

UDZIAŁ MIKROORGANIZMÓW W PROCESACH DEGRADACJI MINERAŁÓW ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM SIARKI, SIARCZKÓW I SIARCZANÓW

UKD 550.72:[553.669 + 549.3]

Wszystkie skały, bez względu na sposób ich powstania, podlegają przeobrażeniom pod wpływem różnych czynników. W dużym stopniu w procesach tych uczestniczą mikroorganizmy. Drobnoustroje oddziałują na minerały enzymatycznie i nieenzymatycznie (24). Oddziaływania enzymatyczne obejmują procesy oksydacyjno-redukcyjne i zjawiska przyswajania kompleksów, nieenzymatyczne zaś dotyczą wpływu produktów metabolizmu bakteryjnego na procesy przekształcania minerałów. Mikroorganizmy przekształcają minerały wskutek bezpośredniego utlenienia lub redukcji. Autotrofy chemosyntetyczne utleniają minerały w celu uzyskania energii i związków redukujących, niezbędnych do asymilacji dwutlenku węgla, natomiast autotrofy fotosyntetyzujące asymilują dwutlenek węgla korzystając z energii słonecznej, a związki redukujące

mogą pochodzić z utlenienia minerałów. Bakterie heterotroficzne redukują minerały w celu uzyskania związków utleniających, niezbędnych do utlenienia związków węgla pochodzenia organicznego.

W środowiskach wodnych niektóre jony nieorganiczne: Fe, Cu, Mg, Zn, Ca, Mn tworzą kompleksy ze związkami organicznymi, takimi jak: aminokwasy, białka, kwasy organiczne i in. Wiele bakterii heterotroficznych i grzybów może wykorzystywać takie kompleksy organiczne jako źródło azotu czy energii, a tym samym uwalniać złożone jony nieorganiczne. Uwolnione jony zostają wytrącone w postaci nierozpuszczalnych w wodzie hydroksydów, tlenków lub soli. Są one zdolne do spontanicznych reakcji z wodą lub innymi związkami rozpuszczonymi w wodzie przy odpowiednich wartościach odczynu pH i potencjału

oksydacyjno-redukcyjnego. Pewne mikroorganizmy mogą utleniać lub redukować minerały bez udziału enzymów – kumulując utlenione metale.

Skład chemiczny powierzchni komórkowej bakterii pochwłokowych (*Crenothrix*, *Clonothrix*, *Leptothrix*) czy łożyskowych (*Gallionella*) ma powinowactwo do żelaza i manganu. Bakterie te, wskutek wydzielenia tlenu i konsumpcji dwutlenku węgla, wytwarzają środowisko utleniające i stwarzają warunki dla powstania uwodnionych tlenków lub soli tych metali, które następnie są adsorbowane do powierzchni komórek. W przekształceniach nieenzymatycznych minerałów mogą uczestniczyć również końcowe produkty metabolizmu komórkowego. Wiele mikroorganizmów wytwarza kwasy nieorganiczne, takie jak: siarkowodór, kwas węglowy, azotowy, siarkowy, kwasy organiczne, amoniak, zasady organiczne, nieorganiczne jony siarczków, siarczanów, węglanów czy fosforanów. Wszystkie te substancje mogą reagować z materią organiczną. Kwasy nieorganiczne i organiczne mogą rozpuszczać wapienie, gips, anhydryt, krzemiany i in. Amoniak i zasady organiczne mogą uczestniczyć w wytrącaniu jonów metali ciężkich w postaci uwodnionych tlenków wskutek alkalizacji roztworu. Aniony nieorganiczne, przez tworzenie nierozpuszczalnych soli, mogą wytrącać alkaliny skorupy ziemskiej i jony metali ciężkich.

Produkty gazowe metabolizmu bakteryjnego, takie jak: dwutlenek węgla, tlen, siarkowodór, również mogą wpływać na przekształcenia minerałów. Dwutlenek węgla w środowisku wodnym tworzy kwas węglowy, który przy kwaśnym odczynie środowiska może rozpuszczać np. węglany lub precypitować je przy alkalicznym odczynie podłoża. Tlen wydzielony podczas fotosyntezy może powodować autoutlenienie jonów żelazawych lub manganawych. Siarkowodór może reagować z jonami metali ciężkich, np. Fe^{+3} i poprzez redukcję ich utlenionej formy, wytrącać sole siarczkowe.

UDZIAŁ MIKROORGANIZMÓW W PROCESACH DEGRADACJI ZŁÓŻ SIARKI

Istnieje wiele danych na temat udziału bakterii w utlenianiu złóż siarki. Wiadomo, że siarka odkłada się na granicy stref między wodami zawierającymi siarkowodór a wodami nasyconymi tlenem, a więc strefy beztlenowej i tlenowej. Gdy następuje przesunięcie równowagi między tlenem a siarkowodorem i dochodzi do większego natlenienia wód, następuje proces utlenienia siarki do kwasu siarkowego (8). W procesach tych uczestniczą bakterie siarkowe z grupy bakterii tlenowych. Są to bezwzględne autotrofy. Dla swego wzrostu wymagają nieorganicznych dawców elektronów. Energię czerpią z utlenienia zredukowanych związków siarki: siarkowodoru, siarczków, siarki elementarnej, tiosiarczanów, politionianów, siarczynów, wykorzystując jako końcowy produkt utlenienia – kwas siarkowy (27, 31, 10). Akceptorami elektronów są również związki nieorganiczne. Jako źródło węgla bakterie te wykorzystują dwutlenek węgla – zaliczamy je do bezwzględnych chemolitoautotrofów. Są bezwzględnymi tlenowcami. Wyjątkiem jest *Thiobacillus denitrificans*, który jest względny beztlenowcem; wykorzystuje on w warunkach beztlenowych azotany jako akceptory elektronów.

Thiobacillus thioeparus, *Thiobacillus thiooxidans* i *Thiobacillus ferrooxidans* to główni przedstawiciele bakterii występujących w złożach siarki i siarczków. Są to ruchliwe pałeczki, żyjące w wodzie lub w glebie. Spotkać je można

w ściśle określonym zakresie wartości odczynu środowiska. I tak *Th. thioeparus* rośnie przy pH 4,5–7,8, *Th. thiooxidans* przy pH 2,0–2,5, a nawet przy pH 0,6, podczas gdy *Th. ferrooxidans* najchętniej żyje w granicach pH 1,7–3,5. Wszystkie one utleniają związki siarki, a *Th. terrooxidans* może dodatkowo, jako źródło energii, wykorzystywać jony żelazawe (Fe^{+2}).

W złożach podkarpackich obserwowano naturalne zmiany towarzyszące utlenieniu siarki (12, 28, 11). Stwierdzono, że w rudach węglanowych, które im towarzyszą, proces utlenienia siarki przebiega w dwóch etapach. Pierwszy etap zachodzi pod wpływem bakterii *Thiobacillus thioeparus*, które rozwijają się dobrze w warunkach alkalicznych, takich jakie istnieją w wapieniach i innych skałach węglanowych (26). Pod wpływem działalności *Th. thioeparus* część siarki zostaje utleniona do kwasu siarkowego:



W ten sposób dochodzi do znacznego zakwaszenia środowiska, pH osiąga wartość 4 i niżej. Prowadzi to do intensywnego rozwoju bakterii *Thiobacillus thiooxidans*. Najniższe wartości pH, przy których stwierdzono jeszcze obecność tych bakterii osiągały wartości: 0,5–0,6. W drugim etapie, w wyniku reakcji kwasu siarkowego z węglanami, powstaje jako produkt wtórny – gips, według równania:



W przypadku występowania siarki w gipsach (np. złożo Szor-Su), w wyniku reakcji kwasu siarkowego z siarczanem wapnia powstają białe naloty alunów i alunitów. Liczba bakterii *Th. thiooxidans* dochodziła do 10 000 komórek na 1 g skały (14). W wyniku działania bakterii dochodzi także do zmian fizycznych w skałach towarzyszących złożom siarki. Stają się one bardziej porowate i lżejsze w wyniku zmniejszenia się zawartości i rozłożenia części węglanów. W tych zmienionych, kruchych wapieniach następuje selektywne gromadzenie się minerałów niewęglanowych. W skałach niewęglanowych, gdzie wartość pH w początkowej fazie utlenienia siarki ostro się obniża, dochodzi do wynoszenia różnych pierwiastków, głównie żelaza i glinu. Prowadzi to do odbarwienia utlenionych rud siarkowych.

Dużym zmianom podlegają złoża siarki w czasie eksploatacji przy osuszaniu pokładów. W nienaruszonych złożach siarka występuje razem z wapieniami i marglami i podlega bardzo powolnym zmianom. Ta względna stabilność składu chemicznego i mineralnego złóż siarki wiąże się ze stabilnością równowagi między złożem a wodami znajdującymi się w złożu i w jego otoczeniu (4, 22, 5). Istnieje pogląd, że złoża siarki mogą istnieć jedynie wtedy, gdy są przesycone wodami zmineralizowanymi mającymi właściwości redukcyjne, które w naturalny sposób konserwują złożo, nie dopuszczając do jego utlenienia.

W miejscach gdzie skały osiarkowane wychodzą na powierzchnię, a także w rudzie siarkowej składowanej na hałdach, stwierdzono występowanie dużych ilości bakterii tlenowych, które są odpowiedzialne za intensywnie przebiegające procesy utlenienia siarki. Badając intensywność utlenienia siarki w rudzie o zawartości 25% S (złożo rosdolskie) stwierdzono, że w ciągu 9 miesięcy *Th. thioeparus* utlenił 3,05% S, a *Th. thiooxidans* 1,25% siarki (26). Bakteryjne utlenienie złóż siarki prowadzi do znacznego obniżenia procentowej zawartości siarki w rudzie.

UDZIAŁ DROBNOUSTROJÓW W PROCESACH DEGRADACJI MINERAŁÓW SIARCZKOWYCH

Istnieje wiele danych literaturowych dotyczących obecności bakterii tionowych w złożach siarczkowych (18, 12, 9). Przykładem złoża, w którym utleniająca działalność bakterii odegrała znaczną rolę w jego rozkładzie, może być degtiarskie złożo pirytyw położone w środkowym Uralu (19, 17). Liczba bakterii *Thiobacillus ferrooxidans* w wodach znajdujących się w złożu dochodziła do 10 000 komórek na 1 ml. Doświadczenia laboratoryjne wykazały, że bakterie te przyspieszają 10-krotnie proces utlenienia rudy.

W polimetalicznym złożu Sadons północnego Kaukazu stwierdzono obecność bakterii *Th. thioparus* w ilości 100–10 000 komórek na 1 ml wody, podczas gdy w złożu miedziowo-pirytowym znaleziono bakterie w ilościach: *Th. ferrooxidans* 10 000 komórek na 1 ml, *Th. thioparus* i *Th. Thiooxidans* – po 1000 komórek na 1 ml wody (16). Badając Katanskoje złożo miedzi (13) i prowadząc obserwacje rudy leżącej na powierzchni ziemi w przeciągu wielu lat, jak również świeżo wydobytej, składowanej na hałdach, uzyskano ciekawe dane. Świeżo składowana ruda miała szarosiny odcień, typowy dla rud nie utlenionych. Mikroflora bakteryjna była tu bardzo uboga, maksymalna liczba bakterii znajdowana na hałdach dochodziła do 100 komórek na 1 g rudy.

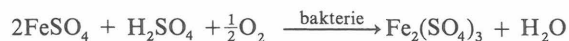
Na hałdach leżących na powierzchni ziemi od 5 do 8 lat, ruda stawała się białawą, kaolinową skałą. Z wierzchu pokryta była ona szczelną, scementowaną korą. Tutaj zachodziły bardzo intensywne procesy utleniania siarczków. Wskazywało na to znaczne obniżenie wartości pH do 2,3–3,8, podczas gdy na świeżych hałdach pH wynosiło 7,4–7,9. Obserwowano także zwiększenie się ilości rozpuszczonych form miedzi i siarczanów, a przede wszystkim dużą ilość bakterii tionowych, których liczebność wahała się od 10 000 do 100 000 komórek na 1 g rudy w przypadku *Th. thiooxidans* i od 100 do 100 000 komórek na 1 g rudy w przypadku *Th. ferrooxidans*.

Składowane długo, przez 30–50 lat, hałdy rudy były mocno zmienione i prawie na całej swej głębokości stanowiły kaolinową żółtobrazową skałą. Zakwaszenie rudy było tak znaczne, że wpływało ujemnie na obecność bakterii tionowych, znajdujących się tu w niewielkich ilościach, dochodzących zaledwie do 100 komórek na 1 g rudy.

Mikroorganizmy atakujące minerały siarczkowe doprowadzają do uwalniania metali z minerałów. Proces ten, zwany bakteryjnym ługowaniem minerałów, znany jest od wieków, ale dopiero w ostatnich latach zwrócono szczególną uwagę na to zjawisko, ze względu na możliwości odzyskiwania cennych metali i wielu pierwiastków z rud niebilansowych.

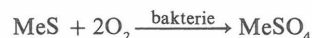
Pierwsze doniesienia o ługującej aktywności bakterii w stosunku do minerałów pochodzą z 1670 r. i dotyczą uwalniania miedzi z wód kopalnianych z Rio Tinto w Hiszpanii (1). Jednakże aż do XX w. nie stwierdzono obecności bakterii w płynach ługujących. W 1922 r. Rudolf i in. (1) stwierdzili, że pewne niezidentyfikowane bakterie autotroficzne mogą być odpowiedzialne za ługowanie siarczków metali. Sugerowano wtedy możliwość wykorzystania tych drobnoustrojów do ekstrakcji metali z niskoprotentowych rud siarczkowych. W 1947 r. A.R. Colmer i M.E. Hinkle (3), jako pierwsi wyizolowali z kwaśnych wód bakterie *Thiobacillus ferrooxidans*. Były one odpowiedzialne za utlenienie minerałów siarczkowych. Od tego czasu rozpoczęły się intensywne badania nad udziałem tych bakterii w przemianach minerałów siarczkowych.

Mikrobiologiczny proces ługowania metali to kompleksowe współdziałanie między trzema fazami: biologiczną (mikroorganizmy), wodną (składniki odżywcze zawarte w podłożu) i stałą (minerał) (1). Wielu badaczy uważa, że bakterie uczestniczą tylko pośrednio w utlenieniu minerałów siarczkowych, przez wytwarzanie utleniacza – jonu żelazowego (Fe^{+3}) (7):



gdzie: Me – metal dwuwartościowy.

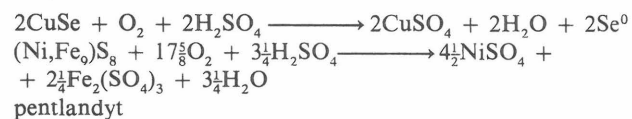
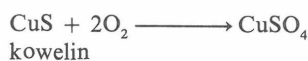
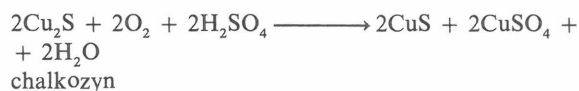
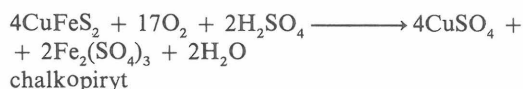
Inni autorzy sugerują, że bakterie bezpośrednio atakują strukturę minerału (25):



Mechanizm ten jest niezależny od działania jonów żelazowych, a wymaga jedynie fizycznego kontaktu między bakteriami a minerałem i zachodzi w warunkach tlenowych (25). Oczywiście proces ługowania minerałów siarczkowych może być wynikiem bezpośredniego efektu biologicznego i chemicznego rozpuszczania. Wzajemny udział tych dwóch procesów zależy od typu minerału i bakterii oraz od warunków fizycznych i chemicznych w procesie ługowania (15).

Istnieją liczne dane literaturowe dotyczące udziału bakterii w utlenianiu następujących minerałów siarczkowych (30): kowelinu (CuS), chalkozynu (Cu_2S), bornitu (Cu_3FeS_4), chalkopiryty ($CuFeS_2$), piryty (FeS_2), milerytu (NiS), pyrrolitu (FeS), sfalerytu (ZnS), galeny (PbS), realgaru (AgS), molibdenitu (MoS_2), rud miedzi i kobaltu i in.

Poniżej przedstawiamy kilka reakcji metali, za które bezpośrednio odpowiedzialne są drobnoustroje (15):



W procesach ługowania interesujący jest charakter kontaktu między minerałem a atakującymi go mikroorganizmami. Zauważono, że bakterie atakując minerały przylegają selektywnie do specyficznych inkluzji minerału (2). W.L. Schaefer i in. (23) wykazali bezpośredni kontakt między minerałem a bakteriami. Stwierdzili oni dużą trwałość w przyleganiu komórek *Thiobacillus ferrooxidans* do siarki elementarnej. Zauważono, że komórki bakteryjne erodują te części kryształu, z którymi się bezpośrednio

stykają. Przy zastosowaniu dużego inoculum bakterii cała powierzchnia kryształu ulegała zerodowaniu. Uważają oni, że natura tego przylegania ma prawdopodobnie charakter chemiczny a nie fizyczny. Przyleganie bakterii do minerału jest przypisywane obecności adhezywnych pili, a u pewnych drobnoustrojów obserwowano adhezję całą powierzchnią komórki. Uczestniczą w tych procesach fosfolipidy – związki powierzchniowo czynne, wydzielane przez bakterie do środowiska. One to obniżając napięcie powierzchniowe w środowisku i zwilżając powierzchnię minerału, umożliwiają szybszy i bliższy kontakt bakterii z minerałem.

L.S. Gormely i D.W. Duncan (6) badając ługowanie sfalerytu przy udziale *Th. ferrooxidans* stwierdzili, że 65% populacji mikroorganizmów przylega do powierzchni minerału. Podobne badania dotyczące ługowania chalkopiryty wykazały, że 95,6% całej populacji *Th. ferrooxidans* przylega do jego powierzchni. Badania nad przyleganiem komórek *Th. ferrooxidans* do minerałów wykazały, że połączenie między nimi ma charakter trwały (20) i bakterie znajdujące się w szczelinach i wyżłobieniach powierzchni minerału (21, 2). Nasuwa się pytanie, czy miejsca przylegania bakterii są miejscami przypadkowymi, czy też są wynikiem wyboru miejsc o specyficznym stężeniu jonów lub czy są to zdeformowane regiony zawierające defekty kryształu. Interesujące jest, czy struktura kryształu ma wpływ na utlenienie kryształu?

Badania takie przeprowadzili M.P. Silverman i H.L. Ehrlich (24), którzy wykazali, że od struktury kryształu zależy utlenienie danego minerału. Autorzy ci uważają, że im bardziej uporządkowana jest siatka krystaliczna minerału, tym trudniejsze jest jego utlenienie. W kryształach z wadliwą strukturą proces ten jest łatwiejszy. Bakterie wykorzystują uszkodzenia kryształów, odsłonięte miejsca dyslokacji, granice ziarenek czy naturalne pęknięcia; w tych miejscach grupują się i występują w największych ilościach, tutaj też rozpoczyna się proces utlenienia minerału. Nie bez znaczenia są również inkluzje siarczkowe, takie jak: FeS_2 , $CuFeS_2$ specjalnie podatne na działanie bakterii. Drobnoustroje wybierają je selektywnie jako miejsca swego oddziaływania, gdyż siarczki są źródłem energii dla ich procesów metabolicznych. V.K. Berry i L.E. Murr (1) obserwując kwarc zauważyli specyficzną przyleganie bakterii do regionów zawierających chalkopiryt.

UDZIAŁ MIKROORGANIZMÓW W PROCESACH DEGRADACJI ZŁÓŻ SIARCZANOWYCH

O ile geneza biologiczna osadów siarczanowych nasuwa wiele wątpliwości, o tyle redukcja siarczanów bez wątpienia przebiega przy aktywnym udziale mikroorganizmów. Proces ten jest wynikiem aktywności bakterii redukujących siarczany. Typowymi przedstawicielami bakterii, wykorzystującymi utlenione związki siarki jako końcowe akceptory wodoru w oddychaniu beztlenowym, są rodzaje: *Desulfovibrio* i *Desulfotomaculum*. Pierwsze z nich to biegunowo urzęsione przecinkowce, drugie to proste lub zakrzywione pałeczki wytwarzające spory.

Aktywność tej grupy drobnoustrojów uwarunkowana jest wymaganiami odpowiedniego siarczanu, dawcy wodoru i warunkami beztlenowymi. Dobór odpowiedniego siarczanu nie stanowi żadnego problemu, ponieważ siarczany występują zazwyczaj w nieograniczonych ilościach w przyrodzie. Fakt ten w powiązaniu ze zdolnością bakterii do rozwoju zarówno przy wysokich, jak i niskich temperaturach, tolerancja na szeroki zakres stężeń soli i ciśnienia osmotycznego, jak również zdolność do utylizacji zarówno

wodoru molekularnego, jak i organicznych dawców wodoru – zapewnia wszechstronne rozpowszechnienie tych mikroorganizmów w biosferze. Występują one w wodach słodkich i morskich, w bagnach, we wszelkich środowiskach zawierających siarczany i substancje organiczną. Stwierdza się ich obecność w podziemnych wodach zawierających siarczany, gdzie są one redukowane do siarkowodoru. W pustynnych jeziorach Cyrenajki w północnej Afryce gromadzi się siarkowódór pochodzący z redukcji siarczanu wapnia przez *Desulfovibrio*.

Obecnie sądzi się, że bakterie redukujące siarczany są głównymi producentami siarczkowych rud żelaza. Czarny osad hydrotrolitu ($FeS \cdot nH_2O$), w który bogate są muły dennie wód śródlądowych i stref litoralnych oceanów, są produktem aktywności tychże bakterii. Na podstawie właściwości fizjologicznych i metabolicznych bakterii redukujących siarczany, jak i ich szerokiego rozpowszechnienia w biosferze, możemy się spodziewać, że wszędzie gdzie zachodzi rozkład siarczanów można spotkać bakterie z rodzajów *Desulfovibrio* czy *Desulfotomaculum*.

ZAKOŃCZENIE

Reasumując można podkreślić, iż mikroorganizmy uczestniczące w przemianach nieorganicznych związków siarki wykorzystują je zależnie od stopnia natlenienia środowiska – jako dawców lub akceptory elektronów w procesie chemosyntezy albo jako akceptory elektronów w procesie oddychania. W toku tych reakcji związki siarki ulegają utlenieniu lub redukcji. Nawet na znacznych głębokościach pod powierzchnią Ziemi, kilkaset a niekiedy kilka tysięcy metrów, stwierdzono obecność bakterii zmieniających skład chemiczny skał, wód mineralnych i in., jeśli znajdują się w nich związki siarki.

Treść artykułu, jak i sam tytuł: udział mikroorganizmów w procesach degradacji minerałów, sugeruje ujemny wpływ bakterii na stan złóż. Znajac właściwości bakterii i ich optymalne warunki bytowania, możemy zapobiec wielu stratom wywołanym przez nie w środowiskach naturalnych. Z drugiej strony wykorzystując „niszczycielskie” właściwości bakterii, możemy zastosować je we wspomnianych wcześniej procesach ługowania.

Zmniejszenie się zasobów ropy naftowej – źródła energii i wyczerpywanie się złóż minerałów koniecznych do produkcji metali, to obecnie główne problemy świata. Innym problemem jest skażenie środowiska przez odpady przemysłowe. Dochodzi więc do wyczerpywania się źródeł energii i bazy surowcowej dla przemysłu, a jednocześnie rośnie ilość odpadów, które zawierają wiele cennych metali. I tu z pomocą przychodzą bakterie, które poznaliśmy przy procesach degradacji złóż – bakterie tionowe, które ługując metale z odpadów czy z niebilansowych rud, przyczyniają się do wzbogacenia gospodarki w cenne metale, a jednocześnie przyczyniają się do ochrony środowiska usuwając z odpadów substancje toksyczne.

LITERATURA

1. Berry V.K., Murr L.E. – Direct observations of bacteria and quantitative studies of their catalytic role in the leaching of low-grade, copper-bearing waste. Metallurgical applications of bacterial leaching and related microbiological phenomena. Academic Press New York, San Francisco, London 1978.
2. Brierley C.L. – Bacterial leaching. Critical Reviews in Microbiology 1978 no. 6.

3. Colmer A.R., Hinkle M.E. — The role of microorganisms in acid mine drainage. A preliminary report. Science 1947 no. 106.
4. Czermiński J., Pawłowski S. — Współcześnie zachodzące procesy w złożach siarki i ich znaczenie dla eksploatacji. Prz. Geol. 1961 nr 1.
5. Czermiński J. — Redukcyjne środowisko i zawodnienie złóż siarki niezbędnym warunkiem ich istnienia. Kwart. Geol. 1968 nr 4.
6. Gormely L.S., Duncan D.W. — Estimation of *Thiobacillus ferrooxidans* concentration. Canad. J. Microbiol. 1974 no. 20.
7. Harrison V.F., Gow W.A., Ivarson K.C. — Leaching of uranium from Elliot Lake Ore in the presence of bacteria. Canad. Min. J. 1966 no. 87.
8. Iwanow M.W. — Rol mikrobiologicznych procesow w genezisie miastorożdzenij samorodnoj siery. Moskwa Nauka 1964.
9. Iwanow W.I., Nagirniak F.E., Stiepanow B.A. — Bakterialnoje okislenie sulfidnych rud. Mikrobiol. 1962 nr 2.
10. Karawaiko G.I., Kuzniecowa S.I., Golomzik A.I. — Rol mikroorganizmow w wyszczelaczianiu metallow iz rud. Moskwa Nauka 1972.
11. Karawaiko G.I. — O chemiczescem i biologiczescem okisleniu siery w laboratornych usłowijach. Mikrobiol. 1962 nr 2.
12. Karawaiko G.I. — O mikrozonalnomo rasprastrieneniu okislitelnych procesow w siernoj rudie Rosdolskogo miastorożdzenija. Mikrobiol. 1961 nr 2.
13. Karawaiko G.I. — Rol tionowych bakterij w okisleniu sulfidnych rud Kafanskogo miastorożdzenija. Mikrobiol. 1966 nr 6.
14. Karawaiko G.I. — Znaczenie biologiczescogo faktora w okisleniu sajediniennij siery Rosdolskogo miastorożdzenija. Mikrobiol. 1959 nr 6.
15. Kelly D.P., Norris P.R., Brierley C.L. — Microbiological methods for the extraction and recovery of metals. Microbial Technology Society for General Microbiology. Symposium 29, 1979.
16. Lialikowa N.N., Derjugina S.P. — Mikrobiologiczescoge absledowanije niekotorych sulfidnych miastorożdzenij siewiernogo Kawkaza. Mikrobiol. 1966 nr 6.
17. Lialikowa N.R. — Fizjologija i ekologija *Thiobacillus ferrooxidans* w swiazi z jego rolu w okisleniu sulfidnych rud. Mikrobiol. 1960 nr 5.
18. Lialikowa N.N. — Rol bakterij w okisleniu sulfidnych rud miedno-nikielewych miastorożdzenij Kolskogo poljostrowa. Mikrobiol. 1961 nr 1.
19. Lialikowa N.N. — Uczastije *Thiobacillus ferrooxidans* w okisleniu sulfidnych rud na kolczedannych miastorożdzenijach sriedniego Urala. Mikrobiol. 1960 nr 3.
20. McGoran C.J.M., Duncan D.W., Walden C.C. — Growth of *Thiobacillus ferrooxidans* on various substrates. Canad. J. Microbiol. 1969 no. 15.
21. Murr L.E., Berry V.K. — Direct observations of selective attachment of bacteria on low-grade sulfide ores and others mineral surfaces. Hydrometallurgy 1976 no. 2.
22. Pawłowska K. — Miocenne złoże siarki. Przew. XXXVIII Zjazdu Pol. Tow. Geol., Tarnobrzeg 21—24 sierpnia 1965, Wyd. Geol. 1963.
23. Schaefer W.L., Holbert P.E., Umbreit W.W. — Attachment of *Thiobacillus thiooxidans* to sulfur crystals. J. Bacteriol. 1963 no. 1.
24. Silverman M.P., Ehrlich H.L. — Microbiol formation and degradation of minerals. Adv. Appl. Microbiol. 1964 no. 6.
25. Silverman M.P. — Mechanism of bacterial pyrite oxidation. J. Bacteriol. 1967 no. 4.
26. Sokołowa G.A., Karawaiko G.I. — Biogiennoje okislenie siery Rosdolskoj rudy w laboratornych usłowijach. Mikrobiol. 1962 nr 6.
27. Sokołowa G.A., Karawaiko G.I. — Fizjologija i geochemiczeskaja diejatielnost tionowych bakterij. Moskwa Nauka 1964.
28. Sokołowa G.A. — Rasprostrianienije *Thiobacillus* w sierowodorodnych podziemnych wodach. Mikrobiol. 1961 nr 3.
29. Weiss R.L. — Attachment of bacteria to sulphur in extreme environments. J. Gen. Microbiol. 1973 no. 77.
30. Zajick J.E. — Microbiol biogeochemistry. Academic Press New York and London 1969.
31. Zawarzin G.A. — Litotrofnyje mikroorganizmy. Moskwa Nauka 1972.

SUMMARY

All rocks regardless of their origin undergo alterations under the influence of different factors. Microorganisms contribute to these processes to a large extent. When considering the group of thionic bacteria, which oxidize sulphur and sulphides, the present author indicates the role played by bacteria in processes occurring in natural geological environments. It is shown that bacteria are present in solutions derived from deposits of well-known metal sulphides, and that they were active in processes releasing metals from minerals. Particular attention has been paid to a possibility of utilizing the bacteria in detoxication of garbage or waste deposits, as well as in secondary recovery of many valuable metals.

Translated by M. Narkiewicz

РЕЗЮМЕ

Все горные породы, независимо от способа их образования, подвергаются преобразованиям под влиянием разных факторов. Большую роль в этих процессах играют микроорганизмы. При рассмотрении аэробных бактерий, окисляющих серу и сульфиды, обращено внимание на участие бактерий в процессах происходящих естественно в геологических средах. Выказано присутствие бактериальной микрофлоры в водах происходящих из многих месторождений сульфидов металлов и её участие в процессах освобождения металлов из минералов.

Особое внимание обращено на выщелачивающую активность бактерии по отношению к минералам, по поводу возможности её использования в процессах детоксикации складочных площадок и породных отвалов, а также из-за возможности использования этих явлений для получения обратно многих ценных металлов.