

## PRZYKŁADY WPŁYWU WARUNKÓW GEOLOGICZNO-GÓRNICZYCH NA PRZEBIEG EKSPLOATACJI OTWOROWEJ SIARKI

UKD [622.366.33.622.277].013

W celu określenia czynników wpływających w decydujący sposób na przebieg eksploatacji otworowej siarki poddano analizie warunki geologiczno-górnice i efekty produkcyjne uzyskane z części pola górnicego, w której zakończono eksploatację. Analizowana część pola obejmowała fragment złoża, którego ogólną budowę przedstawiono na ryc. 1, 2, 3.

Złoże siarki rodzimej zalega w wodonośnych utworach wapienno-łlasytych tzw. „serii złożowej”, ograniczonych od południowego zachodu i północnego wschodu gipsami, w stropie grubym kompleksem nieprzepuszczalnych ilów, a w spągu bardzo słabo przepuszczalnymi mułowcami. Miąższość serii złożowej wykształconej w facji węglanowo-łlastej jest prawie stała i jej wahania nie przekraczają  $\pm 10\%$  średniej miąższości.

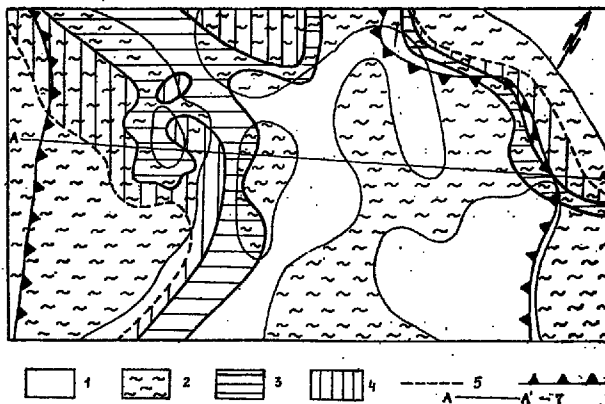
Przepuszczalność serii złożowej charakteryzuje się dużą niejednorodnością w profilu poziomym i pionowym, rozpatrując jednak większy obszar uśrednione wartości dość dokładnie określają warunki wodne serii. Ogólnie warunki wodne w omawianym fragmencie złoża są korzystne dla prowadzenia otworowej eksploatacji siarki. Złoże bilansowe, wyklonowujące się w kierunku południowo-zachodnim i północno-wschodnim, obejmuje cały przekrój pionowy serii złożowej lub jego część i wówczas ma tendencję do zalegania w partii spągowej lub środkowej serii. W związku z tym w profilu pionowym wodonośnej serii złożowej można wyróżnić trzy charakterystyczne poziomy: złoże bilansowe oraz nadkład i podłoże złoża (wapienie płonne).

Dla określenia przydatności eksploatacyjnej złoża posłużono się zasobnością (wydajnością) geologiczną, tj. łącznym miąższością złoża, średnią zawartością siarki w jego profilu pionowym i ciężaru objętościowego rudy. Zawartość siarki rodzimej w złożu bilansowym wiąże się ze stopniem zasilenia skał — najmniejsza w ilach, większa w marglach, największa w wapieniach marglistych i wapieniach. Podobnie kształtuje się ciężar objętościowy rudy z tym, że jego zmienność jest tak mała, że w omawianym fragmencie nie ma większego znaczenia. Prawie stała zawartość siarki w poszczególnych warstwach litologicznych złoża bilansowego powoduje, że zasobność (wydajność geologiczna zależy od typu litologicznego oraz od miąższości złoża i w przybliżeniu wynosi od 0,38 M (miąższości) w skałach marglistych z ilami do 0,68 M w wapieniach.

Udział poszczególnych typów litologicznych w budowie omawianego fragmentu złoża przedstawia się następująco: wapieni i wapieni marglistych — 75%, margli — 22%, ilów 3%. Przewaga wapieni i wapieni

marglistych oraz niewielkie zróżnicowanie wykształcenia litologicznego powoduje, że zasobność jest związana głównie z miąższością (ryc. 4), która w omawianym fragmencie złoża charakteryzuje się dużą zmiennością szczególnie w partiach peryferyjnych.

Ze względu na zasobność złoża w omawianej części pola eksploatacyjnego podzielono na pięć klas (ryc. 3), obejmujących zasobności w przedziałach od bliskich granicznej bilansowej (kl. I) do najwyższych (kl. V). Miąższość złoża bilansowego wzrasta sukcesywnie od klasy I—IV. Wodonośny nadkład występuje w tych partiach pola eksploatacyjnego, gdzie złoże zalega w części spągowej lub środkowej serii i największe miąższości osiąga w partiach o zasobnościach klas I do III (ryc. 4 i 5). Wodonośne podłoże złoża bilansowego posiada większą miąższość jedynie w partiach o zasobności kl. I i III.

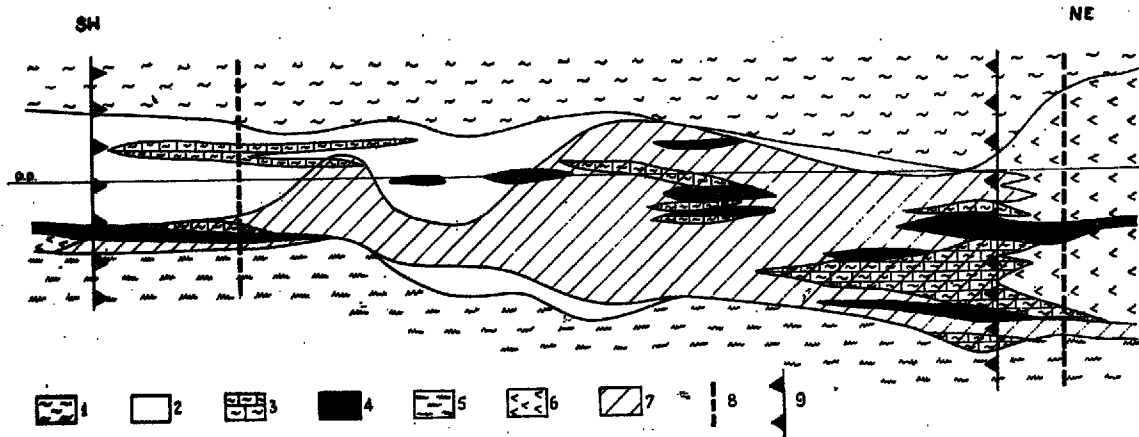


Ryc. 1. Mapa charakterystycznych parametrów geologicznych fragmentu złoża.

1 — seria złożowa bez wkładki iltu, 2 — seria złożowa z wkładkami iltu, 3 — wodonośny nadkład złoża o grubości 25–50% miąższości serii złożowej, 4 — wodonośny nadkład złoża bilansowego o grubości powyżej 50% miąższości serii złożowej, 5 — granice złoża bilansowego, 6 — granica występowania gipsów w serii złożowej, 7 — linia przekroju.

Fig. 1. A map of characteristic geological parameters of a section of the ore.

1 — ore series without clay intercalations, 2 — ore series with clay intercalations, 3 — water-bearing ore cap of the thickness equaling 25–50% of the ore series, 4 — water-bearing cap of balance ore, attaining over a half of ore series thickness, 5 — boundaries of balance ore, 6 — extent of the occurrence of gypsum in the ore series, 7 — line of cross-section.

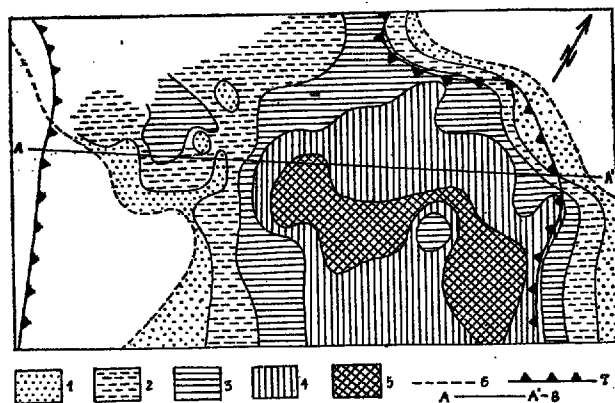


Ryc. 2. Litologiczna budowa serii złożowej — przekrój A—A'.

1 — ility krakowieckie, 2 — wapienie i wapienie margliste, 3 — margle, 4 — ility margliste, 5 — mułowce, 6 — gipsy, 7 — bilansowe osiarkowanie, 8 — granice złoża bilansowego, 9 — granica występowania gipsów w serii złożowej.

Fig. 2. Section along line A—A', showing lithological structure of the ore series.

1 — Krakowice clays, 2 — limestones and marly limestones, 3 — marls, 4 — marly clays, 5 — siltstones, 6 — gypsum, 7 — balance sulphur content, 8 — boundaries of balance ore, 9 — extent of occurrence of gypsum in the ore series.



Ryc. 3. Mapa zasobności fragmentu złoża.

1 — klasa zasobności I, 2 — klasa zasobności III, 3 — klasa zasobności III, 4 — klasa zasobności IV, 5 — klasa zasobności V, 6 — granice złoża bilansowego, 7 — granica występowania gipsów w serii złożowej, 8 — linia przekroju.

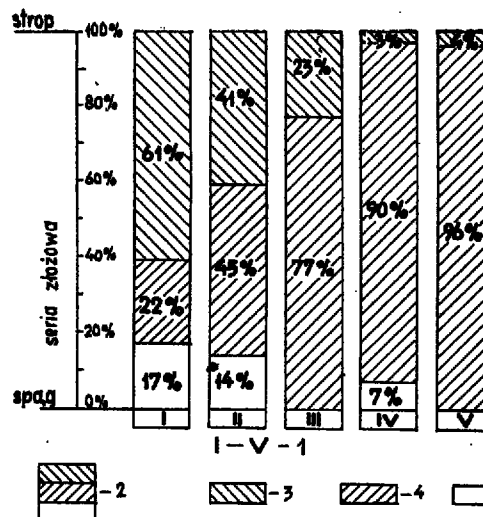
Fig. 3. Map of the resources of an ore section.

1 — abundance class I, 2 — abundance class III, 3 — abundance class III, 4 — abundance class IV, 5 — abundance class V, 6 — boundaries of balance ore, 7 — extent of occurrence of gypsum in ore series, 8 — line of cross-section.

Próba powiązania efektów eksploatacji z warunkami geologiczno-górnictwicznymi omawianego pola eksploatacyjnego prowadzona była głównie pod kątem wpływu na przebieg eksploatacji następujących czynników:

- zasobności geologicznej złoża bilansowego,
- położenia złoża w profilu pionowym serii i wielkości nadkładu wodonośnego,
- występowania wkładek ilastych w serii złożowej,
- rozstawu otworów eksploatacyjnych (siatki otworów).

Wymienione wyżej charakterystyczne parametry geologiczne i technologiczne wpływają w zasadniczy sposób na efektywność eksploatacji. Głównymi wskaźnikami efektywności eksploatacji są: ilość zużytej wody przegrzanej na tonę wyprodukowanej siarki ( $m^3/tS$ ) oraz stopień wyeksploatowania złoża liczony w stosunku do zasobów geologicznych (%). Z porównania wykresu procentowego udziału poziomów wodonoś-



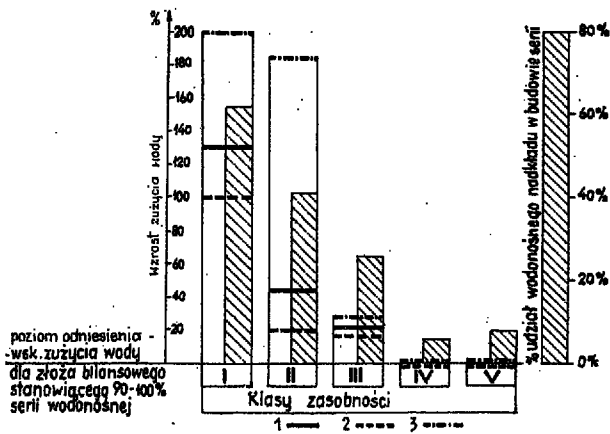
Ryc. 4. Procentowy udział charakterystycznych poziomów w budowie serii.

1 — klasy zasobności, 2 — wodonośna seria złożowa, 3 — wodonośny nadkład złoża bilansowego, 4 — złożo bilansowe, 5 — wodonośny podkład złoża bilansowego.

Fig. 4. Percentage contribution of particular horizons in the ore series profile.

1 — abundance classes, 2 — water bearing ore series, 3 — water-bearing cap of balance ore, 4 — balance ore, 5 — water-bearing horizon of the balance ore.

nych w serii złożowej (ryc. 3) z wykresem wskaźnika zużycia wody na tonę siarki w poszczególnych klasach zasobności (ryc. 4) widoczna jest zależność tego wskaźnika nie od zasobności złoża bilansowego, lecz od miąższości jego wodonośnego nadkładu. Zależność ta wynika z jednorodnego, dość wysokiego osiarkowania złoża bilansowego na tym polu eksploatacyjnym, co powoduje, że wzrost zużycia wody przegrzanej na tonę siarki wiąże się ze stratami ciepłymi na nagrzanie pionnego wodonośnego nadkładu złoża. Podłoże wodonośne nie ma w tym przypadku większego znaczenia ze względu na filtrowanie otworów eksploatacyjnych powyżej spągu złoża bilansowego, co w powiązaniu z konwekcją cieplą eliminuje możliwość przepływu przegrzanej wody poniżej spągu złoża.



Ryc. 5. Średni wskaźnik zużycia wody i wodonośny nadkład złoża w klasach zasobności.

1 — średni wskaźnik zużycia wody na tonę siarki, 2 — wskaźnik zużycia wody w serii z przerostami ilków, 3 — wskaźnik zużycia wody w serii bez przerostów ilków.

Fig. 5. Average index of water consumption and water-bearing ore cap for particular abundance classes.

1 — average index of water consumption per ton of sulphur, 2 — water consumption index for the ore series clay intercalations, 3 — water consumption index for the ore series without clay intercalations.

Większe zużycie wody na t S w złożu o zasobnościach klas I—III niż w klasach IV i V jest właśnie spowodowane wysokim udziałem wodonośnego nadkładu w budowie serii złożowej. Przy stosowaniu jednakowej technologii udostępniania złoża i eksploatacji zużycie wody przegrzanej na tonę siarki w złożu zajmującym 90—100% profilu pionowego serii wodonośnej zależy głównie od stopnia osiarkowania i jest odwrotnie proporcjonalne do zawartości siarki w złożu. W przypadku, gdy nadkład wodonośny złoża stanowi ponad 10% profilu serii wodonośnej zużycie wody na t S będzie dodatkowo zależne od wodoprzewodności nadkładu i złoża (wodoprzewodność — iloczyn współczynnika filtracji i miąższości warstwy wodonośnej).

Jak wykazuje analiza zużycia wody na omawianym polu, zależność ta jest proporcjonalna do ilorazu wodoprzewodności nadkładu przez wodoprzewodność złoża bilansowego. Na podstawie zebranych materiałów z rozpoznania geologicznego i przebiegu eksploatacji ustalono dla omawianego fragmentu złoża zależność wskaźnika zużycia wody od miąższości wodonośnego nadkładu. Zależność tę przedstawiono w postaci wzoru:

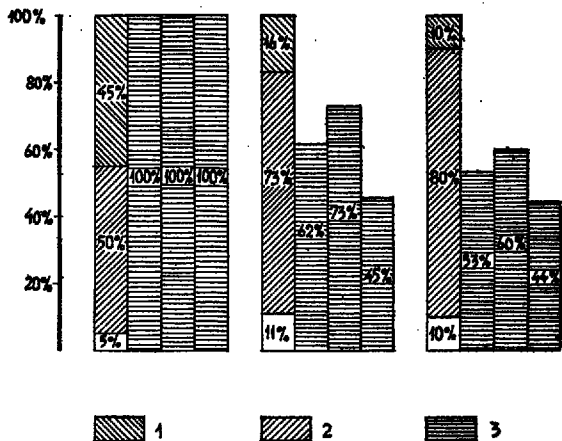
$$W = w + \frac{\omega m_n}{m_z}$$

gdzie:

- W — średni wskaźnik zużycia wody dla dowolnego, obszaru złoża bilansowego, m<sup>3</sup>/t S,
- w — średni wskaźnik zużycia wody dla obszarów, gdzie złożo bilansowe stanowi 90—100% wodonośnej serii, m<sup>3</sup>/t S,
- m<sub>n</sub> — miąższość wodonośnego nadkładu (m),
- m<sub>z</sub> — miąższość złoża bilansowego (m),
- ω — współczynnik zależny m.in. od zawartości siarki w złożu i wodoprzewodności, jego średnia wartość określona statystycznie dla omawianego fragmentu złoża wynosi 3,4 m<sup>3</sup>/t S.

Powyższa zależność dotyczy obszarów złoża eksploatowanych bezawaryjnie, w których przyczyną wyłączenia otworu z eksploatacji był brak spływu siarki do otworu. Z wykresu na ryc. 5 wynika również zależność zużycia wody na t S od występowania

siatka A				siatka B=15A			siatka C=2A		
wskaźnik zużycia wody w stosunku do średniego wskaźnika dla siatki A	średnia dla siatki	seria z ilkami	seria bez ilków	średnia dla siatki	seria z ilkami	seria bez ilków	średnia dla siatki	seria z ilkami	seria bez ilków
	100%	99%	102%	74%	70%	77%	62%	60%	65%



Ryc. 6. Zestawienie porównawcze niektórych parametrów geologicznych i technologicznych.

1 — wodonośny nadkład złoża, 2 — złożo, 3 — stopień wykorzystania złoża (wykorzystanie dla siatki A = 100%).

Fig. 6. Comparative juxtaposition of some geological and technological parameters.

1 — water-bearing ore cap, 2 — ore, 3 — degree of ore utilization (utilization for network A = 100%).

wkładek ilastych w serii złożowej. W obszarach, gdzie złożo bilansowe posiada grubo nadkład wodonośny (klasa I i II zasobności) zużycie wody jest znacznie mniejsze jeśli w serii występują wkładki ilaste, zwłaszcza gdy wkładki te znajdują się w stropie złoża lub w przyspawowej części wodonośnego nadkładu. Wkładki ilaste wpływające na zmniejszenie zużycia wody posiadają miąższość powyżej 0,3 m.

Rola wkładek ilastych jako ważnego elementu w eksploatacji otworowej potwierdza się również przy analizie stopnia wyeksploatowania złoża (ryc. 6). Stopień ten jest wyższy w partiach złoża z wkładkami ilastymi zwłaszcza w obszarach eksploatowanych w siatce B i C o dużym rozstawie otworów. Wynika to bez wątpienia z ekranującej roli wkładek ilastych o miąższości rzędu 0,3—2,0 m, które okresowo stwarzają lepsze warunki przebiegu wytopu wokół otworu eksploatacyjnego niwelując w pewnym stopniu niekorzystne dla eksploatacji zjawiska wynikające z dużego rozstawu otworów eksploatacyjnych. Rozpatrując stopień wyeksploatowania złoża brano pod uwagę wszystkie otwory, do których tłoczono przegrzaną wodę nie eliminując otworów awaryjnych.

Dodatni wpływ wkładek ilastych na przebieg wytopu siarki ze złoża jest tym bardziej widoczny, że 86% otworów, które w wyniku awarii zakończyły produkcję przedwcześnie, eksploatowało partie z wkładkami ilastymi. Mimo dużej awaryjności w tych obszarach wskaźniki zużycia wody i stopnia wyeksploatowania kształtowały się korzystniej niż w partiach pozbawionych wkładek ilastych.

Analizując stopień wyeksploatowania złoża w zależności od stosowanej siatki otworów eksploatacyjnych (ryc. 6) można stwierdzić, że dla omawianego pola eksploatacyjnego najkorzystniejsza jest siatka „A”. Jednak wysoki stopień wyeksploatowania złoża osiągnięto kosztem wyższego niż w pozostałym obszarze zużycia przegrzanej wody na tonę wyprodukowanej siarki. Ten wzrost zużycia wody wynikał z konieczności nagrzewania dużego wodonośnego nadkładu złoża.

W obszarze rozwierconym w siatce „B”, w której odstęp między otworami był o 50% większy, stopień wyeksploatowania złoża jest mniejszy, co wskazuje na przekroczenie optymalnej ze względu na stopień wyeksploatowania odległości między otworami. Równocześnie obserwuje się mniejsze niż dla siatki „A” zużycie wody na tonę S związane z niewielką grubością wodonośnego nadkładu. W siatce „C” o odstepie między otworami o 100% większym od siatki „A” efekty eksploatacji są gorsze pod względem stopnia wyeksploatowania złoża, natomiast zużycie wody przegrzanej w związku z brakiem nadkładu wodonośnego jest mniejsze niż w siatce „B”, w której zasobność złoża bilansowego jest nieznacznie wyższa.

Niski stopień wyeksploatowania złoża pomimo mniejszej awaryjności otworów niż w siatkach „A” i „B” wynika ze znacznego przekroczenia optymalnej dla tego typu złoża odległości między otworami eksploatacyjnymi. Zbyt duża odległość między otworami powoduje:

- zwiększenie strat cieplnych w stosunku do ciepła zawartego w łoczonej wodzie;
- zmniejszenie się z odległością od otworu ilości przepływającej wody przegrzanej przez jednostkę przekroju pionowego złoża, co sprzyja konwekcyjnemu przemieszczaniu się gorącej wody w strop serii wodonośnej i objęciu wytopem tylko stropowych partii złoża;
- utrudnienia w spływie roztopionej siarki do otworu eksploatacyjnego.

Wymienione czynniki wpływają niekorzystnie na efektywność eksploatacji tak pod względem zużycia wody przegrzanej, jak i stopnia wyeksploatowania złoża. Przy zwiększeniu odległości między otworami dodatkowymi niekorzystnym czynnikiem jest kąt spływu płynnej siarki w górotworze, sięgający rzędu kilkunastu lub więcej stopni. Kąt spływu siarki przy małych upadkach złoża eliminuje z eksploatacji dolne partie złoża, tym większe im większa jest odległość

między otworami eksploatacyjnymi, uniemożliwiając uzyskanie wysokiego stopnia wyeksploatowania złoża.

Podsumowując przeprowadzoną analizę efektywności eksploatacji omawianego fragmentu złoża można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Zużycie przegrzanej wody na tonę wyprodukowanej siarki zależne jest od zawartości siarki w złożu bilansowym i grubości wodonośnego nadkładu złoża bilansowego.
2. Eksploatacja złoża bilansowego wg obowiązujących kryteriów bilansowości może być ekonomicznie nieuzasadniona w pewnych obszarach złoża ze względu na zużycie wody przegrzanej wynikające z niskiej procentowej zawartości siarki w złożu, lub w przypadku wysokiej zawartości siarki ze względu na zbyt wielki nadkład wodonośny.
3. Ze względu na zużycie wody przegrzanej na tonę wyprodukowanej siarki, brzożna zawartość siarki oraz minimalna miąższość złoża powinna być większa od wielkości przyjętych w aktualnych kryteriach bilansowości.
4. Jako dodatkowe kryterium bilansowości złoża należy przyjąć miąższość wodonośnego nadkładu złoża bilansowego, które należy ustalić w korelacji ze średnią zawartością siarki w złożu.
5. Wielkość siatki otworów eksploatacyjnych powinna być dobrana do lokalnych warunków naturalnych złoża, a szczególnie do wodoprzewodności złoża bilansowego i jego wodonośnego nadkładu, w ten sposób, aby ograniczała do minimum ujemny efekt kąta spływu płynnej siarki oraz wpływ konwekcji cieplnej.
6. Przekraczanie optymalnej dla danych warunków odległości między otworami eksploatacyjnymi powoduje zmniejszanie się stopnia wyeksploatowania złoża.
7. Ważnym elementem budowy geologicznej złoża wpływającym korzystnie na zużycie wody i wyeksploatowanie złoża jest występowanie w wodonośnej serii złożowej wkladek ilastych o grubości rzędu 2—10% miąższości tej serii.

## SUMMARY

Analysis of the course of hot-water mining of a section of native-sulphur deposit was performed in order to determine main factors influencing the amount of overheated-water consumption per ton of sulphur, and degree of the deposit exploitation. The analysis has shown that there is a close interrelation between water consumption, average sulphur content in the ore and thickness of its water-bearing cap. In turn, the degree of ore utilization appeared to be dependant on the distance between exploitation holes.

Therefore, it appears that the estimation of the ore budget should take into account thickness of water-bearing ore cap. The distance between holes in exploitation network should be calculated for local conditions in order to minimize losses resulting from liquid sulphur flow angle in rock massif and from direction of overheated water flow due to thermal convection.

Additional analysis has shown positive effect of clay intercalations occurring in the middle part of the vertical profile of water-bearing ore series and contributing 2 to 10 per cent to its thickness, exerted on water consumption and degree of sulphur exploitation.

## РЕЗЮМЕ

Анализ процесса эксплуатации серы методом подземной выплавки проводился с целью определения основных факторов, влияющих на расход горячей воды на тонну добытой серы и на степень извлечения компонента из залежи. Анализ показал, что существует непосредственная зависимость расхода воды от среднего содержания компонента в залежи и от мощности водоносной вскрыши, а также зависимость степени извлечения серы от интервалов между эксплуатационными скважинами.

В связи с этим, кондиционная оценка месторождений должна учитывать мощность водоносной вскрыши. Интервалы между скважинами следует определять с учетом условий в данной залежи таким образом, чтобы ограничить потери полезного компонента, обусловленные углом стока расплавленной серы в окружающих породах, а также направлением движения горячей воды под влиянием тепловой конвекции.

Дополнительный анализ показал, что благоприятные влияния на расход воды и степень извлечения компонента оказывают глинистые прослои, составляющие 2—10% от всей мощности водоносной свиты вмещающих пород, распространенные в средней части разреза этой свиты.