

JANUSZ KOTLARCZYK*, KRZYSZTOF DUDEK*, JAN GŁADYSZ**, WOJCIECH MASTEJ*,
DANUTA FLAGA-PIEKARZ*, JAN ROLEWICZ***, ELŻBIETA SŁOMKA*

*Instytut Geologii i Surowców Mineralnych AGH; **Przedsiębiorstwo Geologiczne, Kraków;
***Przedsiębiorstwo Geologiczne, Warszawa

DOŚWIADCZENIA Z ROZPOZNANIEM OBRAZÓW W POSZUKIWANIACH ŻŁÓŻ Zn – Pb

UKD 550.822:553.441/.446(438.232)

OPIS ZASTOSOWANEJ METODYKI

W dotychczasowej praktyce poszukiwawczej, występowania ciał rudnych spodziewano się w tych blokach Boidyriewa, które w centrach miały otwory z bilansową zawartością rudy. Jednak po zagęszczeniu siatki wierceń często okazywało się, że nie zawsze były to trafne prognozowania. Konieczne zatem staje się opracowanie metod, które umożliwiłyby lepsze prognozowanie rejo-

nów rudonośnych. Szczególnie obiecująco przedstawia się wykorzystanie metod rozpoznawania obrazów (w dalszej części tekstu używany będzie skrót MRO). Ostatecznym celem stosowania tych metod w rozpatrywanym przypadku jest właśnie opracowanie lepszych niż dotychczasowe zasad strategii rozpoznawania złóż rud Zn – Pb. Sprowadza się to do trafniejszego typowania obszarów, gdzie należałoby zagęszczać siatkę wierceń przy przechodzeniu do wyższej kategorii rozpoznawania. Stosowanie

MRO będzie miało sens jedynie wtedy, gdy uzyskane wyniki przewyższą wyniki stosowania metody tradycyjnej lub – uwzględniając koszty analiz chemicznych – co najmniej im dorównują.

Obszarami testowania MRO było kilka złóż dobrze rozpoznanego obszaru olkuskiego, a konkretnie złoża: Chechło, Laski, Pomorzany, połączone obszary Chechła–Pustyni Błędowskiej–Lasek oraz Pomorzany–Pustyni Błędowskiej (3–5, 7, 8). Materiały do obliczeń pochodziły z atestów wiertniczych z kategorii C1, wykonanych przez PG z Krakowa.

Podstawą MRO są obiekty geologiczne (w rozpatrywanych przypadkach – profile otworów wiertniczych lub ich grup), które można przedstawić jako wektory w wielowymiarowej przestrzeni cech. Wstępnego doboru cech litologicznych, strukturalnych i stratygraficznych dokonano na podstawie najbardziej prawdopodobnej genezy złóż całego regionu śląsko-krakowskiego, związanej z procesem krasu hydrotermalnego (9). Uwzględniono zatem cechy, które jak sądzono, mogły mieć wpływ na mineralizację w tych warunkach. Dodatkowo uwzględniono inne cechy nie związane z przyjętą genezą, ponieważ nie można było zdecydowanie wykluczyć ich wpływu na okruszcowanie. Łącznie wytypowano ok. 70 cech, z których najistotniejsze zostaną przedstawione w dalszej części artykułu. W stworzonym zbiorze cech znalazły się zarówno dane ilościowe, jak i jakościowe i konieczne stało się ujednoczenie tego zbioru dla potrzeb algorytmów obliczeniowych. Dokonano tego zamieniając dane ilościowe o charakterze ciągłym na dane dyskretne. W dalszej kolejności korzystnym okazało się zakodowanie cech dyskretnych w postaci binarnej, za pomocą cyfr „1” lub „0”, które oznaczają obecność lub nieobecność odpowiedniej wartości dyskretnej. Po tym zabiegu liczba nowo utworzonych cech wyniosła średnio 190.

MRO w swej klasycznej postaci służą w poszukiwaniach lub rozpoznawaniu rud do zaszeregowania konkretnego obiektu geologicznego do klasy obiektów rudnych bądź nierudnych przez porównanie wspomnianego wektora cech obiektu, najczęściej nie związanych wprost z mineralizacją, z utworzonymi obrazami analizowanych klas obiektów. Maszyna cyfrowa zapamiętuje wektory wartości cech znanych obiektów rudnych, a także znanych obiektów nierudnych i z tymi dwoma macierzami wzorcowymi, czyli obrazami, porównuje obiekty badane. W przypadku złóż o bardzo zmiennej, kapryśnej mineralizacji – a takimi są śląsko-krakowskie złoża Zn–Pb, MRO mogą mieć tę zaletę w stosunku do tradycyjnych metod prospekcji, że wykorzystują cechy o większej stabilności niż przejawy mineralizacji ekonomicznej. Są to cechy litologiczne, strukturalne i stratygraficzne. Warunkiem stosowalności MRO jest odpowiednio silna korelacja tych cech z występowaniem ciał rudnych, tzn. odpowiednio wysoka ich informatywność.

Aby został spełniony ten warunek, z obiektów zapisanych w postaci wektorów wartości cech trzeba było wyeliminować cechy niskoinformatywne. W celu obliczenia informatywności cech, przetestowano wiele miar spotykanych w literaturze (1, 10), to jest współczynniki Shannona, Kullbacki, de Geoffreya-Vignala, entropii oraz metodę uogólnionych odległości Garanina. W efekcie stwierdzono, że uzyskane wyniki są ze sobą zbieżne, lecz praktyczną przydatność okazały współczynniki Kullbacki i Shannona, które najlepiej kontrastują wagi cech.

Testowanie prowadzono równoległe dla dwóch typów obiektów, tj. dla pojedynczych otworów lub grup otworów w oczkach równopowierzchniowej siatki kwad-

ratowej $1/4 \text{ m}^2$. W każdym z tych dwóch przypadków i na każdym z pięciu wymienionych już obszarów badań, podzielono obiekty na 3 klasy:

– klasa obiektów rudnych, do której zaliczono otwory (względnie grupy otworów w oczkach siatki) bilansowe i pozabilansowe;

– klasa obiektów aureolowych, którą stanowiły obiekty o rozproszonej mineralizacji i zasobności powyżej 20 kg metalu/ m^2 na jeden otwór;

– klasa obiektów nierudnych, których zasobność nie przekroczyła 20 kg .

W obrębie każdej klasy dokonano wyboru najbardziej reprezentatywnych obiektów wzorcowych. Z wektorów cech tych obiektów zbudowano tzw. obrazy obiektów: rudnych aureolowych i nierudnych. Testowanie polegało na porównaniu każdego badanego obiektu z każdą z trzech par obrazów:

1) obraz obiektów rudnych – obraz obiektów aureolowych;

2) obraz obiektów rudnych – obraz obiektów nierudnych;

3) obraz obiektów aureolowych – obraz obiektów nierudnych.

Po pierwszych próbach na złożu Chechło okazało się, że kwadratów siatki równopowierzchniowej $1/4 \text{ km}^2$ nie można traktować jako obiektów w sposób bezpośredni. Jeżeli w kwadracie znalazły się, oprócz otworów należących do klasy dominującej, otwory należące do innych klas, to efektywność rozpoznawania malała. Postanowiono więc rozpatrywać każdy kwadrat oddzielnie dla każdej klasy. Tak więc jedno oczko siatki mogło być uwzględniane jedno-, dwu- lub trzykrotnie jako obiekt należący do różnych klas.

Ważnym krokiem było wypracowanie kryteriów doboru obiektów wzorcowych. Wzorce grupujące obiekty rudne i nierudne budowano na obszarach powierzchniowo większych, nie tworzących inkluzji wśród obiektów o odmiennym charakterze; innymi słowy, odnośnie do tych dwóch obrazów przyjęto jako kryterium przynależność lub nieprzynależność obiektu do ekonomicznych ciał rudnych.

Aby zminimalizować błędy rozpoznania, dokonano eliminacji obiektów uznanych wcześniej za wzorcowe, ale odznaczające się niskim współczynnikiem sumarycznej informatywności; zastosowano tutaj metodę analogiczną do stosowanej w przypadku eliminacji cech, ale przystosowaną do wykazywania sumarycznej informatywności. Wysoka informatywność obiektu oznacza, że obiekt ma cechy dobrze się korelujące z mineralizacją.

Do testowania MRO użyto zmodyfikowanego algorytmu „Kora-3”, zaproponowanego przez geologów radzieckich (2). Zasada działania tego algorytmu polega na wyborze trójki cech w obiekcie badanym i porównaniu jej z odpowiednimi trójkami w obrazach wzorców. Badaniu podlegają wszystkie kombinacje cech. W przypadku znalezienia identycznych trójek w obiekcie badanym i w jednej z macierzy wzorców, są zliczane głosy na korzyść tego wzorca.

WAŻNIEJSZE WYNIKI

Dotychczasowe badania pozwoliły na zrealizowanie kilku celów, które można by ująć w następujące punkty:

– optymalizacja zbierania danych i ustalenie systemu kodowania cech,

– dobór i przetestowanie różnych algorytmów obliczania informatywności cech i obiektów,

- zdefiniowanie rodzaju obiektów i klas obiektów,
- wypracowanie kryteriów doboru obiektów wzorcowych do obrazów.

Oprócz tych celów, których realizacja była niezbędna dla dalszych prac nad MRO, osiągnięto także cele praktyczne. Do ważnych wyników należy ustalenie ze-

CECHY INFORMATYCZNE WYBRANYCH ŻŁÓŻ OBSZARU OLSKUSKIEGO

Żłoże	+/-	Cechy
Chechło	+	1) strop dolomitów kruszczośnych zalega na wysokości 200–250 m npm
	+	2) kąt upadu stropu retu wynosi 4°
	+	3) brak permu
Laski	+	4) dewon jest dolomityczno-wapienny
	+	5) obecny poziom wodonośny w paleozoiku
	–	1) morfologia powierzchni paleozoicznej – równina
Pomorzany	–	2) perm jest obecny i jest zlepieńcowaty
	–	3) bezpośrednio pod triasem jest perm
	+	1) bezpośrednio pod dolomitami kruszczośnymi są warstwy ktg
	+	2) dolomity kruszczośne leżą bezpośrednio na recie
	+	3) miąższość dolomitów kruszczośnych wynosi 60–80 m
	+	4) średnio zailone dolomity kruszczośne
	–	1) odległość spągu dolomitów kruszczośnych od stropu retu wynosi 10–20 m
	–	2) wysokość zalegania stropu warstw gogolińskich wynosi 200–250 m
	–	3) miąższość dolomitów kruszczośnych wynosi 40–60 m
	–	4) niezailona część spągowa dolomitów kruszczośnych
Wszystkie żłóża	–	5) brak uskoków o zrzucie 15–40 m w utworach paleozoicznych i w stropie retu (tylko w odniesieniu do kwadratów 1/4 km ²)
	+	1) miąższość dolomitów kruszczośnych wynosi do 20 m
	+	2) bezpośrednio pod triasem są skały starsze od dewonu
	+	3) strop dolomitów kruszczośnych zalega 250–300 m npm
	–	1) kąt upadu stropu retu wynosi 5°
	–	2) strop warstw gogolińskich zalega 150–200 m npm
Wszystkie żłóża	–	3) pionowy zasięg dolomitów kruszczośnych pokrywa się z pionowym zasięgiem warstw ktg
	–	4) odległość stropu dolomitów kruszczośnych od spągu kajpru wynosi 20–30 m
	–	5) odległość stropu dolomitów kruszczośnych od najbliższej wyżej leżącej wkładki ilów wynosi 20–30 m
	–	6) odległość od najbliższej skały magmowej wynosi powyżej 8 km
Wszystkie żłóża	+	1) obecność krasu
	+	2) kąt upadu stropu retu wynosi 7°
	–	1) dolomity kruszczośne są niezailone
	–	2) bezpośrednio pod dolomitami kruszczośnymi są warstwy gogolińskie
Wszystkie żłóża	–	3) odległość od najbliższego skrzyżowania uskoków w stropie retu wynosi 500–600 m
	–	4) odległość spągu dolomitów kruszczośnych od stropu retu wynosi 20–40 m

stawu cech informatywnych. Poniżej pokazano po kilka cech najbardziej informatywnych dla poszczególnych żłóż i wariantów rozpoznania oraz kilka cech regionalnych, tzn. informatywnych dla wszystkich badanych żłóż. Znak „+” oznacza, że cecha głosuje za większą mineralizacją; „–” – za mniejszą. W zamieszczonej tabeli nie uwzględniono połączonych obszarów, gdyż okazało się, że w doświadczeniach z takimi obszarami, cechami informatywnymi są przeważnie cechy informatywne dla obszarów składowych. Ogólnie rzecz biorąc, każde żłoże charakteryzuje się odmiennym zestawem cech informatywnych, chociaż istnieje grupa cech o charakterze bardziej uniwersalnym (zestawionych w ostatniej części tabeli). Najbardziej od pozostałych różni się żłoże Pomorzany.

Interesujące wydaje się stwierdzenie, że większość cech informatywnych zarówno o charakterze lokalnym, jak i uniwersalnym ma związek z przyjętą genezą żłóż w rejonie śląsko-krakowskim, tzn. z krasem hydrotermalnym. Pewną niespodzianką są nieco różniące się zestawy cech informatywnych dla tego samego żłóża i tej samej pary obrazów, ale dla otworów i dla siatki kwadratowej (nie uwzględnione w tabeli).

Najważniejszym efektem dotychczasowych prac jest wykazanie, iż w warunkach śląsko-krakowskich żłóż Zn–Pb jest możliwe klasyfikowanie obiektów na rudne i nierudne (a w mniejszym stopniu aureolowe) na podstawie zaproponowanego zestawu cech, nie mówiących bezpośrednio o minimalizacji i za pomocą algorytmu Kora-3. Zdolność do klasyfikacji jest różna na różnych żłóżach i – jak się wydaje – zależy przede wszystkim od możliwości optymalnego doboru obiektów tworzących obrazy. Na przykład w bardziej zwartym i dużym żłóżu Pomorzany prawidłowo sklasyfikowano od 83% (odosobniony przypadek – 62%) do 89% obiektów; w rozczłonkowanym, małym i skomplikowanym żłóżu Chechło, liczba prawidłowych rozpoznań gwałtownie spada do 50–60%.

W tym ostatnim przypadku przede wszystkim, ale także i w pozostałych żłóżach, mniejsza trafność klasyfikacji może mieć dodatkowo zupełnie inną przyczynę. Otóż nie można wykluczyć, że sporadycznie mogą pojawiać się efemeryczne mineralizacje w obszarach o cechach ogólnie nie sprzyjających mineralizacji. W takich przypadkach zaklasyfikowanie otworu rudnego jako nierudnego może być znaczącą przesłanką do wstrzymania się od zagęszczenia sieci rozpoznawczej w pobliżu takiego otworu.

Aby dokładniej zbadać ten aspekt zastosowania MRO, rozpoczęto weryfikację wskazań naszej metody na otworach siatki C1 na żłóżu Pomorzany za pomocą otworów zagęszczających z kategorii B. Dopiero rozwiązanie ostatnio nakreślonego problemu będzie mogło stanowić ocenę słuszności stosowania MRO jako strategii poszukiwawczej. Najbardziej pewne podstawy do takiej strategii dałoby jednak budowanie wzorców na obszarach wyeksploatowanych żłóż, gdzie jednoznacznie można byłoby określić kontury ciał rudnych i na nich zbudować ostry obraz obiektów rudnych, a poza nimi – ostry obraz obiektów nierudnych. Prace takie są przewidziane w przyszłości.

L I T E R A T U R A

1. Abramowicz II., Dudenko L.N., Michajłowa J.I. – Trudy WSEGEI, 1972 t. 178 s. 108.

2. B o n g a r d M.M., W a i n c w a i g M.N. et al. — *Geologija i Geofizika*, 1966 nr 6 s. 96.
3. K o t l a r c z y k J., D u d e k K. et al. — Rozpoznawanie obrazów w poszukiwaniach śląsko-kra-kowskich złóż Zn—Pb (cz. I). *Materiały XIV Sym-pozjum zastosowań metod matematycznych i infor-matyki w geologii*. Wyd. AGH, Kraków, 1987.
4. K o t l a r c z y k J., D u d e k K. et al. — Pat-tern Recognition — A method of prospection for stratoidal Zinc — Lead ore deposits. *Abstrakty konferencji Intern. Conference and Training Course on Geomathematics and Geostatistics*. Wrocław, czerwiec 1987.
5. K o t l a r c z y k J., D u d e k K. et al. — Pat-tern Recognition — A method of prospection for stratoidal Zinc — Lead ore deposits. *Informatique geologique. Sciences de la terre* (w druku).
6. K o t l a r c z y k J., D u d e k K. et al. — Rozpoznawanie obrazów w poszukiwaniach śląsko-kra-kowskich złóż Zn—Pb (cz. II). *Materiały XV Sym-pozjum zastosowania metod matematycznych i infor-matyki w geologii*. Wyd. AGH, Kraków, 1988.
7. K o t l a r c z y k J. et al. — Przygotowanie da-nych (opróbowanie) w wybranym rejonie złóż cyn-kowo-ołowiowych; pisanie programów na rozpoznawanie obrazów. *Sprawozdanie etapowe I*, Arch. IGiSM AGH, Kraków, 1986.
8. K o t l a r c z y k J. et al. — Przygotowanie da-nych w wybranych rejonach złóż Zn—Pb, testowanie programów, rozpoznawanie obrazów na podstawie danych z wybranych obszarów złożowych. *Sprawoz-danie etapowe II*, Ibidem, 1987.
9. S a s s - G u s t k i e w i c z M. — *Zesz. Nauk. AGH — Geologia*, 1985 nr 31.
10. W i e r c h o w s k a Ł.A., G o ł u b i e w a W.A., K o g a n R.J. — *Wybór informatywnej kombinacji признаков dla rozliczenia dwóch geo-logicznych obiektów*. Izd. WIEMS, Moskwa, 1972.