

OKREŚLANIE ZMIENNOŚCI ZŁOŻA I JEGO STOPNIA GEOLOGICZNEGO ROZPOZNAWANIA ZA POMOCĄ WSKAŹNIKÓW LICZBOWYCH

○ D stopnia poznania złoża zależy możliwość określenia jego zasobów z różną ścisłością. Pod względem gospodarczym wynikiem tego będzie ryzyko w czynionych nakładach lub rekojmia ich należytego zużytkowania.

Stopień badania, a zatem stopień ryzyka, kwalifikuje się w toku ustalania zasobów przez zaliczenie ich do pewnej kategorii. Normalnie zasoby tzw. „niskich” kategorii C_2 , C_1 upoważniają jedynie do dalszego badania złóż, a dopiero stwierdzenie zasobów „wysokich” kategorii B, A_2 , A_1 , pozwala na zaprojektowanie zakładu górniczego i podjęcie eksploatacji.

Zakwalifikowanie zasobów wykazuje, w jakim zakresie zdołano wyjaśnić za pomocą prac badawczych objętość złoża, skład i ciężar objętościowy surowca, charakter technologiczny urobku i górniczo-techniczne warunki eksploatacji.

Spośród tych pięciu czynników trzy pierwsze, to jest objętość, ciężar i skład, odgrywają naczelną rolę w ocenie złoża jako decydujące o jego skali i są w zupełności zależne od jego niezmiennych naturalnych warunków. Będziemy je nazywać czynnikami geologicznymi. Dwa dalsze mają znaczenie jedynie w ujęciu technicznym procesów zmierzających do zużytkowania surowca, gdy bierzemy pod uwagę jego eksploatację i stronę technologiczną. Można je nazwać czynnikami technicznymi, jako że mają charakter koniunkturalny, przemijający. Ponieważ poznanie ich stoi na uboczu zasadniczych badań geologicznych i obejmuje czynności specjalne, jak np. studia nad wzbogacaniem, technologią, warunkami hydrogeologicznymi itp., nie będziemy ich rozpatrywać, a ograniczymy się tylko do rozważań czynników geologicznych.

Stopniem geologicznego rozpoznania złoża będziemy w tym referacie nazywać stan zbadania tych właśnie czynników. Nie ulega wątpliwości, że w dzisiejszej procedurze kwalifikowania zasobów polega w odniesieniu do czynników geologicznych na subiektywnym przekonaniu geologa kwalifikującego budowę złoża pod względem zmienności złoża, jego formy i mineralnej treści.

To subiektywne podejście ograniczają zalecenia instrukcji o obliczaniu zasobów, oparte na doświadczeniu zdobytym przez wielu geologów jak też i na specjalnych studiach dotyczących oceny złóż różnego rodzaju. Okazuje się przy tym, że przepisy instrukcji trzeba uzależniać od stwierdzonej zmienności w budowie złóż, co często stoi w ścisłym związku z typami ich budowy.

Tak np. instrukcja radziecka wyróżnia 5 zasadniczych typów złóż kruszcowych, 5 złóż węgla, 4 boksytów, 4 glin ogniotrwałych, 3 fosforytów, 3 piasków budowlanych, 3 wapnia do palenia wapna, 3 kwarcytów i piaskowców, 2 surowców cementowych, 2 złóż siarki itd.

Ponieważ poszczególne typy złóż różnią się między sobą, dla zakwalifikowania zasobów do tej samej kategorii trzeba zbadać złoża różnych typów za pomocą różnych robót. Jest oczywiście, że złoża bardziej skomplikowane wymagają przy tej samej kategorii (tym samym ryzyku nakładów) większej ilości prac niż złoża o budowie prostej. W praktyce okazuje się nawet, iż istnieją typy złóż o dużej wartości gospodarczej, dla których zakres robót byłby bardzo szeroki, tak że złoża mogłoby w całości być wyeksploatowane przed ukończeniem badań już w kategoriach niskich, nie upoważniających normalnie do eksploatacji. Do takich należą niektóre wysokoprocentowe, ale niezasobne złoża metali szlachetnych, np. typ piaty złóż kruszcowych według instrukcji radzieckiej podlega eksploatacji już w kategorii C₁.

Geologiczne poznanie złoża polega na znaiomości następujących parametrów: powierzchni złoża — P, miąższości złoża — m, ciężaru objętościowego — g, % zawartości składników użytecznych — p.

Dwa ostatnie parametry mogą być powiązane ze sobą funkcjonalnie. Ciężar objętościowy bowiem jest pewną funkcją procentowej zawartości składników użytecznych. Ponadto ta ostatnia tylko w prostych przypadkach rozpatrywana jest z punktu widzenia jednego składnika użytecznego. Często natomiast musi brać pod uwagę wiele składników — x P_x P_y — np. w rudach wielometalicznych — zawartość Pb i Zn lub Fe i Ni, Fe i Mn lub tp. O ile jeden występuje w zdecydowanej przewadze, można inne traktować jako produkt uboczny i pominąć je w rozważaniach.

Poznanie poszczególnych parametrów odbiega od faktycznych wartości z przyczyny błędności i niedostatku obserwacji.

Błądność obserwacji zależy od sposobu przeprowadzenia obserwacji — ogólnie biorąc od czułości aparatury pomiarowej, bez względu na to, czy jest nią np. planimetr czy podziałka mapy przy pomiarze powierzchni, omyłki w pomiarze głębokości otworów, niewłaściwość oznaczeń chemicznych itp. Ten rodzaj błędów można ograniczyć przez zastosowanie czulszej aparatury lub wyrównanie drogą wielokrotnego powtórzenia poszczególnych obserwacji za pomocą rachunku wyrównawczego, jak to np. robione bywa przy pomiarach mierniczych lub geofizycznych. Nie będziemy wchodzić w to bliżej. Wypada jednak podkreślić, że w badaniach geologicznych niełatwe, a często nawet wręcz niemożliwe jest powtarzanie obserwacji.

Ogromnie natomiast ważnym wydaje się problem dostatecznej lub niedostatecznej ilości obserwacji, na których właśnie opiera się obliczenie zasobów i zaklasyfikowanie ich do pewnej kategorii.

Zagadnienie to dzisiejsza metodyka badania złóż rozwiązuje przeważnie według zaleceń, podających (na zasadzie doświadczeń) najbardziej właściwą ilość obserwacji w stosunku do jednostki powierzchni. Na rozmieszczenie punktów obserwacyjnych duży wpływ ma techniczna strona prowadzenia robót. Tak np. istnieje skłonność wyznaczania otworów badawczych na złożach płasko leżących w postaci prawidłowej siatki o oczkach kwadratowych czy trójkątnych, na złożach stromo zapadających — o oczkach prostokątnych lub trójkątnych o krótkich odstępach w kierunku upadu, długich w kierunku biegu.

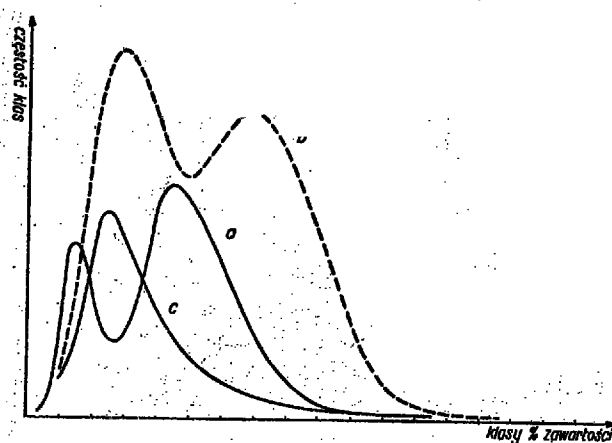
Przy badaniach złóż głębokich i w wysokich kategoriach, stosowane są przeważnie chodniki prowadzone w złożu. Rozmieszcza się je zwykle wzdłuż biegu i upadu, przez co powstaje rodzaj prostokątnej sieci. Miąższość złoża i jego jakość kontrolowane są na tych chodnikach w gęstych odstępach rzędu 5—20 m, gdy sama sieć ma wymiary bardzo różne, np. rzędu 50 × 50 m, 100 × 200 m itp. W tym wypadku więc istnieje wyraźne uprzywilejowanie zagęszczenia obserwacji wzdłuż pewnych linii.

Często na kształtowanie sieci badawczej wywiera duży wpływ swoiste wykształcenie złoża w pewnych kierunkach, gdyż ogólną zasadą geologiczną jest zagęszczenie obserwacji w kierunku największej zmienności.

Posiadanie dostatecznej ilości obserwacji pozwala przede wszystkim określić zmienność poszczególnych parametrów. Przedstawiane to bywa często graficznie pod postacią krzywej częstości powtarzania się wartości badanego parametru w pewnych klasach. Tak np. na poniższym rysunku na krzywej „a” przedstawiono żelazistość pewnych piasków, a na krzywej „b” pirytoność pewnych łupków. Wygląd tego rodzaju krzywych zależy od przyjętego indywidualnego podziału na klasy. Ogólnie można

oczekiwać, że krzywa będzie tym wierniejsza, im rozpiętość klas będzie mniejsza a obserwacje liczniejsze.

Krzywe częstości prób na krajowych złożach



a — piasków żelazistych, b — łupków piłytych, c — łupków piłytych.

Należałoby jednak za pomocą teorii matematycznej zobiektywizować zasady rozbicia klas, aby krzywe były kreślone w sposób jednoznaczny, a przez to aby były porównywalne.

Obok graficznej charakterystyki można zakres zmienności parametrów ująć matematycznie za pomocą tzw. wskaźnika zmienności (W. M. Kreiter — str. 340 i dalsze).

Wyraża się go w procentach wzorem

$$V = \frac{100}{C} \sqrt{\frac{\sum x^2}{N-1}}$$

gdzie x = odchyłka obserwacji od średniej arytmetycznej wszystkich obserwacji

N = ilości obserwacji,

C = średnia arytmetyczna wszystkich obserwacji.

Według radzieckich badań z lat 1936/38 za pomocą tego rodzaju współczynnika celowe jest dzielenie złoża stałych surowców mineralnych na 5 grup zależnie od regularności w zawartości głównego składnika. Poszczególne grupy miałyby wskaźnik zmienności kolejno w granicach:

- 1 — mniejszy od 20%, proste złoża osadowe np. węgla, soli, rud żelaznych;
- 2 — 20—40%, skomplikowane złoża osadowe i proste metamorficzne;
- 3 — 40—100%, większość złóż rud metali kolorowych;
- 4 — 100—150%, większość złóż metali rzadkich i złota;
- 5 — większy od 150%, niektóre złoża metali rzadkich i złota.

Wskaźnik zmienności bywa przy tym obliczany dla poszczególnych części złoża, a więc: dla pojedynczych bloków eksploatacyjnych średni arytmetyczny wskaźnik jest wyliczony z wartości wskaźników blokowych, a dla całego złoża wylicza się wskaźnik ogólny na podstawie wskaźników wszystkich jako obserwacji niezależnych.

Okazuje się, że wskaźniki zmienności poszczególnych partii dla szeregu złóż kruszcowych znacznie się wahały dając stosunek między maksymalną a minimalną wartością rzędu 1,6 do 2,6 — natomiast różnica między średnim wskaźnikiem a ogólnym nie przekracza 25% wartości ogólnej.

Wskaźnik zmienności zależy głównie od charakteru mineralizacji, wielkości obszaru badanego oraz sposobu wykonania obserwacji (np. pobrania próby, metody analitycznej itp.).

Wpływ sposobu dokonywania obserwacji pomijamy, jak to już wspomniano wcześniej. Podkreślić jednak należy, że przy porównywaniu wyników należy się starać o stosowanie tej samej metodyki obserwacyjnej.

Wzrost obszaru badanego wyraża się ogólnie we wzroście wskaźnika zmienności. Jest to stwierdzenie ważne, gdyż wynikałoby z niego konieczność porównywania ze sobą wskaźników obliczonych dla równorzędnych powierzchniowo obszarów. Omówienie wpływu charakteru mineralizacji wybiega znacznie poza ramy tego referatu. Ogólnie można jednak traktować tę sprawę tak, jakgdyby były dwa sposoby mineralizacji: ciągły lub skokowy. W pierwszym wypadku charakter mineralizacji jest tego rodzaju, że przy danym rozstawie obserwacji (gęstość sieci) daje, w wielu po sobie następujących obserwacjach, konsekwentnie zachowujące się (rosnące lub malejące) wartości. W drugim wypadku następujące po sobie obserwacje przy danej ich gęstości, wykazują wartości to większe, to mniejsze, bez wyraźnej konsekwencji.

Tego rodzaju ujęcie dotyczyć może oczywiście nie tylko zawartości mineralnej, ale także innych parametrów złożowych, jak miąższość i ciężar przestrzenny. W wypadku określonym jako skokowy sieć w stosunku do zmienności jest oczywiście zbyt rzadka, co nada obserwacjom zupełnie przypadkowy charakter.

Zależność między ilością obserwacji N (gęstością sieci) a zmiennością złoża V ujmowana jest w sposób następujący (W. M. Kreiter, str. 344):

Jeśli błąd średniej arytmetycznej wyrażamy wzorem

$$m = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad \text{gdzie } \sigma = \sqrt{\frac{\sum x^2}{N-1}}$$

(x i N oznaczają jak poprzednio) to jego wielkość w % średniej arytmetycznej

$$M = \pm \frac{100}{C} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

uwzględniając $V = \frac{100}{C} \cdot \sigma$

$$\text{będzie} \quad M = \pm \frac{100}{C} \cdot \frac{V \cdot C}{100 \sqrt{N}} = \frac{V}{\sqrt{N}}$$

$$\text{stąd} \quad N = \left(\frac{V}{M}\right)^2$$

$$\text{stad} \quad N = \left(\frac{V}{M}\right)^2$$

Ponadto W. M. Kreiter podkreśla celowość postępowania się na terenach dopiero rozpoznawanych średnimi arytmetycznymi wskaźnikami obliczanymi dla partii złóż eksploatowanych w sąsiedztwie, gdyż stwierdzone przez badaczy radzieckich odchyłki nawet dla skomplikowanych złóż metali kolorowych leżą przeważnie poniżej 25% wartości średniego wskaźnika.

Powyższe wzory jako opierające się na matematycznych założeniach ważne są w zasadzie dla każdego z parametrów ustalanych w obliczaniu zasobów jako wartości średnie z wielu obserwacji, zatem tak dla miąższości, jak składu mineralnego i ciężaru objętościowego. Dla obliczenia średniego błędu i średniej zmienności wszystkich parametrów — można użyć wzorów:

$$M_0 = \pm \sqrt{M_m^2 + M_y^2 + M_p^2}$$

$$V_0 = \pm \sqrt{V_p^2 + V_y^2 + V_p^2}$$

i obliczyć ilość koniecznych do zbadania otworów na zasadzie tych ogólnych wyników. Uważa się jednak, że wpływ ciężaru właściwego jest niewielki i zwykle bierze się pod uwagę poza składem co najwyżej jeszcze tylko miąższość. W. M. Kreiter na zasadzie doświadczeń radzieckich podaje, że M_p dla złóż bogatych i prawidłowych jest nie większe od 5%, a przy bardzo nierównomiernych leży w granicach 10—15%. Przy uwzględnieniu miąższości M_0 zwykle nie przekracza 20%. Z wzoru $N = \left(\frac{V}{M}\right)^2$

wynika, że ilość koniecznych obserwacji nie zależy od wielkości badanego obszaru. Będzie ona więc taka sama bez względu na to, czy bada się złóżo o dużym czy małym obszarze. Konsekwencją tego byłaby duża gęstość sieci, gdy się pragnie zbadać obszar drobny, mała — gdy podejmuje się badania na wielkiej powierzchni.

Istnieje tu rozbieżność teorii z praktyką, wynikająca z samych założeń rachunku prawdopodobieństwa. Przytoczone wzory nadają się do zastosowania w wypadku, który można by porównać do wybierania różnokolorowych kul z naczynia, gdzie są one pomieszczone w nieznanym, ale określonym dla siebie stosunku. Niezależnie od ogólnej ilości kul w naczyniu, trzeba wówczas wybrać tylko minimalną ich ilość, uwarunkowaną żądanym stopniem pewności i udziałem kul pewnej barwy, ażeby ocenić udział tych właśnie kul w naczyniu. Złóżo natomiast — posługując się nadal tym przykładem — reprezentuje raczej szereg obok siebie postawionych naczyń z kulami. Badając te naczynia, nie wiemy z góry, czy we wszystkich kule zostały zmieszane w tym samym stosunku. Dla określenia tego musimy operację wyjmowania kul powtarzać w każdym naczyniu,

a zatem tym więcej razy, im ich jest więcej. Innymi słowy, w odniesieniu do złóża proporcjonalnie do jego powierzchni. Można przy tym zauważyć, że praktycznie złóża mniejsze wymagają rzeczywiście większej ilości obserwacji w przeliczeniu na jednostkę powierzchni. Wynika to jednak z dodatkowych geologicznych wymogów, dotyczących okonturowania złóża, które to wymogi zwykle nie zostają uwzględniane w rozważaniach matematycznych.

Przechodząc do stopnia geologicznego poznania złóża, czyli do oceny pewności, z jaką mamy prawo mówić o kształcie i treści złóża, wydaje się najwłaściwszym rozpatrzenie tej sprawy z punktu widzenia błędu średniej arytmetycznej. Można by mianowicie określić, że stopień poznania złóż wyraża się odwrotnością tego błędu na jednostkę powierzchni złóża $S = \frac{\sqrt{N}}{\sqrt{P}}$

czyniąc zadość postulatowi geologicznemu, że złóża są rozpoznane w równym stopniu, jeśli przy takich samych warunkach złóżowych, lecz różnej powierzchni ilość obserwacji na jednostkę powierzchni $n = \frac{N}{P}$ jest wielkością stałą

Praktycznie ważniejszą rzeczą niż obliczenie bezwzględnego stopnia zbadania złóża $S = \frac{N}{\sqrt{P}}$ jest możność ustalenia względnego stopnia rozpoznania złóża za pomocą wzoru $S = \frac{N}{P}$

Jeżeli bowiem będziemy uważać, że partie złóża zbadane za pomocą pewnej sieci obserwacyjnej na złóżach o budowie bardzo prostej (duże złóża pokładowe) dają dostateczną gwarancję dla celów eksploatacji, to taki stan rozpoznania S_a odpowiadającej kategorii A_1 (zasoby przygotowane) można uważać za kompletny i nadać mu pewną umowną wartość, np. 100.

Biorąc złóżo bardzo skomplikowane i zbadane z inną siecią, otrzymamy jakiś inny wskaźnik rozpoznania, np. S_b .

W porównaniu z poprzednią S_b odniesione do 100 — da pewną nową liczbę S_w o wartości $\frac{S_b}{S_a} \cdot 100$, która w sposób prosty scharakteryzuje stan rozpoznania. Liczby te nazywam względnym wskaźnikiem rozpoznania geologicznego (S_w).

Przy rozpatrzeniu szeregu złóż i stopni rozpoznania będzie można na tej zasadzie ustalić przedziały liczbowe względnego wskaźnika, które będą charakteryzować odpowiednie kategorie zasobów.

Na zakończenie niniejszego referatu należy jeszcze wysunąć problem sieci „równoważnych”. W rozważaniach dotychczasowych pomijano sprawę charakteru samej siatki obserwacji, tj. sposobu rozmieszczania badań w terenie, w każdym razie bezspornie przyjmując jej prawidłowość.

Prawidłowość sieci obserwacyjnej uważana bywa a priori za najwłaściwszą, mimo że nie

wynika bezpośrednio ze zwykłych formuł rachunku prawdopodobieństwa. Ułożone one były bowiem dla zdarzeń, w których usytuowanie zjawiska nie musiało być uwzględniane.

Praktyka daleko odbiega od tego założenia. Już zresztą w początkowej części artykułu zwrócono uwagę na tendencję do liniowego zagęszczania obserwacji w pewnych wypadkach.

Niemniej nie ulega kwestii, że w badaniu złóż charakter sieci musi odgrywać znaczną rolę i w związku z tym należałoby przede wszystkim postawić problem równoważności siatek o różnym charakterze. Tak np. powszechnym zjawiskiem jest tendencja zastępowania linię zgrupowanych obserwacji na chodnikach podziemnych przez rozsypaną sieć otworów wiertniczych. Odczuwa się, że ilość obserwacji w tym wypadku może być mniejsza, lecz brak dotychczas konkretnych, obiektywnych wskazań w jakim stopniu należy redukcję tę przeprowadzić.

Problematyka omówiona w referacie wydaje się być szczególnie aktualna w odniesieniu do naszych rud metali nieżelaznych. Spośród całego zespołu surowców mineralnych te właśnie rudy związane są ze szczególnie skomplikowa-

nymi warunkami występowania i stąd obiektywne ich traktowanie oparte o zasady rachunku prawdopodobieństwa zasługuje ze wszech miar na uwagę. Studia na ten temat w kraju nie były dotychczas podjęte. Ich zakres można by ująć następująco:

1. Ustalenie wskaźnika zmienności (V) dla kilku bloków eksploatacyjnych na poszczególnych odcinkach złoża oraz wskaźnika średniego całego złoża.
2. Rozgrupowanie złóż krajowych według tego wskaźnika.
3. Kontrola dziś stosowanych zasad obliczenia zapasów w blokach eksploatacyjnych (kategoria A) co do stopnia pewności.
4. Określenie stopnia zbadania (S_a) złóż przygotowanych do eksploatacji.
5. Określenie względnego wskaźnika (S_w) i jego przedziałów wymaganych dla odpowiednich kategorii zasobów.

Przeprowadzenie tego rodzaju studiów umożliwi bardziej obiektywne niż dotychczas zakwalifikowanie zasobów oraz na ustalenie ilości obserwacji (otworów próbnych) nieodzownych dla ustalenia kategorii.

L I T E R A T U R A

L. B e n d e l: Ingenieurgeologie. Wien 1944.
W. M. K r e i t e r: Poiski i razwiedki polieznyh iskopajemyh. Moskwa 1940.

W. I. S m i r n o w: Podszczot zasobow mineralnowo swria. Moskwa 1950.