

Wanda KURTZ

Bakterie siarkowe w rudzie siarkowej z Piaseczna

WSTĘP

Część doświadczalną niniejszej pracy wykonałam w założonej przeze mnie pracowni mikrobiologicznej w Centralnym Laboratorium Kopalnych Surowców Chemicznych w Warszawie, w czasie od listopada 1962 roku do października 1963 roku. Za umożliwienie mi dokończenia rozpoczętej pracy w C.L.K.S. Chem. najserdeczniej dziękuję V-ce Dyr. Instytutu Geologicznego dr J. Czerwińskiemu i prof. dr S. Pawłowskiemu, zwłaszcza że tego rodzaju badania nie były jeszcze w Polsce przeprowadzane, chociaż bogate złoża siarkowe w Polsce, zajmujące drugie miejsce w świecie po Meksyku, zostały odkryte przez prof. dr S. Pawłowskiego już 1953 roku. Wyrazy podziękowania składam również Dyr. mgr inż. A. Pfefferowi C.L.K.S.Chem. za dopomożenie mi w uzyskaniu odpowiedniej aparatury i wydelegowanie mnie do kopalni w Piasecznie dla zapoznania się z terenem kopalni oraz pobrania odpowiednich próbek wody siarkowodorowej i próbek rudy wprost spod koparki. Dziękuję serdecznie mgr J. Smaglewskiej-Tomczyńskiej za wskazanie mi odpowiedniej literatury dotyczącej bakterii siarkowych, co umożliwiło mi opracowanie metody badań, oraz kierownikowi pracowni fotograficznej C.L.K.S. Chem. J. Matejkowskiemu za wykonanie mikroskopowych zdjęć wyhodowanych mikroorganizmów i mgr. K. Nowakowskiemu za szlify z rudy siarkowej.

*
* *
*

Celem niniejszej pracy było stwierdzenie, czy w wodzie siarkowodorowej i w rudzie siarkowej z kopalni w Piasecznie żyją mikroorganizmy siarkowe oraz zbadanie, czy w rudzie piaseczyńskiej bytują bakterie siarkowe z gatunku *Thiobacillus thiooxidans*, które powodują straty związane z ubytkiem siarki w odkrywkach złoża i w rudzie składowanej w hałdach wskutek procesu utleniania.

Dla wyhodowania mikroorganizmów siarkowych przyjęto metodę D. L. Starkey'a i Van Niela, a dla wyhodowania bakterii z gatunku *Thiobacillus thiooxidans* — S. A. Waksmana i S. Joffe (1922).

HISTORIA BADAŃ BAKTERII SIARKOWYCH

W krótkiej historii problemu należy podać, że pierwsze prace nad bakteriami siarkowymi wyszły ze szkoły Pasteura i Kocha (1885). Wielu innych badaczy, jak Duclaux, Klein, V. Niel, J. G. Lipman, S. A. Waksman, S. Joffe, a głównie S. Winogradski opracowywali te mikroorganizmy.

Bakterie siarkowe tworzą grupę mikroorganizmów szeroko rozpowszechnionych w przyrodzie, ale różniących się między sobą tak pod względem morfologicznym, jak i fizjologicznym. Są wśród nich autotrofy i aeroby oraz fakultatywne autotrofy i fakultatywne aeroby. Są między nimi formy żyjące w ziemi i w wodzie, formy duże i bardzo drobne, nitkowate, owalne, pałeczkowate, otoczone śluzem i bez śluzu, z pochwami i bez pochw, nieruchliwe i ruchliwe. Niektóre z nich odkładają siarkę wewnątrz komórek, inne na zewnątrz, a są także i takie, które nie odkładają siarki w ogóle.

Mikroorganizmy te różnią się sposobem odżywiania, mogą zatem występować w różnych warunkach. Niektóre bakterie siarkowe potrzebują do rozmnażania się siarkowodoru i czerpią energię z utleniania H_2S do siarki, którą odkładają w komórkach; inne utleniają siarkę, a także tiosiarczany. Jedne z nich żyją w środowiskach alkalicznych, inne w kwaśnych. Koniecznym warunkiem dla rozwoju bakterii siarkowych jest obecność siarki lub jej związków w podłożu, z których utleniania czerpią energię potrzebną do asymilacji dwutlenku węgla. Organizmy te należy odróżnić od bakterii siarkowych, zużywających siarkę tylko do syntezy protoplazmy i od bakterii siarkowych hydrolizujących białka przy uwalnianiu H_2S .

W naturalnych warunkach H_2S i siarczki w roztworze są utleniane wolno. Utworzona siarka w obecności różnych katalitycznych czynników ulega dalszemu utlenianiu na ostateczny produkt, którym jest kwas siarkowy. Zjawisko to przebiega o wiele szybciej w obecności specyficznych bakterii. Bakterie te, pierwotnie badane przez Winogradskiego, zostały nazwane bakteriami siarkowymi, mającymi zdolność utleniania siarki, w przeciwieństwie do bakterii redukujących siarczany.

Mikroorganizmy biorące udział w cyklu siarkowym podzielono na dwie grupy:

- 1 — bakterie utleniające siarkę i jej związki;
- 2 — bakterie redukujące siarczany.

Według S. Winogradskiego bakterie siarkowe zawierają ziarenka siarki wewnątrz swoich komórek. Inni badacze nazwali bakteriami siarkowymi także mikroorganizmy utleniające H_2S , siarkę i tiosiarczany, ale nie gromadzące siarki wewnątrz swoich komórek. Dla bakterii redukujących siarczany redukcja siarczanów jest formą przemiany materii. Z redukcji siarczanów pochodzą największe ilości H_2S . Według F. Sislera (1950) bakterie redukujące siarczany mogą żyć także w sposób autotrofowy w warunkach beztlenowych wykorzystując wolny wodór, redukując siarczany i CO_2 . Mogą też redukować siarczany w roztworze soli mineralnych wobec dużej ilości CO_2 (N. Czurda, 1940).

Ze względu na różnice morfologiczne i fizjologiczne bakterie siarkowe podzielono na 5 grup (S. A. Waksman, S. Joffe, 1922):

I. Bakterie gromadzące siarkę wewnątrz komórek — nitkowate, bezbarwne.

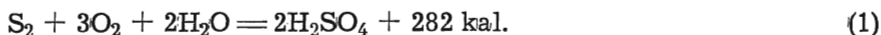
II. Bakterie gromadzące siarkę wewnątrz komórek, ale nie tworzące nitek, bezbarwne.

III. Bakterie utleniające, gromadzące siarkę wewnątrz komórek — barwne, purpurowe.

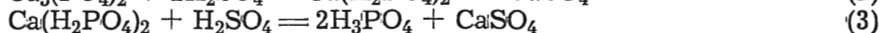
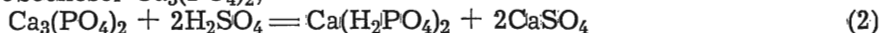
IV. Bakterie utleniające siarkę i jej związki, ale gromadzące siarkę na zewnątrz komórek, potem zamierające.

V. Bakterie utleniające siarkę i tiosiarczany do kwasu siarkowego, nie gromadzące siarki ani wewnątrz, ani na zewnątrz komórek.

Mechanizm utleniania siarki do kwasu siarkowego odbywa się według następującej reakcji:



w obecności $Ca_3(PO_4)_2$;



Energia uwalniana przy utlenianiu siarki jest zużywana przez mikroorganizm dla jego czynności życiowych.

Jedyną dotychczas znaną bakterią należącą do V grupy jest *Thiobacillus thiooxidans*. Ze względu na wielkie znaczenie wyhodowania tej bakterii z rudy piaseczyńskiej mikroorganizm ten będzie szerzej opisany w niniejszej pracy. Podana charakterystyka bakterii siarkowych, a głównie zebranie cech fizjologicznych (tab. 1) ma wartość dla ustalenia genezy złóż siarki rodzimej w kopalniach tarnobrzeskich.

Tabela 1

Znamiennie cechy bakterii siarkowych IV i V grupy
(zebrane przez S. A. Waksmana)

Cecha	Gatunek bakterii	<i>Thiobacillus thioparus</i> (Nathanson) Beijerinck	<i>Thiobacillus denitrificans</i> Beijerinck	<i>Thiobacillus thiooxidans</i> Waksman
Energia		H ₂ S, tiosiarczany, siarka	H ₂ S, tiosiarczany, siarka	siarka, tiosiarczany
Wielkość		3 μ dł.; 0,5 μ ∅	3 μ dł.; 0,5 μ ∅	1 μ dł.; 0,5 μ ∅
Gromadzenie siarki na zewnątrz komórek		+++	+++	—
Źródło węgla		węglany, dwuwęglany	węglany, dwuwęglany	CO ₂ z atmosfery
Ruchliwość		+	+	±
Gromadzenie kwasu		+	?	+
		czynny		bardzo silne pH opadające do 0,6

Na złoża powstałe za pośrednictwem bakterii siarkowych natrafiono w USA w stanie Luizjana nad Zatoką Meksykańską (O. Stuzer, 1911; I. Hunt, 1915 — vide A. Rippel-Baldes, 1955). Trudno stwierdzić, czy znalezione tam bakterie, jak również opisane niżej mikroorganizmy siarkowe wyhodowane przeze mnie z rudy siarkowej piaseczyńskiej, są autochtoniczne, czy też przedostały się wtórnie. Zdania różnych badaczy są sprzeczne, np. A. Müller (1949) uznaje autochtoniczną obecność bakterii za nieudowodnioną, natomiast D. Knösel i W. Schwartz (vide A. Ripel-Baldes, 1955) zajmują odmienne stanowisko. Wobec tego badanie powstawania złóż siarkowych za pośrednictwem bakterii należy uważać za otwarte.

W ustaleniu poglądu dotyczącego powstawania złóż siarkowych cała trudność polega na odgraniczeniu czynnych sił (w rozwoju złóż siarkowych czy innych) natury chemicznej i fizycznej od działalności bakterii i innych mikroorganizmów.

Zdaniem M. W. Iwanowa (1961) i wielu innych badaczy radzieckich podstawowymi mikroorganizmami biorącymi udział w tworzeniu osadowych złóż siarkowych są bakterie siarkowe, bakterie redukujące siarczany i bakterie tionowe. Jak podaje M. W. Iwanow (1961) rola tych mikroorganizmów jest obecnie udowodniona na przykładzie niektórych jezior siarkowych, w których odkłada się siarka. Udział bakterii w genezie złóż typu epigenetycznego został udowodniony doświadczeniami mikrobiologicznymi, jak i pracami geochemicznymi nad rozdzieleniem stabilnych izotopów siarki ze złóż amerykańskich.

Należy jeszcze wspomnieć, że naturalne pokłady saletry (na przykład chilijskiej) są także produktem działalności bakterii, jak i opisana szerzej w literaturze naukowej działalność bakterii przy tworzeniu się ropy naftowej. Powstawanie ropy według A. Prevota (vide A. Rippel-Baldes, 1955) wiąże się z przemianą tłuszczów glonów, przy równoczesnej redukcji siarczanów, zwłaszcza że częsta obecność H_2S w ropie naftowej, przy równoczesnej znikomej ilości siarczanów, świadczy o ich redukcji, prawdopodobnie dokonywanej przez bakterie redukujące siarczany.

BEGGIATOJA I INNE MIKROORGANIZMY SIARKOWE

Analizując biologicznie (w 1955 r.) wodę siarkowodorową przywiezioną z Machowa (otwór 301 C, głębokość 80 m) znalazłam, przy użyciu mikroskopu Zeiss'a, bakterie siarkowe z rodzaju *Beggiatoa*. Istnienie tych bakterii na takiej głębokości można tylko tłumaczyć jednoczesną obecnością bakterii redukujących siarczany, które redukując te związki wydzielają tlen według reakcji:

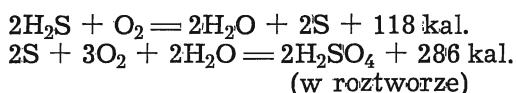


Bakterie redukujące siarczany nie znoszą tlenu (anaeroby), wobec tego *Beggiatoa*, będąc aerobem, mogłaby w takich warunkach zużywać tlen wydzielany przez te bakterie do utleniania H_2S i odkładania siarki w komórkach. Spostrzeżenie dotyczące korzystania przez *Beggiatoa* z tlenu wydzielanego przez bakterie redukujące siarczany nie jest notowane w literaturze, a jest ważne, zwłaszcza że znany jest fakt zużywa-

nia tlenu do przemiany materii wydzielanego przez inne mikroorganizmy, np. przez bakterie zielone, występujące w towarzystwie bakterii purpurowych. Wydzielanie tlenu przez bakterie redukujące siarczany w warunkach anerobowych potwierdzają także badania przeprowadzane nad korozją mikrobiologiczną. Bez tego zjawiska biologicznego nie mogłyby odbywać się proces korozji elektrochemicznej.

Można także przypuszczać, że nitki *Beggiatoa*¹ mogły dostać się do otworu 301 C z górnych warstw wody i rozwinąć się w nowe normalne nitki *Beggiatoa* w naczyniu z pobraną wodą, zwłaszcza że *Beggiatoa* jako aerob występuje w przyrodzie w górnych warstwach wody, na granicy stref H₂S i tlenu. Jednak *Beggiatoa* znaleziona w wodzie z otworu 301 C nie wyglądała na świeżo wyrosłą. Jest raczej możliwe, że *Beggiatoa* może korzystać z tlenu wydzielonego przez bakterie redukujące siarczany i może żyć na takich głębokościach w wodzie z siarkowodorem, co nie jest także motowane w literaturze.

Można przypuszczać, że bakterie siarkowe z rodzaju *Beggiatoa* mogły brać udział w powstawaniu złóż siarkowych w kopalni w Piasecznie i może to mieć znaczenie dla ustalenia genezy tych złóż. *Beggiatoa* należy do mikroorganizmów autotroficznych, nie potrzebujących dla procesu budowy swego ciała związków organicznych, przyswajają CO₂ chemosyntetycznie, a więc mogła żyć na głębokości 80 m, korzystając z energii wydzielonej podczas procesu utleniania H₂S do S i w dalszym ciągu do H₂SO₄ według reakcji:



Na ewentualną rolę bakterii siarkowych z rodzaju *Beggiatoa* w powstawaniu złóż siarkowych w kopalni w Piasecznie zwrócił uwagę J. Czermiński (1960), porównując obrazy mikroskopowe (szlify) osiarkowanego gipsu z obrazami ziarenek siarki pochodzących z nitek *Beggiatoa* według Winogradskiego (1953), znajdując w szlifach struktury mikroorganogeniczne. Należy zaznaczyć, że inni badacze tych zagadnień nie zwrócili uwagi na ewentualną rolę bakterii siarkowych z rodzaju *Beggiatoa* w powstawaniu złóż siarkowych.

Analizując biologicznie wodę wiślaną o zapachu zgnilizny, do której dodano kawałki rudy siarkowej, po kilku dniach znaleziono w niej bakterie z rodzaju *Beggiatoa*. Nitki *Beggiatoa* przeniesiono do dwóch próbek: pierwszą napełniono wodą, do drugiej włożono kawałek rudy siarkowej. Po 24 godzinach *Beggiatoa* w próbce pierwszej zużyła kuleczki siarki, w próbce drugiej natomiast, bez wody, straciła błony komórkowe, a pozostały kuleczki siarki ściśle przylegające do kawałka rudy.

Takie same wyniki uzyskano z bakteriami wyhodowanymi z wody siarkowodorowej (studnia 3 P₂) na pożywce agarowej Starkey'a. Kolonia tych bakterii była wciśnięta w agar, a więc żyjąca na wilgotnym podłożu, złożona z długich nitek nie zróżnicowanych na podstawie i wierz-

¹ *Beggiatoa* rozpada się na krótkie nitki, jakby formy przetrwalnikowe, które w sprzyjających warunkach dają początek nowej nitce — S. Winogradski, 1953.

chołek, bardzo podobnych morfologicznie do bakterii z rodzaju *Beggiatoa*, ale różniących się fizjologicznie (inne warunki). Bakterie te sfotografowano (tabl. I, fig. 3). Niestety nie udało się dokładnie zbadać i ustalić gatunku tych bakterii. Formy przetrwalnikowe wymienionych bakterii znajdują się niewątpliwie na wilgotnej rudzie siarkowej.

Pewne gatunki bakterii siarkowych z rodzaju *Beggiatoa*, w miarę wysychania rudy i utleniania się H_2S , pozostawiają na rudzie krótkie nitki, tworzące, jak wspomniano, formy przetrwalnikowe. Spostrzeżenie to potwierdza fakt, że podobne bakterie nitkowate wyhodowano na agarze także z rudy siarkowej lekko przesuszonej, leżącej przez dłuższy czas w pracowni. Należy więc przypuszczać, że nitkowate bakterie wyrosły w form przetrwalnikowych. Nitki tych bakterii przeniesiono także do dwóch probówek (pierwsza probówka z wodą i druga — bez wody) i uzyskano takie same wyniki jak w przypadku *Beggiatoa*, pochodzącej z wody wiślanej.

Kuleczki z probówek drugich w pierwszym i w drugim przypadku rozpuściły się w alkoholu absolutnym, co świadczy, że były to kuleczki czystej siarki. Wynik jest ogromnie interesujący i ważny w związku z zanikaniem błon komórkowych tych bakterii w warunkach bezwodnych i pozostawieniem skupisk kuleczek siarki. Może on mieć zasadnicze znaczenie przy opracowaniu powstawania złóż siarkowych, zwłaszcza jeżeli weźmie się pod uwagę okresy opadania wód kopalnianych.

Na tej samej pożywce Starkey'a wyhodowano również inne mikroorganizmy siarkowe z rudy siarkowej, które opisano niżej. Zaszczepione pożywki na płytkach Petriego przechowywano przez okres 2 tygodni w termostacie, w temperaturze $28^{\circ}C$. Po tym okresie wyrosły w płytkach Petriego piękne kolonie bakterii siarkowych (tabl. I, fig. 4) koloru niebieskozielonego. Bakterie te, widziane pod mikroskopem, złożone są z kulistych komórek bardzo podobnych do bakterii z rodzaju *Thiocystis*.

Formy tych bakterii są bezśluzowe, albo, być może, śluz uległ rozrzedzeniu. Pod mikroskopem mają odcień czarny, są nieruchliwe. Były między nimi formy większe i mniejsze. Bakterie te, wyhodowane z rudy trzymanej w laboratorium w warunkach aerobowych i anaerobowych (tabl. II, fig. 5, 6), należałoby zaliczyć do fakultatywnych aerobów. Występują one w różnych formach: w postaci pojedynczych, podwójnych i potrójnych kulistych komórek, w grupach oraz łańcuszkach. Tablica III (fig. 7 i 8) przedstawia fotografie rysunków wykonanych odręcznie, z powodu braku aparatu rysunkowego do mikroskopu. Bakterie te zlewają się niekiedy tworząc nieforemne łańcuszki lub śluzowe plechy bez określonej struktury oraz gonidia. Podobne są także do bakterii z rodzaju *Thiocapsa*. Prawdopodobnie zmiany te zachodzą przy zmniejszeniu się wilgoci w podłożu.

Bakterie poza komórkami przetrwalnikowymi (endosporami) wytwarzają także gonidia, które podobnie jak endospory powstają wewnątrz komórki. Nie są one jednak trwałymi sporami jak endospory, lecz służą tylko do doraźnego rozprzestrzeniania się. Na fig. 8 widoczne są takie jakby gonidia.

Te same bakterie kuliste znaleziono analizując biologicznie wodę siarkowodorową pobraną ze studni 3 P₂ z kopalni w Piasecznie. Były w niej

formy pojedyncze i powiązane w łańcuszki oraz bardzo dużo endospor. Były też formy związane po dwie lub trzy komórki kuliste z czarnym punktem pośrodku, przypominające *Thiocystis*, oraz bardzo ruchliwe pojedyncze komórki *Chromatium*, a także sinice. Makamura H. Tokyo (w roku 1937, vide A. Rippel-Baldes, 1955) podaje, że zdolność autotrofowego i fotosyntetycznego przeprowadzania H_2S w siarkę mają również sinice (*Cyanophyceae*). W wodzie ze studni 3 P₂ znaleziono także bakterie żelaziste; istnienie tych bakterii przy stwierdzonej zawartości żelaza = 2,09 mg/l jest możliwe.

Woda wiślana przy takiej zawartości żelaza zawierała bakterie żelaziste oraz inne żelaziste mikroorganizmy, jak *Anthophysa vegetans* Stein, *Trachelomonas* oraz olbrzymie ilości anthophyso-tryptonu (W. Kurtz, 1951). W wodzie siarkowodorowej ze studni 3 P₂ stwierdzono życie biologiczne specyficznego planktonu oraz bardzo duże ilości tryptonu z przewagą detrytusu, co wskazywałoby na bardzo zmienne losy tego swoistego planktonu.

W rudzie siarkowej nie tylko żyją bakterie siarkowe, bytują w niej też różne inne mikroorganizmy, jak glony i grzyby (pleśnie, drożdże). Na pożywcze Van Niela wyhodowałam z rudy piaseczyńskiej wspaniałe okazy pleśni z rodzaju *Penicillium* (tabl. IV, fig. 9). Wyhodowany pędzlak (*Penicillium*) posiada jeden konidiofor, jedną metulę i dwie sterigmy. Od sterigm odchodzą bardzo długie sznurki złożone z kulistych komórek konidialnych, splecionych ze sobą w pętlę (pod mikroskopem koloru czarnego). Jak wiadomo, *Penicillium* rozmnaża się egzogenicznie przy pomocy tych właśnie komórek konidialnych. Pędzlak ten wyrasta z bardzo luźnego splotu strzępeków zawierających kuleczki siarki. Komórki konidialne zawierają również siarkę, co sprawdzono przy pomocy alkoholu absolutnego. Jest to ogromnie interesujące, zwłaszcza że badania tego typu nie były dotychczas prowadzone, a zupełny brak danych na temat wyżej wymienionej pleśni w literaturze naukowej² nasuwa przypuszczenie, że jest to zupełnie nowy nie opracowany dotychczas mikroorganizm, związany życiowo z rudą siarkową, który określiłabym jako *Penicillium* sp. nov. (tabl. IV, fig. 9).

Takie cechy, jak liczba sterigm, barwa i kształt komórek konidialnych są cechami diagnostycznymi, charakteryzującymi poszczególne gatunki. Większość pleśni rozwija się na podłożu kwaśnym nawet przy pH = 3, znoszą one również znaczną alkaliczność. *Penicillium* sp. nov. z Piaseczna może więc towarzyszyć *Thiobacillus thiooxidans*, którego obecność stwierdziłam w rudzie, zwłaszcza że pleśnie z rodzaju *Penicillium* rozwijają się intensywnie w zetknięciu z powietrzem i rosną lepiej przy obniżonej wilgotności. *Penicillium* sp. nov. zaliczyłabym do wybitnych aerobów, hydrofilnych, wymagających wilgoci, ale mogących się także rozwijać na wysuszonej powierzchni. W związku z odkładaniem siarki w komórkach konidialnych i w strzępkach u *Penicillium* sp. nov. możliwe jest, że gatunek ten mógł brać udział w powstawaniu złóż siarki w kopalni piaseczyńskiej.

Wiadomo jest, że *Aspergillus niger* utlenia H_2S w glebach. A. Rippel (1924) podaje, że z mikroorganizmów cudzożywnych *Aspergillus niger*

² Np. u K. B. Rapera, Ch. Thoma, 1949; F. A. Wolfa, 1949 i innych.

i drożdże mogą utleniać H_2S , siarkę i tiosiarczany, a nawet magazynować wolną siarkę. Nie wiadomo jednak, czy mikroorganizmy te czerpią jakiegokolwiek korzyści z przerabiania związków siarki. S. Winogradski (1953) sprawdzał, czy *Penicillium glaucum* w środowisku wodnym z H_2S zachowuje się podobnie jak *Beggiatoa*, ale tylko stwierdził, że sinice z rodzaju *Oscillatoria* znoszą takie warunki i mogą odkładać siarkę. Ponieważ o mikroorganizmach z rodzaju *Penicillium*, z wyjątkiem gatunku *Penicillium glaucum*, ami o jego zdolnościach odkładania siarki w komórkach konidialnych, nie ma wzmianki w literaturze, wobec tego piękny okaz wyhodowanej przeze mnie pleśni bytującej w piaseczyńskiej rudzie siarkowej jest prawdopodobnie nowym, bardzo interesującym gatunkiem.

Wyhodowane przeze mnie mikroorganizmy siarkowe (fig. 4, 6, 7) mają puszczalnie własności patogenne (zaobserwowano nagminne zachorowania na nerki wśród pracowników mających do czynienia z rudą siarkową i jej przerobem w C.L.K.S. Chem.). Obok bakterii kulistych wyrastały na pożywce Starkey'a z glukozą prawdopodobnie także bakterie *Escherichia coli*, które niewątpliwie znajdują się w wodzie siarkowowodnorodowej, a więc i na wilgotnej rudzie siarkowej. Za ich obecnością przemawia twierdzenie A. Rippel-Baldesa (1955) o zdolności przetwarzania siarczanów przez te bakterie. A więc albo bakterie *Escherichia coli* albo wyhodowane przeze mnie mikroorganizmy siarkowe prawdopodobnie powodują chorobę. Badanie tych zjawisk może mieć znaczenie dla lecznictwa.

Bardzo ciekawe wyniki uzyskano z porównania fotografii starych preparatów kulistych bakterii siarkowych i innych, wyhodowanych przeze mnie, a leżących przez dłuższy czas na szkiełku przedmiotowym z mikroskopowymi szlifami z rudy siarkowej. Na obrazach szlifów z rudy siarkowej widoczne są wyraźnie struktury mikroorganogeniczne, na co zwrócił uwagę J. Czermiński (1960), przypominające obrazy starych preparatów mikroorganizmów siarkowych wyhodowanych z rudy siarkowej. Należy porównać następujące fotografie: fig. 10, 11 oraz 12 i 13. To podobieństwo nasuwa wniosek, że mikroorganizmy te musiały brać udział w powstawaniu złóż siarki rodzimej w kopalni piaseczyńskiej, a tym samym ma to duże znaczenie dla opracowania genezy tych złóż. Na szlifie z rudy siarkowej (fig. 12) widać wyraźnie dwie komórki bakterii siarkowych z rodzaju *Chromatium* identyczne z fotografiami tych bakterii (fig. 15 i 16), podanymi w dalszej części pracy, wyhodowanymi przeze mnie z rudy piaseczyńskiej w płynnej pożywce Waksmana.

THIOBACILLUS THIOOXIDANS I CHROMATIUM W RUDZIE PIASECZYŃSKIEJ

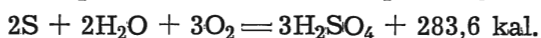
Bakterie siarkowe *Thiobacillus thiooxidans* Waksmana zostały wyizolowane z ziemi po raz pierwszy przez S. A. Waksmana i S. Joffe w 1921 roku, a wyniki ich badań zostały opublikowane w tym samym roku w czasopiśmie *Soil Science* (nr 12; p. 475—489). Komórki bakterii *Th. thiooxidans* mają kształt krótkich pałeczek z zaokrąglonymi końcami. Zwykle pojawiają się pojedynczo, rzadko w parach i po trzy (tabl. VII, fig. 14); przeważnie mają do $1\ \mu$ długości i $0,5\ \mu$ średnicy. Pałeczki

Th. thiooxidans są słabo ruchliwe, większość jest nieruchliwa. Dla bakterii tych najodpowiedniejsze są pożywki nieorganiczne, zawierające siarkę jako źródło energii. W obecności fosforytów wzrostowi tych mikroorganizmów towarzyszy kwas siarkowy, utworzony przy utlenianiu siarki, który rozpuszcza fosforyty dając nierozpuszczalne fosforany $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Mikroorganizmy te czerpią cały potrzebny węgiel z CO_2 z atmosfery. Mają one swoje optimum w wyraźnie kwaśnej reakcji $\text{pH} = 3,5 \div 4,5$ kontynuują życie nawet przy $\text{pH} = 0,6$. Alkaliczne pożywki wstrzymują ich rozwój.

Pierwsze moje prace mające na celu wyhodowanie *Th. thiooxidans* z piaseczyńskiej rudy siarkowej nie dawały wyników. Nawet po dłuższym okresie czasu nie otrzymywałam zmętnienia pożywek, a więc wzrost bakterii *Th. thiooxidans* nie następował. Dopiero po przygotowaniu kompostów z rudy siarkowej i fosforytu (wzorując się na kompostach Waksmana) oraz dwóch pożywek według Waksmana, otrzymałam pozytywne wyniki. Komposty trzymałam w termostacie w temperaturze 28°C przez 2 tygodnie. Po dwóch tygodniach zaszczepiłam kompostami pożywki przygotowane według Waksmana. Na pożywce pierwszej wystąpiło zmętnienie, czyli rozwój bakterii *Th. thiooxidans* po 28 dniach, a na drugiej — po 25 dniach (przy $\text{pH} = 5,0$ i $\text{pH} = 4,8$).

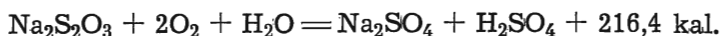
Zmętnienie nie pojawiło się w erlenmayerkach zaszczepionych świeżą rudą, wziętą bezpośrednio spod koparki z kopalni w Piasecznie, a więc bakterii *Th. thiooxidans* z tej rudy nie wyhodowano. W zawieszynie ze zmętniałych pożywek znaleziono pod mikroskopem (1500 X) ciemne, bardzo słabo ruchliwe pałeczki *Th. thiooxidans*, zupełnie przesłonięte jednocześnie silnie rozwiniętymi bakteriami z rodzaju *Chromatium* (tabl. VIII, fig. 15 i 16), czyli mikroorganizmami znacznie większymi, co uniemożliwiło sfotografowanie *Th. thiooxidans*. Z powodu przerwania mi pracy nie mogłam niestety przeszczepić bakterii *Th. thiooxidans* na czystą hodowlę. Wyhodowane *Chromatium* jest bardzo podobne, jak podałam już poprzednio, do mikroorganizmu widocznego na obrazie mikroskopowym szlifu z rudy siarkowej (fig. 12).

Utlenianie siarki przez *Th. thiooxidans* przebiega według równania:



Reakcja ta jako egzotermiczna dostarcza organizmowi znacznych ilości energii, co powoduje właśnie zagrzewanie się rudy złożonej w hałdy. Mikroorganizm otrzymuje przez utlenianie 1 gramocząsteczki siarki 141,8 kal.

W obecności tiosiarczanu (zamiast siarki) reakcja przebiega według równania:



Mikroorganizm otrzymuje w tym przypadku przez utlenianie 1 gramocząsteczki siarki w postaci tiosiarczanu 108,2 kal. Powstały kwas siarkowy zakwasza coraz bardziej podłoże. Źródłem tlenu w procesie utleniania jest tlen atmosferyczny, a źródłem węgla atmosferyczny CO_2 . Zakwaszenie środowiska nie jest równomierne: wraz z postępującym utlenianiem siarki lub tiosiarczanu szybciej postępuje zakwaszenie środowiska, co wskazywałoby na szybszy rozwój *Th. thiooxidans* w pew-

nych okresach. Granica wzrostu tego mikroorganizmu przypada więc wyraźnie na reakcję kwaśną w przeciwieństwie do większości bakterii, których granica wzrostu jest w reakcji zasadowej. Dla sprawdzenia zaszczerpiłam kulturę *Th. thiooxidans* do kolbki zawierającej pożywkę + 1% siarki i do kolbki zawierającej pożywkę + 0,5% tiosiarczanu (zamiast siarki), wykonując co kilkanaście godzin pomiary zakwaszenia środowiska (tabela 2).

Tabela 2

Liczba godzin	Pożywka z siarką p H	Pożywka z tiosiarczanem p H
0	4,9	5,8
12	4,9	5,8
24	4,5	5,6
36	4,3	5,3
48	4,1	5,0

Jak wynika z badań, *Th. thiooxidans* posiada charakterystyczne cechy, których, mimo wielu cech wspólnych, nie mają inne autotrofowe mikroorganizmy.

Na tych samych płynnych pożywkach Waksmana jednocześnie z *Th. thiooxidans* nastąpił masowy rozwój bakterii z rodzaju *Chromatium* — swobodnych, bardzo ruchliwych, rozmaitych rozmiarów i, jak się okazało, świetnie znoszących kwaśne środowisko (fig. 15 i 16). *Chromatium* znaleziono także w pobliżu wyhodowanego *Penicillium* sp. nov. (tabl. IV, fig. 9). Świadczy to, że bakterie z rodzaju *Chromatium* występują masowo w rudzie i w wodzie siarkowodorowej. Bardzo ważne ze względu na genezę złóż siarkowych jest znalezienie takich samych mikroorganizmów na szlifie z rudy siarkowej (tabl. VI, fig. 12).

Komórki bakterii siarkowych z rodzaju *Chromatium* mogą mieć rozmaite wielkości i rozmaite kształty: kuliste, jajowate, elipsoidalne, co wyraźnie widać na fig. 15 i 16. S. Winogradski (1953) podaje, że *Chromatium* stanowi oddzielną grupę wśród bakterii purpurowych, zbliżoną do wiciowców. Narządem ruchu jest spiralnie wygięta rzęska. De Manten, którego wymienia S. Winogradski, uważa, że dla *Chromatium* wielkość nie jest cechą charakterystyczną dlatego, że waha się między 1 μ — 15 μ , co stwierdzono głównie u *Chromatium okenii* Perty. Być może, że wyhodowane przeze mnie *Chromatium* jest właśnie tego gatunku.

Chromatium odkłada kuleczki siarki skupiające się zawsze w środkowej części komórki. Prawdopodobnie w komórkach znajduje się mieszanina siarki ciekłej i nierozpuszczalnej. Można to było zauważyć przy rozpuszczaniu w alkoholu absolutnym kuleczek siarki zawartych w komórkach bakterii siarkowych. Na fig. 16 widoczna jest bardzo wyraźnie jedna komórka *Chromatium* w trakcie podziału. U *Chromatium* rozmnażanie się polega najpierw na przewężeniu, po którym z chwilą osiągnięcia przez komórki odpowiednich rozmiarów następuje podział na dwie części.

Chromatium jest bardzo pospolite w wodach o dużej zawartości H_2S . Komórki *Chromatium* wyhodowane przeze mnie były bardzo ruchliwe, lekko zabarwione na kolor floletowo-zielenawy (bakterie purpurowe mogą mieć różny odcień zabarwienia). *Chromatium* ginie na pożywce agarowej, dlatego trudno jest utrzymać czystą hodowlę.

Problemem genezy złóż siarkowych zajmowało się wielu badaczy spośród geologów, mikrobiologów i hydrobiologów. Teoria mikrobiologicznej genezy złóż siarkowych ostatnio szczególnie wyraźnie weszła w krąg zainteresowań różnych badaczy. W ostatnich dwunastu latach pojawiły się znów liczne prace geochemiczne i mikrobiologiczne (głównie w literaturze radzieckiej), wykazujące rolę mikroorganizmów w powstawaniu złóż siarki rodzimej. Metoda badań przybrała dwa kierunki: fizyczno-chemiczny i mikrobiologiczny, których celem jest zbadanie rozprzestrzenienia mikroorganizmów w osadowych skałach siarkonośnych (M. W. Iwanow, 1961).

Główną uwagę zwraca się na bakterie redukujące siarczany, powstawanie H_2S i jego utlenianie do siarki, którą z kolei znów utlenia *Th. thioparus* na siarczany. Reakcja siarczanów pojawia się w środowiskach alkalicznych, w wodach siarkowodorowych, a głównie zawodnionych glebach (Y. Abd-el Malek, S. G. Risk, 1963a, b, c).

Odczyn wody siarkowodorowej ($pH = 7,75$) oraz niebieskoczarony kolor pokładów w kopalni Piaseczno, jak i silny zapach H_2S w niecce kopalnianej świadczą o silnym rozwoju bakterii (głównie *Desulfovibrio desulfuricans*) redukujących siarczany. Według M. W. Iwanowa (1961) w złożach rozdolskich bakterie redukujące siarczany znajdują się we wszystkich warstwach wodonośnych, a głównie w wodonośnym poziomie górnotortońskich wapieni obfitujących w H_2S . Stwierdzono, że intensywność procesów redukcji siarczanów w wodach podziemnych była szybsza w okresie letnim. Długotrwałe badania wód podziemnych ze złóż rozdolskich wykazały, że wody te posiadają wszystkie warunki dla procesów redukcji siarczanów. Zbadano już, że wydobyta rozdolska ruda siarkowa ulega po pewnym okresie niekorzystnym z punktu widzenia technologicznego przemianom: zaczyna tracić siarkę. Temperatura wewnątrz hałd podnosi się nawet do $30-60^\circ C$. Badania wykazały (G. G. Karawajko, 1961; M. W. Iwanow, 1961), że przyczyną tych niekorzystnych przemian jest działanie bakterii siarkowych, takich jak *Th. thiooxidans*, *Th. thioparus* i *Th. ferroxidans*. W rozdolskich złożach siarkowych tworzenie się H_2SO_4 występuje w mikrostrefach, w których siarka znajduje się w najbardziej rozdrobionym stanie. Badania mikrobiologiczne zakwaszonych mikrostref wykazały znaczną zawartość bakterii *Th. thiooxidans*, co świadczy, że mikroorganizmy te w utlenianiu złóż rozdolskich odgrywają znaczną rolę. W związku z powyższym opracowuje się w Związku Radzieckim metody oznaczania intensywności tego procesu w warunkach naturalnych. Zjawisko to spostrzeżono nie tylko w hałdach, ale i w górnych warstwach pokładów rozdolskiej kopalni odkrywkowej.

Zmiany podobnego typu zauważono także w tarnobrzeskich kopalniach siarki, które mają analogiczne warunki geologiczne. Kopalnia rudy siarkowej w Piasecznie posiada bardzo korzystne warunki geolo-

giczne dla rozwoju bakterii *Th. thiooxidans* i innych bakterii siarkowych, ponieważ pokłady rudy siarkowej leżą niezbyt głęboko i przykryte są luźnymi piaskami. Dla jaśniejszego zobrazowania warunków geologicznych w kopalni w Piasecznie załączono schematyczną mapkę występowania złoża (fig. 1) i przekrój przez złożo (fig. 2).

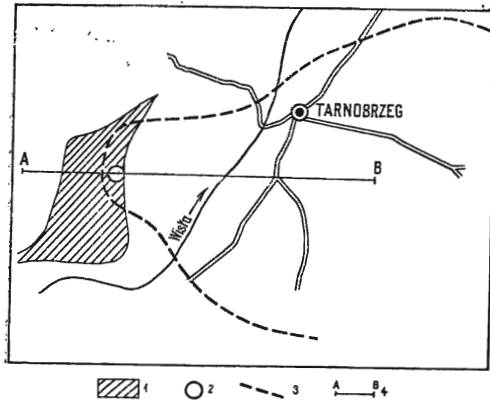


Fig. 1. Schematyczna mapa występowania złoża (według S. Turka, 1957)

Diagrammatic map of the deposit occurrence (after S. Turek, 1957)

1 — obszar infiltracji; 2 — ówczesna badawcza kopalnia odkrywkowa; 3 — granica występowania złoża; 4 — linia przekroju hydrogeologicznego

1 — area of infiltration, 2 — present research open-cut mine, 3 — boundary of the deposit, 4 — line of hydrogeological cross section

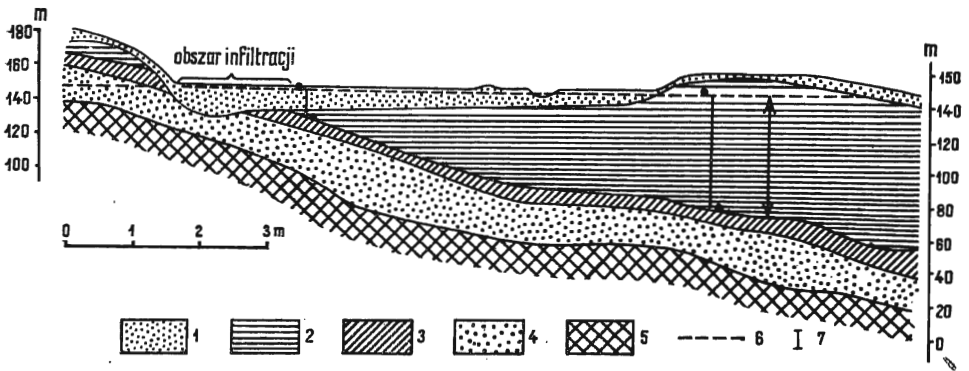


Fig. 2. Przekrój hydrogeologiczny przez złożo (według S. Turka, 1957)

Hydrogeological cross section through the deposit (after S. Turek, 1957)

1 — osady wodonośne czwartorzędowe; 2 — iły tortońskie bezwodne; 3 — wapienie i margle siarkonośne zawodnione; 4 — piaski baranowskie zawodnione; 5 — iły helwetu i kambru; 6 — poziom piezometryczny wód mioceńskich; 7 — ciśnienie hydrostatyczne wód mioceńskich

1 — water-bearing Quaternary deposits, 2 — waterless Tortonian clays, 3 — water- and sulphur-bearing limestones and marls, 4 — water-bearing Baranów sands, 5 — Helvetian and Cambrian clays, 6 — piezometric level of Miocene waters, 7 — hydrostatic pressure of Miocene waters

Wstępne prace w kopalni, jak kruszenie urobku, następnie zsypanie z wyrobiska na transportery taśmowe dostarczające rudę do kruszarni, oraz zsypanie do wagonów przewożących rudę do kombinatu w Machowie bardzo sprzyjają rozwojowi tych bakterii (aeryzacja).

Bakterie siarkowe *Th. thiooxidans* i inne będą rozwijały się intensywnie na odkrytych powierzchniach w wyrobisku, w szczelinach zawilgoconych oraz we wszystkich miejscach, do których dochodzi tlen atmo-

sferyczny. Składanie w hałdy rudy rozdrobnionej (większa aeryzacja) jest bardzo niekorzystne, należy przynajmniej unikać długotrwałego składowania. W związku z tym, że wyhodowanie przez mnie bakterii *Th. thiooxidans* z rudy piaseczyńskiej nastąpiło dopiero po okresie około 1 miesiąca, i to w warunkach bardzo korzystnych (pożywki i przy użyciu kompostu), należy przypuszczać, że wylęganie się tych bakterii w hałdach czy na odkrytych powierzchniach złoża w wyrobisku może nastąpić po znacznie dłuższym okresie, dochodzącym do 2 miesięcy. W związku z powyższym należy kontynuować badania, aby ustalić czas wylęgania się *Th. thiooxidans* i innych bakterii w hałdach i na powierzchni odkrywki oraz opracować jakieś środki zaradcze na wypadek, gdyby wydobyta ruda była składowana przez czas dłuższy niż dwa miesiące, wliczając w to czas dostarczenia rozkruszonej rudy do młynów prętowych, a następnie przesłania jej do flotacji.

Na terenie kopalni Piaseczno stwierdzono występowanie korozji mikrobiologicznej (W. Kurtz, J. Racki, 1963). Wody złożowe z zawartym w nich H_2S i innymi związkami chemicznymi niszczą metalowe elementy urządzeń i narzędzi nie tylko pod wpływem korozji chemicznej. W związku z zawartymi w wodach bakteriami siarkowymi, a głównie bakteriami redukującymi siarczany, co stwierdzili badacze radzieccy, korozja mikrobiologiczna występuje być może w większym stopniu niż korozja chemiczna. Dlatego ze względów ekonomicznych i technicznych również agresywność biologiczna wód złożowych lub zawilgoconych terenów kopalni nie może być pominięta przy dalszych badaniach dotyczących eksploatacji złoża.

WNIOSKI

Zebranie przez mnie materiałów dotyczących bakterii siarkowych, podanie ich klasyfikacji w pięciu grupach, oraz niektórych cech morfologicznych, a głównie fizjologicznych znacznie wzbogaca badania nad genetyką złóż siarki rodzimej w Polsce.

1. Znalezienie bakterii z rodzaju *Beggiatoa* w wodzie siarkowodorowej oraz wyniki przeprowadzonych z nią doświadczeń, zwłaszcza utrata błon komórkowych w środowisku bezwodnym i pozostawienie skupisk kuleczek siarki na kawałku rudy, ma bardzo duże znaczenie dla ustalenia genetyki złóż siarkowych. Spostrzeżenia roli bakterii z rodzaju *Beggiatoa* w ewentualnym powstawaniu złóż siarkowych są nowe, poza pracą J. Czermińskiego (1960) nie ma o nich wzmianki w literaturze.

2. Znalezienie *Beggiatoa* w wodzie siarkowodorowej z szybu 301 C (głębokość 80 m) nasuwa przypuszczenie, że korzysta ona z tlenu wydzielanego na różnych głębokościach przez bakterie produkujące siarczany. Potwierdzałyby to możliwość istnienia *Beggiatoa* na wymienionych głębokościach.

3. Wyhodowanie nitkowych bakterii siarkowych z wody siarkowodorowej (studnia 3 P₂) z Piaseczna, bardzo podobnych do *Beggiatoa* morfologicznie, a różniących się fizjologicznie, wydaje się mieć duże znaczenie i dlatego należałoby kontynuować badania.

4. Wychodowanie kulistych bakterii siarkowych, przypuszczalnie z rodzaju *Thiocystis* i innych, z rudy siarkowej przechowywanej w laboratorium w warunkach aerobowych i anaerobowych jest także pracą zupełnie nową.

5. Analiza biologiczna wody siarkowodorowej wykazała, że bytuje w niej specyficzny plankton oraz znajdują się duże ilości tryptonu z przewagą detrytusu.

6. Stwierdzam, że w piaseczyńskiej rudzie siarkowej żyją nie tylko bakterie siarkowe, ale szereg innych specyficznych mikroorganizmów. Są wśród nich glony (głównie sinice) i grzyby (pleśnie, drożdże).

7. W rudzie siarkowej znalazłam i określiłam nowy gatunek pleśni z rodzaju *Penicillium* (pędzlak) odkładający siarkę w strzępkach i w komórkach konidialnych. Pędzlak ten jest hydrofilnym aerobem znoszącym silnie kwaśne środowisko. Określiłam go jako *Penicillium* sp. nov.

8. *Penicillium* sp. nov. jako aerob lubiący środowisko kwaśne może rozwijać się w towarzystwie *Thiobacillus thiooxidans*. Sprawą otwartą pozostaje, czy czerpie on jakiegokolwiek korzyści z przerabiania związków siarki.

9. Stwierdzam patogenne własności niektórych bakterii siarkowych.

10. Podobieństwo wychodowanych z rudy piaseczyńskiej, bakterii siarkowych z rodz. *Chromatium*, do bakterii *Chromatium* widocznych na szlifie rudy piaseczyńskiej ma również dużą wartość dla ustalenia genezy złóż siarkowych.

11. Wychodowanie bakterii *Th. thiooxidans* z rudy piaseczyńskiej i stwierdzenie jej ujemnego wpływu na jakość rudy ma duże znaczenie technologiczne i ekonomiczne.

12. Jednoczesne wychodowanie *Th. thiooxidans* i bakterii z rodzaju *Chromatium*, i to w bardzo dużych ilościach, pozwala wnioskować o masowym rozwoju *Chromatium* tak w wodzie siarkowodorowej, jak i w rudzie siarkowej.

13. Poczynione obserwacje wskazują na to, że na terenie kopalni Piaseczno w zawilgoconej rudzie występują bakterie redukujące siarczany. W związku z tym konieczne jest przeprowadzenie badań nad korozją mikrobiologiczną zachodzącą w kopalni.

14. Przeprowadzone badania wykazują, że kopalnia w Piasecznie posiada bardzo korzystne warunki geologiczne dla rozwoju mikroorganizmów siarkowych, a szczególnie bakterii *Thiobacillus thiooxidans*.

15. Obecność bakterii *Th. thiooxidans* powodujących procesy utleniania siarki w odkrywkach i hałdach nasuwa konieczność ustalenia czasu wylegania się tej bakterii w różnych warunkach, a także przedsięwzięcia praktycznych środków zaradczych, mających na celu odcięcie dostępu tlenu atmosferycznego, tj. zmniejszenie aeryzacji do minimum.

PIŚMIENNICTWO

- ABD-EL-MALEK Y., RISK S. G. (1963a) — Bacterial sulphate reduction and the development of alkalinity. I. Experiments with synthetic media. *J. Appl. Bact.*, **26**, nr 1, p. 7—13.
- ABD-EL-MALEK Y., RISK S. G. (1963b) — Bacterial sulphate reduction and the development of alkalinity. II. Laboratory experiments with soils. *J. Appl. Bact.*, **26**, nr 1, p. 14—19.
- CZERMIŃSKI J. (1960) — Struktury mikroorganizmiczne siarki rodzimej w tortonie. *Kwart. geol.*, **4**, p. 531—537, nr 2. Warszawa.
- CZERMIŃSKI J. i PAWŁOWSKI S. (1961) — Współcześnie zachodzące procesy w złożach siarki i ich znaczenie dla eksploatacji. *Prz. geol.*, **9**, p. 4, nr 1. Warszawa.
- KURTZ W., RACKI J. (1963) — Korozja mikrobiologiczna oraz rola bakterii w kopalnictwie siarki. *Ochrona przed korozją*, nr 2, p. 43—46. Warszawa.
- KURTZ W. (1963) — Bakterie w kopalniach siarki. *Problemy*, nr 6, p. 588. Warszawa.
- KURTZ W. (1951) — *Anthophysa vegetans* Stein w Wiśle oraz rola jej przy ustalaniu żelaza w wodzie. *Acta Soc. Bot. Pol.*, **11**, nr 3, p. 401—415. Warszawa.
- LIPMAN J. G., WAKSMAN S. A., JOFFE S. (1921) — The oxidation of sulphur by soil microorganisms. I. *Soil Sci*, **12**, p. 475—489. London.
- PAWŁOWSKI S. (1961) — O polskiej siarce i jej znaczeniu. *Prz. geol.*, **9**, p. 1, nr 1. Warszawa.
- RAPER K. B., THOM CH. (1949) — A manual of the *Penicillia*. Baltimore.
- RIPPEL-BALDES A. (1955) — *Grundriss der Mikrobiologie*. Berlin.
- SMAGLEWSKA J. (1950) — Przebieg utleniania siarki względnie tiosiarczianów w zależności od początkowego pH w obecności glukozy i pod jej nieobecność przez *Thiobacillus thiooxidans*. *Arch. Uniw. Warsz. (maszynopis)*. Warszawa.
- STARKEY D. L. (1925a) — Concerning the physiology of *Thiobacillus thiooxidans*. An autotrophic bacterium oxidizing sulphur under acid conditions. *Journ. Bact.*, **10**, p. 135—163.
- STARKEY D. L. (1925b) — Concerning the carbon and nitrogen nutrition of *Thiobacillus thiooxidans*, an autotrophic bacterium oxidizing sulphur under acid conditions. *Journ. Bact.*, **10**, p. 165—195.
- TUREK S. (1957) — Zarys warunków hydrogeologicznych złoża siarki w okolicach Tarnobrzega. *Prz. geol.*, **3**, p. 260—263, nr 6. Warszawa.
- WAKSMAN S. A. (1922a) — Mikroorganizms concerned in the oxidation of sulphur in the soil. *Journ. Bact.*, **7**, p. 600—608, nr 3.
- WAKSMAN S. A. (1922b) — Bacteria oxidizing sulphur under acid and alkaline conditions. *Journ. Bact.*, **7**, p. 609—616, nr 3.
- WAKSMAN S. A., JOFFE S. (1922) — Mikroorganizms concerned in the oxidation of sulphur in the soil. II. *Thiobacillus thiooxidans* a new sulphur oxidizing organism isolated from the soil. *Journ. Bact.*, **7**, p. 239—256, nr 2.
- WINOGRADSKI S. (1953) — *Mikrobiologia gleby*. PWRL. Warszawa.
- WOLF F. A., WOLF F. T. (1949) — *The fungi*. London.

- ИВАНОВ М. В. (1961) — Роль микроорганизмов в образовании и разрушении месторождений серы. Микробиология, вып. 9, стр. 32—45. Москва.
- КАРАВАЙКО Г. Г. (1961) — О микроразнообразии распространения окислительных процессов в серной руде Роздольского месторождения. Микробиология, № 2, стр. 286—288. Москва.

Ванда КУРТЦ

СЕРНЫЕ БАКТЕРИИ В СЕРНОЙ РУДЕ ИЗ ПЯСЕЧНА

Резюме

Работа касается вопроса выращивания серных бактерий из серной руды карьера Пясечно. В Польше таких работ до сих пор еще не производили. Автором были найдены в сероводородной воде, отобранной из колодца 301 С (глубина 80 м), серные бактерии из рода *Beggiatoa*, а из сероводородной воды, взятой в карьере Пясечно из колодца 3P₂ выращены нитевидные серные бактерии.

Биологический анализ рудничной сероводородной воды показал, что в нее обитает специфический планктон, что может оказаться весьма интересным для планктологов.

Исследованиями было также доказано, что на серной руде, кроме серных бактерий, обитают другие микроорганизмы как водоросли и грибы (плесень, дрожжи).

Автор вырастил новый вид *Penicillium*, содержащий серу в клочках и в конидиальных клетках.

Результаты настоящей работы приводятся в заключительных выводах статьи.

Wanda KURTZ

SULPHUR BACTERIA IN THE SULPHUR ORE AT PIASECZNO

Summary

The present paper deals with the problem of isolating the sulphur bacteria from the sulphur ore of the mine Piaseczno.

Works on this problem have not so far been carried on in Poland. In the hydrogen sulphide water taken from the well 301 C (depth 80 m), the author found sulphur bacteria of the genus *Beggiatoa*, and from the water taken in the well 3 P₂, mine Piaseczno, she isolated thready sulphur bacteria.

A biological analysis of the mine hydrogen sulphide water has indicated the existence of a specific plankton, what may be of great interest for planktoners.

Moreover, it was found that besides sulphur bacteria there exist on the sulphur ore also other microorganisms, f.ex. algae and fungi (moulds and yeasts).

The author has cultivated a new species of *Penicillium* containing sulphur in thread sand and in its conidial cells.

The results of the present work are given in the final conclusions of the paper.

TABLICA I

- Fig. 3. Bakterie siarkowe z rodzaju *Beggiatoa* wyhodowane (1963 r.) z wody siarkowodorowej ze studni 3P₂ z kopalni w Piasecznie, pow. 600 ×
Sulphur bacteria of the genus *Beggiatoa* isolated from the hydrogen sulphide water taken from the well 3P₂ of the Mine Piaseczno, in 1963. Enl. × 600
- Fig. 4. Kolonie kulistych bakterii siarkowych wyhodowane z rudy piaseczyńskiej na agarowej pożywce Starkey'a. Zdjęcie płytki Petriego
Colonies of sulphur bacteria (cocci) isolated from the Piaseczno sulphur ore, in the Starkey's agar medium. Photograph of Petri dish

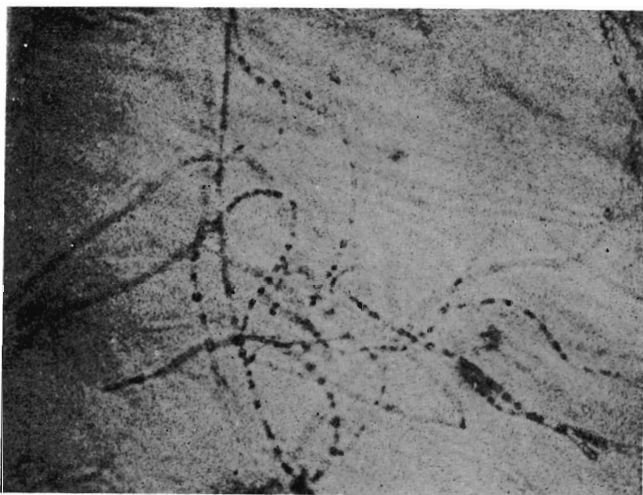


Fig. 3

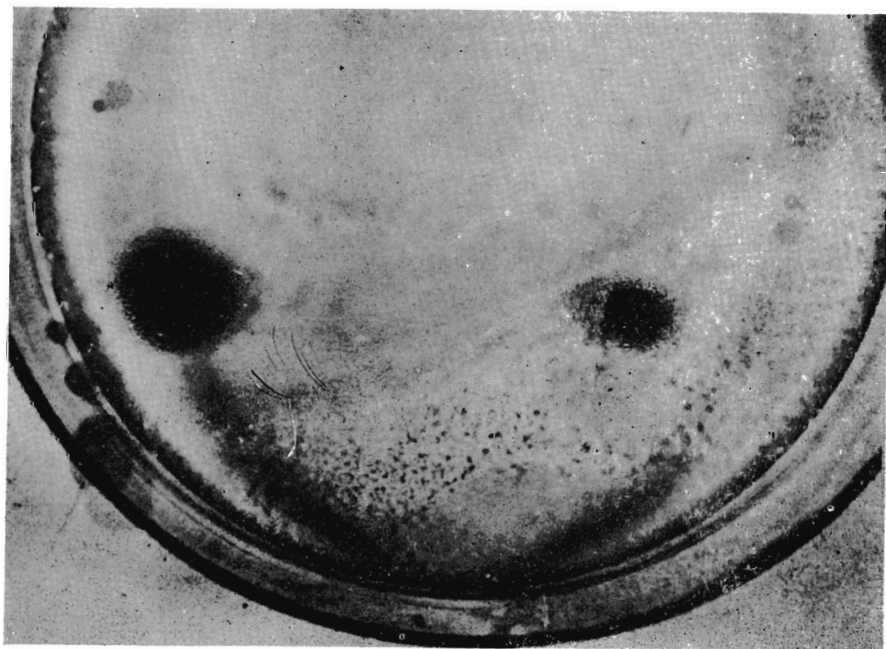


Fig. 4

Wanda KURTZ — Bakterie siarkowe w rudzie siarkowej z Piaseczna

TABLICA II

- Fig. 5. Kuliste bakterie siarkowe wyhodowane z rudy siarkowej przechowywanej w warunkach aerobowych, pow. 600 ×
Sulphur bacteria (cocci) isolated from the sulphur ore kept under aerobic conditions. Enl. × 600
- Fig. 6. Kuliste bakterie siarkowe wyhodowane z rudy siarkowej przechowywanej w warunkach anaerobowych, pow. 600 ×
Sulphur bacteria (cocci) isolated from the sulphur ore kept under anaerobic conditions. Enl. × 600

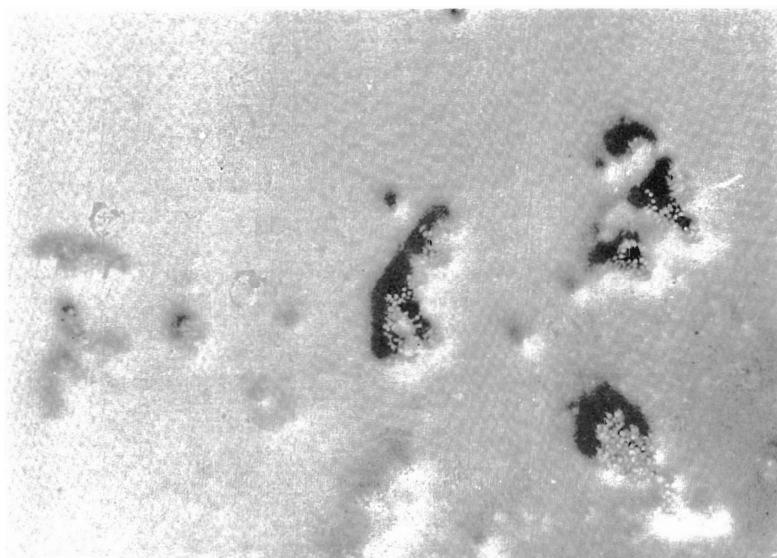


Fig. 5

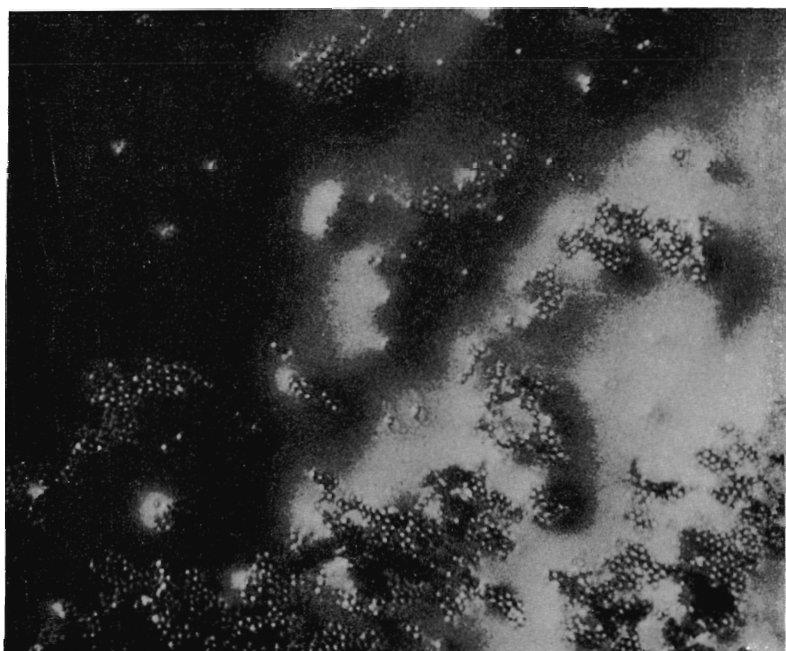


Fig. 6

Wanda KURTZ — Bakterie siarkowe w rudzie siarkowej z Piaseczna

TABLICA III

- Fig. 7. Kuliste bakterie siarkowe w różnych formach ugrupowań, pow. 600 ×
Sulphur bacterial (cocci) grouped variously. Enl. × 600
- Fig. 8. Kuliste bakterie siarkowe tworzące nieforemne łańcuszki i nieokreślone
struktury śluzowate oraz jakby gonidia, pow. 600 ×
Sulphur bacteria (cocci) forming shapeless chains, indeterminate sluce
structures and figures resembling gonidia. Enl. × 600

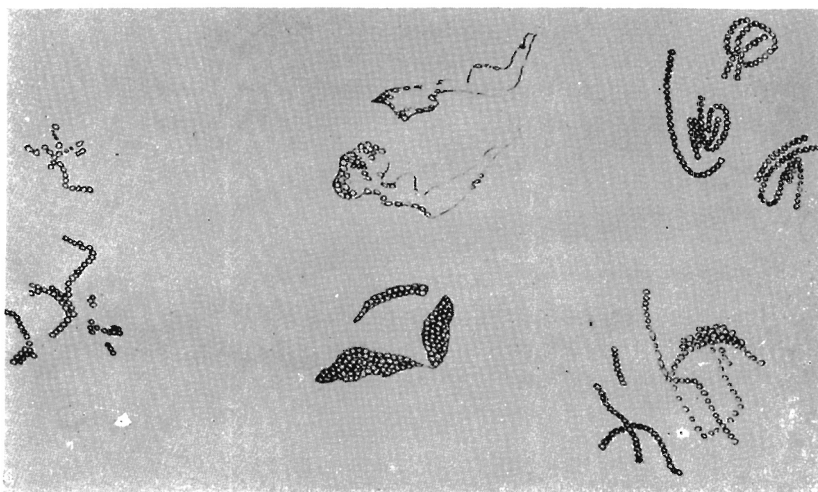


Fig. 7



Fig. 8

TABLICA IV

Fig. 9. *Penicillium* sp. nov. wyhodowany z rudy piaseczyńskiej na nieorganicznej
pożywce Van Niela, pow. 1200 ×
Penicillium sp. nov. from the Piaseczno sulphur ore, cultivated on the
Van Niel's inorganic medium. Enl. ×1200

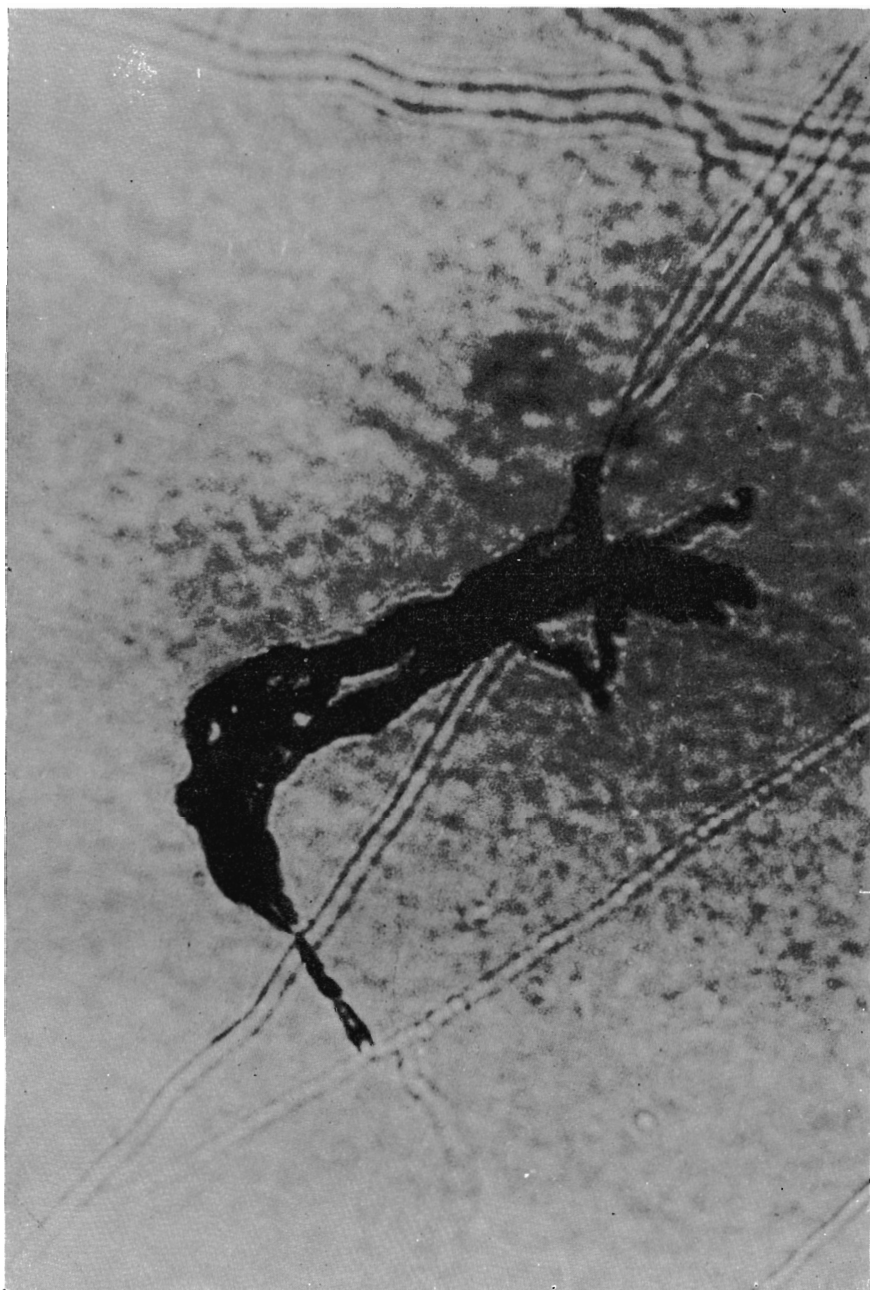


Fig. 9

Wanda KURTZ — Bakterie siarkowe w rudzie siarkowej z Piaseczna

TABLICA V

Fig. 10. Szfil z rudy siarkowej, pow. 600 ×
Sulphur ore thin section. Enl. × 600

Fig. 11. Kuliste bakterie siarkowe ze starego preparatu mającego około 2 tygodnie,
pow. 600 ×
Sulphur bacteria from the two-week old preparation. Enl. × 600

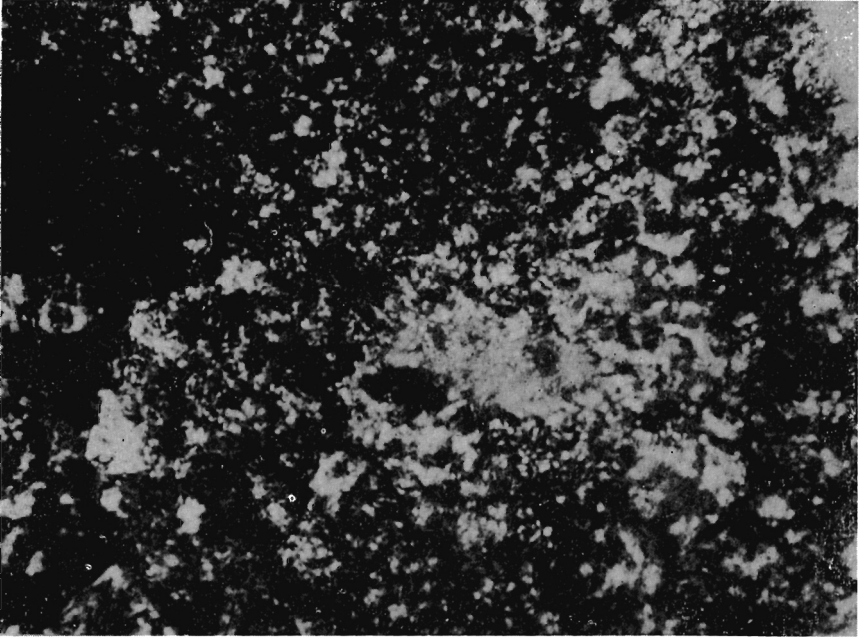


Fig. 10

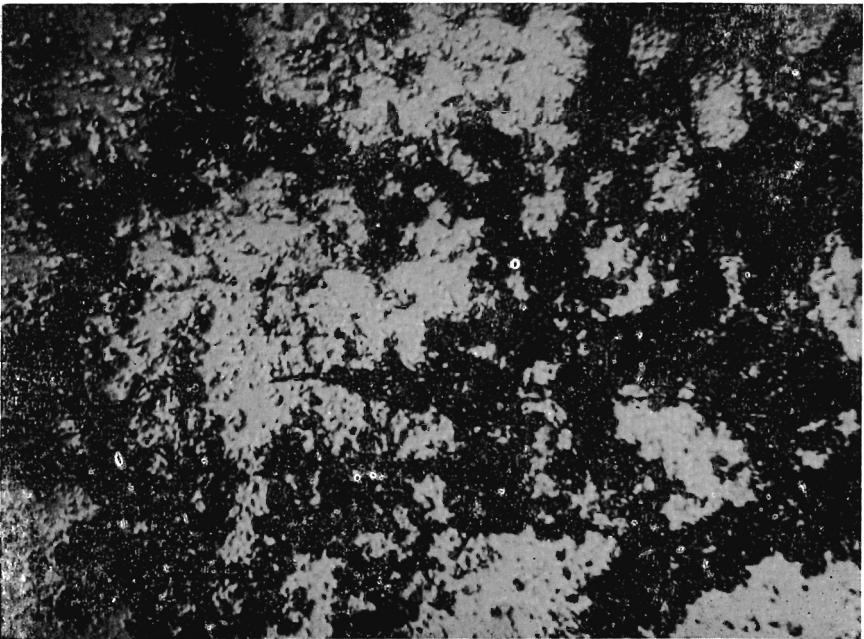


Fig. 11

TABLICA VI

Fig. 12. Szfil z rudy siarkowej, pow. 600 ×
Sulphur ore thin section. Enl. × 600

Fig. 13. Kuliste bakterie siarkowe ze starego preparatu mającego około 2 tygodnie,
pow. 600 ×
Sulphur bacteria from the two-week old preparation. Enl. × 600

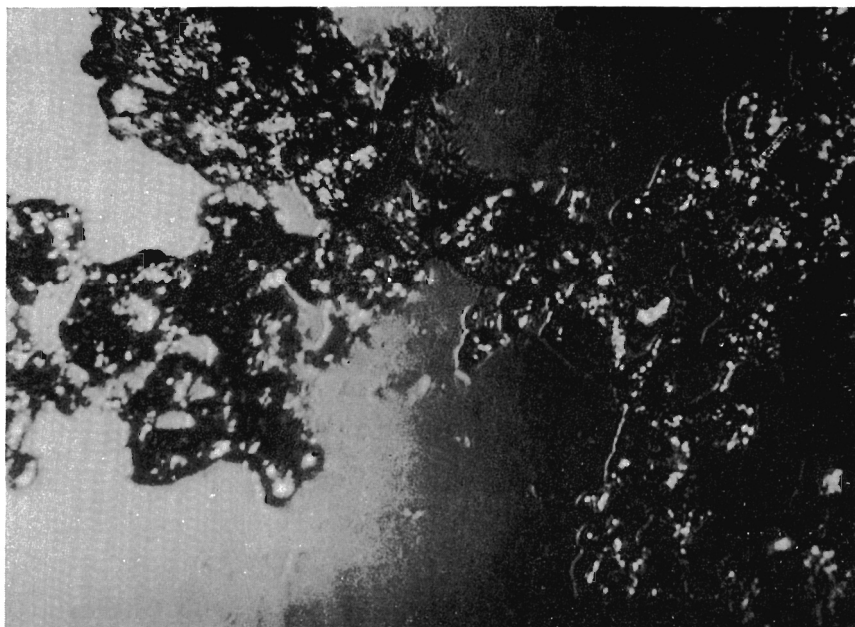


Fig. 12



Fig. 13

Wanda KURTZ — Bakterie siarkowe w rudzie siarkowej z Piaseczna

TABLICA VII

Fig. 14a, b. *Thiobacillus thiooxidans* (Waksman) wyhodowany na pożywce nie-
organicznej S. A. Waksmana i S. Joffe w 1921 r., pow. 1500 ×
Thiobacillus thiooxidans (Waksman) cultivated on the inorganic medium
by S. A. Waksman and S. Joffe in 1921, Enl. × 1500

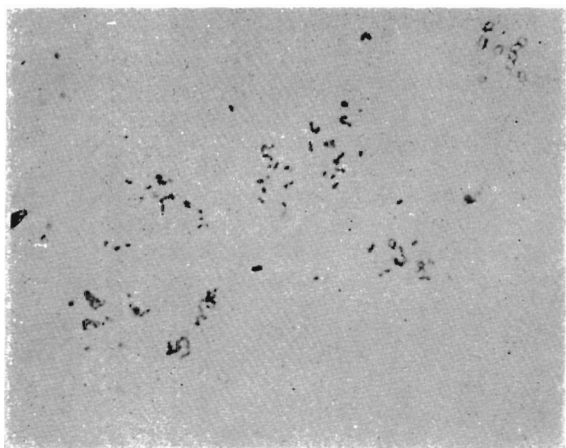


Fig. 14 a



Fig. 14 b

TABLICA VIII

Fig. 15 i 16. Bakterie siarkowe z rodzaju *Chromatium* wyhodowane z rudy piaseczyńskiej w płynnych pożywkach Waksmana, pow. 1500 ×
Sulphur bacteria of the genus *Chromatium* isolated from the Piaseczno sulphur ore in the S. A. Waksman's liquid medium. Enl. × 1500

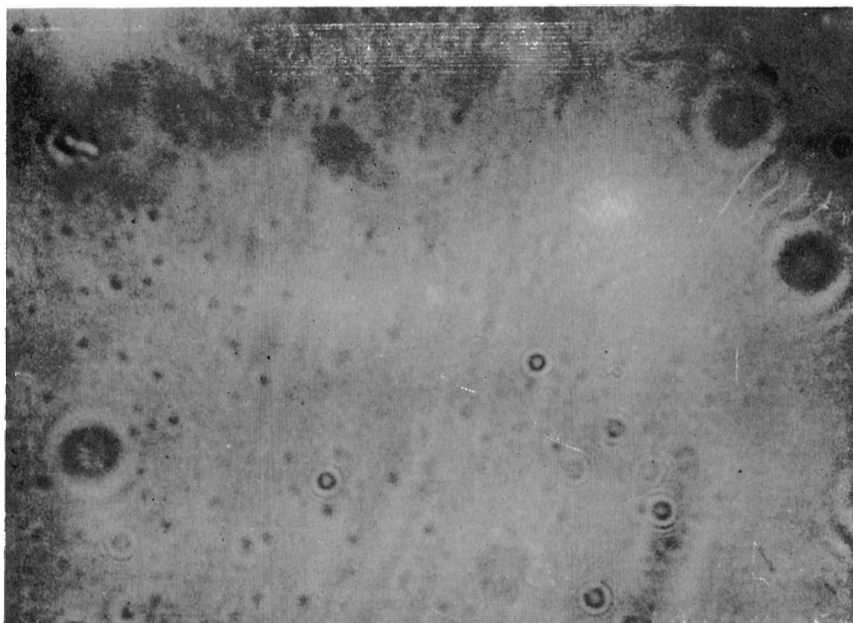


Fig. 15

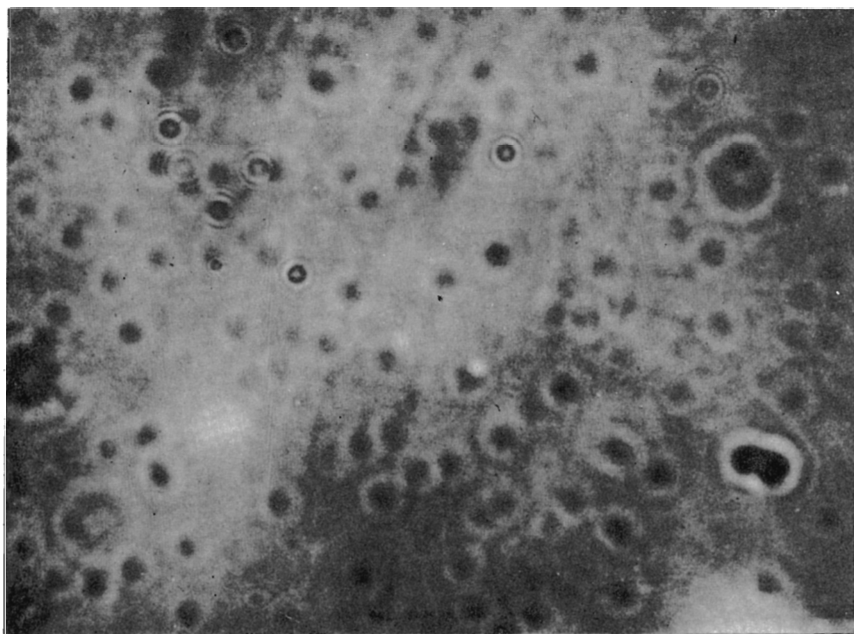


Fig. 16

Wanda KURTZ — Bakterie siarkowe w rudzie siarkowej z Piaseczna.