también se utilizan en otros métodos de cálculo de reservas, así como para determinar las zonas de influencia de los valores concretos de diferentes parámetros geólogo-industriales al calcular sus valores medios ponderados.

Los métodos de cálculo de reservas difieren principalmente por la metodología del contorno de los bloques de cálculo, la geometrización de los cuerpos minerales, es decir por el modo que se utiliza para remplazar la forma real compleja de los objetos naturales con figuras geométricas sencillas de volumen equivalente, y la determinación de los valores promedio de los parámetros básicos del cálculo. A esas tres particularidades de cada método se les debe prestar una gran atención, ya que la técnica propia del cálculo de reservas es muy sencilla y comprensible.

Se debe destacar que si el contorno de los cuerpos minerales se realiza correctamente y se aplican procedimientos convenientes para calcular los valores promedio de los parámetros básicos, los resultados finales son muy cercanos cualquiera que sea el método de cálculo de reservas. Por esta razón es preferible utilizar los métodos más sencillos y demostrativos y hacer coincidir, si es posible, los bloques de cálculo con los futuros bloques y horizontes de explotación.

#### 8.3.1 Método del promedio aritmético

Al utilizar este método la forma compleja del cuerpo mineral se remplaza con una placa de volumen equivalente cuya altura (o espesor) corresponde a la potencia media aritmética del cuerpo y el área de la base a su superficie dentro del contorno interior. Por consiguiente, se puede obtener fácil y rápidamente el volumen ocupado por el mineral útil, las reservas de mena y las de metal o componente útil mediante las fórmulas (128), (129), (130), (131) y (132).

El contorno de los cuerpos minerales para este método se hace en los planos o las proyecciones verticales, trazándose todos los contornos mencionados: cero, industrial e interno.

Los valores promedio de los parámetros básicos del cálculo se determinan por el método de la media aritmética. Las reservas en la banda intercontorno se calculan separadamente sobre la base de la fórmula (146) y se refieren a las categorías de reservas inferiores. Si la meniferación es discontinua las reservas de la mena se determinan teniendo en cuenta el coeficiente de meniferación.

El método de promedio aritmético es uno de los más sencillos, tanto desde el punto de vista del contorno de los cuerpos minerales como por sus operaciones de cálculo. Sin embargo, tiene desventajas notables, entre las cuales hay que men-

cionar, ante todo, la imposibilidad del cálculo de reservas selectivo de acuerdo con las diferentes clases industriales del mineral útil, condiciones de explotación y diferente grado de estudio. Además, la utilización de los valores medios aritméticos puede provocar el surgimiento de errores considerables en el cálculo de reservas, por cuya razón V.I. Kuzmín propone utilizar en este método las fórmulas de la media ponderada si se manifiestan las correlaciones entre diferentes parámetros [18]. No obstante, esto no elimina la ventaja principal del método y por eso se utiliza ampliamente, por lo general, durante los estadios iniciales del estudio del objeto para evaluar rápidamente y de manera aproximada las reservas de mena y componente útil.

### 8.3.2 Método de las regiones próximas

Este método fue propuesto en el año 1914 por el científico ruso A.K. Boldirev y en la literatura se da con frecuencia como el método de A.K. Boldirev o el de polígonos. Se ha elaborado para los casos en los cuales se utilizan redes de exploración irregulares; este método se aplicaba con bastante frecuencia hasta los años 60, pero luego cedió su lugar al método de bloques geológicos, más sencillo y argumentado, sobre todo a causa de la unificación de las redes de exploración y una amplia utilización de las redes regulares.

La delimitación del cuerpo mineral en el método de regiones próximas se hace utilizando los procedimientos corrientes estudiados anteriormente. Con más frecuencia se utilizan los planos, y a veces las proyecciones verticales de los cuerpos minerales.

Según este método, alrededor de cada cruceo de prospección se delimita una zona (región) cuyos puntos se ubican más cerca de este cruceo que de cualquier otro. Para lograrlo los cruceos de prospección contiguos se unen mediante líneas rectas y en las mitades de esas líneas se trazan las perpendiculares hasta su intersección mutua. Esas perpendiculares delimitan los polígonos que son las regiones próximas de los cruceos de prospección correspondientes (fig. 8.16). En la banda intercontorno esas regiones se obtienen al trazar las perpendiculares correspondientes hasta su intersección con el contorno industrial.

Así pues, el cuerpo mineral de morfología compleja se convierte en un sistema de prismas poliédricos de altura diferente, unidos entre sí a través de sus caras laterales. Dentro de cada prisma (zona de influencia) los valores de los parámetros geólogo-industriales determinados en el cruceo de prospección correspondiente se consideran constantes, lo que permite calcular fácilmente el volumen del mineral útil, las reservas de la mena y las del componente útil en este prisma, por las fórmulas (128), (129), (130), (131) y (132). Las reservas totales para todo el cuerpo mineral se obtienen mediante la sumatoria de las de los prismas independientes. Los cálculos se hacen por separado dentro del contorno interior y en la banda intercontorno. En el último caso para calcular el volumen de un prisma no se utiliza la potencia del cuerpo mineral en el cruceo de prospección ( $m_i$ ), sino la potencia reducida ( $m'_i$ ) que se determina teniendo en cuenta la variación de este parámetro en la banda intercontorno:

$$m'_i = \frac{m_i + m_{\min}}{2}$$

donde:

$m_{\min}$  - potencia mínima industrial.

El método de regiones próximas da buenos resultados en cuanto a la cantidad de reservas totales del mineral útil, pero no garantiza la correcta separación de los sectores integrados por la materia prima mineral de una u otra clase industrial como consecuencia del carácter formal y abstracto de los límites de cada región próxima. Este método tampoco permite dividir las reservas calculadas en función de su grado de estudio, pero, además, es fácil probar que da los mismos resultados que el método de promedio aritmético con la ponderación de los valores concretos de todos los parámetros básicos del cálculo ejecutado, teniendo en cuenta las dimensiones de las zonas de influencia de las observaciones individuales y, finalmente, al ser regular la red de exploración las zonas de influencia de cada laboreo de prospección en su mayoría son iguales y la utilización del método de Boldirev resulta insensata. Por esta razón, hoy día no se puede recomendar la utilización independiente de este método, ya que este es útil solo como método auxiliar para evaluar, si es necesario, el papel relativo de uno u otro cruceo de prospección en las reservas totales del bloque de cálculo.

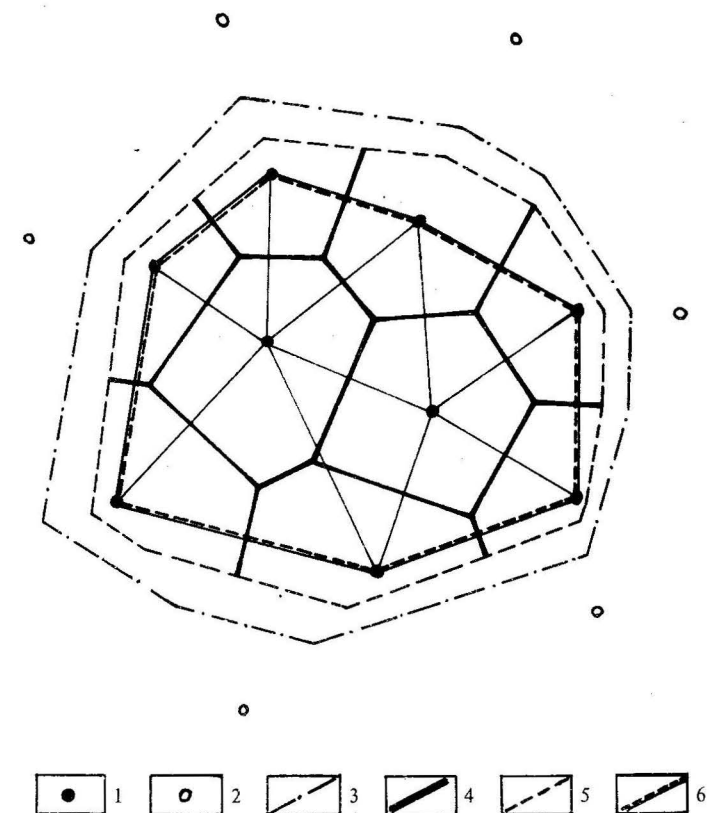


Fig. 8.16 Esquema para la delimitación de las regiones de influencia inmediata alrededor de los pozos de perforación: 1- perforación menífera; 2- perforación sin mena; 3- contorno cerb; 4- límite de la región de influencia; 5- contorno industrial; 6- contorno interior



### 8.3.3 Método de los bloques geológicos

Al utilizar este método, el cuerpo mineral se divide en una serie de bloques geológicos homogéneos, de manera que dentro de cada bloque la calidad del mineral útil y las condiciones de yacencia varíen poco y el grado de estudio sea uniforme. Esto permite sustituir el cuerpo natural de morfología compleja por un sistema de prismas rectos poliédricos de altura diferente, unidos entre sí a través de sus caras laterales. Cada prisma corresponde a un bloque de cálculo y tiene por altura la potencia media del cuerpo mineral de este bloque y por base el área de dicho bloque. Los volúmenes de los bloques, sus reservas de mineral útil y de componente útil, se calculan por las fórmulas (128), (129), (130), (131) y (132); las reservas totales se obtienen de la sumatoria de las reservas de los bloques individuales.

El autor de dicho método, el científico soviético V.I. Smirnov, propuso calcular los valores promedio de los parámetros básicos por el método de la media aritmética. Esta propuesta fue aceptada por todos y durante largo tiempo no se señaló objeción alguna. Esto es bien comprensible, por cuanto al ser insignificante la variabilidad del parámetro dentro del bloque, sus valores medio aritmético y medio ponderado tienen que ser casi iguales. Sin embargo, en la práctica del cálculo de reservas la obtención de los bloques perfectamente homogéneos en todos los parámetros resulta muy difícil. Por eso, si se recuerda lo expuesto con anterioridad en los epígrafes 8.2.2 y 8.2.4, hay que recomendar para el cálculo de los valores promedio de los parámetros básicos el método de la media ponderada que es más exacto en todas las ocasiones.

Al ejecutar el contorno del cuerpo mineral para aplicar el método de bloques geológicos se utiliza cualquier proyección del cuerpo según el caso y además de los contornos cero, industrial e interno hay que trazar los límites de los bloques de cálculo independientes. Con este objetivo la parte industrial del cuerpo se divide sucesivamente en sectores cuyas condiciones de yacencia son semejantes, la calidad de la materia prima mineral es homogénea, las magnitudes de la potencia se encuentran dentro de la misma clase industrial y el grado de estudio es uniforme. Los bloques geológicos se delimitan considerando a la vez todos esos índices (todos los contornos auxiliares así trazados) y tienen que coordinarse con futuros bloques y horizontes de explotación y ser sencillos en su configuración. Además, sin alguna razón seria no hace falta disminuir los bloques de cálculo, ya que esto provoca errores mayores en la determinación de los valores promedio de los parámetros geólogo-industriales y hace menos exacto el cálculo de reservas. De lo expuesto se deduce que la división del cuerpo mineral en bloques de cálculo para el método en cuestión es una tarea compleja y de carácter creativo que a veces tiene diferentes soluciones posibles. Desafortunadamente ningún manual o libro de estudio presta atención a esta particularidad esencial del método, por cuya razón muy a menudo en la práctica del cálculo de reservas se hace una delimitación formal de los bloques geológicos lo que anula sus principales ventajas. Un ejemplo ilustrativo de la división del cuerpo mineral en bloques geológicos durante el cálculo de reservas se muestra en la figura 8.17. En este ejemplo la distancia entre los pozos de perforación (100 m) asegura el cálculo de reservas de categoría A, la potencia mínima industrial del cuerpo es igual a 1 m; se distinguen dos clases industriales de cuerpo mineral según su potencia: de 1 a 5 m y de 5 a 10 m y las menas oxidadas y carbonatadas forman dos clases industriales independientes, ya que sus esquemas de tratamiento tecnológico son diferentes. A partir de

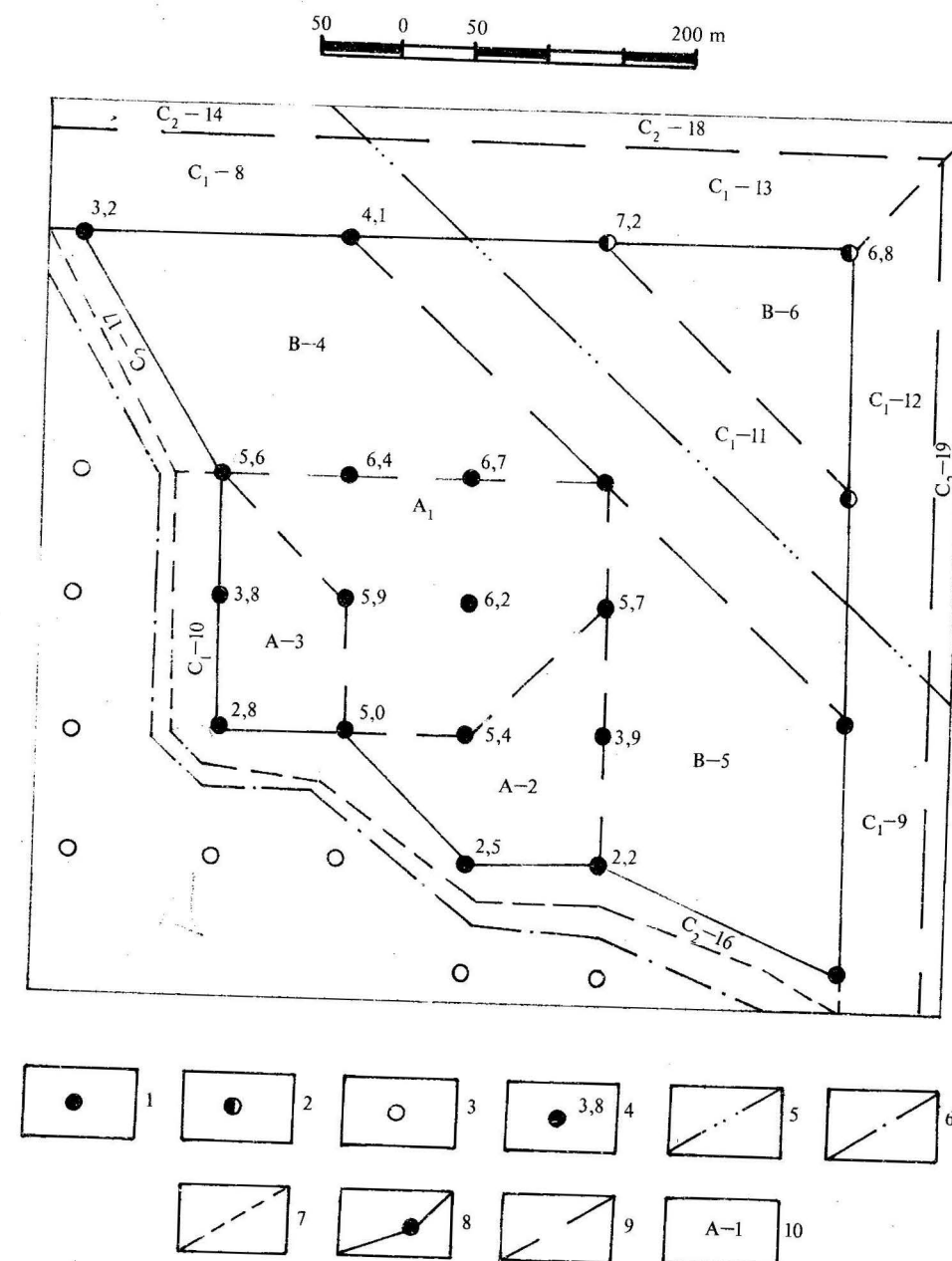


Fig. 8.17 Esquema de subdivisión del yacimiento de menas manganíferas en bloques geológicos para el cálculo de reservas: 1- con menas oxidadas; 2- con menas carbonatadas; 3- sin menas; 4- potencia del depósito en la perforación; 5- límite entre la mena oxidada y la carbonatada; 6- nulo; 7- industrial; 8- interior; 9- bloque de cálculo; 10- categoría de las reservas y número del bloque

esto se han trazado los contornos cero e industrial, así como el límite entre la mena oxidada y la carbonatada. Luego, dentro de la zona de extensión de cada clase industrial de mena fueron trazados los contornos interiores, ya que es inadmisibles la mezcla de diferentes clases industriales en el mismo bloque geológico.

Como entre las menas oxidadas se separa un sector con potencia elevada del cuerpo mineral (más de 5 m) este forma un bloque de cálculo independiente y se relaciona con la categoría A de acuerdo con su grado de estudio (bloque A-1). Dentro del contorno interior de la mena oxidada en la zona con una potencia inferior (menos de 5 m) se separan cuatro bloques relacionados con las categorías A y B según su grado de estudio (bloques A-2, A-3, B-4 y B-5). En la banda intercontorno, la división del cuerpo en bloques de acuerdo con el grado de estudio se realizó en dependencia de la confiabilidad de los límites correspondientes y del carácter de la interpolación o extrapolación de los datos reales (bloques C<sub>1</sub>-7, C<sub>1</sub>-8, C<sub>1</sub>-9, C<sub>1</sub>-10, C<sub>2</sub>-14, C<sub>2</sub>-15, C<sub>2</sub>-16, C<sub>2</sub>-17).

Las menas carbonatadas dentro del contorno interior fueron relacionadas con la categoría B (bloque B-6) puesto que la red de exploración es menos densa. La división de la banda intercontorno en bloques de categorías C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub> (bloques C<sub>1</sub>-11, C<sub>1</sub>-12, C<sub>1</sub>-13, C<sub>2</sub>-18 y C<sub>2</sub>-19) se ha hecho de manera análoga a la utilizada para la mena oxidada.

El método de bloques geológicos se caracteriza por la sencillez de la geometrización del cuerpo mineral y las operaciones de cálculo, el trazado lógico y bien argumentado de los límites de los bloques de cálculo, la posibilidad de coordinar estos últimos con los futuros bloques de explotación y el cálculo selectivo bastante confiable de las reservas de diferentes tipos y clases de materia prima mineral. Este método se aplica prácticamente para los cuerpos minerales de cualquier morfología, explorados según una red geométrica regular, cualesquiera que sean sus condiciones de yacencia. Por eso, dicho método se utiliza muy ampliamente en el cálculo de reservas de diversos minerales útiles meníferos (cerca de 50% de reservas calculadas), no meníferos (también cerca de 50%) y combustibles (del orden de 80 a 90%).

### 8.3.4 Método de los bloques de explotación

Este método se puede aplicar si el bloque de cálculo se delimita por dos, tres o cuatro lados con excavaciones mineras ejecutadas según el rumbo o buzamiento del cuerpo mineral (fig. 8.18) con la condición de que esas excavaciones se puedan utilizar en la preparación de la extracción del mineral útil. Se da por conocido que los sistemas de exploración son raros y se encuentran solo durante la exploración detallada o de explotación en los yacimientos filoneanos muy y extremadamente irregulares. Por lo tanto, el método de bloques de explotación se utiliza poco en la práctica del cálculo de reservas (no más de 3 a 5% de todos los casos).

La delimitación del bloque de cálculo por este método es muy sencillo: las reservas se determinan dentro del contorno interior coincidente con las excavaciones mineras correspondientes. También es sencillo el modo de remplazo de la forma real del cuerpo dentro del bloque de cálculo con una figura geométrica equivalente: como tal se utiliza un paralelepípedo cuya altura es igual a la potencia media del cuerpo mineral en este bloque. Las reservas de cada bloque se determinan sobre la base de las fórmulas (128), (129), (130), (131) y (132) y las totales, mediante la sumatoria de las reservas de bloques individuales.

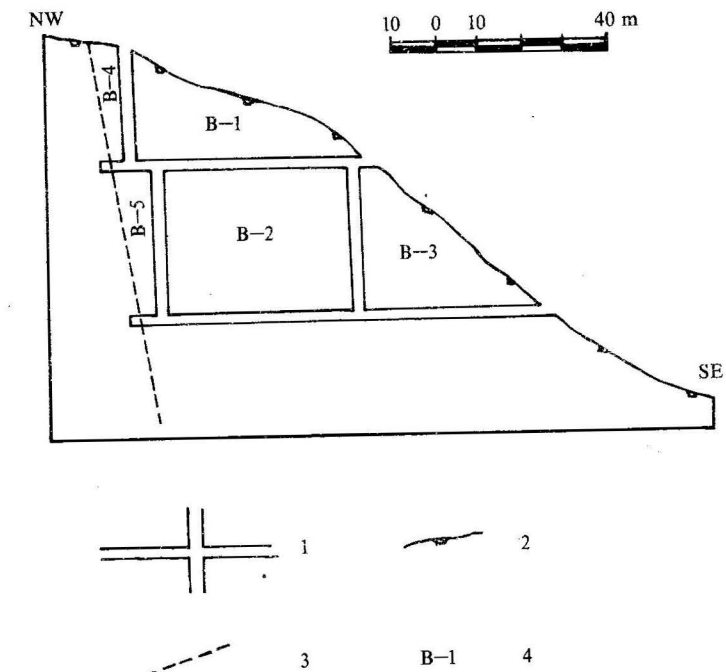


Fig 8.18 Esquema del cálculo de reservas por el método de bloques de explotación (proyección vertical longitudinal): 1- galerías y contrapozos; 2- trincheras; 3- límite del cuerpo mineral; 4- categoría de la reserva y número del bloque

Se recomienda determinar los valores promedio de los parámetros básicos del cálculo como promedios ponderados, teniendo en cuenta las correlaciones entre unos u otros parámetros, así como las dimensiones de las zonas de influencia de las observaciones individuales. Si los valores promedio para el bloque se calculan a través de los promedios determinados para cada excavación minera que delimita a este, hay que considerar como zona de influencia el largo de la excavación correspondiente.

Las ventajas principales del método de bloques de explotación son la sencillez del contorno y la geometrización del cuerpo mineral, las operaciones de cálculo claras y simples, la posibilidad de utilizar los resultados del cálculo de reservas directamente en la proyección y planificación de la extracción del mineral útil. Por otra parte, la división del cuerpo mineral en bloques se hace de manera formal, por cuya razón con frecuencia estos son heterogéneos por la potencia o calidad del mineral útil.

### 8.3.5 Método de secciones o perfiles

El cálculo de reservas mediante este método se realiza por bloques que se encuentran entre dos secciones de prospección contiguas: perfiles verticales o pla-

nos horizontales. De acuerdo con esto, el contorno de los cuerpos minerales se hace en los perfiles y planos correspondientes; el remplazo de la forma compleja del objeto natural con algunas figuras geométricas sencillas puede ser diferente para uno u otro bloque y en la determinación del volumen del bloque no se utiliza la potencia media del cuerpo mineral, sino las áreas ocupadas por la mena en las secciones contiguas.

En función de la orientación recíproca de las secciones de prospección contiguas se conocen dos variantes de dicho método: secciones paralelas y no paralelas. El cálculo de reservas es más sencillo si las secciones son paralelas (fig. 8.19), por cuyo motivo, en primer lugar, se estudiará esta variante.

Si las secciones paralelas contiguas que delimitan el bloque de cálculo son semejantes o similares por su forma, y sus áreas ( $S_{III}$  y  $S_{IV}$ ) son más o menos iguales el cuerpo real dentro del bloque puede sustituirse por un trapezoide cuyo volumen se da por la siguiente fórmula:

$$V_{III-IV} = \frac{S_{III} + S_{IV}}{2} l \quad (154)$$

donde:

$l$  - distancia entre las secciones contiguas.

Al ser muy desiguales las secciones contiguas ( $S_{II}$  y  $S_{III}$ ) la figura geométrica más conveniente para expresar el volumen del bloque será un cono truncado y la fórmula a utilizar tendrá el siguiente aspecto:

$$V_{II-III} = \frac{S_{II} + S_{III} + \sqrt{S_{II} S_{III}}}{3} l \quad (155)$$

En la literatura científica, así como en la gran mayoría de los manuales y libros de estudio, se arraigó sólidamente la idea y nos atreveríamos a decir que sin argumentación ninguna, de que la fórmula (154) es válida solo si las áreas de las secciones contiguas difieren en menos de 40% y que es necesario utilizar la fórmula (155) si es más grande esta diferencia. Sin embargo, como demostró V.I. Kuzmín [18], el error del cálculo según la fórmula (154) solamente es igual a 2% cuando la diferencia de las áreas contiguas corresponde a 100% y de 4,7% si la diferencia alcanza 200%. Si se añade que este error, aunque menos importante (0,8%) existe también cuando las áreas contiguas difieren de 40% es posible apoyar la propuesta de V.I. Kuzmín, el cual sostiene que la fórmula del trapezoide debe utilizarse más ampliamente. Por consiguiente, pensamos que dicha fórmula será válida si la diferencia de áreas en las secciones contiguas es inferior o igual a 100%.

Si la forma y orientación espacial de las secciones contiguas difieren mucho o sea, si estas no son semejantes o similares, es más racional remplazar la forma compleja del cuerpo real con un polígono cuyo volumen se expresa por la fórmula:

$$V_{IV-V} = \frac{S_{IV} + S_V + 1/2 (a_1 b_1 + a_2 b_2)}{3} l \quad (156)$$

donde:

$a_1$  y  $b_1$  - largo y ancho de la sección  $S_{IV}$ ;

$a_2$  y  $b_2$  - largo y ancho de la sección  $S_V$ .

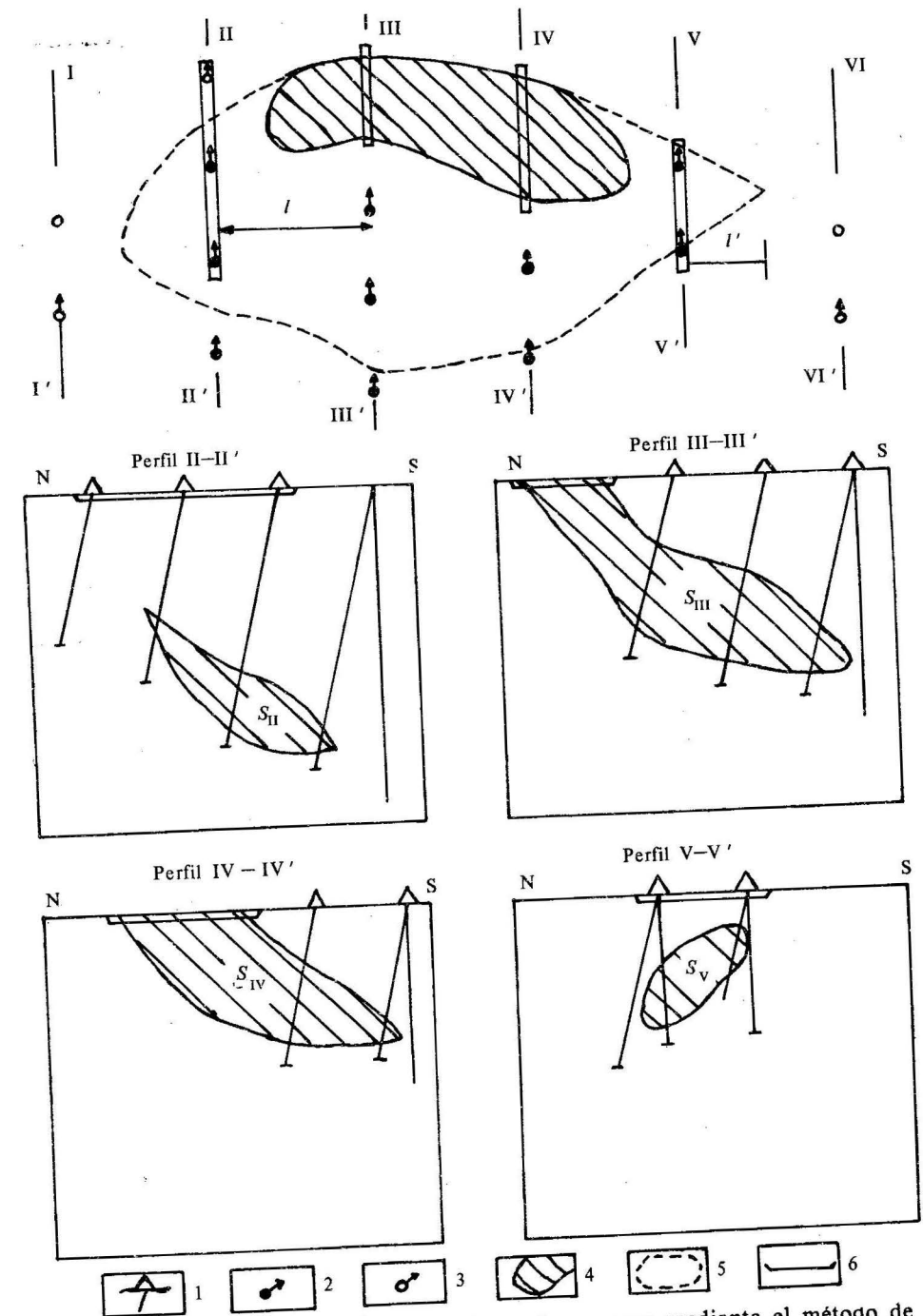


Fig. 8.19 Esquema para ilustrar el cálculo de reservas mediante el método de secciones (perfiles) paralelas: 1- perforaciones; 2- perforaciones meníferas; 3- perforaciones sin mena, 4- cuerpo mineral; 5- contorno cero del cuerpo mineral; 6- trincheras



La selección de la figura geométrica equivalente para los bloques de cálculo periféricos apoyados solo en una sección de prospección se hace de acuerdo con el carácter supuesto del acunamiento del cuerpo mineral. Como tales figuras se pueden utilizar la cuña, el paraboloide de revolución y el cono, cuyos volúmenes se obtienen mediante las siguientes fórmulas:

a) para la cuña o el paraboloide de revolución:

$$V_{V-VI} = 1/2 S_V l' \quad (157)$$

b) para el cono:

$$V_{V-VI} = 1/3 S_V l' \quad (158)$$

donde:

$l'$  - de la figura geométrica correspondiente.

Todas las fórmulas propuestas son válidas para el cálculo de volúmenes de los bloques delimitados con el contorno cero por cuanto esto hace más fácil y sencilla la exposición del material. Si se necesita el cálculo de volúmenes dentro del contorno industrial (o interior) las fórmulas (154), (155) y (156) son aplicables sin modificación ninguna. Por otra parte, de los volúmenes calculados mediante las fórmulas (157) y (158) hay que excluir los ubicados entre los contornos correspondientes y el contorno cero. Esos volúmenes auxiliares se determinan por las mismas fórmulas, a partir del área de la sección del cuerpo mineral según el contorno industrial o interior y la distancia desde esta sección hasta el contorno cero.

Para convertir el volumen del bloque en reservas de mineral útil o componente útil hay que utilizar las fórmulas ya conocidas (129), (130), (131) y (132). Los valores promedio de la masa volumétrica y del contenido de componente útil se calculan primeramente para cada sección mediante el método de la media ponderada, teniendo en cuenta la correlación de los parámetros básicos y las dimensiones de las zonas de influencia de cada crucero de prospección y luego para cada bloque de cálculo por el mismo método, considerando las áreas de las secciones que lo delimitan.

Las reservas totales para el cuerpo mineral se obtienen mediante la sumatoria de las reservas de los bloques industriales.

Para el cálculo de reservas de los placeres se utiliza ampliamente el método lineal que se considera generalmente como una variante del método de secciones. Sin embargo, el método lineal es en realidad un método compuesto integrado por el de secciones y el de regiones próximas. De acuerdo con dicho método, en las mitades de las distancias que separan las secciones contiguas se trazan planos con el fin de delimitar las zonas de influencia de cada sección y las reservas se calculan dentro de los bloques que se apoyan en esos planos. Así pues, la forma real del placer en el bloque se remplaza por un prisma equivalente, cuya base es igual al área de la sección del placer, según el perfil de prospección correspondiente, y la altura es igual a la mitad de la suma de las distancias desde este perfil hasta los dos contiguos.

Para determinar las reservas de mineral valioso en el bloque, en primer lugar, se calculan sus reservas en la banda (con espesor igual a 1 m) adyacente al plano de la sección del placer según el perfil de exploración y luego el resultado se multiplica por la altura del bloque. La primera operación numéricamente no es más

que la obtención del producto del valor medio ponderado del contenido de componente valioso y el área de la sección de prospección.

Es fácil cerciorarse que el procedimiento del método lineal nos obliga a expresar las reservas calculadas en unidades fantásticas (kg · m; t · m; Quilate · m; etc.), lo que significa que este método carece de argumentación lógica. Además, solo crea la apariencia de un cálculo más exacto, ya que sus resultados en cuanto a las reservas totales del placer coinciden perfectamente con las que se obtienen utilizando la metodología expuesta del método de secciones, con la condición de que los volúmenes de los bloques se calculen únicamente por la fórmula del trapecioide. Como esta fórmula no tiene un carácter universal, el método lineal no ofrece ninguna ventaja y su precisión es inferior a la del método de secciones, por cuya razón no es recomendable su utilización práctica.

Si las secciones de prospección contiguas no son paralelas, lo que se observa con frecuencia al variar el rumbo del cuerpo mineral, la determinación del volumen del bloque necesita las correcciones correspondientes o la subdivisión de este en figuras geométricas más sencillas.

Para hacer las correcciones se puede recomendar la fórmula simplificada de A.S. Zolotariev, válida en los casos en que las áreas de las secciones contiguas difieren en menos de dos veces:

$$V_{1-2} = \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot \frac{H_1 + H_2}{2} \cdot \frac{\gamma}{\text{sen} \gamma} \quad (159)$$

donde:

$S_1$  y  $S_2$  - áreas de las secciones contiguas que limitan el bloque;  
 $H_1$  y  $H_2$  - longitudes de las perpendiculares a las líneas de las secciones trazadas en los puntos que corresponden a las proyecciones de los centros de gravedad de cada sección hasta la intersección con el perfil contiguo (fig. 8.20);  
 $\gamma$  - ángulo entre los perfiles contiguos, radianes.

Si  $\gamma > 10$  esta fórmula tiene un aspecto aún más simple:

$$V_{1-2} = \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot \frac{H_1 + H_2}{2} \quad (160)$$

Al ser superior a 100% la diferencia de las áreas de las secciones contiguas debe utilizarse una fórmula más general:

$$V_{1-2} = \frac{\gamma}{6 \text{ sen} \gamma} [H_1(2S_1 + S_2) + H_2(2S_2 + S_1)] \quad (161)$$

El método de A.S. Zolotariev da resultados satisfactorios si el ángulo entre las secciones contiguas no sobrepasa 20 a 30°, pero exige la confección de dibujos auxiliares.

Entre los métodos que tienen en cuenta el carácter no paralelo de las secciones contiguas mediante la subdivisión del bloque de cálculo en figuras geométricas más sencillas, merecen mencionarse los de A.P. Prokófiev y Yu.A. Kolmogórov.

Prokófiev propuso dividir el bloque entre las secciones no paralelas en zonas de influencia de cada sección mediante un plano y calcular las reservas de esas zonas por el método de regiones próximas, pero sin la determinación de las reservas en las bandas lineales. Es obvio que este método tiene las mismas desventajas que el método lineal, por lo que no se recomienda su utilización.

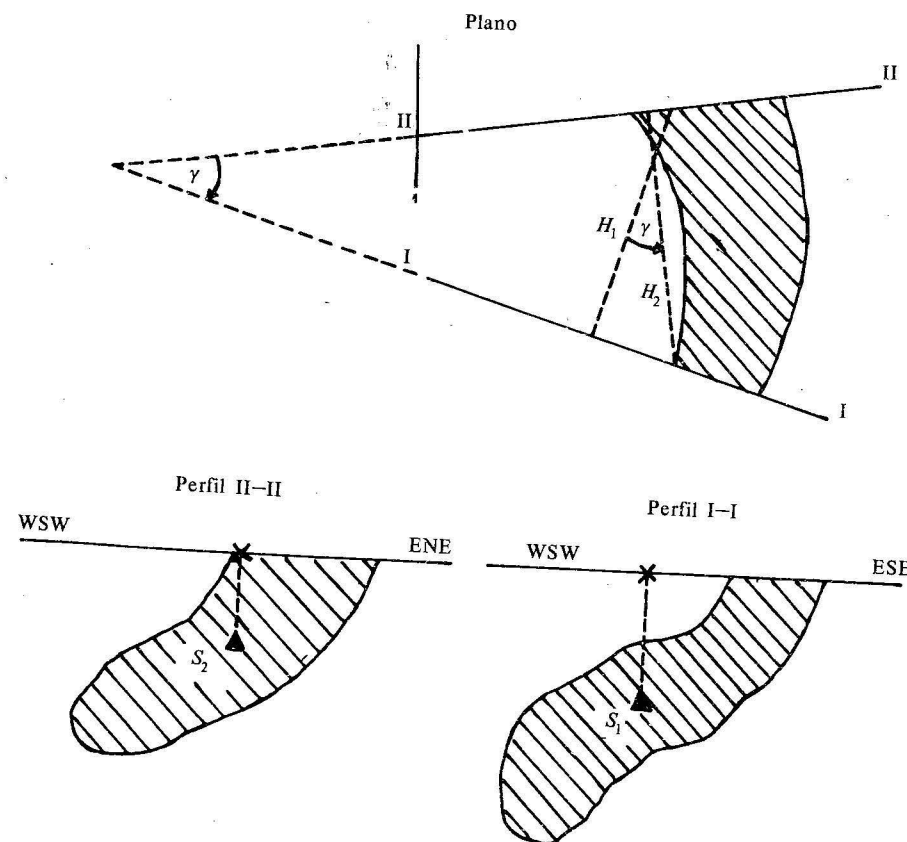


Fig. 8.20 Esquema para la determinación del volumen del bloque entre dos secciones (perfiles) no paralelas según el método de A. S. Zolotariev: 1- centro de gravedad del área de la sección; 2- proyección del centro de gravedad del área de la sección

Kolmogórov solucionó mucho mejor el problema planteado [15]. Él dividió el bloque de cálculo en dos figuras, una de las cuales es un trapecoide, un cono truncado o un polígono según la relación entre las áreas  $S_1$  y  $S_2$  y la otra representa una cuña (fig. 8.21). El área de la sección auxiliar  $S'_2$  que se usa en las fórmulas correspondientes (154), (155) y (156) puede obtenerse fácilmente a través de la expresión.

$$S'_2 = S_2 \frac{a'_2}{a_2}$$

donde:

$a_2$  y  $a'_2$  - largos de las proyecciones de las secciones correspondientes en el plano.

El volumen de la cuña se calcula por la fórmula:

$$V_2 = \frac{1}{2} S_2 h \quad (162)$$

donde:

$h$  - largo de la perpendicular a la línea del perfil correspondiente trazado a partir del punto extremo de la sección  $S'_2$ .

El método de Kolmogórov es sencillo, confiable y válido, cualquiera que sea el ángulo entre las secciones contiguas.

El método de secciones en todas sus variantes permite tener en cuenta de manera más completa las particularidades de la constitución geológica del yacimiento, la morfología y las condiciones de yacencia de los cuerpos minerales. Esta es su ventaja principal y explica su amplia utilización: cerca de 50% de las reservas de los yacimientos minerales, tanto meníferos como no meníferos, se calculan mediante este método, sobre todo si es compleja la morfología de los cuerpos minerales.

No obstante, dicho método tiene desventajas importantes. En primer lugar, se basa en la interpolación rectilínea de los datos de exploración entre las secciones contiguas y por eso es inaplicable si la estructura tectónica del objeto es compleja y las distancias entre esas secciones son grandes, ya que puede provocar errores muy graves (fig. 8.22). Por este motivo el método de secciones no se recomienda para el cálculo de reservas durante los estadios iniciales de estudio geológico del yacimiento, especialmente si se supone una constitución geológica compleja.

En segundo lugar, al calcular las reservas de mineral útil mediante este método no se utilizan los datos de exploración obtenidos en los puntos ubicados dentro del bloque, sino solo los ubicados en las secciones de prospección principales.

Por último, los bloques del cálculo generalmente no están coordinados con los futuros bloques y pisos de explotación y son heterogéneos desde el punto de vista de la calidad del mineral útil o los valores de otros parámetros geólogo-industriales, lo que no permite utilizar los resultados de cálculo de reservas en la proyección y planificación de la explotación del yacimiento.

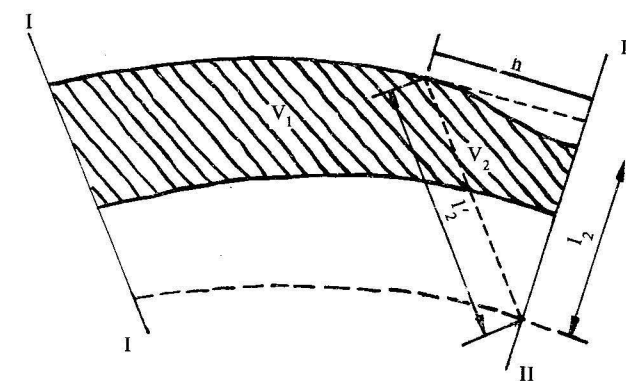


Fig. 8.21 Esquema para la determinación del volumen del bloque entre dos secciones (perfiles) no paralelas según el método de Yu. A. Kolmogorov: 1- contorno cero del depósito

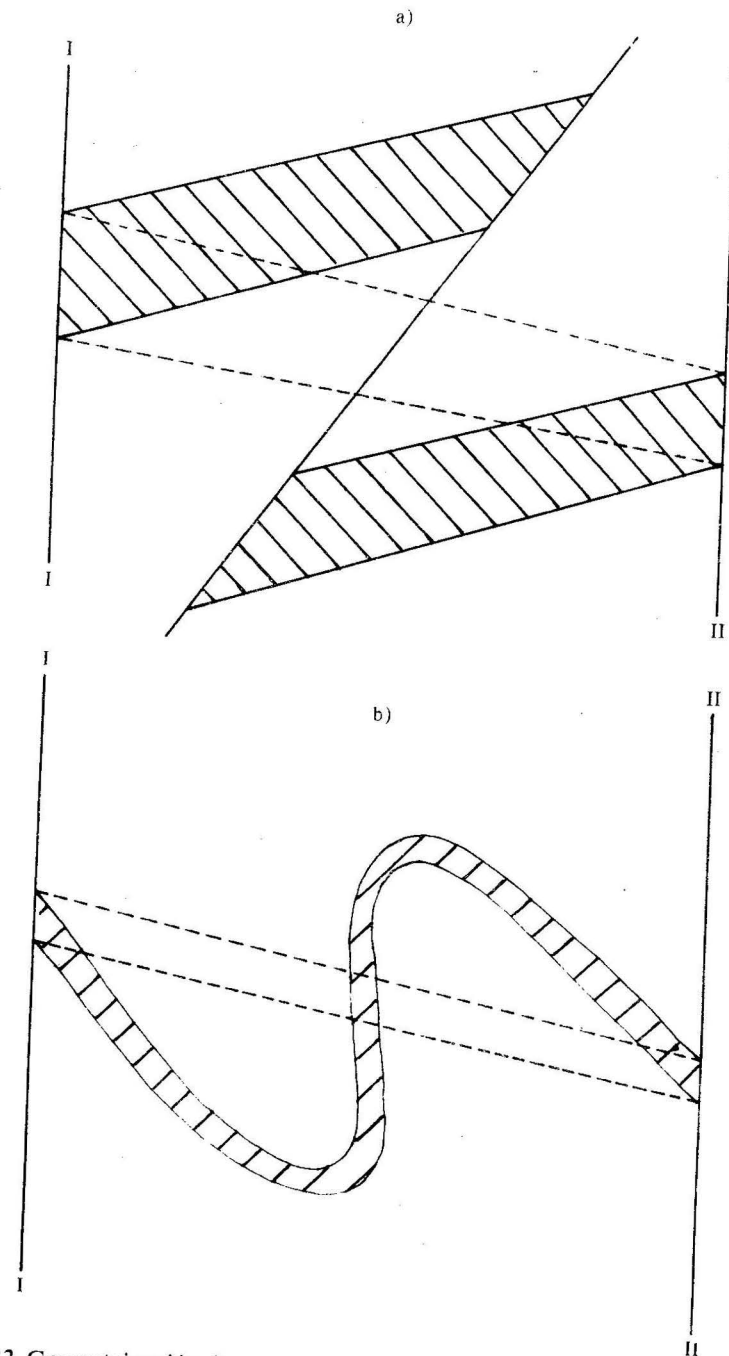


Fig. 8.22 Geometrización incorrecta (línea punteada) que causa la determinación errónea del volumen del bloque al manifestarse entre las secciones contiguas (perfiles): a) dislocaciones disyuntivas; b) dislocaciones plicativas

### 8.3.6 Método de las isolíneas

En este método el cuerpo real de morfología compleja limitado por todas partes con superficies curvilíneas se convierte en otro más sencillo que se apoya en un plano y se limita con una superficie topográfica compleja, lo cual se puede expresar mediante isolíneas. Este método se utiliza con más frecuencia para determinar los volúmenes de cuerpos lenticulares subhorizontales, destinados a la explotación a cielo abierto o calcular el volumen de las rocas de destape. En esos casos se confeccionan y utilizan los planos de isolíneas de potencia: isopacas. Además, se pueden utilizar los planos de isolíneas de las reservas lineales del mineral útil (es decir, los productos de la potencia del cuerpo mineral y la masa volumétrica de la mena) o del componente útil (producto de la potencia del cuerpo mineral, masa volumétrica de la mena y el contenido de dicho componente), lo que da como resultado directo las reservas de la mena o de determinado metal.

En todos los casos, el método de isolíneas representa una variante del método de secciones paralelas desde el punto de vista de la metodología de geometrización del cuerpo real y la técnica de los cálculos. Por eso, los volúmenes de las capas limitadas con dos secciones contiguas (o sea, entre dos isolíneas contiguas) se pueden obtener utilizando las fórmulas (154), (155), (156) y los de las partes extremas salientes o depresiones por las fórmulas (157) y (158). Sin embargo, como las distancias entre las secciones contiguas aquí son diminutas y las diferencias de sus áreas que sobrepasaron 100% son muy raras por lo general, solo se aplican las fórmulas del trapecioide (154) y cono (158). Esto es aceptable ya que simplifica mucho las operaciones de cálculo sin afectar la precisión del resultado final, pero nos parece más racional utilizar la fórmula del paraboloide de revolución (157) en lugar de la del cono, teniendo en cuenta el carácter suave de las inflexiones de la superficie topográfica.

El volumen total del cuerpo se expresa como la suma de los volúmenes de capas individuales. Como la distancia entre las secciones contiguas ( $h$ ) es un valor constante, el volumen total se calculará mediante la siguiente fórmula simplificada:

$$V = h \left( \frac{S_{\min}}{2} + S_1 + S_2 + \dots + S_{n-1} + \frac{S_n}{2} \right) \pm \frac{1}{2} S_i h_i \quad (163)$$

donde:

$S_{\min}$  - área del cuerpo mineral dentro del contorno industrial;

$S_1, S_2, \dots, S_n$  - áreas del cuerpo limitadas con la primera, segunda, ..., última isopaca;

$S_i$  - áreas de las depresiones o partes salientes de la superficie topográfica limitadas con las isopacas correspondientes;

$h_i$  - alturas (profundidades) de dichas depresiones o partes salientes.

Para convertir el volumen del cuerpo en reservas de mineral o componente útil hay que utilizar los valores promedio de la masa volumétrica y el contenido de componente útil, los cuales se determinan mediante las mismas fórmulas que fueron propuestas para el método de bloques geológicos.

La metodología y la técnica de confección de los planos en isolíneas se da con suficiente detalle en muchos manuales y libros de estudio sobre la geometría minera, por cuya razón no se expondrán.

El método de isolíneas garantiza la suficiente precisión del cálculo de reservas y la representación demostrativa de su variación según la superficie del cuerpo



mineral, pero es un poco complicado, tanto en su parte gráfica como en la medición de las áreas y ejecución de los cálculos. Además, no permite separar los sectores integrados por diferentes clases industriales de mineral útil y a veces se vuelve imposible la coordinación de las reservas calculadas con los futuros bloques u horizontes de explotación. Por eso, dicho método se utiliza raramente (no más de 1 a 2 % de todos los casos) en la práctica del cálculo de reservas.

### 8.3.7 Método de los triángulos

Para calcular las reservas mediante este método hay que unir entre sí los cruces de prospección contiguos con líneas rectas, cuyo resultado es la división de la superficie del cuerpo mineral dentro del contorno interior en una serie de triángulos y el remplazo de la forma compleja del objeto real con un sistema de prismas triédricos unidos entre sí a través de sus caras laterales. Como pueden existir diversas variantes de división en triángulos del área explorada, se recomienda escoger entre ellas la que permite obtener dichos triángulos más o menos equiláteros.

Para construir los triángulos en la banda intercontorno, primeramente se buscan los puntos de apoyo complementarios en el contorno industrial trazando hasta la intersección con este las perpendiculares que dividen en dos partes iguales las líneas que unen los laboreos de prospección contiguos del contorno interior. Esos puntos de apoyo junto con los laboreos de prospección correspondientes del contorno interior servirán de vértices de los triángulos que se van a construir.

Los volúmenes y las reservas del mineral útil, así como las del componente útil, se determinan dentro de cada prisma triédrico sobre la base de las fórmulas (128), (129), (130), (131) y (132) y las reservas totales se obtienen de la suma de las reservas de los prismas individuales.

El método de triángulos se caracteriza por tener materiales gráficos muy complicados, cálculos complejos y ausencia de coordinación entre los bloques de cálculo y los futuros bloques y horizontes de explotación. Además, al dividir el cuerpo mineral en bloques no se tienen en cuenta las particularidades de su variabilidad. Esas desventajas son tan importantes que hoy día el método de triángulos no se utiliza independientemente en el cálculo de reservas de minerales útiles.

### 8.3.8 Método estadístico

Este método no necesita la determinación del volumen del cuerpo mineral ni por consiguiente la geometrización exacta de este, lo que representa su principal rasgo característico en comparación con los anteriormente estudiados. El método estadístico tiene como base la determinación de la productividad del cuerpo mineral por cada unidad de área mineralizada ( $p$ ) y la delimitación de esta área ( $S$ ). Esos datos permiten calcular con toda facilidad las reservas del mineral útil mediante la fórmula:

$$Q = pS \quad (164)$$

Este método se utiliza principalmente para calcular las reservas de los yacimientos muy irregulares y extremadamente irregulares por su calidad, con acumulaciones del mineral valioso en forma de nidos (materia prima piezoóptica,

piedras preciosas), yacimientos de fosforitas en concreciones, ambar y menas en guijarros. Su uso es limitado: hasta 1 a 2 % de todos los casos de cálculo de reservas. Además, es aplicable para realizar una evaluación rápida y aproximada de las reservas, tanto de los yacimientos independientes como de campos o regiones meníferas, durante los estadios iniciales de los trabajos de búsqueda y exploración.

Para concluir la revisión de los métodos de cálculo de reservas debe notarse que algunas veces, si la morfología de los cuerpos minerales es muy compleja y varía mucho en diferentes sectores u horizontes del yacimiento, el cálculo de reservas del mismo cuerpo mineral se puede ejecutar utilizando la combinación de los métodos estudiados.

## 8.4 Coeficientes de corrección que se utilizan durante el cálculo de reservas

A veces unos u otros parámetros básicos del cálculo o hasta las reservas calculadas tienen que corregirse por diferentes causas, las cuales se pueden agrupar de la siguiente manera:

- causas vinculadas con las particularidades de la constitución geológica del yacimiento y su variabilidad;
- causas que aparecen como resultado de diferentes defectos en los trabajos de búsqueda y exploración.

Para resolver esta tarea se utilizan diferentes coeficientes de corrección, cuyo estudio se propone a continuación.

### 8.4.1 Coeficientes de corrección para evaluar la influencia de los rasgos específicos de la constitución geológica del yacimiento

En este grupo se conocen los coeficientes de meniferación, de efectos cársicos, de inclusiones de guijarros, de contenido de hielo, de esponjamiento y de diques no meníferos. Todos ellos, salvo el coeficiente de esponjamiento, son menores que uno. Esos coeficientes se utilizan para precisar los valores promedio de los parámetros básicos determinados para bloques de cálculo independientes; el coeficiente de inclusiones de guijarros también puede utilizarse para corregir los contenidos medios de componente útil en uno u otro cruce de prospección.

El coeficiente de meniferación ( $K_m$ ) sirve para evaluar el carácter discontinuo del cuerpo mineral si no se puede lograr el contorno y cómputo selectivos de sus partes estériles, pero es posible dejarlas en el subsuelo sin explotar, extraer separadamente y enviarlas a las escombreras, o seleccionadas a mano a partir de la masa menífera extraída antes de su tratamiento o envío a los consumidores.

Al aplicarse este coeficiente el contenido medio del componente útil se calcula considerando solo los intervalos meníferos y el volumen calculado del bloque de cálculo ( $V$ ) se reduce respectivamente para excluir de este las intercalaciones estériles y no industriales mediante la sencilla expresión:  $V_r = V K_m$ .

Como se señaló anteriormente, el coeficiente de meniferación es la relación entre la parte industrial del cuerpo mineral y todo su volumen y se puede calcular de modo lineal, superficial o volumétrico a partir de los datos reales de los trabajos de búsqueda y exploración. Estos cálculos se realizan tanto para cada bloque individual como para el cuerpo mineral en su totalidad. Si la constitución geológica del objeto a estudiar es más o menos homogénea el segundo procedimiento resulta más exacto.

El coeficiente de efectos cársicos ( $K_{ec}$ ) se utiliza para disminuir el volumen del bloque de cálculo si dentro de este se manifiestan diferentes fenómenos cársicos, o sea, al calcular las reservas de caliza, dolomita, yeso, sales minerales y bauxita. Las condiciones bajo las cuales su aplicación es racional son las mismas que para el coeficiente de meniferación. El coeficiente de efectos cársicos se determina, como regla, por el modo lineal a partir de los datos obtenidos en los laboreos de prospección y se calcula como la relación entre el largo total de los intervalos industriales del depósito mineral y la potencia total del horizonte productivo. Si existen datos reales sobre las superficies de diferentes formas cársicas encontradas en los sectores vecinos del mismo yacimiento ya explotado, este coeficiente debe calcularse por el modo superficial. Análogamente, al conocerse los volúmenes reales de esas formas cársicas, el cálculo en cuestión puede realizarse por el método volumétrico.

Algunas veces el método de cálculo superficial es utilizable si las formas cársicas se manifiestan claramente en la superficie actual y se revelan y delimitan fácil y seguramente a través del levantamiento topográfico o fotografías aéreas y cósmicas.

Los coeficientes de contenido de hielo ( $K_h$ ) y de diques no meníferos ( $K_d$ ) por su esencia, metodología de cálculo y condiciones de aplicación son completamente análogos al de efectos cársicos. El primero se utiliza en el cálculo de reservas de los placeres que se ubican en la zona de suelos perpetuamente congelados y se determina siempre por el método lineal. El coeficiente de diques no meníferos es utilizable en los yacimientos primarios de diversos minerales útiles a condición que los diques difieran visualmente de las demás rocas del horizonte productivo. Ese coeficiente se puede calcular por el método lineal, el superficial o el volumétrico.

El coeficiente de inclusiones de guijarros ( $K_g$ ) tiene que utilizarse al calcular las reservas de los placeres para corregir el contenido de mineral valioso determinado a través del lavado de los depósitos friables (C), por cuanto de ellos se eliminan todos los guijarros importantes. Para obtener este coeficiente hay que conocer el volumen de los guijarros extraídos del laboreo de prospección o de la muestra volumétrica ( $V_g$ ) y el volumen total de este laboreo o de la muestra para el intervalo correspondiente ( $V_i$ ). El coeficiente en cuestión se da por la siguiente fórmula:

$$K_g = \frac{V_i - V_g}{V_i} \quad (165)$$

Si se conoce este coeficiente, es posible calcular el contenido real de mineral valioso ( $c_r$ ) como:

$$c_r = cK_g \quad (166)$$

El coeficiente de esponjamiento ( $K_e$ ) también se utiliza durante la exploración de los placeres para convertir el contenido de mineral valioso determinado en la

masa esponjosa ( $c$ ), en su contenido en la roca inicial en su yacencia propia ( $c_r$ ) mediante la fórmula:

$$c_r = cK_e$$

La metodología de la determinación de este coeficiente se estudió en el capítulo 4.

#### 8.4.2 Coeficientes de corrección para eliminar los defectos de los trabajos de búsqueda y exploración

Los defectos de los trabajos geológicos con más frecuencia se hacen sentir al determinar la potencia del cuerpo mineral o los contenidos de unos u otros componentes. Hay que destacar que la utilización de los coeficientes de corrección correspondientes es indeseable, ya que disminuye la precisión y confiabilidad del cálculo de reservas. Esto se puede justificar solo en los casos en que es imposible excluir dichos defectos mediante trabajos auxiliares o rehacer todos los trabajos sin defectos ni errores. Los coeficientes de corrección de este grupo son: de la potencia del cuerpo mineral, del contenido de componente útil y de lavado.

El coeficiente de corrección de la potencia del cuerpo mineral ( $K_p$ ) se utiliza cuando la exploración se hace mediante pozos de perforación y fue incompleta la recuperación del testigo, confusos los contactos de los cuerpos minerales y muy fuertes las desviaciones de los pozos perforados. Para determinar este coeficiente se necesita la ejecución de excavaciones mineras de control o la realización del carotaje, cuyos resultados se admiten como más confiables y auténticos que los datos de la perforación. En dependencia de las particularidades geológicas del yacimiento dicho coeficiente puede tener valores superiores o inferiores a uno; se aplica para corregir la potencia del cuerpo mineral en cada crucero de prospección.

El coeficiente de corrección del contenido de componente útil ( $K_c$ ) es necesario si son diferentes en grado sumo las propiedades físicas de los minerales que forman el mineral útil, sobre todo si eso se manifiesta en el desgaste selectivo del testigo o si algunos minerales se desprenden demasiado durante la toma de muestras puntuales, de surco y de hueco. Para obtenerlo hay que ejecutar las excavaciones mineras de control en los puntos donde anteriormente fueron perforados los pozos o tomar muestras de control por el método más representativo que asegura la eliminación del error sistemático del muestreo (epígrafe 4.12). En todos los casos las excavaciones mineras o muestras de control deben ubicarse de manera regular dentro de las áreas de reservas de cada categoría, de cada tipo natural y clase industrial del mineral útil y los intervalos de la toma de muestras principales y de control tienen que coincidir perfectamente.

Para cada sector del yacimiento donde se organiza dicho control o para cada clase industrial de mineral útil se necesitan al menos 10 a 15 análisis de control, incluso al ser pequeña la variabilidad de la calidad de la materia prima mineral. A veces el coeficiente de corrección del contenido de componente útil se puede determinar utilizando los resultados de la explotación en otros sectores análogos del mismo yacimiento. Por su magnitud este coeficiente puede ser tanto superior como inferior a uno. Se utiliza para corregir el contenido medio del componente en un bloque de cálculo. Las correcciones semejantes en los contenidos, determinados en algunas muestras o cruceros de prospección son erróneas ya que desfi-

guran las regularidades reales de distribución del componente de interés dentro del cuerpo mineral.

El *coeficiente de lavado* ( $K_l$ ) se utiliza con frecuencia al calcular las reservas de los placeres con el fin de corregir los datos del muestreo (lavado de muestras) sobre la base de la experiencia de la explotación de placeres análogos. En efecto, los resultados de la explotación demuestran, como norma, que el contenido de mineral valioso en las "arenas" es más alto que el determinado durante la exploración y el aceptado para el cálculo de reservas. Hasta ahora no se revelaron con bastante confianza las causas de tales divergencias, aunque es muy probable que ellas se vinculen con defectos del muestreo y una metodología imperfecta en la restricción de muestras extraordinarias. Dicho coeficiente varía generalmente de 1,2 a 1,5, pero a veces puede alcanzar 2,0. Para determinarlo se utilizan los datos del muestreo y la explotación en los sectores vecinos o placeres análogos.

### 8.5 Utilización de las computadoras electrónicas para el cálculo de reservas de minerales útiles

El cálculo de reservas de minerales útiles mediante cualesquiera de los métodos estudiados necesita grandes volúmenes de trabajo para confeccionar diferentes documentos gráficos y realizar las operaciones de cálculo. En esos trabajos, el numeroso personal ingeniero-técnico de las empresas y brigadas geológicas emplea varios meses. Por lo tanto, son comprensibles las tentativas de automatizar las principales operaciones del cálculo de reservas mediante las computadoras. Este problema se resuelve por tres vías principales:

1. Confección automatizada de los documentos gráficos necesarios para el cálculo de reservas.

Esta tarea se soluciona con ayuda de los dispositivos especiales de las computadoras, las cuales imprimen la información alfabético-numérica: electrocoordinadógrafos que la convierten en representaciones gráficas. Los electrocoordinadógrafos, que hoy día se fabrican en serie, garantizan el traslado de los puntos a los materiales gráficos con un error que varía de 0,05 a 0,5 mm y el trazado de diferentes contornos con una velocidad de 5 a 20 m/min. Este método automático se utiliza más frecuentemente para confeccionar diversos planos en isolíneas y en la mayoría de los centros de cálculo existen programas unificados que aseguran la ejecución fácil y rápida de este trabajo. Además, el método automático se puede utilizar para dibujar las secciones de prospección, trazar diferentes contornos para el cálculo de reservas y parcialmente para dividir el cuerpo mineral en bloques de cálculo.

2. Elaboración de los algoritmos y programas que permiten mecanizar por completo todas las operaciones de cálculo para cualquier método conocido. En este caso las computadoras se utilizan después de la geometrización del cuerpo mineral, selección del método de cálculo de reservas y el procedimiento más conveniente para determinar los valores promedio de los parámetros básicos. Hay que señalar que esta vía es la menos prometedora, ya que no garantiza un análisis profundo de los datos iniciales y una mayor precisión de los resultados obtenidos, además, no produce ningún efecto económico considerable.

3. Creación de los sistemas automáticos para el cálculo de reservas utilizando la metodología especial de elaboración matemática de los datos iniciales.

Esta vía abre las mejores perspectivas en la solución del problema planteado, por cuanto permite obtener la información complementaria sobre el objeto a través de un análisis más completo y detallado de los materiales iniciales de la exploración. Para lograrlo se elaboran los algoritmos de los métodos especiales de cálculo de reservas basados en la nivelación de datos reales, aproximación no lineal de los valores observados y correlación múltiple de diferentes parámetros geólogo-industriales. En particular, esos métodos permiten: determinar con mucha precisión los volúmenes de los bloques limitados con superficies laterales complejas obtenidas a través de los ejes de pozos de perforación inclinados o mediante las coordenadas de los puntos donde esos pozos encuentran el techo o el piso del cuerpo mineral; calcular el contenido medio de cualquier componente, sobre todo de componentes secundarios en el bloque de cálculo a partir de las ecuaciones de regresión múltiple, etc. Los sistemas automatizados de cálculo son muy eficientes, sobre todo en la comparación de los resultados del cálculo de reservas realizado para diferentes variantes de las condiciones industriales.

Lamentablemente, hasta ahora el cálculo de reservas mediante computadoras no tiene una amplia utilización: en la mayoría de las empresas geológicas y organismos científicos donde se aplica, los trabajos tienen un carácter más experimental que práctico. Las principales dificultades que obstaculizan la puesta en práctica de los sistemas automatizados de cálculo de reservas son la formalización insuficiente de los términos y conceptos geológicos y la ausencia de la automatización en la recolección y el análisis de la información básica durante los trabajos geológicos. Esto es muy grave, ya que la experiencia demuestra que los gastos principales de tiempo y trabajo se vinculan con la generalización de los datos iniciales y la realización de las operaciones preparatorias, mientras que durante el propio cálculo de reservas esos gastos son inferiores.

Sin embargo, en la URSS ya se acumuló la experiencia positiva en cuanto al cálculo de reservas mediante computadoras y su aprobación completa por la CER (algunos yacimientos de fosforita, fluorita, diamante, wolframio, metales raros) lo que permite esperar una utilización aún más amplia de este método de cálculo.

### 8.6 Precisión del cálculo de reservas

El carácter selectivo de los datos de la exploración hace imposible la perfecta coincidencia del modelo geológico pronóstico elaborado sobre su base con el objeto real. Por esta razón la asimilación industrial de los yacimientos minerales útiles conoce numerosos casos de discrepancia considerable entre los resultados del cálculo de reservas y la cantidad y calidad reales del mineral útil, así como su localización real en el subsuelo. Esto implica plazos más largos para poner la empresa minera en funcionamiento, inversiones capitales complementarias y afectación del ritmo de trabajo de la empresa ya construida. Si son muy graves dichas discrepancias, hay que renunciar a veces a la explotación del yacimiento y detener la construcción de la empresa minera ya iniciada. Es natural, entonces, evaluar cuantitativamente la precisión de las reservas calculadas o, dicho de otro modo, la magnitud del error con el cual ellas fueron determinadas.



Los tipos de errores que se cometen en el transcurso de los trabajos de búsqueda y exploración, las posibilidades de su evaluación cuantitativa y los modos concretos utilizables para obtener esta evaluación han sido expuestos con suficiente detalle en el epígrafe 2.4. También fue tratada la metodología de determinación de los errores con los cuales se obtienen los valores de los parámetros geólogo-industriales, tanto simples como complejos, y como un ejemplo de esos últimos fueron citadas las reservas de minerales útiles. Por lo tanto, no tiene ningún sentido tratar aquí este problema de manera detallada. Basta recordar que se pueden evaluar cuantitativamente solo los errores técnicos de la determinación de los parámetros básicos y el error de analogía, mientras que los errores a causa de la representatividad insuficiente de los datos de exploración y el carácter erróneo del modelo geológico pronóstico no se evalúan más que de manera cualitativa. Sin embargo, esos dos últimos grupos de errores provocan las divergencias más importantes entre las reservas calculadas y las reales del yacimiento. Por eso resultan erróneas las propuestas de clasificar las reservas de minerales útiles por categorías en dependencia de sus errores, aunque esto se sostiene por muchos autores en la literatura científica. Esos errores tienen un papel secundario y se pueden utilizar solo como criterios auxiliares para evaluar la precisión de la exploración y el cálculo de reservas.

Sin embargo, hoy día no existe un enfoque único en lo referente a las magnitudes admisibles de los errores en las reservas calculadas. En la literatura científica dedicada a este problema diversos autores proponen diferentes cifras máximas admisibles para la misma categoría de reservas. Para resumir esas propuestas es posible indicar los siguientes límites del error máximo admisible según las categorías de reservas:

Categoría A : 10 - 20%; Categoría B : 20 - 30%;  
Categoría C<sub>1</sub> : 30 - 60%; Categoría C<sub>2</sub> : 50 - 100%.

Los errores admisibles del cálculo de reservas para sus diferentes categorías no solo pueden ser muy semejantes sino también coincidir parcialmente. Ello se explica fácilmente si recordamos que las reservas de la misma categoría, calculadas en los yacimientos pertenecientes a diferentes grupos según su complejidad, se caracterizan por diferentes errores. Además, si son complejos los yacimientos, los bloques de categoría C<sub>1</sub> son generalmente mucho más grandes que los de categorías A y B y por consiguiente tienen un mayor número de cruceiros de prospección. Por lo tanto, las reservas de dichos bloques se calculan con el mismo o aún con menor error que las de categorías A y B. Esta idea está apoyada por toda la experiencia de la aprobación de las reservas calculadas en la CER de la URSS, por cuanto a veces a la categoría A se relacionan las reservas cuyo error asciende a 20 a 30% y a la categoría C<sub>1</sub> aquellas cuyo error es inferior a 30%.

Según todo lo expuesto, la precisión del cálculo de reservas debe evaluarse, ante todo, a través del análisis de lo preciso y confiable que fueron la geometrización de los cuerpos minerales, su contorno y selección del método de cálculo de los valores promedio de los parámetros básicos. Esas soluciones particulares en su conjunto determinan lo correcta y argumentada que es la utilización del método concreto de cálculo de reservas y permiten extraer las conclusiones generales acerca de la precisión de dicho cálculo. Como características secundarias de esta precisión pueden utilizarse los errores con los cuales fueron determinados los valores promedio de los parámetros básicos del cálculo y las reservas totales del mineral útil. Esos errores se calculan fácilmente según las recomendaciones del epígrafe 2.4.5.

## CAPÍTULO 9

### *Evaluación geólogo-económica de los yacimientos minerales útiles*

La revolución científico-técnica, que hoy día abarca todo el mundo, se manifiesta en particular en un aumento brusco del ritmo de extracción y utilización de la materia prima mineral. A partir del año 1960, el volumen anual de extracción de los principales minerales útiles se incrementa dos veces cada 6 a 8 años; aumenta rápida y considerablemente la productividad anual de las empresas mineras, así como la profundidad de la explotación a cielo abierto. Basta con recordar que la producción anual de las minas proyectadas en la URSS alcanza de 10 a 15 millones de toneladas, la de las canteras de 25 a 40 millones de toneladas de mena con una profundidad de 500 a 800 m.

Esa intensificación de la extracción y el tratamiento de los minerales útiles requiere:

- aplicación de la automatización y mecanización compleja de los procesos de producción;
- planificación exacta y confiable de la calidad del mineral útil que se está extrayendo;
- estabilidad garantizada en la calidad de la materia prima mineral;
- condiciones minero-técnicas de explotación constantes dentro de bloques bastante amplios.

Esto incrementa las exigencias en lo referente a la totalidad y confiabilidad de los resultados de la exploración, así como a lo correcta y auténtica que fue la evaluación de los yacimientos minerales útiles y sus sectores independientes.

A veces el incremento de los volúmenes de extracción de la materia prima mineral implica enormes e irreparables pérdidas, tanto del mineral útil principal (hasta 40 a 60 durante la explotación de sales de potasio o fundición subterránea de azufre) como de los componentes secundarios, cuyo valor, con frecuencia, es comparable con el de los principales. Por lo tanto, una evaluación correcta y compleja de los yacimientos minerales, contribuye a la revelación de reservas complementarias de minerales útiles, la reducción de sus pérdidas y la conservación de los recursos naturales, la prolongación de los plazos de existencia de las empresas mineras y el aumento de la productividad del trabajo.

La importancia de la evaluación geólogo-económica de los yacimientos minerales útiles se determina por el hecho de que en muchos países se conocen cientos y miles de yacimientos del mismo mineral útil, cuya escala, calidad de la materia prima mineral, condiciones de explotación y situación geográfica, difieren mucho. Cada año el número de yacimientos revelados aumenta de manera considerable. Así, en la URSS se descubren anualmente al menos 50 o 60 yacimientos grandes y medianos para los minerales útiles principales. En esas condiciones solo una selección bien argumentada de los objetos más favorables para su puesta en práctica puede garantizar la máxima eficiencia de las inversiones capitales en la industria minera y una correcta planificación actual y perspectiva del desarrollo de todas las ramas de la economía nacional vinculadas con la extracción y elaboración de la materia prima mineral.

El concepto de evaluación geólogo-económica de los yacimientos minerales útiles comprende generalmente el análisis de la correlación e influencia mutua de las condiciones geográficas y los parámetros geólogo-industriales del objeto por una parte y sus índices técnico-económicos de explotación por otra, con el fin de seleccionar la variante óptima de utilización del yacimiento en la economía nacional y determinar el valor relativo del objeto que se va a evaluar en la economía de la rama correspondiente. Para lograr esto hay que solucionar todo un complejo de tareas socioeconómicas, minero-técnicas y técnico-económicas para que la variante escogida asegure la obtención del producto con la calidad requerida, en cantidad suficiente, con eficiencia económica en la producción y con una utilización racional del subsuelo.

En la evaluación de los recursos minerales se pueden distinguir los siguientes niveles:

- a) evaluación de la riqueza nacional acumulada en los recursos minerales;
- b) evaluación propiamente dicha de los yacimientos minerales útiles;
- c) determinación del precio de las reservas exploradas;
- d) evaluación de los efectos económicos por las pérdidas de minerales útiles.

*Evaluación de la riqueza nacional del país acumulada en los recursos minerales*

Esta se realiza con la determinación del valor extraíble ( $Z_e$ ) y total ( $Z_t$ ) de las reservas de minerales útiles, mediante las siguientes fórmulas:

$$Z_t = R P \gamma \quad (167)$$

$$Z_e = R P \gamma K_e \quad (168)$$

donde:

$R$  - reservas exploradas de mineral útil, t;

$P$  - precio al por mayor de una unidad del producto final, pesos;

$\gamma$  - contenido del producto final en una unidad de peso o de volumen de reservas exploradas, fracciones de uno; en caso general este valor se determina como la relación entre el contenido de componente útil en la materia prima mineral ( $C_m$ ) y su contenido en el producto final ( $C_p$ );

$K_e$  - coeficiente de extracción del componente útil durante la explotación y elaboración de la mena en el producto final, fracciones de uno.

La relación entre el valor extraíble y el total, se llama coeficiente de utilización de la materia prima mineral y caracteriza el grado de utilización real de las posibilidades potenciales del mineral útil en el nivel de desarrollo alcanzado por

la técnica, tecnología y organización de la producción. Este coeficiente tiene mucha importancia para la evaluación de la actividad de las empresas mineras, sobre todo las que explotan minerales útiles complejos.

La evaluación de la riqueza del país encerrada en el subsuelo desempeña un papel importante en la planificación perspectiva del desarrollo de la economía nacional, la comparación de los recursos minerales propios con los de otros países, el análisis de las tendencias de utilización de la materia prima mineral a escala nacional y mundial y la argumentación científica del uso racional y la protección del subsuelo.

*Evaluación propiamente dicha de los yacimientos minerales útiles*

Esta evaluación se basa en los datos reales del yacimiento, adquiridos en el transcurso de los trabajos de búsqueda y exploración y consiste en la determinación de los índices técnico-económicos para la asimilación industrial del objeto y su comparación con los mismos índices en objetos análogos. Dicho de otro modo, en el modo de producción socialista el término *evaluación de los yacimientos* no tiene un sentido literal, sino que corresponde a la determinación del valor relativo del yacimiento para la economía del país. Esto es muy lógico y comprensible, ya que en los países socialistas los yacimientos no son objeto de compra venta y por eso no existe necesidad alguna de establecer su precio. Como se ha señalado en el capítulo 2, la evaluación geólogo-económica de los yacimientos minerales útiles se hace en cada estadio de su estudio, pero una evaluación más completa y argumentada se obtiene solo sobre la base del proyecto de explotación del yacimiento y la elaboración (tratamiento) de la materia prima mineral. Los principios y factores fundamentales en la evaluación geólogo-económica de yacimientos minerales útiles, así como el destino y el papel de las condiciones industriales para la materia prima mineral en la solución de este problema fueron tratados con suficiente detalle en el epígrafe 2,5; por esa razón, de ahora en adelante solo se prestará atención a los métodos que se utilizan para determinar diferentes índices de evaluación y argumentar los de las condiciones industriales.

*Determinación del precio de las reservas exploradas*

Esto es necesario para evaluar la eficiencia económica de los trabajos de búsqueda y exploración, argumentar la proporción de los gastos para esos trabajos dentro del costo de producción de la empresa minera, establecer las relaciones financieras intersectoriales entre el servicio geológico y las ramas industriales y garantizar un uso racional de las reservas exploradas.

Si los gastos para los trabajos de búsqueda y exploración no se reflejan en el costo de producción, el precio al por mayor del producto final se determina de manera incorrecta y el carácter aparentemente gratuito de las reservas exploradas disminuye la eficiencia de todas las medidas que se toman en el campo de la utilización racional y protección del subsuelo. La metodología de cálculo del precio de una unidad de reservas exploradas ( $P_r$ ) fue propuesta por el científico soviético N.A. Jrushev [10] y se puede expresar a través de la siguiente fórmula:

$$P_r = Q_r + G B K \quad (169)$$

donde:

$Q_r$  - costo de exploración de una unidad de reservas, pesos;

$G$  - ganancia que se obtiene al extraer y utilizar una unidad de reservas, pesos;

$B$  - proporción de los gastos para los trabajos de búsqueda y exploración en las inversiones capitales totales para la exploración y asimilación industrial del yacimiento, fracciones de uno;

$K$  - coeficiente que tiene en cuenta la influencia del factor tiempo, fracciones de uno;

Al realizar este cálculo, es preciso tener en cuenta el diferente grado de conocimiento y, por consiguiente, el diferente costo de exploración de una unidad de reservas, mediante la expresión de las reservas exploradas en categoría convencional  $C_1$ , con cuya finalidad se utiliza la siguiente proporción establecida por el Ministerio de Geología de la URSS en su instrucción provisional:

$$(A+B) : C_1 : C_2 = 3 : 1 : 0,2$$

Con la determinación del precio de las reservas exploradas se relaciona estrechamente la compensación de los gastos para los trabajos de búsqueda y exploración. En la URSS esta tarea se resuelve desde el año 1967, mediante la utilización, en el cálculo, del precio al por mayor del mineral útil y de los gastos ramales medios para la búsqueda y exploración de una unidad de sus reservas, los cuales se determinan para el período quinquenal precedente.

Sin embargo, la metodología de esos cálculos deja mucho que desear, por cuyo motivo la compensación real de los gastos para la exploración varía dentro de límites muy amplios: de 15 a 20% (moscovita, wolframio, estaño, mercurio); de 60 a 80% (níquel, molibdeno, flogopita) y a veces asciende de 95 a 110% (manganeso, hierro).

*Evaluación de los efectos económicos por las pérdidas de minerales útiles.*

La consideración de los efectos económicos por las pérdidas de minerales útiles durante la explotación y tratamiento es indispensable para escoger una variante óptima de utilización del yacimiento, estimular la reducción de esas pérdidas, argumentar las condiciones industriales y los precios para la materia prima mineral. La mayoría de estos problemas no los resuelven los geólogos prospectores y por esta razón resulta irracional prestarle más atención en este manual. Existen instrucciones oficiales apropiadas para la evaluación de dichos efectos negativos a las cuales el lector puede remitirse si es necesario.

Si se quiere resumir lo expuesto anteriormente, hay que admitir que la evaluación geólogo-económica de los yacimientos minerales útiles es el nivel más importante de la evaluación, ya que sus resultados sirven de base para una correcta planificación del desarrollo, tanto de toda una serie de ramas de la economía nacional vinculadas con la extracción y elaboración de la materia prima mineral como de regiones enteras y complejos mineros independientes. Esa evaluación siempre es de carácter comparativo (se basa en la comparación de yacimientos del mismo mineral útil) y necesita la determinación de una serie de índices técnico-económicos.

## 9.1 Índices de la evaluación y su metodología de cálculo

Como índice o criterio de evaluación se entiende generalmente uno u otro rasgo característico del objeto, que corresponde a los principios fundamentales de la evaluación. En los índices de la evaluación geólogo-económica de los yacimientos minerales útiles se reflejan todos los factores de la evaluación estudiada anteriormente y su influencia conjunta.

Hasta el presente, en la literatura geólogo-económica continúa la discusión sobre los criterios que se deben utilizar durante la evaluación de los yacimientos

minerales. Unos proponen utilizar como único criterio la renta minera [6:33] o la ganancia obtenida en el caso de la asimilación industrial del yacimiento corregida, teniendo en cuenta el factor tiempo [20:24]. En los últimos tiempos la influencia de esta escuela científica ha resultado tan fuerte que el Comité Estatal de Ciencia y Técnica de la URSS propuso en 1975 utilizar la renta minera diferencial ( $RD$ ) calculada sobre la base de los *gastos máximos admisibles*, es decir, los gastos reales en las peores empresas de la rama como criterio principal en la evaluación económica de cualquier yacimiento [40]. La fórmula para calcular la renta minera diferencial tiene el siguiente aspecto:

$$RD = \sum_{i=1}^T \frac{Z_i - s_i}{(1 + E_n)^i} \quad (170)$$

donde:

$T$  - plazo de explotación del yacimiento, años;

$Z_i$  - valor del producto anual de la empresa en el año número  $i$  calculado con los gastos máximos admisibles de ese año, pesos;

$s_i$  - suma de los gastos capitales y de explotación, sin tasa de amortización, que se ejecutan en el año número  $i$ , pesos;

$E_n$  - normativo para corregir los gastos que tienen lugar en diferentes períodos; su valor recomendado es de 0,08.

Sin embargo, en la literatura científica se señalaba con toda justeza [4:27] que la evaluación de los yacimientos minerales útiles a través de la renta minera no tiene ninguna ventaja en comparación con la evaluación basada en la ganancia. La renta minera depende del costo de producción máximo admisible de la empresa o de los gastos admisibles que varían más rápidamente en comparación con el precio al por mayor y pueden no corresponder con las particularidades naturales del objeto, ya que la peor empresa ramal no siempre es la que explota el peor yacimiento. Además, la renta minera no ofrece ninguna idea sobre el volumen del producto anual de la empresa o la suma de las inversiones capitales necesarias para poner el yacimiento en práctica, así como sobre la eficiencia de dichas inversiones. Por lo tanto, resulta dudosa y poco argumentada la racionalidad de la utilización de la renta minera como criterio universal en la evaluación geólogo-económica de los yacimientos minerales útiles.

En cuanto a la ganancia total que se obtiene al explotar el yacimiento, tampoco puede desempeñar el papel de criterio universal en la evaluación de los yacimientos minerales, aunque se determine teniendo en cuenta el factor tiempo. En primer lugar, al calcularla se supone que ya se conocen los principales índices económicos de los yacimientos que se van a comparar, o sea, otros índices de la evaluación, lo que no es un caso real. En segundo lugar, el nivel máximo admisible de los gastos necesarios para producir una unidad del producto mercantil (es decir costo de producción) se considera constante y bien argumentado de antemano, lo que tampoco es real. En tercer lugar, la ganancia total no tiene nada que ver con la masa anual del producto mercantil, la suma de inversiones capitales y su eficiencia y no permite evaluar las perspectivas del desarrollo de la explotación del mineral útil dado.

Por tales motivos, la Comisión Estatal de Reservas de la URSS y los organismos de planificación y proyección utilizan con más frecuencia un complejo de criterios para evaluar los yacimientos minerales útiles. Esos criterios o índices se determinan para diferentes variantes posibles de asimilación industrial del yaci-



miento. Al mismo tiempo, todos estos organismos admiten que la utilización de un criterio universal simplifica la solución de muchas tareas de la evaluación y reduce al máximo posible las evaluaciones subjetivas, pero las propuestas en este sentido son insuficientes para reflejar de manera completa los múltiples aspectos técnico-económicos de la puesta en práctica del yacimiento.

El complejo de índices que se calculan y utilizan para la evaluación geológico-económica de los yacimientos minerales útiles comprende:

- a) producción anual posible de la empresa minera;
- b) costo de producción del producto mercantil de la empresa;
- c) rentabilidad en la explotación del yacimiento y nivel de rentabilidad;
- d) inversiones capitales totales y específicas en la construcción de la empresa minera;
- e) gastos reducidos;
- f) plazo de amortización de las inversiones capitales y su eficiencia;
- g) efectos económicos por el daño causado al medio por la asimilación industrial del yacimiento.

La evaluación de la eficiencia económica en la utilización industrial de los yacimientos minerales útiles se logra a través de este complejo de índices y asegura una consideración más compleja de la influencia de todos los factores de la evaluación, pero puede hacer posible diferentes soluciones, en cuanto al mejor objeto o la mejor variante para su puesta en práctica. En efecto, unos yacimientos pueden ser mejores por su producción anual, otros por la ganancia y el nivel de rentabilidad, otros por la suma de inversiones capitales y su eficiencia, etc. Por eso, en cada caso concreto, la solución definitiva se obtiene considerando los factores de planificación. Al ser deficitaria la materia prima mineral se prefiere el yacimiento o la variante que garantiza la mejor producción anual del producto mercantil y el nivel de rentabilidad mínimo admisible mientras que para los minerales útiles corrientes la selección de la mejor variante se determina por el mínimo de gastos reducidos.

En otros países socialistas para evaluar los yacimientos minerales útiles se utilizan tanto los métodos basados en un criterio universal (suma de ganancia en Hungría y Rumania; costo de producción mínimo en Checoslovaquia; renta diferencial en Polonia y Bulgaria) como los que aplican un complejo de criterios (RDA).

### 9.1.1 Producción anual de la empresa minera

La producción anual de la empresa minera depende de muchos factores, entre los cuales los más importantes son las reservas de mineral útil, la necesidad de la materia prima mineral, y la forma y el sistema de explotación del yacimiento. Como las reservas de mineral útil representan un valor determinado para cada variante de los cálculos técnico-económicos, la primera tarea que se debe resolver para establecer la producción anual de la empresa es la selección de la forma y el sistema de explotación del yacimiento.

La forma de explotación, subterránea o a cielo abierto, se decide, como regla, sin dificultades y con mucha frecuencia no necesita cálculos especiales. La explotación a cielo abierto garantiza una productividad del trabajo superior y un costo de extracción menor del mineral útil, intensidad incrementada de la explotación

del yacimiento y una producción anual más alta de la empresa, así como pérdidas reducidas del mineral útil y por tales razones es preferible en comparación con la subterránea. Hoy día en la URSS se extraen mediante canteras más de 50% de todos los minerales útiles: cerca de 40% de carbón, 60% de menas de hierro, más de 50% de metales no ferrosos, más de 80% de minerales útiles no metálicos y casi el 100% de la materia prima para la construcción.

El criterio fundamental que determina la posibilidad de la explotación a cielo abierto es el coeficiente de destape que no debe sobrepasar 40:1 para las menas de metales raros y no ferrosos, 10:1 para los metales ferrosos, 6:1 para el carbón y 3:1 para la materia prima de construcción. Además, la explotación a cielo abierto puede verse limitada por las exigencias de la protección del medio o las condiciones climáticas extremadamente difíciles de la región.

Por otra parte, sin cálculos especiales, es evidente la racionalidad de la explotación subterránea de los cuerpos minerales que yacen a una profundidad muy grande. Algunas veces se puede utilizar el tipo de explotación combinada, a cielo abierto en la parte superior del yacimiento y subterráneo en sus horizontes más profundos.

Los sistemas de explotación a cielo abierto son poco numerosos, relativamente sencillos e influyen poco sobre la magnitud de la producción anual de la empresa en el caso de un objeto dado, por cuyo motivo no se les prestará aquí más atención.

Por el contrario, la selección de uno u otro sistema de explotación subterránea es bastante difícil, ya que su número es grande (27 grupos de sistemas que se reúnen en 8 clases) y sus índices técnico-económicos varían mucho. La opción de un sistema de explotación concreto se hace por los organismos de proyección en dependencia de la morfología, estructura interna y condiciones de yacencia de los cuerpos minerales, así como por la calidad y el valor relativo del mineral útil, y las propiedades físico-mecánicas de la mena y sus rocas encajantes. El geólogo prospector puede limitarse al conocimiento general de las particularidades fundamentales para cada clase principal de sistemas de explotación subterránea, lo que le permitirá formular una idea suficientemente argumentada sobre el sistema de explotación posible del yacimiento explorado.

*Sistemas de explotación con el espacio laboreado abierto.* Se encuentran entre los más productivos y económicamente eficientes: el costo de extracción del mineral útil es bajo (del orden de 1,0 a 1,2 pesos/t), los trabajos se realizan en un frente amplio y en condiciones confiables. No obstante, estos sistemas provocan grandes pérdidas de mena en los pilares de seguridad (hasta 30 a 35%) y un empobrecimiento importante del mineral útil (hasta 15 a 20%). Además, resulta imposible la extracción selectiva de minerales útiles. Los sistemas en cuestión se recomiendan para la explotación de los cuerpos minerales horizontales y de buzamiento suave, con la condición de que su potencia sea suficientemente grande y las rocas encajantes sean estables.

*Sistemas de explotación con almacenamiento del mineral en el espacio laboreado.* Son mucho menos productivos que los precedentes (de 5 a 6 veces), el costo de extracción del mineral útil es mayor, las pérdidas del mineral útil son considerables (hasta 30%), el empobrecimiento puede alcanzar de 70 a 90% y la extracción selectiva del mineral útil es imposible. Esos sistemas se utilizan en el caso de los cuerpos minerales filoneanos de poca resistencia y con buzamiento abrupto.

*Sistemas de explotación con relleno o fortificación del espacio laboreado.* Son aún menos productivos que aquellos con almacenamiento del mineral, se carac-

terizan por pérdidas semejantes del mineral útil y un empobrecimiento considerable (hasta 50 a 60%). Por otra parte, estos sistemas permiten organizar la selección manual de la masa menífera arrancada en la zona de extracción. Su campo de aplicación se limita a la explotación de minerales útiles valiosos, menas sulfurosas que presentan peligro de incendios, la extracción del mineral útil inestable que yace a una gran profundidad (más de 500 o 600 m) o de los bloques que se ubican bajo las canteras o sectores de la superficie actual que se debe proteger.

*Sistemas con derrumbe de las rocas encajantes.* Se aproximan por su productividad y el costo de extracción a los sistemas con el espacio laboreado abierto y se caracterizan por pérdidas menores de mineral útil (hasta 15 a 20%) aunque el empobrecimiento es del mismo orden (hasta 15%).

*Sistemas con derrumbes de la mena y las rocas encajantes.* Aseguran la más alta productividad del trabajo (aproximadamente 150% más en comparación con los sistemas con el espacio laboreado abierto) y el más bajo costo de extracción (hasta 0,4 a 0,5 pesos/t) con un bajo empobrecimiento (hasta 10 a 25%) y pérdidas hasta 15 a 25%. Por otra parte, todas las variantes de dichos sistemas son inaplicables si las rocas sobreyacentes son acúferas en grado sumo, si la mena arrancada es fácilmente oxidable o con una tendencia a aglutinarse y si la explotación se hace bajo sectores de la superficie actual vedada.

La opción del mejor sistema de explotación del yacimiento se logra a través de la eliminación sucesiva de los sistemas inaplicables en las condiciones concretas del objeto que se va a estudiar, por unos u otros factores minero-geológicos y los cálculos técnico-económicos que se realizan para los sistemas que resultan posibles con vistas a establecer su eficiencia relativa. Se considera mejor el sistema que garantiza la máxima eficiencia económica de la empresa minera y las pérdidas mínimas de la materia prima mineral.

Después de escoger la forma y el sistema de explotación se procede a la determinación de la producción anual de la empresa. Este índice de evaluación tiene mucha importancia, ya que no solo precisa el volumen anual del producto mercantil que se obtiene durante la explotación del yacimiento, sino que también ejerce una influencia decisiva sobre la suma de las inversiones capitales necesarias, el nivel del costo de producción y la eficiencia económica de la empresa.

Lo más sencillo es calcular la producción anual máxima posible de la mena ( $A_m$ ) en dependencia de las reservas del yacimiento ( $R$ ) y el plazo de amortización de los fondos básicos de la empresa ( $T$ ) mediante la siguiente fórmula:

$$A_m = \frac{RK_u}{TK_{em}} \quad (171)$$

donde:

$K_u$  - coeficiente de utilización de la reserva, fracciones de uno;

$K_{em}$  - coeficiente de empobrecimiento del mineral útil durante su extracción, fracciones de uno;

El coeficiente de utilización de las reservas tiene en cuenta tanto su extracción incompleta debido a la diferencia de los contornos dentro de los cuales se calculan las reservas y se planifican tanto la explotación como las pérdidas del mineral útil relacionadas con un sistema de explotación dado. El coeficiente de empobrecimiento se determina como la relación entre la parte menífera de la masa extraída y su peso total, con la ayuda de la siguiente fórmula:

$$K_{em} = \frac{100 - D}{100} \quad (172)$$

donde:

$D$  - porcentaje de rocas estériles que se añaden a la mena durante la explotación.

Para establecer el plazo de amortización de los fondos básicos de la empresa se utiliza la experiencia acumulada en el campo de proyección de la explotación de yacimientos útiles. Así, las normativas soviéticas unificadas recomiendan en el caso de explotación subterránea los siguientes plazos de funcionamiento mínimos para las minas:

Producción anual de la mina, miles de t	menos de 300	300-1 000	1 000 - 2 000	Más de 2 000
Plazo de funcionamiento mínimo, años	10	15	20	30-40

El autor soviético P.I. Gorodetsky [7] recomienda los plazos aproximados del funcionamiento económicamente racional para las empresas mineras que se dan en las tablas 9.1 y 9.2.

Tabla 9.1

**PLAZOS DE FUNCIONAMIENTO MÍNIMOS RECOMENDABLES PARA LAS CANTERAS DE ACUERDO CON SU PRODUCCIÓN ANUAL, AÑOS**

Producción anual de la cantera, miles de toneladas	Canteras poco profundas		Canteras profundas
	de poca superficie	de gran superficie	
Menos de 50	3-5	—	—
50-300	5-8	2-20	8-10 y más
300-1 000	5-8	8-10	8-12 y más
Más de 1 000	—	15-30 y más	15-30 y más

Tabla 9.2

**PLAZOS DE FUNCIONAMIENTO MÍNIMO RECOMENDABLES PARA LAS MINAS DE ACUERDO CON SU PRODUCCIÓN ANUAL, AÑOS**

Producción anual de la mina, miles de toneladas	Reservas del yacimiento	Profundidad de la explotación		
		Pequeña (menos de 100)	Mediana (100-500)	Grande, o mediana al ser complejas las condiciones de la explotación
Menos de 50	pequeñas	3-8	5-10	—
50-200	pequeñas	5-8	8-12	10-15
200-500	pequeñas	8-12	10-15	15-20
Más de 500	limitadas	—	10-15 y más	—
Más de 500	muy grandes	—	20-30	30 y más

A veces se pueden admitir plazos más cortos en comparación con los recomendados, si son específicas las condiciones de la evaluación: materia prima mineral deficitaria, explotación de los cuerpos o sectores nuevos mediante los laboreos mineros principales y otras construcciones ya existentes de la mina, etc., pero esto debe argumentarse mediante cálculos técnico-económicos específicos.

La producción anual posible de la empresa minera, calculada por la fórmula (171) tiene que verificarse y corregirse de acuerdo con las posibilidades minero-técnicas reales con ayuda de la siguiente fórmula:

$$A_m = \frac{HSdK_u}{K_{em}} \quad (173)$$

donde:

$H$  - descenso anual de las labores de arranque, m;

$S$  - superficie del campo mineral dentro de la zona de explotación, m<sup>2</sup>;

$d$  - masa volumétrica del mineral útil, t/m<sup>3</sup>.

Para la explotación a cielo abierto, el descenso anual de la cantera es del orden de 15 a 20 m, si es pequeña la empresa y de 7 a 10 m si esta es grande o muy grande.

En el caso de explotación subterránea este valor depende mucho del coeficiente de utilización del área menífera, o sea, de la relación entre la parte donde se está extrayendo el mineral útil y toda su superficie, y del número de pisos de explotación que se extraen simultáneamente. El descenso medio anual de las labores de arranque en las minas, en dependencia de su escala y número de pisos en funcionamiento, se da según M.I. Agoschkok y G.M. Malojov [1] en la tabla 9.3. Para tener en cuenta la diferencia entre las condiciones minero-técnicas del objeto y las normalizadas hay que utilizar los coeficientes de corrección dados en la tabla 9.4.

Al comparar las producciones anuales calculadas por las fórmulas (171) y (173) hay que escoger como la más correcta la cifra mínima. Sin embargo, esta no se puede considerar definitiva ya, que debe corregirse teniendo en cuenta la necesidad real y perspectiva de la materia prima mineral dada. En ninguna ocasión la extracción anual del mineral útil puede sobrepasar su necesidad, cualesquiera que sean las reservas del yacimiento y las posibilidades minero-técnicas de la empresa. Por eso, se admite como definitiva la producción anual de la mena, corregida sobre la base de la necesidad de la materia prima mineral o las instrucciones directivas especiales de los organismos apropiados.

La producción anual de mena es una característica importante, pero a veces resulta insuficiente como para caracterizar el volumen de producción de la empresa proyectada por cuanto la mena puede ser de diferente calidad, su precio puede variar mucho y a partir de la misma cantidad de mena se obtendrá diferente cantidad de concentrado o metal. Por lo tanto, al evaluar los yacimientos de minerales útiles es preciso determinar también la producción anual del producto final ( $A_p$ ); para esto, primeramente hay que calcular el gasto de mena por unidad de este producto ( $g$ ) mediante la fórmula:

$$g = \frac{C_p}{C_m K_{em} K_e} \quad (174)$$

donde:

$C_p$  - contenido de componente útil en una unidad del producto final;

$C_m$  - contenido del componente útil en la mena;

$K_{em}$  - coeficiente de empobrecimiento de la mena durante su extracción, fracciones de uno;

$K_e$  - coeficiente de extracción del componente útil durante la elaboración de la mena, fracciones de uno.

Tabla 9.3

**PROFUNDIZACIÓN MEDIA ANUAL DE LAS LABORES DE ARRANQUE EN LAS MINAS**

Categoría del campo de la mina	Dimensiones del campo de la mina			Número de pisos que se explotan simultáneamente	Profundización anual de la zona de extracción
	Cuerpos minerales de poca y mediana potencia	Cuerpos minerales potentes (más de 15 m)			
	Largo del campo de la mina según el rumbo del cuerpo mineral, m		Área menífera, m <sup>2</sup>		
I Pequeños	Menos de 600	Menos de 300	Menos de 5 000	1	20
				2	25
				3	35-40
II Medianos	600-1 000	300-600	5 000-12 000	1	22
				2	27
				3	32
III Grandes	1 000-1 500	600-1 000	12 000-25 000	1	18
				2	25
IV Muy grandes	Más de 1 500	Más de 1 000	Más de 25 000	1	15

Tabla 9.4

**COEFICIENTE DE CORRECCIÓN DEL VALOR DE ARRANQUE DE DESCENSO ANUAL DE LOS LABOREOS**

Potencia del cuerpo mineral, m	Coeficiente de corrección	Ángulo de buzamiento del cuerpo mineral, grados	Coeficiente de corrección
Menos de 5	1,25	90	1,20
5-15	1,00	60	1,00
15-25	0,80	45	0,90
Más de 25	0,60	30	0,80



Conviene señalar que las unidades para expresar el contenido de componente útil pueden ser cualesquiera, pero necesariamente tienen que ser las mismas para la mena y el producto final. En cuanto a este producto, como tal puede figurar el concentrado, el metal, uno u otro mineral valioso, una determinada fracción granulométrica del mineral útil, la materia calcinada o sinterizada (chamota, clinker para cemento, cal y otras), algunas veces ciertos artículos industriales (productos refractarios, piezas de mica, bloques decorativos), etc. De acuerdo con esto varía el coeficiente de extracción del componente útil que se determina a través de los ensayos tecnológicos.

Si se conoce el gasto de mena por unidad de producto final, es fácil calcular el volumen anual de este último:

$$A_p = \frac{A_m}{g} \quad (175)$$

### 9.1.2 Costo de producción del producto mercantil de la empresa

El costo de producción del producto es uno de los índices económicos más importantes, ya que refleja el nivel de los gastos de manos de obra y los materiales que son necesarios para obtener este producto. De aquí que el yacimiento cuyo producto se consigue con menor costo de producción se debe considerar más valioso.

Si el producto final de la empresa minera es mena o mineral útil no elaborado su costo de producción ( $Q_m$ ) se determina exclusivamente por el costo de su extracción ( $Q_e$ ), el cual se obtiene mediante los cálculos presupuesto-financieros directos a través de diferentes elementos de gastos o por analogía, sobre la base de los datos estadísticos adquiridos sobre el costo de producción real para diferentes tipos de minerales útiles.

Al calcular el costo de explotación del mineral útil a través de los elementos de gasto, hay que tener en cuenta el salario (35 a 45% del costo de producción para la explotación a cielo abierto y hasta 65 a 75% para la subterránea), el precio de los materiales y la energía eléctrica, la tasa de amortización de los fondos básicos de la empresa, la compensación de los gastos para los trabajos de búsqueda y exploración y otros tipos de gastos.

El personal de la empresa por categorías de trabajadores, fondo anual del salario, consumo de explosivos, acero, aleaciones duras, materiales de fortificación, energía eléctrica y la tasa de amortización se determinan de acuerdo con las instrucciones y normas vigentes, en dependencia de la producción anual del mineral útil y el sistema de explotación adoptado.

Los cálculos correspondientes se realizan, como regla, por los organismos de proyección especializados, por cuya razón resulta inútil exponer aquí su metodología.

En cuanto a los gastos para los trabajos de búsqueda y exploración la situación es más difícil. Esos gastos se consideran parte del costo de explotación solo a partir del año 1967 y la metodología para su determinación deja mucho que desear. El nivel de los gastos para los trabajos geológicos tiene mucha importancia, por cuanto permite formarse una idea más correcta sobre los gastos socialmente necesarios para la obtención del mineral útil y aumenta el interés de la empresa minera en la utilización racional y cuidadosa de las reservas exploradas y en la reducción de las pérdidas de la materia prima mineral.

Se conocen las tasas de compensación de los gastos para los trabajos de búsqueda y exploración diferenciales y medias ramales, estableciéndose unas y otras para un período quinquenal. En primer lugar, se calculan las tasas medias ramales y luego estas se precisan según el principio territorial de acuerdo con la diferenciación de los precios al por mayor para la materia prima mineral regional y el combustible, así como de acuerdo con la calidad del mineral útil y las condiciones concretas de su explotación en el yacimiento a evaluar, lo que se tiene en cuenta mediante los coeficientes de corrección.

Las tasas de compensación de los gastos para los trabajos de búsqueda y exploración se dan en las instrucciones oficiales publicadas por los institutos de proyección ramales y el geólogo no tiene que calcularlos por sí mismo. Por eso, no se estudiará con detalle la metodología de estos cálculos, que hasta ahora es objeto de discusión, y solo se señalará que los costos de explotación que fueron determinados para diferentes minerales útiles, antes del año 1967, hoy día no se pueden utilizar en la evaluación geólogo-económica de los yacimientos sin una corrección conveniente que tendrá en cuenta los gastos para los trabajos de búsqueda y exploración.

El análisis del costo de extracción de la materia prima en las empresas en activo (con respecto a su producción anual, los sistemas de explotación utilizados y las condiciones minero técnicas del yacimiento y la generalización de los resultados obtenidos en forma de tablas, gráficos, nomogramas), posibilita una utilización amplia y bien argumentada del método de analogía. Este método es suficientemente confiable y se utiliza con gran resultado por la mayoría de las empresas geológicas para determinar el costo probable de explotación del yacimiento dado.

En el caso de la explotación a cielo abierto el costo de producción de la mena depende no solo de los gastos directos para su extracción, sino también de los vinculados con la eliminación de destape. Este costo de producción se debe calcular mediante la siguiente fórmula:

$$Q_m = Q_e + K_d Q_d \quad (176)$$

donde:

$K_d$  - coeficiente de destape, m<sup>3</sup> por unidad de mineral útil extraído;

$Q_d$  - costo para la eliminación de 1 m<sup>3</sup> de destape.

El costo de producción de la mena es muy importante para caracterizar la eficiencia económica de la propia empresa minera, pero no permite evaluar la efectividad de todo el complejo minero-beneficiario o minero-metalúrgico, así como comparar los yacimientos cuya calidad en el mineral útil es claramente distinta. Por lo tanto, en la evaluación geólogo-económica se utiliza con más frecuencia el costo de producción del concentrado o semiproducto normalizado ( $Q_c$ ), que se obtiene mediante el tratamiento de la materia prima mineral, ya que este índice refleja de manera más completa las particularidades naturales del yacimiento. Raras veces se determina el costo de producción del metal u otro producto final ( $Q_f$ ), por cuanto este depende mucho de la organización general de la producción y el precio de los componentes auxiliares (coque metalúrgico, fundentes, agua, energía y otros). Las fórmulas a aplicar tienen el siguiente aspecto:

$$Q_c = (Q_e + Q_b) \frac{C_c}{C_m K_{em} K_b} \quad (177)$$

$$Q_f = (Q_e + Q_b + Q_f) \frac{C_f}{C_m K_{em} K_b K_f} \quad (178)$$

donde:

$Q_b$  - costo de beneficio de la mena;

$Q_r$  - costo de tratamiento definitivo del concentrado o semiproducto;

$C_c$  - contenido de componente útil en el concentrado o semiproducto;

$C_f$  - contenido de componente útil en el producto final;

$C_m$  - contenido de componente útil en la mena;

$K_b$  - coeficiente de extracción del componente útil durante su beneficio u otro proceso de elaboración preliminar;

$K_r$  - coeficiente de extracción del componente útil durante el tratamiento definitivo del concentrado o semiproducto.

Es preciso señalar que el costo del beneficio y tratamiento definitivo comprende los gastos vinculados con el transporte del mineral útil extraído o sus productos de elaboración hacia las plantas de beneficio y metalúrgicas.

El costo de esas etapas de tratamiento del mineral útil se determina, como regla, por el método de analogía con otros yacimientos que están explotando el mismo mineral útil. Para establecer dicha analogía se utilizan los resultados de los ensayos tecnológicos de la materia prima.

Con mucha menos frecuencia se realizan los cálculos presupuesto-financieros directos por elementos de gastos.

Los coeficientes de extracción del componente útil durante el beneficio de la materia prima mineral o el tratamiento definitivo de los concentrados o semiproductos, así como el contenido de componente útil en el concentrado o producto final, se establecen mediante los ensayos tecnológicos de nivel correspondiente.

Si durante el tratamiento del mineral útil complejo se obtienen diversos productos mercantiles su costo de producción se puede determinar por dos procedimientos;

- mediante una repartición proporcional de los gastos totales necesarios para obtener los productos entre estos de acuerdo con su valor;
- a través de los cálculos directos de los gastos con los que se obtiene cada producto.

El primer método se utiliza cuando los gastos para la extracción y elaboración del mineral útil son comunes para todos los productos obtenidos. En primer lugar, se determina el valor de cada producto que se extrae ( $Z_i$ ) de una unidad de mineral útil inicial por la fórmula:

$$Z_i = \delta_i P_i \quad (179)$$

donde:

$\delta_i$  - rendimiento del producto correspondiente por unidad de mineral útil, fracciones de uno ( $\delta = \frac{1}{g}$ );

$P_i$  - precio al por mayor del producto, pesos;

Si se conocen los valores de los productos se puede calcular la parte de los gastos totales que corresponde a cada producto ( $\Delta_i$ ) mediante la siguiente expresión:

$$\Delta_i = \frac{Z_i}{\sum_{i=1}^n \delta_i P_i} \quad (180)$$

donde:

$n$  - número de productos que se obtienen a partir del mineral útil complejo.

*Ejemplo 1:* La mena contiene 3,2% de plomo y 4,9% de cinc. El costo de extracción de la mena es igual a 3,2 pesos /t, el de beneficio 5,8 pesos /t; los concentrados de plomo y de cinc se obtienen con gastos comunes. El coeficiente de empobrecimiento durante la explotación es igual a 0,8, el de extracción del mineral útil durante el beneficio 0,9 para el plomo y 0,75 para el cinc. Los contenidos de esos metales en los concentrados correspondientes son 45% para el plomo y 40% para el cinc. El precio al por mayor del concentrado de plomo es 218 pesos /t, y el de cinc 132 pesos /t. Se requiere determinar el costo de producción de cada concentrado.

En primer lugar, se calcula el rendimiento de cada concentrado por tonelada de mena, mediante la fórmula:

$$\delta_i = \frac{C_m K_{em} K_b}{C_c}$$

a) para el concentrado de plomo:

$$\delta_{pb} = \frac{(3,2) (0,8) (0,9)}{45} = 0,051$$

b) para el concentrado de cinc:

$$\delta_{zn} = \frac{(4,9) (0,8) (0,75)}{40} = 0,073$$

Luego se determinan los valores de cada producto que se extrae de una tonelada de mena por la fórmula (179):

a) para el concentrado de plomo:

$$Z_{pb} = (218) (0,051) = \$11,12$$

b) para el concentrado de cinc:

$$Z_{zn} = (132) (0,073) = \$9,61$$

Como el valor extraíble total es igual a \$20,73 es fácil calcular las partes de los gastos totales que corresponden a cada producto:

a) para el concentrado de plomo

$$\Delta_{pb} = \frac{11,12}{20,73} = 0,536$$

b) para el concentrado de cinc:

$$\Delta_{zn} = \frac{9,61}{20,73} = 0,464$$

Entonces, el costo de producción de cada concentrado será:

$$Q_{pb} = \Delta_{pb} (Q_c + Q_b) \cdot g_{pb} = 0,536 (3,2 + 5,8) \frac{1}{0,051} = \$94,60$$

$$Q_{zn} = \Delta_{zn} (Q_c + Q_b) \cdot g_{zn} = 0,464 (3,2 + 5,8) \frac{1}{0,073} = \$57,20$$

El segundo método se recomienda para calcular los costos de producción de los productos secundarios al vincular su obtención con gastos complementarios, los cuales no tienen nada que ver con la obtención del producto principal. Como ejemplo se puede citar la extracción de los sulfuros de plomo, cobre y cinc de las colas de beneficio de las menas magnéticas tipo *skarn*; la utilización del destape de los yacimientos que se explotan a cielo abierto; la obtención del caolín y la arena de moldeado a partir de las colas del beneficio de los placeres titano-circoníferos, etc.

En esos casos los gastos para la explotación, e incluso los de la búsqueda y exploración, y la elaboración del mineral útil según el esquema tecnológico principal se refieren por completo al costo de producción principal y para calcular el del producto secundario se consideran solo los gastos complementarios indispensables para la trituración complementaria más fina del mineral útil, los procesos de beneficio ulteriores, la calcinación de la materia prima mineral, la fabricación de diferentes artículos y otros. Esos gastos se reparten entre los productos secundarios teniendo en cuenta sus valores y rendimientos según las fórmulas (179) y (180).

Si la explotación del yacimiento se hace a cielo abierto, el cálculo del costo de producción del concentrado necesita la consideración de los gastos para el trabajo de destape y por eso la fórmula (177) adquiere el siguiente aspecto:

$$Q = (Q_c + Q_b) g + K_d Q_d g \quad (181)$$

donde:

$K_d$  - coeficiente de destape;

$Q_d$  - costo de eliminación de 1 m<sup>3</sup> de destape.

### 9.1.3 Rentabilidad en la explotación del yacimiento y nivel de rentabilidad

La rentabilidad de la explotación del yacimiento en primer lugar se caracteriza por la ganancia ( $G$ ), que se obtiene por cada unidad de producto final de la empresa. Si dicho producto es mena, la ganancia se da por la siguiente fórmula:

$$G_m = P_m - Q_m \quad (182)$$

donde:

$P_m$  - Precio al por mayor de la mena o el mineral útil no elaborado.

Si los precios al por mayor para la mena no figuran en los listados oficiales, estos se sustituyen en esa fórmula por el valor del producto que se extrae de la mena, calculado por la fórmula (179) a través del precio del producto final y su rendimiento.

La rentabilidad de la puesta en práctica del yacimiento, en la mayoría de los casos, se evalúa más correcta y objetivamente a nivel de concentrado o semiproducto normalizado utilizando la fórmula:

$$G_c = P_c - Q_c \quad (183)$$

donde:

$P_c$  - precio al por mayor del concentrado o semiproducto industrial.

La ganancia a nivel de metal u otro producto definitivo se calcula de manera análoga, pero este índice se utiliza muy raras veces en la evaluación geólogo económica de los yacimientos minerales útiles por las mismas razones que fueron señaladas en el epígrafe 9.1.2.

La ganancia anual de la empresa minera ( $G_a$ ) será:

a) por la mena:

$$G_{am} = G_m A_m \quad (184)$$

b) por el concentrado o simiproducto:

$$G_{ac} = G_c A_c \quad (185)$$

Para determinar la ganancia total de la explotación del yacimiento ( $G_t$ ) es necesario tener en cuenta el hecho de que la productividad del trabajo social se incrementa con el tiempo.

Esto se refleja en la aplicación del llamado coeficiente normado de efectividad económica comparativa ( $\tau$ ) que permite considerar el factor tiempo. Los modelos de cálculo de la ganancia total de la empresa minera, si se considera este factor, son diversos [20;23] pero aquí se propone solo el de Podzaritsky como el más sencillo y utilizable:

$$G_t = G_a \frac{(1+\tau)^t - 1}{\tau(1+\tau)^t} \quad (186)$$

donde:

$\tau$  - coeficiente normado de efectividad económica comparativa, fracciones de uno;

$t$  - plazo de explotación del yacimiento, años.

Con el fin de simplificar los cálculos y hacerlos más rápidos, la expresión  $(1+\tau)^t$  se determina de antemano para diferentes valores del coeficiente normado y diferentes plazos de explotación, representándose los resultados en forma de tablas o nomogramas. Como ejemplo, en la tabla 9.5 se muestran los valores del coeficiente de corrección de la ganancia total, que corresponden a las realizaciones concretas de la expresión  $(1+\tau)^t$ .

Tabla 9.5

COEFICIENTE DE CORRECCIÓN PARA CONSIDERAR LA INFLUENCIA DEL FACTOR TIEMPO AL CALCULAR LA GANANCIA TOTAL DE LA EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO

Plazo de explotación (t), años	Coeficiente normado de efectividad económica comparativa ( $\tau$ ), fracciones de uno				
	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10
1	1,02	1,04	1,06	1,08	1,10
2	1,04	1,08	1,12	1,17	1,21
3	1,06	1,13	1,19	1,26	1,33
4	1,08	1,17	1,26	1,36	1,46
5	1,10	1,22	1,34	1,47	1,61
6	1,13	1,27	1,42	1,59	1,77
7	1,15	1,32	1,50	1,71	1,95
8	1,17	1,37	1,59	1,85	2,14



Plazo de explotación (t), años	Coeficiente normado de efectividad económica comparativa ( $\tau$ ) fracciones de uno				
	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
9	1,20	1,42	1,69	2,00	2,36
10	1,22	1,47	1,79	2,16	2,59
11	1,24	1,54	1,90	2,33	2,85
12	1,27	1,60	2,01	2,52	3,14
13	1,29	1,66	2,13	2,72	3,45
14	1,32	1,73	2,26	2,93	3,80
15	1,35	1,80	2,40	3,17	4,18
16	1,37	1,87	2,54	3,42	4,60
17	1,40	1,95	2,70	3,70	5,06
18	1,43	2,02	2,85	3,99	5,56
19	1,46	2,10	3,03	4,31	6,12
20	1,48	2,19	3,21	4,66	6,73

Cuanto más se demora la obtención de la ganancia, tanto menos importante será su valor real, por cuya razón se debe preferir la variante de la asimilación industrial del yacimiento, que garantice la máxima ganancia en los primeros años de su explotación.

Si el mineral útil tiene un carácter complejo, la ganancia, en el caso de su explotación y elaboración, se determina como la suma de las ganancias obtenidas para cada producto por separado.

El nivel de rentabilidad ( $I$ ) es un índice muy importante de la evaluación geólogo-económica de yacimientos minerales útiles, ya que muestra la ganancia relativa por peso de los gastos realizados, con el fin de obtener el producto de la empresa minera. Para determinar este índice hay que calcular la relación entre la ganancia por unidad de producto y su costo de producción. Así, por ejemplo, en el caso de concentrados, la fórmula tiene el siguiente aspecto:

$$I_c = \frac{G_c}{Q_c} \quad (187)$$

La comparación del nivel de rentabilidad real calculado para el yacimiento, con el nivel de rentabilidad medio ramal o con el mismo índice de otros yacimientos del mineral útil dado, permite formarse una idea correcta sobre la efectividad relativa en la utilización de los recursos minerales. Para la mayoría de los tipos de materia prima mineral, se admite como satisfactorio el nivel de rentabilidad del orden de 10 a 20%, mientras que para los mejores objetos este índice asciende a 50 a 70% y aún más.

#### 9.1.4 Inversiones capitales en la construcción de la empresa minera

La suma de las inversiones capitales ( $I$ ) necesarias para construir una empresa minera es uno de los índices más importantes de la evaluación geólogo-económica de los yacimientos minerales útiles. Esto se explica, ante todo, por el carácter limitado del presupuesto estatal, lo que puede causar una solución negativa en

lo referente a la puesta en práctica de ciertos yacimientos grandes, incluso de alta rentabilidad, si las inversiones capitales requeridas son muy altas. Además, la suma de inversiones capitales influye mucho sobre el costo de producción del producto de la empresa, los plazos de su puesta en funcionamiento, etcétera.

Como se sabe, las inversiones capitales se subdividen en dos partes, una de las cuales está destinada para la construcción industrial, las obras viales, el laboreo de las excavaciones mineras principales y la compra del equipamiento necesario. Esta parte se compensa a través de los descuentos de amortización durante la explotación del yacimiento. Otra parte de las inversiones capitales se destina para la construcción civil y las necesidades socioculturales del pueblo; esta se compensa de manera especial, por ejemplo, a través del pago de alquileres y generalmente no se incluye en el costo de producción del producto de la empresa. No obstante, en las regiones alejadas y poco habitadas el pueblo construido con todas sus instalaciones socioculturales, y cuyo precio en tales condiciones es importante, resultará inútil después de terminada la explotación del yacimiento.

Por eso, la evaluación de dichos objetos es mucho más correcta si los gastos correspondientes a ellos, menos la parte que se compensa, se suman con las inversiones capitales de índole industrial. También conviene añadir que la suma de inversiones capitales debe comprender los gastos para la protección del medio vinculados con la explotación del yacimiento, así como los pagos destinados para compensar el daño irreparable causado al medio.

Los científicos soviéticos E.O. Pogrebitsky y V.I. Ternovoi [27] han propuesto incluir en las inversiones capitales industriales los gastos para los trabajos de búsqueda y exploración, considerando las reservas exploradas una parte integrante de los fondos básicos de la empresa minera. Sin embargo, su propuesta es objeto de discusiones y hoy día no es posible recomendar su aplicación práctica, ya que dada la metodología vigente de compensación de dichos gastos es inevitable su doble consideración: en la tasa media ramal de compensación de estos gastos y en la tasa de amortización de los fondos básicos.

La suma de inversiones capitales en la construcción de la empresa minera se determina sobre la base de los cálculos presupuesto-financieros. Para esto, los gastos para la construcción industrial y los trabajos mineros fundamentales se calculan de manera aproximada utilizando las analogías con otras empresas en funcionamiento o que se están construyendo y un sistema de coeficientes de corrección para tener en cuenta las particularidades geográficas y geológicas concretas del yacimiento dado. Uno de los gráficos típicos que se utilizan en la solución de dicha tarea se presenta en la figura 9.1.

Los gastos para el equipamiento se determinan de acuerdo con las listas oficiales de precios con la corrección necesaria a causa del transporte y montaje de este.

Es obvio que, en dependencia de las particularidades concretas de los yacimientos se pueden necesitar las mismas inversiones capitales para construir empresas cuya producción anual de un producto análogo será muy distinta. Por lo tanto, es preciso determinar y tener en cuenta las inversiones capitales específicas ( $I_c$ ) por unidad de producción anual del producto mercantil de la empresa calculados según la fórmula:

$$I_c = \frac{I}{A} \quad (188)$$

donde:

$A$  - producción anual de mena, concentrado o metal.

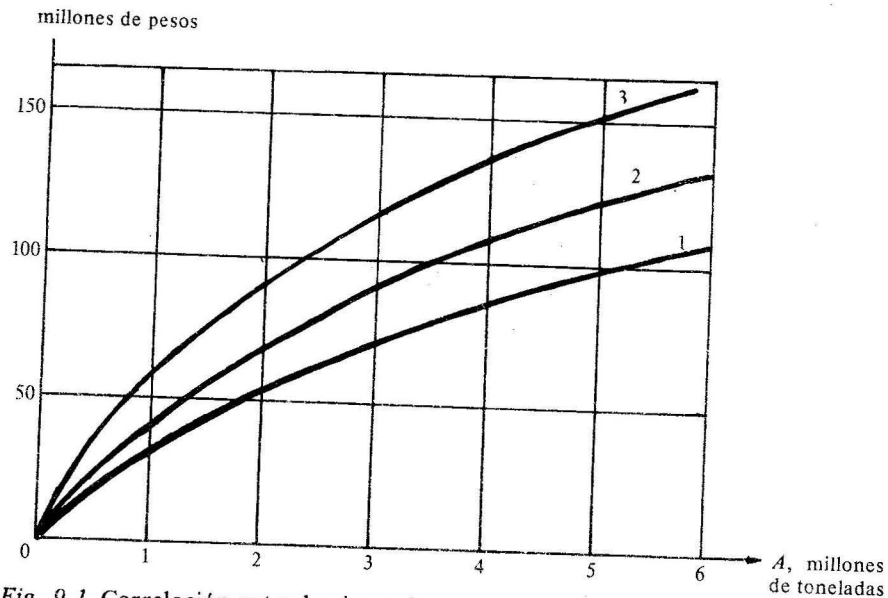


Fig. 9.1 Correlación entre las inversiones capitales totales y la producción anual de la mena para las minas grandes de metales no ferrosos. Condiciones de construcción: 1- fáciles; 2- medianas; 3- difíciles

Las mejores posibilidades para comparar los yacimientos del mismo mineral útil, pero diferentes por su escala y calidad de la materia prima, las brindan las inversiones capitales específicas por tonelada de concentrado o semiproducto industrial.

En el caso de menas complejas las inversiones capitales específicas para cada componente útil, al ser comunes los gastos para obtener todos los productos, se determinan teniendo en cuenta el volumen anual de cada producto y la parte de los gastos totales necesarios para obtenerlo (epígrafe 9.1.2). La fórmula general para esos cálculos, tiene el siguiente aspecto:

$$I_{ei} = \frac{I}{A_i} \Delta_i$$

donde:

$A_i$  - volumen anual del producto  $i$ ;

$\Delta_i$  - parte de los gastos totales que corresponde a la obtención de este producto que se obtiene por la fórmula 180.

Así, al igualarse en el ejemplo 1 (epígrafe 9.1.2) la producción anual de la mena a 300 000 t y las inversiones capitales a 9 millones de pesos, es posible calcular primeramente la producción anual de cada concentrado y luego las inversiones capitales específicas por tonelada de cada concentrado:

a) concentrado de plomo:

$$A_{cpb} = A_m \delta_{pb} = (300\ 000) (0,051) = 15\ 300\ t$$

$$I_{cpb} = \frac{9\ 000\ 000}{15\ 300} (0,536) = (588) (0,536) = 315\ \text{pesos/t}$$

b) concentrado de cinc:

$$A_{c/n} = A_m \delta_{zn} = (300\ 000) (0,073) = 21\ 900\ t$$

$$I_{c/n} = \frac{9\ 000\ 000}{21\ 900} (0,464) = (411) (0,464) = 191\ \text{pesos/t}$$

Para las mismas condiciones de construcción de las empresas mineras, las inversiones capitales específicas dependen principalmente de su producción anual y por eso en la práctica de la evaluación geólogo-económica este índice se determina mediante diferentes gráficos, nomogramas y tablas de datos estadísticos. La diferencia entre las condiciones concretas del yacimiento a evaluar y las normalizadas, se tiene en cuenta mediante los coeficientes de corrección. Un ejemplo de estos gráficos se muestra en la figura 9.2.

Las fórmulas (188) y (189) suponen que las inversiones capitales se mantienen invariables con el tiempo, lo que no corresponde con la realidad. Por eso, en los cálculos más exactos hay que utilizar las inversiones capitales corregidas, en dependencia del plazo necesario para poner la empresa en funcionamiento, de acuerdo con el coeficiente normado de efectividad económica comparativa. La fórmula para obtener la suma de inversiones capitales en la empresa minera al momento de su puesta en funcionamiento ( $I_f$ ) es la siguiente:

$$I_f = I(1+r)^n \quad (190)$$

donde:

$n$  - número de años que transcurren desde el momento de asignación de las inversiones capitales hasta la puesta de la empresa en funcionamiento.

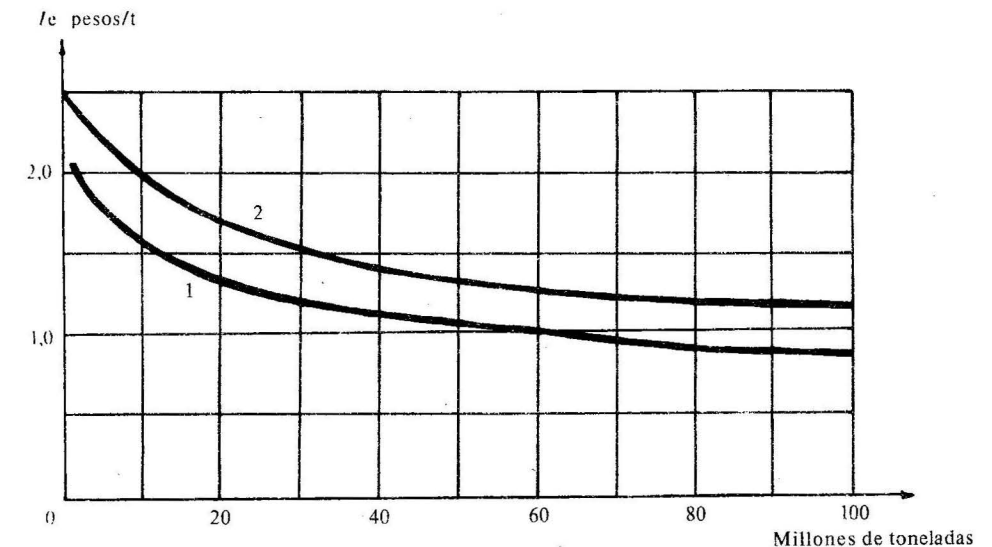


Fig. 9.2 Correlación entre la producción anual de menas y las inversiones capitales específicas para las grandes canteras (según el Instituto Griporuda). Condiciones de construcción: 1- fáciles; 2- complejas

Dicho de otro modo, es necesario utilizar en las fórmulas (188) y (189) el coeficiente de corrección  $(1+\tau)^n$  que se puede obtener de la tabla 9.5.

### 9.1.5 Gastos reducidos

Los gastos reducidos para la obtención de una unidad del producto de la empresa minera (*GR*) son índice importante de la efectividad de las inversiones capitales y los gastos corrientes. Estos gastos se componen del costo de producción del producto por una parte y del rendimiento normalizado de las inversiones capitales específicas por otra; se calculan por la siguiente fórmula:

$$GR = Q + EI. \quad (191)$$

donde:

*Q* - costo de producción de la mena, concentrado o metal;

*E* - coeficiente normado que va desde 0,08 en la metalurgia de metales no ferrosos hasta 0,25 en la industria de materiales de construcción.

Cuanto menor es el coeficiente normado *E* tanto más racionales son las inversiones capitales importantes en la construcción y reconstrucción de las empresas y viceversa. Según las investigaciones del científico soviético V. Cherniavsky [5] el valor óptimo de este coeficiente es del orden de 0,20.

En la mayoría de los casos la selección de la mejor variante sobre la base de los gastos reducidos mínimos es más sencilla y confiable que utilizar por separado el costo de producción y las inversiones capitales.

### 9.1.6 Plazo de amortización de las inversiones capitales y su eficiencia

La evaluación geólogo-económica de los yacimientos minerales útiles necesita el conocimiento no solo de la suma de ganancia sino también de la relación entre esta y las inversiones capitales indispensables para obtenerla. Con este fin se calculan dos índices mutuamente relacionados: el plazo de amortización de las inversiones capitales (*T*) que muestra el período dentro del cual la ganancia por la explotación del yacimiento se iguala a las inversiones capitales asignadas y el coeficiente de efectividad de las inversiones capitales ( $KE = \frac{1}{T}$ ) que da una idea sobre la ganancia por cada peso de inversiones capitales. Los cálculos correspondientes se realizan según las fórmulas:

$$T = \frac{I}{G_a} = \frac{I_c}{G} \quad (192)$$

$$KE = \frac{G_a}{I} = \frac{G}{I_c} \quad (193)$$

donde:

*G<sub>a</sub>* - ganancia anual de la empresa;

*G* - ganancia por unidad del producto anual de la empresa.

Esos índices se determinan para la mena en el caso de empresas mineras independientes o para el concentrado si se trata del complejo minero beneficiario. Con mucha menos frecuencia estos cálculos se hacen a nivel de metal u otros productos industriales en las empresas, con un ciclo completo de extracción y elaboración del mineral útil.

Las fórmulas (192) y (193) son de carácter simplificado, ya que no consideran la influencia del factor tiempo sobre la suma de inversiones capitales. Para conseguir un resultado más correcto se recomienda introducir en los cálculos el coeficiente de corrección  $(1+\tau)^n$  (epígrafe 9.1.4). También existe la propuesta [26;27] de utilizar este coeficiente durante toda la explotación del yacimiento, pero esto resulta poco argumentado, ya que al calcular el plazo de amortización de las inversiones capitales nunca se determina su plazo real de compensación, por cuanto estas no se compensan a través de la ganancia sino mediante la tasa de amortización de los fondos básicos que forman parte del costo de producción. Por eso, tanto el plazo de amortización de las inversiones capitales como el coeficiente de efectividad, son índices convencionales y no naturales y cualquier modificación de su metodología de cálculo no mejora mucho la evaluación de los yacimientos minerales útiles. Por otra parte, los cálculos resultan muy complejos, ya que la fórmula (192) se convierte en una ecuación con una incógnita que desempeña el papel de potencia (*T*):

$$T = \frac{I_c(1+\tau)^T}{G_a}$$

Como conclusión, la efectividad de las inversiones capitales se determina generalmente durante la evaluación geólogo-económica de los yacimientos minerales útiles a través de la comparación del plazo de amortización de las inversiones capitales, calculado para el objeto que se va a evaluar con las normativas ramales vigentes de este índice.

### 9.1.7 Efectos económicos del daño causado al medio por la asimilación industrial del yacimiento

Como se señaló en el epígrafe 2.5, la intensificación de la industria minera, química y metalúrgica provoca un brusco incremento del daño al medio. Sus consecuencias pueden ser muy graves e irreparables y algunas veces pueden empeorar las condiciones sociales de vida. Una correcta evaluación de los yacimientos minerales útiles propuestos para la explotación necesita por tanto la consideración económica rigurosa de dicho daño y su compensación a cuenta de las ganancias de la futura empresa.

La vía más correcta en la solución de este problema es la incorporación a las inversiones capitales de índole industrial de los gastos para la protección del medio, reconstitución de las tierras y los pagos por alteraciones del relieve o cambios peligrosos en el régimen de las aguas subterráneas y superficiales.

Sin embargo, hasta ahora no se han elaborado la metodología de cálculo de la suma de dichos gastos ni el sistema de pagos correspondientes, aunque su magnitud puede ser muy grande. Por ejemplo, en la URSS, solo a través del presupuesto estatal (sin contar las inversiones capitales hechas por las empresas industriales y agrícolas) se asignan anualmente más de 5 mil millones de rublos para la protección del medio. Por eso, la elaboración de una metodología unificada



para el cálculo y cómputo de las consecuencias económicas del daño causado al medio es una tarea de actualidad y de suma importancia, cuya solución no solo permite hacer más confiable la evaluación de los yacimientos sino también colaborar a una mejor utilización del subsuelo y la superficie actual por cada empresa minera. Mientras tanto, las consecuencias se tienen en cuenta solo de forma cualitativa al evaluar los yacimientos minerales útiles.

Para concluir la revisión de los índices de la evaluación geólogo-económica, se debe destacar que una solución definitiva y bien argumentada necesita la determinación y el análisis conjunto de todos los índices mencionados, aunque algunos puedan coincidir parcialmente o deducirse a partir de otro. Por ejemplo, si los precios al por mayor son constantes, la utilización del costo de producción mínimo del producto, como índice principal de la evaluación del yacimiento, da lo mismo que el de la tendencia de garantizar la máxima rentabilidad de la empresa.

Como se ha demostrado, la determinación de los principales índices de la evaluación geólogo-económica (producción anual de la empresa, costo de producción del producto mercantil, inversiones capitales específicas, gastos reducidos y otros) requiere el conocimiento de algunos parámetros geólogo-industriales del yacimiento dado (reservas de mineral útil, contenido de componente útil en la mena), así como de los índices de su explotación y elaboración de la materia prima mineral (coeficientes de empobrecimiento y de extracción, contenido de componente útil en el concentrado u otro producto). Se sabe que esos parámetros e índices dependen de las exigencias que pone la industria en lo referente a la calidad de la materia prima mineral y sus condiciones de extracción y elaboración. Por ese motivo la evaluación geólogo-económica de los yacimientos minerales útiles se vincula estrechamente con la argumentación de dichas exigencias, es decir de las condiciones industriales para la materia prima mineral.

## 9.2 Argumentación de las condiciones industriales para la materia prima mineral

En el capítulo 2 se señaló que bajo el nombre de condiciones industriales se entiende un conjunto de exigencias límites *económicamente argumentadas* que la industria estipula en el campo de la calidad y cantidad del mineral útil y las condiciones minero-técnicas de explotación del yacimiento. La argumentación de esas exigencias es un elemento importantísimo de la evaluación geólogo-económica de cualquier yacimiento y representa una investigación cuidadosa y profunda de las correlaciones entre los valores de diferentes parámetros geólogo-industriales de una parte y los índices de la evaluación del yacimiento de otra. Lo complejo que resulta esta tarea se determina por el hecho de que los principales índices de las condiciones industriales (contenido mínimo industrial de componente útil, potencia mínima industrial del cuerpo mineral, coeficiente de destape máximo admisible y otros) se correlacionan estrechamente y cualquier cambio de un índice modifica inevitablemente los contornos de los cuerpos minerales, su estructura interna, la calidad de la mena y la cifra de reservas de mineral útil.

Por lo tanto, en la práctica, para argumentar las condiciones industriales se utiliza con frecuencia el método de variantes cuando para cada índice se seleccionan magnitudes realmente posibles y para cada magnitud se determinan promedios de los parámetros geólogo-industriales más importantes del yacimiento y se calculan sus índices de evaluación. La comparación de esas variantes permite

seleccionar la más racional y por consiguiente establecer la magnitud óptima del índice dado de las condiciones industriales. Esta es la esencia de la argumentación técnico-económica de dichas condiciones cuyo resultado deben ser los valores de todos los índices que en su conjunto garantizan una máxima producción de la materia prima mineral con pérdidas mínimas; al mismo tiempo los gastos necesarios para obtenerlo y el daño causado al medio son mínimos.

No obstante, la argumentación de las condiciones industriales tiene que ser no solo técnico-económica sino también geológica. Esta última consiste ante todo en una característica detallada y completa de todos los parámetros geólogo-industriales del yacimiento. Luego, sobre esta base, se debe realizar un análisis del comportamiento de la morfología, estructura interna y calidad de los cuerpos minerales, de acuerdo con la modificación de unos u otros índices de las condiciones industriales (contenido mínimo industrial o de los bordes; potencia mínima industrial y potencia máxima admisible de intercalaciones no industriales y estériles que se incluyen en el cálculo de reservas; coeficiente de meniferación mínimo admisible, etc.). Esto permite revelar posibles variantes en las magnitudes de dichos índices, las cuales posteriormente se analizarán mediante cálculos técnico-económicos y para las que se realizará el contorno de los cuerpos minerales, se determinarán los valores medios de diferentes índices de la calidad del mineral útil y se calcularán sus reservas.

La argumentación geológica de las condiciones industriales es compleja y necesita mucho tiempo y mano de obra, por cuyo motivo algunas veces se desprecia injustamente. Esto es inadmisibles, ya que esta argumentación, y solo esta, permite esclarecer correctamente las particularidades naturales del yacimiento y elaborar las condiciones industriales que garanticen la utilización completa y compleja del subsuelo. La argumentación más segura de dichas condiciones se logra mediante los datos del proyecto confeccionado para la explotación del yacimiento y elaboración de la materia prima mineral. Sin embargo, con frecuencia ese proyecto falla y por eso, al argumentar las condiciones industriales, se utilizan ampliamente los cálculos técnico-económicos aproximados, que se basan en la experiencia acumulada en el campo de la proyección y funcionamiento de las empresas en yacimientos análogos.

El contenido concreto de las condiciones industriales depende del tipo de materia prima mineral y del yacimiento, su sistema de explotación y particularidades del tratamiento o utilización del mineral útil y puede variar mucho. Por eso, es importante establecer de manera correcta el conjunto necesario de los índices más importantes y evitar su complicación excesiva debido al número de índices, que es muy grande, y el posible carácter contradictorio de algunos de ellos.

En general, los principales índices de las condiciones industriales que se deben argumentar son:

- a) contenido mínimo industrial del componente útil;
- b) contenido de los bordes de componentes útiles o dañinos;
- c) potencia mínima industrial del cuerpo mineral;
- d) potencia máxima de intercalaciones estériles y no industriales que se incluyen en el cálculo de reservas;
- e) coeficiente de meniferación mínimo admisible;
- f) tipos y clases de materia prima mineral y su contabilización;

- g) coeficiente de destape límite y máximo;
- h) profundidad máxima de explotación del yacimiento;
- i) reservas mínimas de la materia prima mineral.

A continuación se estudiarán las particularidades del cálculo y la argumentación de cada índice mencionado.

### 9.2.1 Contenido mínimo industrial del componente útil

Como contenido mínimo industrial se entiende el contenido medio de componente útil en un bloque de cálculo de reservas que no aporta ninguna ganancia durante la explotación del yacimiento, aunque la utilización industrial del mineral útil sea económicamente racional. El límite de la racionalidad económica de la extracción y elaboración de la materia prima mineral se establece por la igualdad de los gastos relacionados con la utilización de una unidad de mineral útil ( $Q$ ) y el valor que se extrae de la mena ( $Z$ ), lo que se puede expresar de la siguiente manera:

$$Q = Z \quad (194)$$

Si el producto final de la empresa es mena o mineral útil no elaborado esta fórmula no se puede utilizar para calcular el contenido mínimo industrial del componente útil, ya que los precios al por mayor para la materia prima mineral se diferencian muy poco de acuerdo con este índice. Sin embargo, en la mayoría de los casos, el mineral útil tiene que pasar por un tratamiento industrial cuyo resultado serán los concentrados o semiproductos normalizados, metales puros, sus óxidos o determinados artículos industriales. Entonces, es posible calcular el contenido mínimo industrial del componente útil transformando la fórmula (194) sobre la base de las fórmulas (177), (178) y (179). Con frecuencia estos cálculos se realizan para los concentrados o semiproductos lo que da las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} Q_e + Q_b &= \frac{1}{g} P_c \\ Q_e + Q_b &= \frac{C_m K_{em} K_b}{C_c} P_c \\ (Q_e + Q_b) C_c &= C_m K_{em} K_b P_c \\ \frac{(Q_e + Q_b) C_c}{P_c K_{em} K_b} &= C_m \end{aligned}$$

de donde:

$$C_{min} = \frac{(Q_e + Q) C_c}{P_c K_{em} K_b} \quad (195)$$

Es fácil demostrar, mediante razonamientos análogos, que en el caso de metal u otro producto final la fórmula adquiere el siguiente aspecto:

$$C_{min} = \frac{(Q_e + Q_b + Q_f) C_f}{P_f K_{em} K_b K_f} \quad (196)$$

donde:

$P_f$  - precio al por mayor de metal u otro producto final

La fórmula (196) es aplicable si sobre la base del yacimiento se ha construido o se está proyectando la empresa con ciclo completo de producción o cuando no se realiza el beneficio del mineral útil extraído. Además, dicha fórmula se utiliza en el caso de menas complejas cuyos componentes útiles se separan en la etapa del tratamiento metalúrgico de sus concentrados colectivos.

En la literatura científica se recomienda a veces [19] utilizar en dichos cálculos los gastos reducidos que deben sustituir al costo de producción. Esto es absolutamente incorrecto, ya que va en contra del principio fundamental expuesto, que es la igualdad de los gastos reales con el valor extraíble.

Si se supone la explotación del yacimiento a cielo abierto, el contenido mínimo industrial debe calcularse considerando los gastos para los trabajos de destape. Por eso, las fórmulas propuestas se deben modificar y en el caso del concentrado como producto final, por ejemplo, se tendrá la siguiente expresión:

$$C_{min} = \frac{(Q_e + Q_b + K_d Q_d) C_c}{P_c K_{em} K_b} \quad (197)$$

donde:

$K_d$  - coeficiente de destape;

$Q_d$  - costo de eliminación de 1 m<sup>3</sup> de destape.

Para las menas complejas, el contenido mínimo industrial se puede establecer para cada componente útil por separado o para un componente principal convirtiéndose los contenidos de los demás componentes en contenidos convencionales con ayuda de coeficientes especiales.

Los contenidos mínimos industriales para cada componente útil de la mena compleja se calculan por una metodología corriente mediante las fórmulas (195) o (197) bajo las siguientes condiciones:

- a) en el yacimiento se destacan clases de mena industriales con contenidos de componentes secundarios que difieren claramente;
- b) la extracción y elaboración selectivas de esas clases de mena son técnicamente posibles y económicamente rentables;
- c) durante el beneficio de la mena se obtienen concentrados selectivos de cada componente y esto necesita gastos complementarios.

Si no se cumple alguna de esas condiciones (y tales casos son los más frecuentes en la práctica de la argumentación de las condiciones industriales) se determina el contenido mínimo industrial del componente principal convencional a partir de la igualdad de los gastos para la extracción y elaboración del mineral útil por una parte y su valor extraíble total por otra. Los coeficientes de transformación para convertir los contenidos de componentes secundarios en el de componente principal ( $K_{tr}$ ) se pueden deducir como relaciones entre los valores extraíbles correspondientes, al ser iguales los contenidos de componente principal y secundario en la mena. Así, sobre la base de la fórmula (179) se tiene:

$$Z_p = \frac{C_m K_{em} K_b^p}{C_c^p} P_c^p \quad (198)$$

$$Z_s = \frac{C_m K_{em} K_b^s}{C_c^s} P_c^s \quad (199)$$

El índice  $p$  corresponde a los valores relativos al componente principal y el índice  $s$  a los vinculados con el componente secundario.

La primera fórmula da el valor extraíble relacionado con el componente principal y la segunda con el secundario. Dividiendo la fórmula (199) por la (198):

$$\frac{Z_s}{Z_p} = \frac{C_c^p C_M K_{Em} K_b^s P_c^s}{C_c^s C_M K_{Em} K_b^p P_c^p} = \frac{P_c^s K_b^s C_c^p}{P_c^p K_b^p C_c^s}$$

o sea:

$$K_{tr} = \frac{P_c^s K_b^s C_c^p}{P_c^p K_b^p C_c^s} \quad (200)$$

**Ejemplo 2.** Durante el cálculo de reservas de menas de plomo y cinc, los contenidos medios de esos componentes en un bloque resultaron iguales a 3,3% y 1,8% respectivamente. La argumentación técnico-económica de las condiciones industriales reveló que el costo de extracción de la mena es igual a 4,2 pesos/t, el de beneficio a 8,7 pesos/t obteniéndose los concentrados selectivos de plomo y cinc. El coeficiente de empobrecimiento de la mena durante la explotación es 0,85%; los coeficientes de extracción de los metales durante el beneficio son 0,80 para el plomo y 0,75 para el cinc. Los contenidos de estos metales en sus concentrados son iguales a: plomo 45% y cinc 40%. Los precios al por mayor por tonelada de metal en los concentrados de tal calidad son \$ 485 para el plomo y \$ 330 para el cinc.

Se requiere decidir si las reservas del bloque dado son balanceadas o no balanceadas.

En primer lugar, se calcula, mediante la fórmula (195), el contenido mínimo industrial del componente útil principal, que es sin ninguna duda el plomo:

$$C_{min}^{Pb} = \frac{(4,2 + 8,7) 45}{485 \cdot 45/100 \cdot 0,85 \cdot 0,8} = 3,93 \cong 4,0\%$$

Se ve claramente que por el contenido del componente principal (3,3%) la mena es no balanceada. Por eso, se calcula el contenido convencional de plomo teniendo en cuenta el cinc. Con este objetivo se determina el coeficiente de transformación mediante la fórmula (200):

$$K_{tr}^{Zn} = \frac{330 \cdot 40/100 \cdot 0,75 \cdot 45}{485 \cdot 45/100 \cdot 0,80 \cdot 40} \cong 0,64$$

El contenido convencional de plomo en la mena será igual a:

$$C_{con}^{Pb} = 3,3 + (0,64 \cdot 1,8) = 3,3 + 1,15 = 4,45\%$$

Es evidente que la mena compleja de dicho bloque se debe considerar balanceada.

Algunas veces, en las condiciones industriales para minerales útiles meníferos, junto con el contenido mínimo industrial de componente útil se dan los contenidos máximos admisibles de impurezas dañinas en el bloque de cálculo de reservas, los cuales también se establecen a partir de la igualdad de los gastos para la obtención del producto, incluyendo el costo de eliminación o neutralización de dichas impurezas y su valor mercantil.

El contenido mínimo industrial es un índice importantísimo de carácter generalizado en las condiciones industriales; refleja la influencia de toda una serie de parámetros geólogo-industriales del yacimiento y sus particularidades de explotación. Su destino principal es la separación de las áreas ocupadas por las reservas

de mineral útil balanceadas y no balanceadas. Sin embargo, conviene señalar que la metodología más generalizada para el cálculo de este índice provoca muy a menudo la subestimación de las reservas balanceadas. Esto se debe a que en muchas ocasiones la empresa minera se ve obligada, a causa del sistema de minería adoptado, a extraer junto con las menas ricas y ordinarias también las pobres, incluso aquellas cuyo contenido de componente útil es inferior al mínimo industrial. Como regla, esas menas pobres se envían a las escombreras, lo que aumenta el costo de producción del producto final. Por otra parte, el tratamiento de dichas menas pobres puede resultar económicamente racional, ya que su costo de extracción se considera igual a cero. Por esta razón, a veces en las condiciones industriales, es necesario establecer el contenido mínimo industrial del componente principal en la mena pobre que se extrae junto con la mena industrial ( $C_{min}^a$ ). Con este fin se utiliza la siguiente fórmula:

$$C_{min}^a = \frac{Q_b C_c}{P_c K_{Em} K_b} \quad (201)$$

Por ejemplo, según los datos del ejemplo 2, es posible determinar este contenido como:

$$C_{min}^{Pb} = \frac{(8,7)(45)}{\left(485 \cdot \frac{45}{100}\right)(0,85)(0,80)} = 2,63 \cong 2,7\%$$

En este caso, la utilización del mineral útil con el contenido medio de plomo convencional, que varía de 2,7 a 4,0, garantiza una ganancia igual o superior que la extracción y elaboración de las menas balanceadas principales. Sin embargo, la elaboración de las menas pobres es posible solo si la planta de beneficio tiene suficientes posibilidades para aumentar la producción y eso se debe tener en cuenta necesariamente al argumentar las condiciones industriales. A veces, si la materia prima mineral es deficitaria, también se consideran las reservas de los cuerpos pequeños secundarios ubicados dentro del área explotable de la mina o cantera proyectada para la extracción de los cuerpos principales. En esos casos el contenido mínimo industrial de componente útil para los cuerpos secundarios se calcula a partir del más bajo costo de extracción de la mena sin considerar los gastos para los trabajos mineros fundamentales y la tasa de amortización de los fondos básicos de la empresa.

Por lo general, la determinación del contenido mínimo industrial de componente útil en la mena pobre que se extrae junto con la industrial, tiene que basarse en el principio de *compensación de los gastos ulteriores* formulado por los científicos soviéticos A.M. Margolín y L.P. Burdo [19]. Este principio requiere que se consideren balanceados solo los volúmenes de mineral útil en el subsuelo cuyo valor extraíble puede compensar los gastos complementarios que se necesitarán después de decidida la explotación de los sectores correspondientes. De acuerdo con esto, para cada etapa de preparación o explotación del yacimiento se deben establecer diferentes valores del contenido mínimo industrial de componente útil.

La ganancia que se obtiene al utilizar las rocas de destape, minerales útiles secundarios y colas de beneficio permite rebajar el contenido mínimo industrial del componente útil en la mena. El método más sencillo para hacerlo es la utilización de los coeficientes de transformación que convierten los contenidos de minerales útiles secundarios en el contenido de componente principal. Para los minerales



útiles secundarios y las colas de beneficio es válida la fórmula (200) y para las rocas de destape el coeficiente de transformación se calcula por la siguiente fórmula:

$$K_{tr} = \frac{P_d K_d K_b^d K_u^d C_c^p}{P_c^p K_b^p C_c^d} \quad (202)$$

donde:

$P_d$  - precio al por mayor del concentrado u otro producto que se obtiene al utilizar las rocas de destape;  
 $P_c^p$  - precio al por mayor del concentrado de componente útil principal;  
 $K_d$  - coeficiente de destape;  
 $K_b^d$  - coeficiente de extracción de los componentes útiles secundarios de las rocas de destape en el concentrado o producto final;  
 $K_b^p$  - coeficiente de extracción del componente útil principal en su concentrado durante el beneficio;  
 $K_u^d$  - coeficiente de utilización industrial de las rocas de destape, que depende de la necesidad oficialmente comprobada de los productos mercantiles correspondientes;  
 $C_c^p$  - contenido de componente útil principal en el concentrado;  
 $C_c^d$  - contenido de minerales útiles secundarios en concentrados o productos finales correspondientes.

Además, en la práctica de la argumentación de las condiciones industriales durante los cálculos del contenido mínimo industrial de componente útil se utiliza ampliamente la siguiente fórmula recomendada por la CER de la URSS:

$$C_{min} = \frac{(Q_c + Q_b - G_c) C_c^p}{P_c^p K_{em} K_b^p} \quad (203)$$

donde:

$G_c$  - ganancia complementaria debido a la utilización del producto secundario por tonelada de mena extraída.

Sin embargo, hay que señalar que esta fórmula siempre subestima el valor necesario del contenido mínimo, aunque el error nunca sea importante.

La consideración de la ganancia que se puede obtener por haber utilizado las rocas de destape, los minerales útiles secundarios y los desechos del tratamiento del mineral útil principal, para argumentar la disminución del contenido mínimo industrial de componente útil, se admite solo si la posibilidad de utilización industrial de los productos correspondientes está bien comprobada por ensayos tecnológicos.

Por otra parte, es absolutamente necesario que la obtención de dichos productos sea económicamente racional, existan consumidores concretos de esos productos y se conozca su volumen de utilización.

Como se deduce de lo expuesto, el contenido mínimo industrial del componente útil debe incluirse en las condiciones industriales solo para los minerales útiles a partir de los cuales se extraen unos u otros metales, compuestos químicos o minerales (menas de metales ferrosos, no ferrosos y raros, moscovita, flogopita, asbesto, diamante, apatito y otros). Por el contrario, si el mineral útil se utiliza como roca natural sin extraer de esta ninguna parte integrante (arcillas refractarias y cerámicas, dolomita, magnesita, caliza, etc.) el cálculo del contenido mínimo

industrial de uno u otro componente químico no tiene ningún sentido práctico y, más aún, no se puede realizar con ayuda de las fórmulas propuestas.

Para concluir el estudio de este índice se debe señalar que para ciertos tipos de materia prima mineral, cuya calidad se determina exclusivamente por sus propiedades físico-técnicas (materia prima para la construcción, piedras decorativas, etc.) tampoco es necesario argumentar el contenido mínimo industrial del componente útil.

## 9.2.2. Contenido de los bordes

El contenido de los bordes para los componentes útiles se analiza en las condiciones industriales solo si los cuerpos minerales no tienen límites naturales claros y se caracterizan por una distribución irregular y compleja de esos componentes. En estos casos, el trazado del contorno industrial sobre la base del contenido mínimo industrial, provoca el surgimiento de numerosos sectores pequeños y nidados aislados en lugar de un cuerpo compacto (fig. 9.3), disminuye las reservas de mena y empeora los índices técnico-económicos de explotación del yacimiento. Por eso, el contorno de la parte industrial del cuerpo a partir del contenido más bajo puede resultar económicamente justificado, aunque necesitará la extracción y elaboración de una determinada cantidad de menas cuyo beneficio, por sí mismo, no es rentable.

En este caso las pérdidas económicas durante el beneficio de dicho componente tienen que compensarse con la reducción de los gastos de extracción como consecuencia del mejoramiento de las condiciones de explotación e incremento de la producción anual de la empresa.

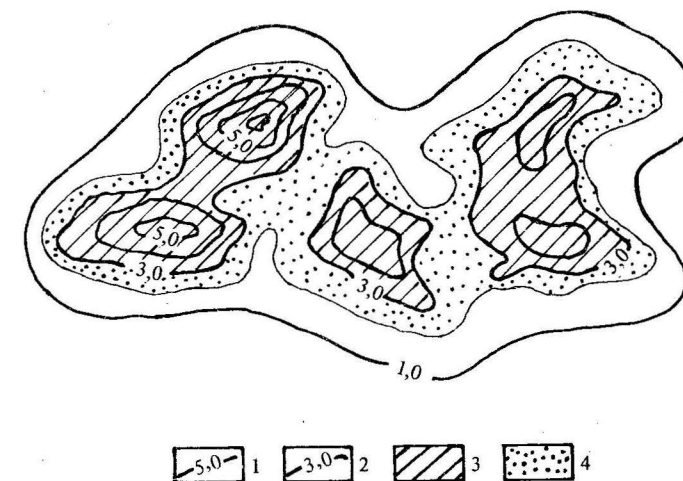


Fig. 9.3 Utilización del contenido de los bordes del componente útil para delimitar el cuerpo mineral; 1- isótopas de contenido; 2- contorno industrial de acuerdo con el contenido mínimo industrial; 3- área de las reservas de balance contorneadas por el contenido mínimo industrial; 4- área de las reservas de balance contorneadas por el contenido de los bordes (2.0%)

Al disminuir gradualmente el contenido de componente útil de la parte central del cuerpo hacia su periferia el contorno se hará solo sobre la base del contenido mínimo industrial, por cuanto la utilización con este objetivo del contenido de los bordes, que es más bajo, sin modificar considerablemente la morfología de los cuerpos minerales y los índices económicos de su explotación, aumentará las reservas balanceadas a expensas de las no balanceadas y reducirá la efectividad económica de la utilización del yacimiento. Además, si el cuerpo mineral tiene límites naturales claros, no será necesaria la aplicación del contenido de los bordes.

Como contenido de los bordes se entiende el contenido mínimo de componente útil en una muestra o un crucero de prospección que permite incluir la mena en el contorno industrial del cuerpo mineral. Este contenido se establece de manera que se garantice un efecto económico máximo en la explotación del yacimiento y pérdidas mínimas del mineral útil en el subsuelo. El valor de ese contenido puede oscilar entre el mínimo industrial y el contenido del componente en las colas de beneficio o de desechos de la producción; para calcularlo, en las fórmulas correspondientes que se derivan de la (194) el costo de producción del producto de la empresa minera se sustituye por los gastos ulteriores necesarios para obtener el producto a partir de la mena con el contenido de componente útil inferior al mínimo industrial.

Como regla, al modificarse el contenido de los bordes, sufren cambios considerables otros parámetros del yacimiento tales como el contenido medio del componente útil en la mena, la cantidad de reservas de mineral útil y su ubicación espacial, la producción anual de la empresa y los índices económicos de la asimilación industrial del objeto. Por lo tanto, en lugar de los cálculos directos de este índice se utiliza la comparación técnico-económica de variantes (de dos a cuatro) del contorno del yacimiento y el cálculo de reservas que corresponden a diferentes magnitudes del contenido de los bordes. Notemos de paso que en una variante este contenido se iguala al mínimo industrial. Para cada variante se determinan los principales índices de evaluación (epígrafe 9.1), cuyo análisis conjunto permite seleccionar el valor óptimo del contenido de los bordes.

Para las menas complejas generalmente se da el contenido de los bordes del componente principal y los coeficientes de transformación necesarios para los demás componentes (epígrafe 9.2.1).

Se debe recordar que en todos los casos el contenido de los bordes del componente dado debe establecerse de manera que, en los bloques cuyo contorno se realiza sobre su base, el contenido medio de este componente supere el mínimo industrial y los sectores con el contenido más bajo sean inferiores por sus reservas a la producción anual de la empresa. El último requisito es indispensable para evitar el funcionamiento no rentable de esta durante largo tiempo, que solo se compensa algunas veces con la ganancia obtenida al explotar las acumulaciones de menas ricas.

Cuando las reservas de materia prima mineral fuera del contorno industrial son importantes y su ubicación espacial permite su explotación ulterior o su extracción selectiva y almacenamiento en el transcurso de la explotación de las reservas balanceadas, es preciso prever en las condiciones industriales el contenido de los bordes de componente útil en la mena no balanceada. Este índice es indispensable para trazar el límite entre la mena y la roca encajante sobre la base de los resultados del muestreo; su valor corresponde, como norma, a un nivel que todavía asegura la extracción práctica de componentes útiles de la materia prima

mineral y por eso, con frecuencia, el contenido de los bordes para las reservas no balanceadas se iguala al contenido medio de componente útil en las colas de beneficio y otros desechos de la producción. El contenido medio del componente útil en las reservas no balanceadas no puede ser inferior al contenido de los bordes para las reservas balanceadas.

Se da por conocido que la efectividad de la elaboración de muchos minerales útiles, tanto meníferos como no meníferos, depende en gran medida no solo del contenido de componentes útiles sino también del de los dañinos, que en muchas ocasiones puede determinar la posibilidad de la utilización industrial de la materia prima (azufre y fósforo en la mena de hierro o hulla para el coque metalúrgico, hierro en la arcilla refractaria, etc.). El contenido máximo admisible de impurezas dañinas en la materia prima mineral o sus productos generalmente se estipula en las normas ramales y estatales correspondientes. Si se trata del mineral útil no menífero, el contenido real del componente dañino no puede sobrepasar el normado, incluso en volúmenes pequeños del subsuelo, ya que esto empeora la calidad del producto final y este no corresponde a las normas vigentes. Por eso, en los yacimientos minerales no meníferos, las exigencias de dichas normas, sin argumentación complementaria, se deben considerar *contenidos de los bordes de impurezas dañinas* en una muestra o un crucero de prospección.

En cuanto a los minerales útiles meníferos, el contenido de los bordes de componentes dañinos para el contorno de los bloques de cálculo se determina a través de la comparación técnico-económica de diferentes variantes posibles utilizando la misma metodología que se aplica para argumentar el contenido de los bordes de componente útil. Al hacerlo se tiene en cuenta la correlación entre el contenido de componente dañino y los gastos que se necesitan para eliminarlo o neutralizarlo durante el beneficio de la mena o el proceso metalúrgico. Las variantes posibles del contenido de los bordes para realizar los cálculos técnico-económicos se establecen sobre la base de los ensayos tecnológicos de la materia prima mineral.

### 9.2.3 Potencia mínima industrial del cuerpo mineral

La potencia mínima industrial del cuerpo, que permite extraer el mineral útil sin arrancar junto con él las rocas encajantes del techo o piso, depende de las condiciones de yacencia del cuerpo mineral, la dureza de la mena y roca encajante, su estabilidad, el sistema de explotación adoptado y los equipos y mecanismos que se utilizan para extraer la mena.

Si la explotación del yacimiento se hace por vía subterránea la potencia mínima extraíble del cuerpo mineral puede variar de 0,5 a 0,7 m si el buzamiento es abrupto y de 1,4 a 1,5 m si este es suave. En el caso de explotación a cielo abierto mediante los trabajos de voladura, la potencia mínima industrial del cuerpo varía generalmente de 3 a 5 m disminuyendo a veces hasta 1 o 2 m, mientras que si se utilizan las excavadoras de rotor (yacimientos de arcilla refractaria o cerámica) dicha potencia es inferior a 0,5 a 1,0 m.

La potencia mínima industrial se argumenta mediante la comparación de diferentes variantes posibles a las cuales corresponden, evidentemente, diferentes contornos de los cuerpos minerales, una cantidad de reservas definida, así como determinados valores de la producción anual de la empresa minera y el costo de extracción del mineral útil. Si los cuerpos minerales son complejos por su estructura interna, esa argumentación es imposible sin considerar a la vez la potencia

máxima admisible de intercalaciones estériles y no industriales que se incluyen en el contorno general del cuerpo.

Si las menas son ricas y permiten la extracción de los cuerpos poco potentes con un empobrecimiento programado, en las condiciones industriales, además de la potencia mínima industrial, se estipula lo posible y necesaria que es la utilización del metro-porciento o el metro-gramo, los cuales representan el producto de la potencia mínima industrial y el contenido mínimo industrial.

Por lo general, en las condiciones industriales se da la potencia mínima normal del cuerpo mineral y esto requiere la estimación correspondiente de las potencias verdaderas que se miden en los cruceros de prospección en otras direcciones.

#### 9.2.4 Potencia máxima admisible de intercalaciones estériles y no industriales que se incluyen en el cálculo de reservas

El cálculo de reservas en el subsuelo debe realizarse sin tener en cuenta el empobrecimiento posible del mineral útil durante su extracción. Por esta razón, dicho índice, en las condiciones industriales, no se establece más que en los casos en que durante la exploración es imposible o económicamente irracional conseguir una geometrización espacial confiable de las intercalaciones estériles y no industriales dentro del cuerpo mineral y extraerlas de manera selectiva durante la explotación. Si se utiliza este índice, los contenidos medios de componentes útiles y dañinos en los cruceros de prospección y bloques de cálculo de reservas, se calculan teniendo en cuenta sus contenidos en todas las capas, tanto meníferas como estériles.

Las posibilidades técnicas para la extracción selectiva de dichas intercalaciones sin arrancar junto con ellas los sectores mineralizados adyacentes, es decir, sin pérdidas complementarias del mineral útil, dependen de los mismos factores estudiados en el epígrafe precedente, al tratar la potencia mínima industrial. Dicho de otro modo, el valor límite del índice en cuestión corresponde a la potencia mínima industrial del cuerpo mineral y puede variar de 0,5 m a 1,5 m en el caso de explotación subterránea y de 0,5 m a 5,0 m al realizar la explotación a cielo abierto. Sin embargo, conviene señalar que si la estructura interna del cuerpo mineral es compleja y la estabilidad de la mena y sus rocas encajantes es considerable, resulta posible organizar la extracción selectiva de las intercalaciones meníferas y estériles de potencia inferior (por ejemplo, hasta 0,1 a 0,3 m durante la explotación subterránea del yacimiento Mansfeld en RDA) después de extraída la primera capa menífera. No obstante, esta variante se realiza solo si son sencillos y claros los límites entre los sectores meníferos y estériles que integran el cuerpo mineral.

La potencia máxima admisible de intercalaciones estériles y no industriales influye mucho sobre la morfología y la estructura interna de los cuerpos minerales (fig. 9.4), calidad del mineral útil, sus reservas, productividad del trabajo durante la explotación del yacimiento, índices técnico-económicos del beneficio y costo de producción del producto final. Este índice de las condiciones industriales es importantísimo para los cuerpos minerales complejos por su estructura interna o para las zonas mineralizadas integradas por una serie de sectores meníferos cercanos separados con rocas prácticamente estériles.

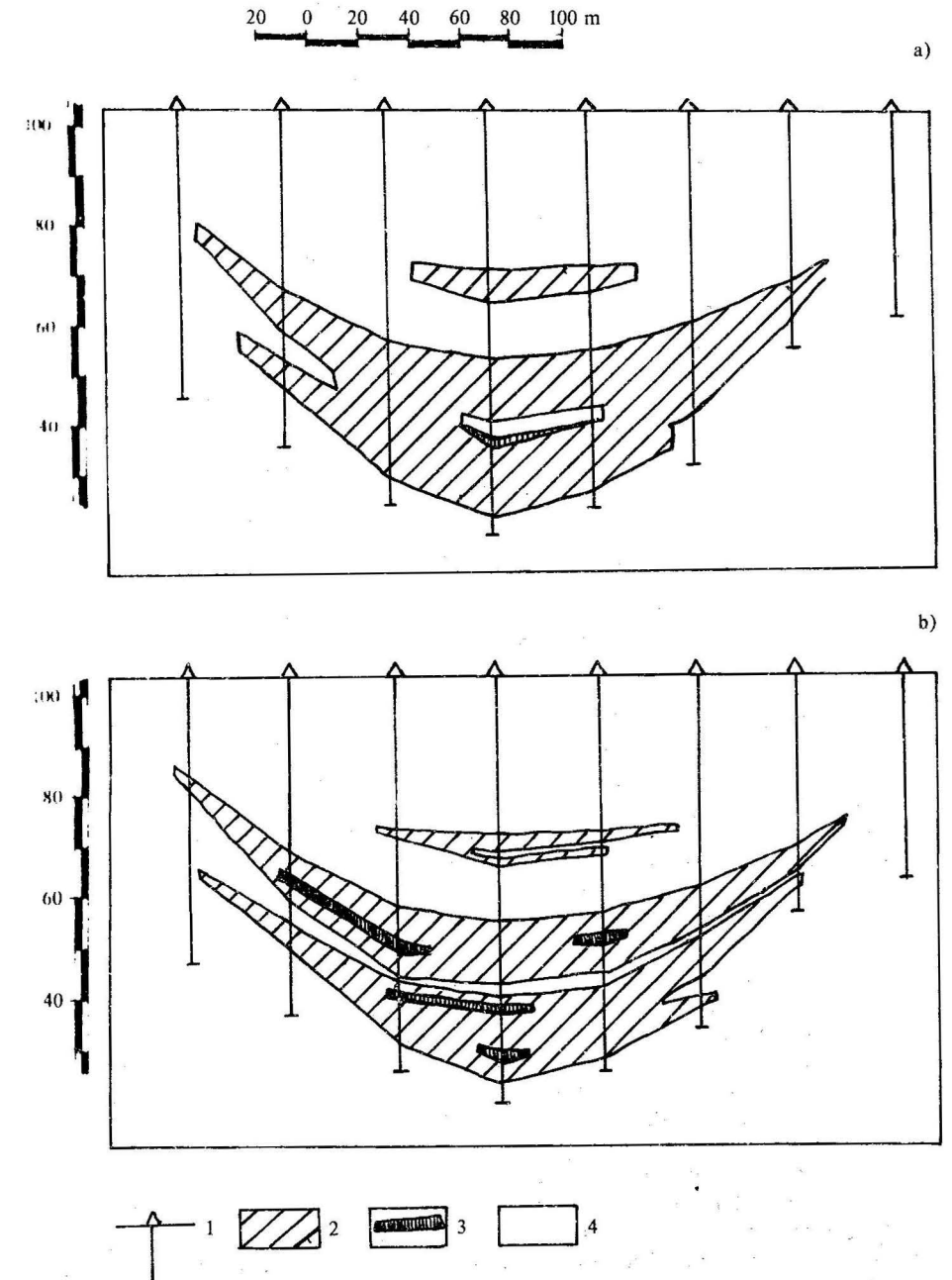


Fig. 9.4 Morfología y estructura interna del cuerpo bauxítico al igualarse la potencia mínima industrial y la potencia máxima admisible de intercalaciones estériles: a) a 3 m; b) a 1 m; 1- perforaciones; 2- bauxitas; 3- bauxita no condicionada; 4- rocas encajantes



La argumentación de dicho índice se realiza junto con la de la potencia mínima industrial sobre la base de la comparación técnico-económica de diferentes variantes posibles de los valores de ambos índices, lo que necesita el contorno de los cuerpos minerales y el cálculo de sus reservas para cada variante. El aumento de la potencia máxima de intercalaciones estériles y no industriales tiene las mismas consecuencias que la reducción de la potencia mínima industrial del cuerpo, es decir, incrementa las reservas de mineral útil, permite aplicar los sistemas de explotación más productivos y disminuye el costo de extracción de la mena, pero a la vez empeora su calidad, hace más costoso el beneficio y más baja la extracción de los componentes útiles durante este proceso. Por lo tanto, el análisis de la influencia conjunta de esos índices de las condiciones industriales es una tarea compleja que generalmente se puede resolver de manera exitosa solo por el organismo de proyección especializado mediante la confección y comparación de algunas variantes de explotación y utilización del yacimiento.

Para resumir el estudio de este índice, se debe destacar que las potencias máximas de intercalaciones estériles y no industriales, así como la mínima industrial del cuerpo mineral, se deben aplicar a los cruceros de prospección independientes y nunca a los bloques de cálculo de reservas.

### 9.2.5 Coeficiente de meniferación mínimo admisible

Este índice, que se establece para los bloques de cálculo de reservas, forma parte de las condiciones industriales solo en los casos en que el componente útil se distribuye en el volumen de la zona menífera o el horizonte productivo, de manera compleja y extremadamente irregular y por consiguiente resulta imposible o económicamente irracional la geometrización espacial exacta de los sectores integrados por el mineral útil industrial o la roca estéril; esas rocas estériles se pueden dejar sin explotar o se pueden extraer selectivamente y enviarlas a las escombreras. Por eso, antes de introducir en las condiciones industriales el coeficiente de meniferación mínimo admisible, destinado a la estimación estadística de los volúmenes de rocas estériles que no se tienen en cuenta por otros índices de dichas condiciones, hay que argumentar la posibilidad de la separación de las menas industriales y rocas estériles durante la explotación del yacimiento.

El valor concreto de este índice se determina a través del análisis técnico-económico comparativo de las variantes de contorno y cálculo de reservas, utilizando o no diferentes coeficientes de meniferación. La complejidad de esta argumentación consiste en la correlación directa y estrecha entre la potencia máxima admisible de intercalaciones estériles y no industriales y el coeficiente de meniferación, así como entre este índice y el contenido de los bordes de componente útil, por cuya razón todos esos índices de las condiciones industriales se deben considerar en conjunto.

Si en las condiciones industriales se da el coeficiente de meniferación mínimo admisible, el contenido medio del componente útil en un bloque de cálculo se determina teniendo en cuenta solo los intervalos meníferos que se utilizaron al calcular el coeficiente de meniferación (su metodología de cálculo está expuesta en el capítulo 2) y se excluyen las intercalaciones estériles y no industriales correspondientes.

En la mayoría de los casos, la utilización del coeficiente de meniferación implica gastos complementarios durante la explotación del yacimiento relacionados con el contorno de los sectores estériles, su extracción selectiva o selección ma-

nual de la masa menífera arrancada con la eliminación de la roca y su transporte hacia las escombreras. La suma de esos gastos ( $Q_{comp}$ ) determinada durante la confección del proyecto de explotación del yacimiento se debe tener en cuenta al calcular el contenido mínimo industrial de componente útil mediante las fórmulas (195), (196) y (197).

En la práctica de la argumentación de las condiciones industriales es admisible cualquier valor del coeficiente de meniferación mínimo (hasta 0,4 a 0,5 para los yacimientos polimetálicos filoneanos y 0,1 para los de mercurio), si este se compensa con un aumento correspondiente del contenido mínimo industrial de componente útil y si se garantiza un funcionamiento económicamente efectivo de la empresa minera.

### 9.2.6 Tipos y clases de materia prima mineral y su contabilización

Si las menas del yacimiento están integradas por varios tipos naturales y se relacionan con diferentes clases industriales en las condiciones industriales, es necesario precisar cuáles tipos y clases tienen que contabilizarse por separado. Para cada tipo o clase de mineral útil, cuyas reservas se calcularán independientemente, hay que establecer las exigencias correspondientes en lo referente a la calidad de la materia prima mineral, que son indispensables para revelar y delimitar dichos tipos y clases. Esta tarea se resuelve a partir de los resultados de los ensayos tecnológicos y teniendo en cuenta las normas ramales y estatales para la materia prima mineral, los concentrados y productos finales.

En dependencia de las particularidades de localización de las menas de cada tipo natural o clase industrial que fueron reveladas durante la exploración, en las condiciones se estipula si estos deben geometrizarse separadamente y formar bloques de cálculo independientes o eso es imposible y hace falta determinar su proporción estadística cuantitativa dentro de los contornos generales de los bloques de cálculo integrados por menas de diferentes tipos y clases. En el primer caso, todos los índices estudiados se deben establecer para cada tipo o clase de mena por separado utilizando la metodología corriente de la comparación técnico-económica de las diferentes variantes posibles. En el segundo caso se argumentan los índices unificados, pero los gastos medios para la extracción y elaboración de una unidad de mena, así como su valor extraíble, se determinan considerando la proporción de diferentes tipos y clases de mineral útil, sus costos de explotación y elaboración, coeficientes de extracción y precios al por mayor de los productos finales correspondientes.

Si es necesario destacar diferentes tipos naturales y clases industriales de mineral útil, en las condiciones industriales también se dan generalmente exigencias especiales que dependen del tipo de materia prima mineral y sus vías de utilización supuestas (humedad; tamaño y forma de los fragmentos; capacidad refractaria; resistencia mecánica; color; aspecto exterior; transparencia; defectos admisibles; capacidad de pulido, etcétera).

### 9.2.7 Coeficiente de destape y límite máximo

El coeficiente de destape máximo admisible ( $K_d^{max}$ ) determina el límite de la explotación a cielo abierto económicamente efectiva; se puede calcular directamen-

te a partir de la igualdad de los gastos para la extracción y elaboración de una unidad de mineral útil por una parte y del valor extraíble resultante por otra. Así, por ejemplo, para los cálculos a nivel de concentrado se utilizan las siguientes expresiones:

$$Q_e + K_d^{\max} Q_d + Q_b = P_c \delta$$

$$\delta = \frac{C_m K_{em} K_b}{C_c}$$

de donde:

$$K_d^{\max} = \frac{P_c C_m K_{em} K_b}{C_c Q_d} - \frac{Q_e + Q_b}{Q_d} \quad (207)$$

Sin embargo, conviene recordar que los gastos para los trabajos de destape ya se tienen en cuenta al calcular el contenido mínimo industrial de componente útil y por eso en las condiciones industriales es suficiente indicar el valor del coeficiente de destape utilizado en dichos cálculos. La fórmula (207) es necesaria solo en los casos en que se requiere revelar la correlación entre el contenido de componente útil y el coeficiente de destape admisible para toda una serie de yacimientos o cuerpos minerales análogos al variar ambos índices dentro de límites muy amplios.

Es preciso señalar que el coeficiente de destape máximo admisible debe relacionarse con los bloques de cálculo de reservas y nunca con un cruceo de prospección independiente. Además, no se debe olvidar que en los cálculos mencionados se utiliza el llamado coeficiente de destape industrial que tiene en cuenta la posición real de los bordes de la cantera, mientras que al delimitar la parte del yacimiento propia de la explotación a cielo abierto es obligatorio utilizar el coeficiente de destape geológico calculado como la relación entre las potencias (volúmenes, pesos) de las rocas de destape y las del mineral útil, observadas en cada cruceo de prospección. Por esta razón, antes de aplicar el coeficiente de destape máximo admisible, hay que corregir su valor calculado y argumentado considerando la diferencia de los volúmenes correspondientes de destape (fig. 9.5). Este índice es importante para trazar el contorno industrial externo del cuerpo mineral o para considerar balanceadas o no balanceadas las reservas de unos u otros bloques de cálculo de reservas.

En los yacimientos cuyos cuerpos minerales se extienden a una profundidad considerable, la explotación se hace generalmente por el método combinado: a cielo abierto en su parte superior y subterráneo en sus horizontes más profundos. El límite en profundidad entre esos dos métodos de explotación se establece en estas ocasiones a partir de la igualdad de sus costos de extracción, o sea:

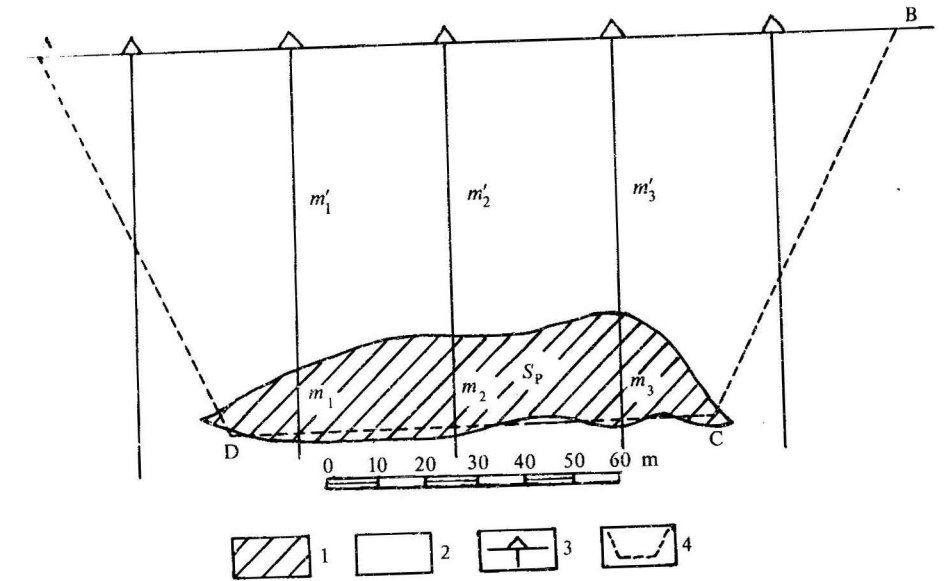
$$Q_e^a + K_d Q_d = Q_e^s$$

donde:

$Q_e^a$  - costo de extracción del mineral útil en el caso de explotación a cielo abierto;  
 $Q_e^s$  - costo de extracción en subterránea.

De esta expresión es fácil deducir la fórmula para calcular el llamado coeficiente de destape límite ( $K_d^{\lim}$ ) que determina las condiciones bajo las cuales la explotación a cielo abierto todavía es económicamente justificada:

$$K_d^{\lim} = \frac{Q_e^s - Q_e^a}{Q_d} \quad (208)$$



$$K_d^i = \frac{S_{ABCD} - S_P}{S_P} = \frac{11\,040 - 1\,860}{1\,860} = \frac{9\,180}{1\,860} = 4,93 : 1 \approx 5 : 1$$

$$K_d^g = \frac{m'_1 + m'_2 + m'_3 \cdot B}{B(m_1 + m_2 + m_3)} = \frac{67 + 61 + 57}{14,5 + 18,0 + 23,5} = \frac{185}{56} = 3,30 : 1$$

$$K_d^i : K_d^g = 5 : 3,3 = 1,51$$

Fig. 9.5 Esquema para revelar la correlación entre el coeficiente de destape industrial ( $K_d^i$ ) y el geológico ( $K_d^g$ ): 1- cuerpo mineral; 2- rocas del destape; 3- perforaciones; 4- proyección del contorno de la cantera

El coeficiente de destape límite para todo el yacimiento o un sector cualquiera es, en esencia, un coeficiente de contorno que corresponde a la relación entre el volumen de rocas de destape que se debe eliminar para profundizar la cantera existente a un horizonte (el último) más y la cantidad de mineral útil que se extraerá en este caso. Este coeficiente no se vincula directamente con el coeficiente de destape geológico o industrial mencionado y por eso su aplicación necesita el trazado de los contornos proyectados de la cantera en los perfiles geológicos. Como esta operación resulta difícil y requiere mucho tiempo, a veces los cálculos se simplifican y en lugar de los límites de escalones de explotación concretos, en esos documentos gráficos se indica la posición aproximada de los bordes de la cantera a partir de sus ángulos máximos admisibles de acuerdo con las propiedades físico-mecánicas del mineral útil y sus rocas encajantes y sobreyacentes.

### 9.2.8 Profundidad máxima de explotación del yacimiento

Si las demás condiciones permanecen iguales, al aumentar la profundidad a la cual yacen los cuerpos minerales se incrementa el costo de explotación, ya que siempre existe una profundidad máxima de explotación del yacimiento que se justifica desde el punto de vista económico.

Si esta profundidad se sobrepasa, la extracción y elaboración de la materia prima mineral resultará no rentable y eso implica la introducción de dicho índice en las condiciones industriales en los casos correspondientes.

Si el yacimiento se explota por la vía subterránea, la profundidad máxima admisible se determina mediante cálculos técnico-económicos directos, que se realizan para diferentes profundidades de explotación. Esos cálculos no dan más que una profundidad teóricamente posible de explotación subterránea y para obtener la solución definitiva hay que compararla con la técnicamente accesible que raras veces sobrepasa 1 000 m.

En la mayoría de los casos en cada región importante se conocen las profundidades máximas posibles de explotación de los principales tipos de minerales útiles bien argumentadas técnica y económicamente con las cuales se recomienda comparar las cifras obtenidas en los cálculos.

Al explotar el yacimiento a cielo abierto, la profundidad máxima de la cantera se determina con más frecuencia por el coeficiente de destape límite que se obtiene mediante el procedimiento gráfico propuesto (epígrafe 9.2.7). Además, en algunos manuales [27] se recomienda calcular esta profundidad por las fórmulas basadas en la utilización de diferentes funciones trigonométricas. Sin embargo, esto no es más que una solución particular de la tarea planteada y se necesitan operaciones de cálculo bastante complicadas por cuyo motivo no aprobamos su utilización práctica.

La profundidad máxima de la cantera, obtenida a través del coeficiente de destape límite (algunas veces también el máximo) tiene que concordar con la profundidad técnicamente posible, que no sobrepasa 500 a 800 m en la URSS para las canteras tanto en funcionamiento como proyectadas.

### 9.2.9 Reservas mínimas de materia prima mineral

Este índice se utiliza raramente en las condiciones industriales (para los yacimientos pequeños, sobre todo los integrados por una serie de cuerpos minerales alejados uno de otro que se explotarán por separado, así como para los yacimientos donde se conocen cuerpos minerales pequeños alejados de los principales). En esos casos, las reservas mínimas de mineral útil sirven de índice necesario para planificar la exploración detallada y luego subdividir las reservas exploradas en balanceadas y no balanceadas.

De manera general, las reservas mínimas de mineral útil se calculan sobre la base de la igualdad de las inversiones capitales en la construcción de la empresa minera y la ganancia total que se obtiene en el transcurso de la explotación del yacimiento. Se conoce que la producción anual de la empresa minera, su costo de producción y la suma de la ganancia, dependen de la morfología y estructura de los cuerpos minerales y de la calidad de la materia prima mineral, es decir, de

los parámetros geólogo-industriales que varían esencialmente al modificarse otros índices de las condiciones industriales (contenido mínimo industrial de componente útil y el de los bordes, potencia mínima industrial del cuerpo mineral, coeficiente de meniferación mínimo admisible y otros). Por eso, la argumentación de las reservas mínimas de mineral útil se debe hacer, si es necesario, para cada variante de los valores de dichos índices.

Al argumentar las reservas mínimas de mineral útil es importantísimo tener en cuenta el factor tiempo, que disminuye considerablemente la suma de la ganancia real que se puede obtener en el caso de la explotación del yacimiento. Sin embargo, el cálculo de la ganancia descontada resulta complejo y poco confiable debido a la falta de datos exactos sobre la producción real de la empresa en cada año de su funcionamiento, por cuya razón es más racional considerar constante la ganancia y corregir de manera conveniente la suma de las inversiones capitales. La ganancia total de explotación del yacimiento se puede expresar por la siguiente fórmula:

$$G = (Z_m - Q_e - Q) RK_u \quad (204)$$

donde:

$Z_m$  - valor extraíble de una tonelada o un metro cúbico de mena;

$R$  - reservas del yacimiento;

$K_u$  - coeficiente de utilización de las reservas.

Como las inversiones capitales en la construcción de la empresa minera ( $I$ ) dentro de  $n$  años de funcionamiento serán iguales a  $I(1+\tau)^n$  podemos escribir que:

$$I(1+\tau)^n = (Z_m - Q_e - Q) RK_u$$

de donde las reservas mínimas de mineral útil se determinan como:

$$R_{\min} = \frac{I(1+\tau)^n}{(Z_m - Q_e - Q) K_u} \quad (205)$$

donde:

$\tau$  - coeficiente normado de efectividad económica comparativa.

Junto con la determinación de las reservas mínimas de mena en muchas ocasiones es necesario calcular las de metal o mineral valioso, ya que este índice tiene un carácter más objetivo y no depende de la riqueza de la mena. Para dicho cálculo se recomienda la siguiente fórmula:

$$R_{\min}^{\text{met}} = \frac{I(1+\tau)^n}{(P_f - Q_f) K_u K K_f} \quad (206)$$

donde:

$P_f$  - precio al por mayor de metal u otro producto final;

$Q_f$  - costo de producción de este producto final;

$K$  - coeficiente de extracción del componente útil durante su beneficio u otro proceso de elaboración preliminar;

$K_f$  - coeficiente de extracción del componente útil durante el tratamiento definitivo del concentrado o semiproducto.

Si se determinan las reservas mínimas de mineral útil para los pequeños cuerpos que acompañan a los principales hay que utilizar, en las fórmulas (205) y



(206), en lugar de las inversiones capitales totales solo los gastos complementarios para los trabajos mineros principales y preparatorios vinculados con la explotación de dichos cuerpos, así como el período de explotación de sus reservas.

Conviene subrayar que al ser iguales las demás condiciones el aumento de la profundidad de yacencia de los cuerpos minerales o su alejamiento de los cuerpos principales del yacimiento implica un incremento considerable de los gastos necesarios para su explotación y, por consiguiente, las reservas mínimas de mineral útil se hacen más grandes. Por eso, al argumentar este índice de las condiciones industriales, se agrupan cuerpos minerales pequeños de acuerdo con su profundidad de yacencia o su distancia de los cuerpos principales y luego se determinan las reservas mínimas de mineral útil para cada grupo de cuerpos por separado.

En conclusión, es innecesario incluir en las condiciones industriales que se elaboran para un yacimiento dado todos los índices estudiados. Por lo general, son suficientes de 3 a 5 índices (los más importantes), ya que la abundancia de estos, que se correlacionan mutuamente, no solo complica mucho la argumentación de las condiciones industriales sino también puede causar el surgimiento de exigencias contradictorias, dificultar el cálculo de reservas y hacer menos confiable la evaluación geólogo-económica del yacimiento.

### 9.3 Eficiencia económica de los trabajos de búsqueda y exploración

La determinación de la eficiencia económica de los gastos para los trabajos de búsqueda y exploración es necesaria para evaluar de manera objetiva los resultados y su importancia para la economía nacional; seleccionar las regiones y formaciones meníferas más favorables que garantizan la obtención de las reservas de minerales útiles con gastos mínimos de medios y tiempo; analizar el nivel técnico-organizativo de los trabajos geológicos realizados y argumentar los gastos máximos admisibles para la exploración de la materia prima mineral.

No obstante su importancia indiscutible, hasta ahora no existe una metodología general para la evaluación de la eficiencia de los trabajos de búsqueda y exploración. Las propuestas más aceptadas en este campo fueron hechas por los científicos soviéticos E.O. Pogrebitsky [25], N.A. Jrushev [8;9], L.P. Kobajidze [13], M.I. Agoshkov y N.A. Jrushev [2], A.F. Strugov [30] y V.I. Ternovoi [26]. La mayoría de los investigadores distinguen la eficiencia económica de los gastos para los trabajos de búsqueda y exploración por una parte y la eficiencia de la ejecución técnico-organizativa por otra y, además, estiman que la eficiencia económica debe evaluarse tanto para la economía del país como para su rama de los trabajos geológicos.

La efectividad de los trabajos de búsqueda y exploración para la economía nacional del país permite evaluar su resultado final a partir del efecto económico de la utilización industrial de las reservas exploradas. Dicha efectividad depende, ante todo, de las particularidades naturales de los objetos geológicos estudiados, mientras que la base científica de la metodología de los trabajos utilizada y el nivel técnico de esos últimos desempeñan un papel secundario. En efecto, la exploración de los cuerpos minerales grandes, cuyas menas son de alta calidad, se ubican en regiones favorables por sus condiciones geógrafo-económicas y yacen a poca profundidad, siempre resultará muy eficiente, inclusive si es bajo el nivel científico-técnico de los trabajos de búsqueda y exploración.

Por el contrario, la exploración perfectamente organizada y correctamente ejecutada desde el punto de vista metodológico será poco eficiente para la economía nacional si los cuerpos minerales son pequeños, la calidad de la materia prima es mediocre y las condiciones minero-técnicas de la explotación son difíciles.

Por lo tanto, la determinación de la efectividad económica de los gastos para los trabajos de búsqueda y exploración desde el punto de vista de la economía nacional no es más que la solución particular de uno de los aspectos de un problema mucho más amplio.

La eficiencia de los trabajos de búsqueda y exploración para la economía nacional se debe evaluar tanto por yacimientos explorados como por tipos de materia prima mineral y ramas de la minería. Sus principales índices son los siguientes:

1. Cantidad y calidad de las reservas exploradas con la precisión de esos datos según yacimientos y regiones meníferas concretas.
2. Importancia de las reservas exploradas en la satisfacción de las necesidades de la economía nacional.
3. Valor monetario de las reservas exploradas ( $VR$ ) que se calcula por la fórmula:

$$VR = \Delta R P_f \delta \quad (209)$$

donde:

$\Delta R$  - incremento de las reservas de minerales útiles de categorías A, B y  $C_1$  sin convertirlas en categoría convencional;  
 $P_f$  - precio al por mayor del producto final que se obtiene a partir de la materia prima mineral;  
 $\delta$  - rendimiento del producto final por unidad de reservas exploradas.

4. Precio de una unidad de reservas exploradas que se obtiene mediante la fórmula (169).
5. Rendimiento monetario de los gastos para los trabajos de búsqueda y exploración ( $RMG$ ). Para calcularlo el Instituto VIEMS (URSS) ha propuesto la siguiente fórmula:

$$RMG = \frac{\Delta R P_f \delta P_s}{I_{be}} \quad (210)$$

donde:

$P_s$  - valor monetario de los productos secundarios que aparecen y se utilizan en el transcurso de los trabajos de búsqueda y exploración;  
 $I_{be}$  - gastos para los trabajos de búsqueda y exploración.

Hay que señalar que si se determinan esos dos últimos índices la suma de los gastos para la realización de los trabajos de búsqueda y exploración debe comprender los gastos para todos los tipos de trabajos geológicos y la materia prima mineral dada a partir del subestadio de búsqueda detallada. Por otra parte, de esos gastos deben excluirse aquellos para la realización de los trabajos de importancia estatal (investigaciones geológicas y geofísicas regionales, trabajos científicos de índole teórica más general, perforación de pozos estructurales y de apoyo, etc.), así como el precio de las excavaciones mineras y del equipamiento que formarán parte de los fondos básicos de la empresa minera.

6. Ganancia de la utilización de las reservas exploradas ( $G_r$ ) que se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$G_r = \frac{\Delta R (P_f \delta - Q_e - Q_f) B}{(1 + \tau)^t} \quad (211)$$

donde:

$Q_e$  - costo de extracción de una unidad de reservas;  
 $Q_f$  - costo de producción del producto final a partir del mineral útil extraído;  
 $B$  - coeficiente que considera la proporción de los gastos para los trabajos de búsqueda y exploración en la suma total de las inversiones capitales en la exploración y asimilación industrial del yacimiento;  
 $\tau$  - coeficiente normado de efectividad económica comparativa;  
 $t$  - período medio entre el fin de la exploración del yacimiento y el final de su explotación, años.

De esta fórmula se deduce que no se pueden admitir plazos considerables entre la exploración del objeto y su puesta en práctica, ya que esto no solo deja sin rendimiento las inversiones capitales hechas para la exploración sino también reduce mucho la eficiencia económica de esta última.

7. Nivel de rentabilidad de los gastos para los trabajos de búsqueda y exploración ( $I_{be}$ ):

$$I_{be} = \frac{G_r}{I_{be}} \quad (212)$$

Como la utilización de numerosos índices resulta poco cómoda M.A. Agoshkov y N.A. Jrushev han propuesto [2] determinar un índice generalizado de la efectividad de los trabajos de búsqueda y exploración para la economía nacional. Según ellos ese índice es el coeficiente de efectividad ( $E_{be}$ ) cuya fórmula de cálculo un tanto simplificada tiene el siguiente aspecto:

$$E_{be} = \frac{(P_f \delta - Q_e - Q_f - E I_e \Delta R K_u)}{T K_{em} I_{be} \alpha (1 + \tau)^t} \quad (213)$$

donde:

$E$  - coeficiente normado;  
 $I_e$  - inversiones capitales específicas por unidad de producción anual de la empresa;  
 $K_u$  - coeficiente de utilización de las reservas;  
 $K_{em}$  - coeficiente de empobrecimiento del mineral útil durante su extracción;  
 $\alpha$  - coeficiente que tiene en cuenta el encarecimiento de los trabajos de búsqueda y exploración debido a los gastos medios ramales vinculados con el estudio de manifestaciones no industriales de la materia prima mineral dada.

El valor inverso al coeficiente de efectividad corresponde al período de amortización de los gastos para los trabajos de búsqueda y exploración.

La efectividad ramal refleja los resultados obtenidos durante los trabajos de búsqueda y exploración por estadios separados en cada yacimiento concreto y se determina por lo correcta y compleja que resultó la ejecución de las tareas geológicas oficiales, por los gastos hechos con este objetivo y la confiabilidad de la información obtenida. La efectividad ramal es necesaria para evaluar lo correcta que fue la argumentación científica de los trabajos de búsqueda y exploración, la

metodología de ejecución adoptada, así como el nivel alcanzado en la utilización de los medios técnicos más modernos.

La efectividad ramal se determina por yacimientos y empresas geológicas a través de los siguientes índices:

1. Cantidad y calidad de las reservas exploradas con su subdivisión por categorías de reservas.
2. Incremento de las reservas exploradas por peso de gastos para los trabajos de búsqueda y exploración ( $\Delta R'$ ) que se calcula por la siguiente fórmula:

$$\Delta R' = \frac{\Delta R}{I_{be}} \quad (214)$$

donde:

$\Delta R$  - reservas de mineral útil incrementadas o nuevamente exploradas, que deben expresarse en categoría convencional  $C_1$ ;

$I_{be}$  - gastos para los trabajos de búsqueda y exploración menos el precio de las excavaciones mineras y el equipamiento que formarán parte de los fondos básicos de la futura empresa minera.

3. Costo de exploración de una unidad de reservas ( $Q_r$ ) de categoría convencional  $C_1$ :

$$Q_r = \frac{1}{\Delta R'} = \frac{I_{be}}{\Delta R} \quad (215)$$

Cuando se trata de minerales útiles complejos a veces se necesita el cálculo del costo de exploración para las reservas de cada componente útil. Para esto hay que dividir los gastos totales de la exploración entre diferentes minerales o componentes útiles de acuerdo con su proporción en el valor extraíble de una tonelada o un metro cúbico de mena, mediante las fórmulas (179) y (180).

4. Volumen específico de diferentes tipos de trabajos (levantamiento geológico, trabajos geofísicos, geoquímicos, mineros, de perforación, muestreo y otros) por unidad de reservas exploradas o incrementadas, expresados en categoría convencional  $C_1$ .
5. Coeficiente de efectividad de la exploración ( $K_{EE}$ ) que representa la relación entre el costo de exploración de una unidad de reservas y su valor extraíble:

$$K_{EE} = \frac{Q_r}{P_f \delta} \quad (216)$$

La aplicación de este coeficiente requiere la elaboración de normativas bien argumentadas de la efectividad de los trabajos geológicos para diferentes tipos de materia prima mineral.

6. Coeficiente de argumentación de los gastos ( $CAG$ ) que fue propuesto por el científico soviético A.F. Strugov [30]; se determina mediante la eliminación de los gastos improductivos ( $GIP$ ) por la siguiente fórmula:

$$CAG = \frac{I_{be} - GIP}{I_{be}} \quad (217)$$

Se consideran improductivos los gastos vinculados con los defectos en la metodología de ejecución de los trabajos geológicos, la tecnología de los trabajos mineros y de perforación y la actividad organizativo-económica de la empresa minera. Aunque este coeficiente es un buen índice generalizador, su determinación

es compleja y poco confiable, ya que resulta difícil la revelación y consideración de los defectos de los trabajos de búsqueda y exploración y ante todo los que son resultado de la imperfección de la metodología de ejecución de los trabajos.

La efectividad organizativo-técnica refleja el nivel de equipamiento técnico y la organización general de los trabajos en las brigadas, misiones y empresas geológicas. Esta se evalúa sobre la base de los siguientes índices:

- a) plazos planificados y reales de ejecución de los trabajos;
- b) productividad del trabajo de cada tipo por trabajador, brigada-turno, instalación-turno, etc;
- c) costo de producción de cada tipo de trabajo.

Esos índices se determinan utilizando la metodología corriente adoptada en los organismos de planificación económica y son indispensables para comparar de manera objetiva la actividad económica de diferentes empresas geológicas, estimular el progreso técnico y la aplicación de las formas de organización del trabajo progresivas en todos los estadios de los trabajos geológicos.

Como conclusión, para aumentar la eficiencia económica de los trabajos de búsqueda y exploración conviene señalar que la principal condición es una selección científicamente argumentada de los objetos de exploración, ya que esto garantiza, ante todo, el estudio de los yacimientos grandes que se caracterizan por una alta calidad de la materia prima y buenas condiciones minero-técnicas de explotación.

## CAPÍTULO 10

### *Exploración en la empresa minera en funcionamiento*

Después que ha terminado la exploración detallada del yacimiento y este se transforma en objeto de la asimilación industrial, los trabajos de exploración no se pueden considerar finalizados definitivamente. En la empresa que se está proyectando, construyendo o que ya está funcionando, los geólogos tienen que resolver:

- a) toda una serie de tareas vinculadas con la precisión de los datos sobre las condiciones minero-técnicas de ejecución de las excavaciones mineras principales;
- b) la selección de terrenos para las construcciones industriales, civiles y para las escombreras;
- c) el conocimiento más profundo y exacto de las reservas ya exploradas;
- d) la revelación de los recursos minerales complementarios.

Para solucionar esas tareas se organiza un servicio geológico de la mina que funciona ya desde los primeros días de existencia de la empresa minera hasta el final de la explotación del yacimiento.

Para satisfacer las necesidades de la empresa este servicio geológico realiza un complejo de trabajos mutuamente relacionados que abarcan tres aspectos principales:

- a) exploración del yacimiento en explotación dentro de los límites del coto minero;
- b) exploración de explotación;
- c) Control de la calidad y totalidad de la extracción de las reservas de mineral útil y prestación de ayuda a la empresa minera en el perfeccionamiento de la tecnología de extracción y elaboración de la materia prima mineral.

#### *10.1 Exploración del yacimiento en explotación dentro de los límites del coto minero*

Esos trabajos se relacionan con el quinto estadio de los trabajos de búsqueda y exploración, de acuerdo con el sistema de estadios adoptado por el Ministerio



de la Industria Básica de Cuba. Dichos trabajos se pueden realizar tanto por el servicio geológico de la empresa minera como por las empresas geológicas especializadas según el convenio correspondiente.

El nombre de este estadio de los trabajos de exploración no refleja su contenido más que parcialmente, ya que además de la exploración propiamente dicha también abarca la búsqueda de cuerpos minerales y áreas meníferas aún desconocidas en los flancos y horizontes profundos del campo de mina. Dicho de otro modo, los trabajos de este estadio, por su grado de detalle, se pueden corresponder con la búsqueda detallada o evaluativa, exploración orientativa o detallada. También es típico que estos estadios y subestadios como norma, no se diferencien de manera independiente sino que se reúnen en un proceso continuo y único, por cuanto en la empresa minera en funcionamiento esta organización de los trabajos es más racional y eficiente.

En este estadio de los trabajos, el objeto de estudio es la parte del yacimiento que ha sido puesta oficialmente a disposición de la empresa minera para que esta pueda realizar la explotación del mineral útil, o sea, el coto minero. Por consiguiente, los límites dentro de los cuales se deben organizar los trabajos de exploración siempre están bien determinados, tanto en el plano como en la profundidad y por lo general el geólogo no tiene que argumentarlos. La necesidad de esa argumentación se presenta solo si para la solución completa y confiable de las tareas planteadas se requiere la organización de algunos trabajos fuera del coto minero.

La exploración dentro de los límites del coto minero tiene como objetivos principales:

- a) la obtención de la información complementaria que garantiza la precisión del proyecto de explotación del yacimiento;
- b) la ejecución eficaz y con plena seguridad de las excavaciones mineras principales;
- c) una correcta utilización de la superficie actual para las construcciones industriales, civiles y viales, así como para la ubicación de las escombreras;
- d) la determinación de las perspectivas generales del desarrollo de la empresa minera.

Para lograr estos objetivos es indispensable resolver tareas particulares que son las siguientes:

1. Estudio detallado de las condiciones hidrogeológicas, ingeniero-geológicas y minero-técnicas en los lugares donde se proyecta la ejecución de las excavaciones mineras principales (pozos de mina, cortavetas y galerías principales, trincheras de corte y otros).
2. Precisión de la estructura tectónica del campo de mina o de cantera.
3. Aclaración de las particularidades de la variabilidad de la potencia y estructura interna de los cuerpos minerales y características de las rocas encajantes y sobreyacentes en determinados bloques o sectores del campo de mina (de cantera).
4. Comprobación del carácter no menífero de los terrenos destinados para las construcciones permanentes y para las escombreras.

5. Búsqueda y exploración de nuevos cuerpos minerales en los flancos del yacimiento y sus horizontes profundos.
6. Reevaluación del yacimiento y a veces incluso de las escombreras antiguas de la empresa minera en el caso de modificación de las condiciones industriales para la materia prima mineral.

Una solución correcta de las tareas enumeradas contribuye a la ampliación de la base mineral de la empresa minera en activo y permite prorrogar los plazos de funcionamiento, asegura una utilización más completa y racional del subsuelo y aumenta la efectividad de las inversiones capitales en la construcción de las empresas mineras.

Como la exploración del yacimiento dentro de los límites del coto minero puede corresponder a cualquier estadio o subestadio principal de la búsqueda y exploración, el carácter de los trabajos y sus particularidades varían mucho. Por otra parte, al escoger el sistema de los trabajos de búsqueda o de exploración hay que tener en cuenta el rasgo característico más general de este estadio que es una amplia utilización de las excavaciones mineras, perforaciones subterráneas, métodos geofísicos subterráneos y de carotaje, prácticamente en todas las etapas de estudio del coto minero. Además, los métodos de comparación de los datos de la exploración y la explotación, de rarefacción y densificación experimental de las redes de exploración resultan los más importantes para la argumentación de la densidad racional de la red.

Una solución exitosa de las tareas vinculadas con el descubrimiento y la exploración de los cuerpos minerales nuevos, así como las apófisis y partes desplazadas de los cuerpos ya conocidos solo se puede lograr sobre la base de una generalización científica correcta y a tiempo de todos los datos adquiridos en lo referente a la geología, exploración y explotación del yacimiento y en un conocimiento confiable de los factores que controlan la ubicación espacial de los cuerpos minerales y columnas meníferas.

Los ensayos tecnológicos durante este estadio de la exploración se realizan generalmente a nivel de muestras de laboratorio ampliadas, con el fin de probar la identidad de las clases de mena industriales reveladas en nuevos cuerpos minerales y zonas meníferas y las que fueron establecidas y estudiadas detalladamente para los cuerpos que se están explotando. Solo si se descubren nuevas clases industriales del mismo mineral útil o tipos naturales de materia prima mineral anteriormente desconocidas, serán necesarias pruebas tecnológicas industriales. Esa necesidad también surge si son importantes las diferencias en las propiedades tecnológicas del mineral útil de la misma clase industrial para los cuerpos minerales explotados y nuevos.

Si las reservas complementarias de mineral útil, obtenidas como resultado de la exploración dentro de los límites del coto minero, son relativamente pequeñas y no pueden influir mucho sobre la producción anual de la empresa minera, estas se consideran como recursos minerales adicionales y se evalúan de acuerdo con las condiciones industriales permanentes. Esas reservas se utilizan para precisar la evaluación geólogo-económica del yacimiento realizada con antelación y se exploran a medida de las necesidades de la producción.

Si son superiores en más de 50% las nuevas reservas reveladas, en comparación con las anteriormente aprobadas, hay que realizar una vez más la evaluación del yacimiento y la argumentación de las condiciones industriales, recalcular todas las reservas del yacimiento y presentarlas para su aprobación a la comisión

de reservas correspondientes. Los resultados de la reaprobación de las reservas pueden servir de base para plantear el problema de la reconstrucción de la empresa minera con un incremento de su producción anual.

En algunos casos muy raros y extremadamente favorables el estudio de los sectores periféricos y horizontes profundos del coto minero puede tener como resultado el descubrimiento de nuevos yacimientos independientes tanto del mismo mineral útil como de otros tipos de materia prima mineral.

En estas ocasiones se necesita una reevaluación total del yacimiento, que tenga en cuenta las reservas y la calidad del mineral útil de esos yacimientos nuevos con vistas a construir un complejo industrial más potente. Sin embargo, en este caso la exploración dentro de los límites del coto minero se vuelve un complejo independiente de los trabajos de búsqueda y exploración, que se ejecutan por estadios, según los principios y métodos generales de la organización de los trabajos de esta índole, y sus resultados se dan en un informe técnico-económico, cálculo de reservas preliminar y luego el informe geológico general sobre los trabajos realizados en el yacimiento con el cálculo de reservas definitivo.

## 10.2 Exploración de explotación

La exploración de explotación que es el sexto estadio de los trabajos de prospección geológica de acuerdo con la disposición adoptada por el Ministerio de la Industria Básica de Cuba se realiza por el servicio geológico de la empresa minera asignándose las inversiones capitales indispensables a expensas de la actividad principal de esta; los gastos correspondientes forman parte del costo de producción de su producto mercantil.

El objetivo principal de la exploración de explotación es la obtención de datos geológicos seguros y necesarios para la planificación operativa (desde un turno de trabajo hasta una decena de días), corriente (dentro de un año) y perspectiva (desde uno hasta cinco años) de la extracción y elaboración del mineral útil. De acuerdo con esto, todo el yacimiento no puede ser objeto de dicha exploración, ya que eso provocaría un malgasto de las inversiones capitales sin beneficio alguno. La información sobre las reservas de mineral útil tiene que precisarse y ampliarse gradualmente a medida que estas se descubren, preparan y extraen y por eso las áreas donde se ejecuta la exploración de explotación deben ser colaterales a las zonas actuales de explotación del mineral útil y tener un avance de uno a tres años en comparación con la posición del frente de los trabajos mineros.

Entre las tareas particulares que se deben resolver durante este estadio de la exploración conviene mencionar las siguientes:

1. Precisión de los contornos de los cuerpos minerales, su estructura interna y sus condiciones de yacencia.
2. Estudio sistemático de la composición sustancial y las particularidades texturo-estructurales de la materia mineral para sus diferentes clases industriales.
3. Geometrización espacial exacta de los sectores integrados por la materia prima mineral de diferentes clases industriales dentro de los cuerpos minerales, así como de las columnas meníferas, partes estériles y no industriales. Esta tarea es muy importante en el caso de yacimientos complejos, ya que su solución satisfactoria resulta imposible en el estadio de la exploración detallada.

4. Descubrimiento de las acumulaciones de minerales útiles anteriormente desconocidos (apófisis, cuerpos paralelos, nidos aislados, partes desplazadas de los cuerpos minerales, etc.) dentro de la zona de explotación proyectada de los cuerpos minerales principales.
5. Precisión de las propiedades físico-mecánicas de las menas y sus rocas encajantes, condiciones hidrogeológicas, ingeniero-geológicas y minero-técnicas de explotación de los sectores y bloques de explotación concretos.
6. Garantía de la seguridad del trabajo durante la ejecución de las excavaciones mineras y labores de arranque.
7. Incremento del grado de conocimiento de las reservas de mineral útil que se relacionan con las categorías  $C_1$  y  $C_2$  con vistas a convertirlas en categorías más altas A y B. La importancia de esta tarea se explica por el hecho de que después de finalizada la exploración detallada las reservas de categorías  $C_1$  pueden formar 70% y aún más de las reservas totales de categorías industriales ( $A+B+C_1$ ), mientras que para planificar la extracción del mineral útil, su grado de estudio (sin hablar ya de las categorías  $C_2$ ) es insuficiente.

Según sus objetivos, todos los trabajos relacionados con la exploración de explotación en un yacimiento se pueden dividir convencionalmente en dos subestadios. En dependencia de las particularidades concretas del yacimiento y el carácter de la empresa minera dichos subestadios pueden realizarse por separado o unirse en un proceso continuo.

El primer subestadio es la exploración de explotación anticipada, que se ejecuta al mismo tiempo que el laboreo de las excavaciones mineras principales de preparación y de corte o incluso con un avance con respecto a estas. Su objetivo es la precisión de los datos sobre las reservas de mineral útil y sus condiciones de explotación en los sectores que se están descubriendo o preparando para los labores de arranque y la información adquirida durante este subestadio se utiliza en la planificación corriente y perspectiva de la actividad de la empresa minera.

El segundo subestadio corresponde a la exploración de explotación acompañante que se realiza al mismo tiempo que las labores de arranque. Sus tareas principales son la precisión de los contornos de los sectores industriales del cuerpo mineral dentro de cada bloque que se está explotando y la geometrización espacial exacta de diferentes clases industriales de mineral útil en dichos bloques. Los resultados de este subestadio garantizan la planificación operativa de las labores de arranque.

La exploración de explotación se realiza durante todo el período de funcionamiento de la empresa minera de acuerdo con los proyectos y presupuestos anualmente aprobados por esta.

La organización y ejecución de los trabajos de este estadio tienen sus rasgos característicos en comparación con la exploración orientativa y detallada.

Ante todo, la opción de los medios técnicos de la exploración de explotación depende no solo de las particularidades naturales del yacimiento sino, y especialmente, de la forma y sistema de explotación adoptado, el método de extracción del mineral útil (total o selectivo), el nivel admisible de las pérdidas y empobrecimiento, los métodos de beneficio o clasificación de la masa menífera arrancada y otros parámetros de la explotación. Además, los labores de prospección de este estadio se ubican, como norma, según el sistema ya existente de las excava-

ciones mineras de los horizontes de explotación principales o según los escalones de explotación en la cantera.

Durante este estadio, al explotarse el yacimiento a cielo abierto se utilizan casi exclusivamente los sistemas de perforación con una amplia utilización de barrenos para voladura y métodos geofísicos de carotage. Durante la explotación subterránea, el papel predominante lo desempeñan los sistemas combinados, principalmente las perforaciones subterráneas y los barrenos. En esos casos también los métodos geofísicos subterráneos y de carotage (métodos de ondas radioeléctricas, carotage magnético, exploración eléctrica, carotage gamma-gamma y otras) pueden ser de gran ayuda.

La configuración de la red para la exploración de explotación se determina en primer lugar por el sistema de explotación adoptado, la posición concreta de los pisos y subpisos y horizontes de explotación y la configuración de los bloques de explotación. Con frecuencia se utilizan las redes geométricas regulares y solo raras veces se emplean las irregulares y los sistemas de líneas o de secciones horizontales, inclusive con ubicación de las perforaciones en abanico. Por otra parte, durante la exploración de explotación, más frecuentemente que en los estadios precedentes de los trabajos geológicos, se utilizan los laboreos de prospección ubicados fuera de la red general y destinados a precisar la morfología y las condiciones de yacencia de los cuerpos minerales, la posición de las estructuras que controlan la meniferación, las zonas acuíferas e inestables, las cavidades importantes en el macizo de rocas delante de las excavaciones mineras que avanzan, etcétera.

Al determinar la densidad de la red de exploración el papel más importante lo desempeñan los métodos de comparación de los datos obtenidos durante la exploración y explotación para los sectores ya agotados, métodos matemáticos de rarefacción y densificación experimental de las redes existentes. Cualquiera que sea el método que se utilice con este objetivo, la argumentación debe basarse en la determinación exacta de los valores promedio de los parámetros geólogo-industriales más importantes, estableciéndose de antemano sus errores máximos admisibles.

En muchas ocasiones, la densidad de la red para la exploración de explotación depende directamente del sistema de explotación adoptado. Por ejemplo, al ser iguales las demás condiciones, el sistema de derrumbe por pisos necesita una red de exploración más densa y mayores volúmenes de los trabajos correspondientes que el sistema con almacenamiento del mineral o con relleno del espacio laboreado. También se necesita una red de exploración más densa para organizar la extracción selectiva de los cuerpos minerales de estructura interna compleja, reducir las pérdidas y el empobrecimiento del mineral útil, y garantizar una constante proporción de diferentes clases industriales en la masa menífera extraída.

La densidad definitiva de la red de exploración durante esta etapa puede ser muy grande, y alcanzar 42 x 12 m y a veces incluso 6 x 6 m.

Durante la exploración de explotación anticipada en los yacimientos que se explotan a cielo abierto, se presta la mayor atención al estudio de la variabilidad de la potencia y el carácter de las rocas dentro de los bloques y sectores donde se planifican los trabajos de destape. Para resolver esta tarea la red de exploración puede ser mucho menos densa, por lo general de 2 a 4 veces menos que la necesaria para precisar los datos sobre las reservas de mineral útil que se preparan para la extracción.

Por otra parte, en comparación con los estadios precedentes, durante la explotación de explotación se incrementa mucho el volumen de la documentación geológica en las excavaciones mineras, lo que a veces se puede utilizar con éxito para precisar los factores que controlan la localización de la meniferación, las particularidades de la estructura tectónica del yacimiento y por consiguiente para hacer menos densa la red de exploración. Sin embargo, conviene señalar que la abundancia de los materiales de la documentación geológica inicial de las excavaciones mineras y perforaciones muy a menudo hace difícil su análisis y generalización y reduce la efectividad de esos trabajos. Por eso, en el estadio de la explotación de explotación resulta extremadamente importante una adecuada aplicación de los métodos de documentación geológica actuales y de avanzada, basados en la utilización de tarjetas perforadas.

Uno de los rasgos característicos de la exploración de explotación es el hecho de que sus laboreos son de poca profundidad y pueden cortar los cuerpos minerales solo parcialmente, sin atravesar toda su potencia, mientras que durante los estadios de los trabajos geológicos precedentes este procedimiento se califica como un error de los más graves. Se debe destacar que para la exploración de explotación esto es correcto y está bien justificado, ya que los bloques y sectores que se van a estudiar están estrictamente delimitados y la exploración de los horizontes más profundos o sectores de los cuerpos minerales más alejados se realiza posteriormente con gastos menores.

El estudio de la calidad del mineral útil en este estadio se caracteriza por un aumento considerable del número de muestras que se toman y analizan y la reducción del programa de análisis y ensayos que se precisa de acuerdo con las exigencias de las condiciones industriales permanentes, normas estatales y ramales concretas. Por eso se prefieren los métodos de toma de muestras más productivos y baratos (de barreno, por surco punteado, de puntos) y se utilizan ampliamente los métodos para la determinación indirecta de la calidad de la materia prima mineral sin la toma de muestras (métodos geológicos, nucleares, geoquímicos y otros).

Durante la ejecución de los trabajos de este estadio se producen cambios permanentes en la calidad de las reservas exploradas y su grado de conocimiento. Las reservas de mineral útil pueden tanto aumentar a causa del descubrimiento de cuerpos minerales y columnas meníferas nuevas, apófisis y partes desplazadas de los cuerpos ya conocidos, como reducirse debido a la revelación de estrechamientos de los cuerpos minerales, sectores estériles y no industriales, dentro de dichos cuerpos minerales, así como a causa de la extracción de la materia prima mineral y las pérdidas que la acompañan. Por esta razón, surge la necesidad de la computación corriente, operativa, de dichos cambios y la preparación anual del balance de reservas del yacimiento (referido a su estado el 1 de enero del próximo año).

Al evaluar el estado de la base mineral de la empresa minera en funcionamiento hay que tener en cuenta no solo el grado de estudio de las reservas, sino también su grado de preparación para la extracción. Según este índice se distinguen cuatro grupos de reservas que deben contabilizarse por separado:

1. Reservas descubiertas situadas por arriba de las excavaciones mineras principales (cortavetas, socavones, galerías, trincheras de corte); si la explotación se hace a cielo abierto en la zona de reservas deben estar terminados los trabajos de destape.



2. Reservas preparadas que se encuentran dentro del contorno de las excavaciones mineras de preparación, las cuales dividen el piso de explotación en bloques y sectores de explotación.
3. Reservas listas para la extracción que se delimitan por las excavaciones mineras de corte ejecutadas dentro del bloque de explotación;
4. Reservas en los pilares de seguridad permanentes y temporales.

La proporción óptima de las reservas de los tres primeros grupos varía en función del tipo de mineral útil, grado de complejidad de la constitución geológica del yacimiento y producción anual de la empresa minera.

Para calcular las reservas de minerales útiles en este estadio de los trabajos de exploración se utilizan ampliamente los métodos de bloques de explotación y bloques geológicos, con menos frecuencia los métodos de secciones (perfiles) y de isolíneas y casi no se aplican los restantes métodos. Durante el cálculo de reservas es obligatorio comparar los resultados obtenidos con las reservas anteriormente aprobadas sobre la base de la exploración detallada de los bloques y sectores correspondientes y analizar las magnitudes y causas de las diferencias reveladas. Esto es indispensable para elaborar las recomendaciones sobre el perfeccionamiento ulterior de la metodología de los trabajos de búsqueda y exploración en otros yacimientos de minerales útiles del mismo tipo.

### *10.3 Prestación de ayuda a la empresa minera en el perfeccionamiento de la tecnología de extracción y elaboración del mineral útil*

La exploración de explotación hace posible una correcta y confiable planificación del funcionamiento de la empresa minera, pero es incapaz de resolver las complejas y diversas tareas relacionadas con el mantenimiento geológico de la extracción y elaboración del mineral útil; su solución es el trabajo diario del servicio geológico de minas. Esas tareas son las siguientes:

1. Control de la calidad del mineral útil que se está extrayendo y expidiendo a los consumidores.
2. Aseguramiento de una calidad estable del mineral útil que se envía a las plantas de beneficio u otras instalaciones de tratamiento de la materia prima mineral.
3. Lucha contra las pérdidas y el empobrecimiento del mineral útil durante su extracción y transporte.
4. Control de la calidad y totalidad de la extracción de las reservas de mineral útil.
5. Estudio de las propiedades físicas del mineral útil y sus rocas encajantes con el fin de establecer normativas argumentadas para la ejecución de los trabajos mineros y de perforación y garantizar la estabilidad de los bordes en las canteras y la seguridad de las labores de arranque en las minas.
6. Determinación de las condiciones ingeniero-geológicas para las construcciones industriales y civiles que se realizan por la misma empresa minera y, si esto es necesario, búsqueda y exploración de materiales de construcción corrientes.

7. Contabilización operativa de los cambios corrientes en las reservas de mineral útil.
8. Protección de las áreas meníferas contra las construcciones de todo tipo y la ubicación de las escombreras.

El servicio geológico se crea al mismo tiempo que empieza la construcción de la empresa minera. Sus formas concretas de organización y su plantilla de personal dependen de muchos factores; los más importantes son: la escala y estructura de la empresa, la complejidad y variabilidad de los cuerpos minerales que se están explotando, el sistema de explotación adoptado, la producción anual de mena, etc. El personal total de este servicio, incluso los geólogos de sectores, técnicos geólogos, obreros para el muestreo, a veces hidrogeólogos y si es necesario también los perforadores, mineros y técnicos en explosivos, puede variar en una mina o cantera de 5 a 30 personas y en los grandes combinados minero-beneficiarios alcanza de 50 a 100 personas y aún más.

Para resolver las tareas mencionadas, el servicio geológico, en contacto estrecho con los trabajadores de los departamentos de Topografía minera, Control técnico, Seguridad del trabajo y con los dirigentes de los sectores de explotación, realiza, sistemáticamente, un amplio complejo de trabajos muy diversos. El volumen y los objetivos de este texto no permiten caracterizar con detalle todos esos trabajos y por eso se prestará atención solo a los más importantes.

En los comienzos del funcionamiento del servicio geológico de minas se debe realizar el análisis y la generalización de todos los materiales geológicos de prospección disponibles y otros sobre el yacimiento (informes geológicos sobre los trabajos ejecutados en diferentes estadios, informes sobre las investigaciones científicas de interés, documentos de las comisiones de reservas relativas a la aprobación de las reservas de mineral útil del yacimiento, proyecto para la explotación de este). Dicho análisis tiene como objetivo la revelación de los defectos y las deficiencias de los trabajos ya realizados y el planteamiento de los problemas que los geólogos de minas deben resolver en primer lugar. Al hacerlo hay que prestar suma atención a la protección del medio y a la utilización completa y compleja del subsuelo.

Luego es necesario confeccionar una colección patrón de los tipos naturales y clases industriales de mena y sus rocas encajantes, precisar su clasificación, elaborar y aprobar el sistema de signos convencionales (leyenda) para la documentación geológica inicial y generalizada y adoptar las formas principales de dicha documentación.

Después de iniciada la explotación del yacimiento y la acumulación de datos complementarios sobre la morfología, estructura interna, condiciones de yacencia de los cuerpos minerales y calidad del mineral útil, el servicio geológico de minas debe controlar sistemáticamente la confiabilidad del cálculo de reservas y su característica cualitativa por sectores y bloques de explotación. Con este objetivo se hace la comparación de los contornos de los cuerpos minerales y diferentes clases industriales de mena que fueron adoptados en el proyecto de explotación, sobre la base de los resultados de la exploración previa, con los contornos reales observados durante la ejecución de las excavaciones mineras y labores de arranque. Los datos así obtenidos se utilizan para precisar los índices técnico-económicos de explotación del yacimiento y el tratamiento de la materia prima mineral (variaciones de los límites de los trabajos de destape y la profundidad de la explotación a cielo abierto, del coeficiente de agotamiento del destape, la tasa de amortiza-

ción, el rendimiento del concentrado y su calidad, etc.), así como para corregir la tecnología de los trabajos de extracción en la empresa minera.

Para controlar diariamente la calidad del mineral útil que se está extrayendo y expidiendo por la empresa minera y asegurar una constante calidad de la materia prima mineral mediante un mezclado conveniente de la masa menífera extraída en diferentes bloques o sectores del yacimiento, se organiza un muestreo regular de los cuerpos minerales en las excavaciones mineras de preparación, de corte y de arranque. Además, es indispensable el muestreo de la masa menífera extraída en la zona de arranque, los medios de transporte, pilas y almacenes. El método de toma de muestras se selecciona según las reglas generales y de acuerdo con el tipo de mineral útil, la variabilidad de su calidad, las condiciones de trabajo y tipo de muestras.

El largo de una muestra individual corresponde a la potencia de la capa que se extrae por separado. Como norma, la distancia entre las muestras contiguas disminuye considerablemente (hasta 2 a 10 m), ya que cada muestra debe caracterizar un volumen bien determinado y relativamente pequeño del mineral útil (por lo general 50 a 200 m<sup>3</sup>) correspondiente a la masa mineral que forma un lote independiente.

Esto implica un aumento brusco de los volúmenes y gastos del muestreo, por cuya razón el servicio geológico de minas utiliza ampliamente métodos rápidos y baratos (geológicos, geofísicos y geoquímicos) para la determinación indirecta de la calidad del mineral útil sin la toma de muestras.

Si en los estadios precedentes de los trabajos de búsqueda y exploración la posibilidad de utilización compleja de las menas y rocas del yacimiento no fue establecida de manera confiable o los resultados obtenidos perdieron su valor como consecuencia del progreso reciente en el campo de extracción de los componentes secundarios entonces hay que organizar los trabajos detallados correspondientes. Con este objetivo, en primer lugar, es necesario estudiar la composición química y mineral de cada tipo natural de mineral útil mediante muestras por secciones cortas y las monominerales y luego realizar los ensayos tecnológicos de las muestras agrupadas en los laboratorios, lo que servirá de base para un mapeo tecnológico. Además, debe estudiarse la distribución de las impurezas valiosas en los concentrados y desechos de tratamiento del mineral útil.

Para controlar la totalidad de la extracción del mineral útil, si sus contactos con la roca encajante son confusos, hay que ejecutar un muestreo sistemático de las paredes del espacio laboreado cuyos resultados deben confirmar el hecho de que fuera de la zona laboreada los contenidos de componentes de interés son inferiores al mínimo industrial o al de los bordes.

Una de las tareas más importantes del servicio geológico de minas es el levantamiento subterráneo que persigue los siguientes objetivos:

- a) precisión de la morfología, estructura interna y condiciones de yacencia de los cuerpos minerales;
- b) contorno de las clases industriales de mineral útil;
- c) determinación de la ubicación espacial y las columnas meníferas;
- d) revelación de los índices de acúñamiento de los cuerpos minerales: brechas premeníferas no mineralizadas, aumento brusco del ángulo de buzamiento del cuerpo mineral, ramificación del cuerpo compacto en una serie de intercala-

ciones finas, aumento de la proporción de minerales estériles en la mena, proyección del cuerpo mineral hacia la zona de rocas desfavorables y otros;

- e) descubrimiento y trazado de las fallas dividiéndolas en premeníferas, meníferas y postmeníferas;
- f) determinación de la dirección y amplitud del desplazamiento relativo de los bloques tectónicos.

Los mapas y planos geológicos subterráneos se confeccionan en una base topográfica minera a escalas de 1:200 a 1:5 000, las más corrientes son las escalas 1:500 a 1:1 000. Los métodos que se utilizan con esta finalidad son los mismos que para el levantamiento geológico normal, pero la información es otra: una documentación geológica detallada de las excavaciones mineras y perforaciones subterráneas.

Durante el servicio geológico de las minas se presta una gran atención a la contabilización de las pérdidas y el empobrecimiento del mineral útil y la elaboración de las medidas destinadas para reducirlas.

Se conocen como pérdidas las reservas de mineral útil que se quedan en el subsuelo por condiciones minero-geológicas desfavorables o razones organizativas. Las pérdidas pueden ser tanto temporales como permanentes.

Se llama empobrecimiento a la dilución del mineral útil con las rocas estériles o poco mineralizadas, cuyo efecto es el empeoramiento de la calidad de la materia prima mineral.

Las pérdidas y el empobrecimiento se vinculan mutuamente (por ejemplo, el empobrecimiento aumenta si se pierde la mena rica en pilares de seguridad) y surgen por muchas causas que se pueden clasificar de la siguiente manera:

*Pérdidas y empobrecimiento por condiciones geológicas e hidrogeológicas:*

Estas pérdidas ocurren en los siguientes casos:

1. Al ser sólidos los contactos entre la mena y su roca encajante, lo que hace imposible su separación durante la explotación.
2. En el caso de contactos complejos y poco visibles de los cuerpos minerales, sobre todo si estos son de poca potencia.
3. A causa de la inestabilidad del mineral útil y sus rocas encajantes.
4. Como consecuencia de las intercalaciones e inclusiones estériles dentro del cuerpo mineral, desconocidas durante la exploración del yacimiento.
5. Por afluencias de agua importantes y posibilidad de inundación de las excavaciones mineras por las aguas subterráneas de alta presión hidrostática.

*Pérdidas y empobrecimiento debido al sistema de explotación adoptado*

Se deben a los siguientes factores:

1. Pilares de seguridad indispensables para un sistema de explotación dado.
2. Imposibilidad de una extracción completa de la masa menífera arrancada de las cámaras de explotación:
3. Como consecuencia de la utilización parcial de la mena para rellenar el espacio laboreado.
4. En el techo y piso del cuerpo mineral, en el caso de explotación a cielo abierto y en los contactos de diferentes capas durante su extracción selectiva.

*Pérdidas y empobrecimiento a causa de la ejecución incorrecta de los trabajos mineros*

Tienen lugar como consecuencia de:

1. Pilares de seguridad que no fueron previstos por el proyecto de la explotación:
2. Ejecución incorrecta de las labores de arranque: ubicación de los cuerpos paralelos en la zona de derrumbe que se forma durante la explotación de los cuerpos minerales parciales; colocación de las rocas de destape sobre los sectores donde el mineral útil no fue extraído; violación del orden de explotación de los pisos y sectores; fortificación inoportuna de las excavaciones mineras; extracción de los pilares de seguridad antes de que sea necesario, etc.
3. Falta de observación de las reglas de transportación del mineral útil extraído.

Se conocen las pérdidas proyectadas, normativas, planificadas y reales. Las proyectadas corresponden a la parte de las reservas balanceadas que se quedan sin explorar y se pierden irreparablemente en el subsuelo durante la explotación del yacimiento o su sector según al proyecto técnico de la empresa.

Se llaman normativas a las pérdidas calculadas y aprobadas oficialmente como las máximas admisibles para cada sistema de explotación.

Las pérdidas planificadas se establecen a partir de los planes anuales de los trabajos mineros de acuerdo con las condiciones minero-geológicas concretas del yacimiento y al sistema adoptado para su explotación.

Bajo el nombre de pérdidas reales (de explotación), se entiende la parte de las reservas balanceadas de mineral útil que se queda efectivamente en el subsuelo después de explotado el sector correspondiente.

Es conveniente señalar que nunca se pueden considerar pérdidas las reservas balanceadas de mineral útil en los pilares de seguridad temporales o dejados sin explotar en el subsuelo a causa de la ineffectividad económica de su extracción, así como las excluidas del balance de las reservas por haberse evidenciado el carácter no industrial de unos u otros índices (potencia del cuerpo mineral, contenido de componentes útiles o dañinos y otros) y el mineral útil extraído, pero no utilizado por cualquier razón.

La contabilización rigurosa de las pérdidas y el empobrecimiento y la organización de una lucha efectiva contra ellas necesita una documentación geológica regular de las excavaciones mineras de arranque, un muestreo sistemático del mineral útil en los frentes de arranque, almacenes subterráneos, medios de transporte, escombreras, así como de las colas y sus depósitos en las plantas de beneficio. Además, hay que comparar periódicamente los contornos proyectados y los reales durante la extracción del mineral útil sobre la base de la documentación de índole geológica y de topografía minera.

La reducción de las pérdidas y el empobrecimiento del mineral útil es un factor importantísimo en el uso óptimo del subsuelo y proporciona un enorme ahorro a la economía del país. Mas, para lograrlo, no basta tener una idea sobre las causas que engendran las pérdidas y el empobrecimiento y tomar medidas convenientes para eliminarlas, sino que es necesario saber determinar la magnitud real de las pérdidas y el empobrecimiento.

Para muchos tipos de materia prima mineral, cuya calidad se determina por un conjunto de diferentes propiedades y cuyas reservas de unos componentes no se calculan por separado (caliza, dolomita, arcilla refractaria y cerámica y otros) las pérdidas del mineral útil ( $P$ ) se expresan, en cifras absolutas, como la diferen-

cia entre las reservas balanceadas agotadas del sector explotado ( $R_b$ ) y la cantidad real de mineral útil extraído, que a su vez es igual a la cantidad de masa menífera obtenida ( $M_e$ ) menos la roca que la empobrece ( $RE$ ):

$$P = R_b - (M_e - RE) \quad (218)$$

En el caso de yacimientos de minerales útiles meníferos, las pérdidas de mena se dan generalmente como el porcentaje de las reservas balanceadas agotadas según la fórmula:

$$P = 1 - \left( \frac{M_e - RE}{R} \right) 100 \quad (219)$$

Las reservas balanceadas agotadas se determinan a partir de los contornos reales de la extracción del mineral útil dentro del bloque de explotación y, como se conoce, siempre con un error determinado (véase el epígrafe 8.7). La cantidad real de mineral útil extraído se obtiene de manera más sencilla y con bastante confianza sobre la base de las mediciones de topografía minera en el espacio laboreado o mediante el pesaje (la medición) del producto mercantil enviado por la mina o cantera. Por otra parte, la cantidad de roca que se encuentra en la masa menífera arrancada se determina con mayores dificultades. Raras veces esta tarea se puede resolver a través de la eliminación de la roca durante el beneficio o la clasificación manual de la masa menífera con el pesaje ulterior o sobre la base de las mediciones directas de potencias de las intercalaciones estériles que se extraerán junto con el mineral útil. Sin embargo, con frecuencia este valor se obtiene de modo indirecto y con poca precisión.

De lo expuesto se deduce que incluso en el caso más sencillo al que corresponde la fórmula (218) las pérdidas del mineral útil se calculan de manera poco confiable y no representan un valor real de este índice sino su evaluación estadística. Este hecho al que, lamentablemente, no se le presta atención alguna en la literatura especial destinada a la determinación de las pérdidas y el empobrecimiento [3;42] debe tenerse en cuenta al aplicar cualquier método de cálculo de esos índices.

Para los minerales útiles, cuyas reservas se calculan bajo la forma de metales, de sus compuestos o minerales valiosos, deben calcularse las pérdidas de los componentes correspondientes utilizando las siguientes transformaciones de la fórmula (218):

$$\begin{aligned} PC_p &= R_b C - (M_e C_e - REC_r) \\ \frac{PC_p}{R_b C} \cdot 100 &= \left( \frac{R_b C}{R_b C} - \frac{M_e C_e - REC_r}{R_b C} \right) 100 \\ P' &= \left( 1 - \frac{M_e C_e - REC_r}{R_b C} \right) 100 \end{aligned} \quad (220)$$

donde:

- $C$  - contenido de componente útil en las reservas agotadas;
- $C_p$  - contenido de componente útil en el mineral útil perdido;
- $C_e$  - contenido de componente útil en la masa menífera extraída;
- $C_r$  - contenido de componente útil en la roca que empobrece a la masa menífera;
- $P'$  - pérdida relativa del componente útil.



Entre los parámetros que se utilizan en la fórmula (220) se pueden determinar con bastante confianza (aunque con ciertos errores) los contenidos de componente útil en las reservas agotadas, la masa menífera extraída y la roca que empobrece a esta última, así como las reservas agotadas y la cantidad de masa menífera obtenida. Por otra parte, como ya se ha señalado, se desconoce generalmente la cantidad de roca en la masa menífera, por cuya razón dicha fórmula se convierte en una sola ecuación con dos incógnitas que no tiene solución. Por lo tanto, una determinación confiable de las pérdidas relativas del componente útil se logra solo en casos particulares: si se conoce con exactitud el volumen de la roca en la masa menífera o cuando el contenido de componente útil en esta roca se iguala a cero. En este último caso la fórmula a utilizar adquiere el siguiente aspecto simplificado:

$$P = \left(1 - \frac{M_e C_e}{R_b C}\right) 100 \quad (221)$$

Además, es posible utilizar otra fórmula en la que no se necesita conocer la cantidad de roca que produce el empobrecimiento [3]:

$$P = \left(1 - \frac{M_e (C_e - C_r)}{R_b (C - C_r)}\right) 100 \quad (222)$$

Esta fórmula es válida si los contenidos de componente útil en el mineral extraído y en el perdido son iguales. De no ser así surgen errores cuya magnitud aumenta si se incrementa el contenido de componente útil en la roca.

Si se conocen las pérdidas relativas del componente útil y las de la mena en toneladas ( $P$ ), es fácil calcular el contenido medio de este componente en las reservas perdidas por la siguiente fórmula:

$$C_p = \frac{P R_b C}{100 P} \quad (223)$$

Para evaluar el grado de empobrecimiento del mineral útil durante su extracción hay que expresar la cantidad de roca que engendra este fenómeno en porcentajes de la cantidad de masa menífera obtenida, llamando al índice resultante sencillamente empobrecimiento ( $E$ ) o coeficiente de dilución.

$$E = \frac{RE}{M_e} \cdot 100 \quad (224)$$

Sin embargo, como se ha dicho antes, con frecuencia la determinación directa de la cantidad de roca que empobrece a la masa menífera es imposible y por eso en los cálculos del grado de empobrecimiento se utilizan generalmente los datos sobre los contenidos de componente útil en las reservas agotadas y perdidas, la masa menífera extraída y la roca. Con este objetivo se realizan las siguientes transformaciones de la fórmula (218):

- $PC_p = R_b C - (M_e C_e - REC_r)$
- $[R_b - (M_e - RE)] C_p = R_b C - (M_e C_e - REC_r)$
- $R_b C_p - M_e C_p + REC_p = R_b C - M_e C_e + R_e C_r$
- $REC_p - REC_r = R_b C - R_b - M_e C_e + M_e C_p$
- $RE(C_p - C_r) = R_b(C - C_p) - M_e(C_e - C_p)$
- $RE = \frac{R_b(C - C_p) - M_e(C_e - C_p)}{C_p - C_r}$

y entonces:

$$E = \frac{R_b(C - C_p) - M_e(C_e - C_p)}{M_e(C_p - C_r)} \cdot 100 \quad (225)$$

Si los contenidos de componente útil en las reservas extraídas y perdidas son iguales ( $C = C_p$ ) esta fórmula se simplifica aún más:

$$E = \frac{R_b(C - C) - M_e(C_e - C)}{M_e(C - C_r)} \cdot 100 = -\frac{M_e(C_e - C)}{M_e(C - C_r)} = \frac{C - C_e}{(C - C_r)} \cdot 100$$

o sea:

$$E = \frac{C - C_e}{C - C_r} \cdot 100 \quad (226)$$

$$E = \left(1 - \frac{C_e - C_r}{C - C_r}\right) \cdot 100 \quad (227)$$

La fórmula (226), así como su variante modificada, la (227), se dan en casi todos los manuales de geología de minas y las guías para la determinación de las pérdidas y el empobrecimiento de minerales útiles durante su extracción. Estas fórmulas se conocen bien y se utilizan ampliamente para los cálculos de índole práctica, pero siempre hay que recordar que ellas representan un caso particular de la fórmula (225) más general, y que al ser considerable la diferencia de los contenidos de componente útil en las reservas extraídas y perdidas pueden dar un resultado erróneo.

Como el balance de las reservas del yacimiento no refleja su estado más que para una fecha determinada (el 1 de enero del próximo año) y no tiene en cuenta sus cambios permanentes, una de las tareas importantes del servicio geológico de minas en la empresa minera en activo es el cálculo corriente de las reservas de mineral útil. Al hacerlo se consideran todos los cambios en las reservas debido a la extracción del mineral útil, sus pérdidas durante este proceso, la precisión de los contornos industriales en el transcurso de la explotación, el recálculo de reservas y la ejecución de los trabajos de exploración complementarios. Los resultados así obtenidos se generalizan al final de cada año y sirven de base para la confección de los balances anuales de las reservas, según las formas normalizadas aprobadas por los organismos estadísticos estatales apropiados. El análisis y la generalización de dichos balances realizados por los fondos geológicos estatales y territoriales ayudan a los organismos de planificación en lo referente a la ubicación de los nuevos objetos industriales y a la orientación ulterior de los trabajos de búsqueda y exploración.

En el transcurso de la explotación del yacimiento, las reservas deben excluirse del balance en la medida de su agotamiento. A las reservas que tienen que excluirse del balance se relacionan:

- las extraídas realmente;
- las pérdidas en el subsuelo durante la explotación;
- las no industriales por unos u otros índices;
- las que no se han confirmado durante la explotación.

Para excluir del balance las reservas no industriales, así como las pérdidas en los pilares de seguridad que se quedan por causas minero-geológicas es obligatoria la autorización de los organismos que controlan las reservas. Sin esta autorización se prohíbe liquidar las excavaciones mineras que descubren y preparan dichas reservas.

Además del cómputo estatal de los cambios en las reservas de minerales útiles también se confeccionan los balances más detallados que reflejan el grado de suministro de las empresas mineras con reservas industriales descubiertas, preparadas y listas para la extracción.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AGOSHKOV, M.I. y G.M. MALAJOV: *Podziemnaia razrabotka rudnij miestorozhdenii*. Editorial Niedra, Moscú, 1966.
2. AGOSHKOV, M.I. y N.A. JRUSCHEV: "Kriterii ekonomicheskoi effektivnosti gueologorazvedochinij rabot", en *Gueologuia i razvedka*, No. 12, Izvestia Buz, Moscú, 1972, pp. 126-136.
3. ALBOV, M.N. y A.M. BIBOCHKIN: *Rudnichnaia gueologuia*. Editorial Niedra, Moscú, 1973.
4. ARSKI, Yu.M.: *Gueologo-ekonomicheskie osnovi otzenki miestorozhdenii riedkij metalov na estadii poiskov*. Izd LGI, Leningrado, 1979.
5. CHERNIAVSKI, V.: "Miera effektivnosti", en *Kommunist*, No. 9. Moscú, 1972, pp. 52-61.
6. GATOV, T.A.: *Ekonomicheskaja otzenka miestorozhdenii tzbetnij metalov*. Editorial Niedra, Moscú, 1975.
7. GORODIETSKI, P.I.: *Osnovi proektirovania gornorudnij priedpriatii*. Gostejizdat, Moscú, 1955.
8. JRUSCHEV, N.A.: "Osnovnie puti povishenia ekomicheskoi effektivnosti i dostovernosti gueologorazvedochinij rabot", en *Razvedka i ojrana niedr*, No. 7, Moscú 1964, pp. 25-29.
9. ———: "Aktualnie problemi ekonomiki mineralnovo sirio i gueolozorazvedochinij rabot", en *Razvedka i ojrana niedr* No. 5, Moscú, 1969, pp. 38-43.
10. ———: *Metodi ekonomicheskoi otzenki miestorozhdenii tviordij palieznij iskopaemij*. Editorial Niedra, Moscú, 1975.
11. KAZHDAN, A.B., M.V. SHUMILLIN y V.A. VIKENTIEV: "Metodicheskie osnovi kalichestvennoi otzenki razvedannosti zapasov tviordij palieznij iskopaemij" en *Sovietskaia gueologuia*, No. 11, Moscú, 1974, pp. 7-19.
12. KAZHDAN A.B.: *Razvedka miestorozhdenii palieznij iskopaemij*. Editorial Niedra, Moscú, 1977.
13. KOBALDZE, L.P.: *Ekonomika gueologorazvedozhnij rabot*. Editorial Niedra, Moscú, 1974.
14. KOGAN, I.D.: *Podschiot zapasov i gueologo-pramuishlennaia otzenka rudnij miestorozhdenii*. Editorial Niedra, Moscú, 1974.
15. KOLMOGOROV, Yu.A.: "Prostoi sposob apredelenia obiomov rudnij tiel miezhdu nieparalelnimi secheniami", en *Razvedka i ojrana niedr*, No. 6, Moscú, 1959.

16. KREITER, V. M.: *Poiski i pazvedka miestorozhdenii palieznij iskopaemij*. Editorial Niedra, Moscú, 1969.
17. KUZMIN, V.I.: *Uchot iskluchitelnij po esvaiemy sodержaniu prob pri podschio-te zapasov dzhilnij zolotorudnij miestorozhdenii*. Kolima, Moscú, 1956.
18. ———: *Geometrizatzia i podschiot zapasov miestorozhdenii tviordij palieznij iskopaemij*. Editorial Niedra, Moscú, 1967.
19. MARGOLIN, A.M., y L.P. BURDO: "Opredelenie conditzii suchioton tejnologui-choskoi osvoennosti zapasov rudnij miestorozhdenii", en *Sovietskaia gueologua* No. 1. Moscú, 1971, pp. 81-93.
20. ———: *Otzenka zapasov mineralnovo sirio. Matematicheskie metodi*. Editorial Niedra, Moscú, 1974.
21. MATERON, G.: *Osnovi prikladnoi geostatistiki*. Editorial Mir, Moscú, 1968.
22. PANKUL, L.I. y A.S. ZOLOTARIEV: "Novie formuli srednij soderzhanii, ploshadei i obimov dlia podschiota zapasov palieznij iskopaemij", en *Gorni djurnal*, No. 1, Moscú, 1935, pp. 53-59.
23. POZHARITZKI, K.L.: *Osnovi otzenki miestorozhdenii palieznij iskopaemij*. SOPS-AN SSSR, Moscú, 1957.
24. ———: *Elementi otzenki miestorozhdenii pri razvedke i podschio-te zapasov*. SOPS-AN-SSSR, Moscú, 1959.
25. POGRIEBITSKY, E.O.: *Poiski i razvedka miestorozhdenii palieznij iskopaemij*. Editorial Niedra, Moscú, 1968.
26. ———: *Poiski i razvedka miestorozhdenii palieznij iskopaemij*, Editorial Niedra, Moscú, 1977.
27. POGRIEBITSKY, E.O. y V.I. TERNOVOI: *Gueologo-ekonomicheskaja otzenka miestorozhdenii palieznij iskopaemij*. Editorial Niedra, Leningrado, 1974.
28. SHUMILIN, M.V.: *Efektivnosti ispolzovania vzveshennoi i arifmeticheskoi otzenok srednevo sodержania pri podschio-te zapasov*. V Knigue: *Voprosi rudnichnoi gueologui*, Moscú, 1970.
29. SMIRNOV, V.I.: *Gueologuicheskie osnovi poiskov i razviedok rudnij miestorozhdenii*. Izd. MGU, Moscú, 1957.
30. STRUJOV, A.P.: "O pokazatelnij otraslevoi efektivnosti gueolorazvedochnij robot", en *Gueologua i rasviedka*, No. 9, Izvestia BUZ, 1974, pp. 172-174.
31. VILESOV, G.I.: "Kvoprosy ob uchiote prob iskluchitelnim sodержaniem", en *Trudi i materialy svierdlovskovo gorni instituta*, Buipus VI, Svierdlovsk, 1940.
32. VOLODOMONOV, N.V.: "O metode podschiota zapasov djlilnij miestorozhdenii", en *Gorni djurnal*, Nos. 3 y 4, Moscú, 1944.
33. ———: *Gornaia renta i printzipi otzenki miestorozhdenii*. Metalurgizdat, Moscú, 1959.
34. YUFA, V.Ya.: "Sposob videlenia uragannij prob", en *Razvedka i ojrana niedr*, No. 8, Moscú, 1962.
35. *Cálculo de reservas*. Viceministerio de Geología, Ministerio de la Industria Básica, Ciudad de La Habana, 1981.
36. *Instrucción para la proyección de los trabajos de prospección geológica para minerales sólidos*. Ministerio de la Industria Básica, Ciudad de La Habana, 1980.
37. *Metodicheskie ukazania po obosnovaniu i raschiotu konditzii dlia podshciota zapasov tviordij palieznij iskopaemij*. GKZ-SSSR, Moscú, 1976.
38. *Norma ramal. Reservas minerales de la nación. Balance anual*. NRMG 055, Ministerio de Minería y Geología, Ciudad de La Habana, 1979.
39. *Norma ramal. Minerales útiles y sólidos. Clasificación de reservas*. NR 02-55-72, Ministerio de la Industria Básica, Ciudad de La Habana, 1982.
40. *Osnovnie poloshenia metodiki ekonomicheskoi otzenki miestorozhdenii palieznij iskopaemij*. GKNT-SSSR, Moscú, 1975.
41. *Recomendaciones metodológicas para la evaluación geólogo económica de los yacimientos de metales no ferrosos en los estadios iniciales de la prospección geológica*. Centro Nacional del Fondo Geológico, Ministerio de la Industria Básica, Ciudad de La Habana, 1981.
42. *Spravozhnij po marksheidierskomu*. Editorial Niedra, Moscú, 1979.



Impreso por el Combinado Poligráfico "Haydée Santamaría", 1987