

## METODE DE RECUPERARE A METALELOR DIN ZĂCĂMINTE CU AJUTORUL MICROORGANISMELOR

**Pecingină Irina Ramona**, șef lucrări,  
Universitatea „Constantin  
Brâncuși” din Tg-Jiu  
**Călinoiu Maria**,  
conf.dr.ing., Universitatea „Constantin  
Brâncuși” din Tg-Jiu

**Abstract:** Microorganismele sunt utilizate pentru oxidarea mineralelor metalifere din minereuri și concentrate, dar și ca agenți de flotație pentru tratarea mineralelor sau pentru extracția și concentrarea metalelor din soluție. Biomineritul reprezintă un complex de aplicații biotehnologice destinate recuperării metalelor din zăcămintele epuizate, prin extracția acestora cu ajutorul microorganismelor specializate, în locul tehnologiilor convenționale. Biomineritul include două tipuri diferite de procese biotehnologice: biosolubilizarea (bioleșierea) și biooxidarea, ambele fiind realizate prin acțiunea specifică a unor populații de microorganisme.

**Cuvinte cheie:** recuperare, metale, microorganisme

### 1. INTRODUCERE

Microorganismele sunt utilizate pentru oxidarea mineralelor metalifere din minereuri și concentrate, dar și ca agenți de flotație pentru tratarea mineralelor sau pentru extracția și concentrarea metalelor din soluție.

Biomineritul reprezintă un complex de aplicații biotehnologice destinate recuperării metalelor din zăcămintele epuizate, prin extracția acestora cu ajutorul microorganismelor specializate, în locul tehnologiilor convenționale.

Biomineritul este un procedeu biotehnologic extrem de eficient, sigur și economic, dar mai ales deosebit de compatibil cu mediul, spre deosebire de metodele tradiționale de minerit, utilizate în ultimul secol.

Eficiența tehnico-economică a biomineritului poate fi sporită, fie prin

## METHODS FOR RECOVERING METALS FROM ORE DEPOSITS, USING MICROORGANISMS

**Irina Ramona Pecingină**,  
Lecturer, University „Constantin  
Brâncuși” of Tg-Jiu  
**Maria Călinoiu**, Assoc.prof. PhD,  
University „Constantin Brâncuși” of  
Tg-Jiu

**Abstract:** The microorganisms are used for the oxidation of metallic mineral from ores and concentrates, but also as flotation agents for the treatment of minerals or for extraction and concentration of metals from solution. Bio mining is a complex biotechnological applications for metal recovery from depleted deposits, through extraction using specialized microorganisms, rather than conventional technologies. The bio mining includes two different types of biotechnological processes: Bioleaching and biological oxidation, both being made by the specific action of microorganisms populations.

**Keywords:** recovering, metal, microorganisms

### 1. INTRODUCTION

The microorganisms are used for the oxidation of metallic mineral from ores and concentrates, but also as flotation agents for the treatment of minerals or for extraction and concentration of metals from solution.

Bio mining is a complex biotechnological applications for metal recovery from depleted deposits, through extraction using specialized microorganisms, rather than conventional technologies. Bio mining is a biotechnological process highly efficient, safe and economical, but mostly very compatible with the environment, unlike traditional mining methods used in the last century.

The technical and economic efficiency of bio mining can be increased either by selection of effective strains of microorganisms existing in natural

selecționarea unor sușe eficiente de microorganisme, existente în mediul natural, fie prin modificarea genetică a celor existente în culturile *in vitro*, prin utilizarea tehnicilor avansate din domeniul biologiei moleculare și al ingineriei genetice.

Condiția esențială pentru asigurarea eficienței biomineritului este reprezentată de selecția riguroasă a populațiilor de microorganisme care vor fi utilizate pentru recuperarea metalelor prezente în minele exploatare excesiv în decursul timpului. Acest fapt impune cunoașterea corespunzătoare a tuturor caracteristicilor morfologice, fiziologice și biochimice ale speciilor microbiene care vor fi utilizate în aplicațiile biomineritului.

## 2. SPECII DE MICROORGANISME UTILIZATE PENTRU RECUPERAREA METALELOR DIN ZĂCĂMINTE

În aplicarea tehnologiilor de recuperare a metalelor din zăcămintele au fost utilizate speciile bacteriene: *Thiobacillus ferrooxidans*, *T. thiooxidans*, *T. organoparus*, *Leptospirillum ferrooxidans*, *Sulfobacillus thermosulfooxidans*, *Sulfolobus acidocaldarius*, *S. brierley*, *Thermothrix thioparus*.

*Thiobacillus ferrooxidans* este o specie bacteriană chemotrofă, moderat termofilă, care poate produce energie prin oxidarea compușilor anorganici, cum sunt cei ai sulfului și fierului. Este cea mai des utilizată specie bacteriană în activitățile de biominerit și deține un rol fundamental în procedeele de recuperare a metalelor din minereuri, prin realizarea conversiei Fe ferros ( $Fe^{2+}$ ) la Fe feric ( $Fe^{3+}$ ). De asemenea, această specie bacteriană poate transforma compușii sulfului, prezenți în compoziția unor minereuri, în diferite grade de oxidare, produsul final al acestor reacții de transformare fiind atomul de sulf care posedă mai puțini electroni de valență. *T. ferrooxidans* accelerează de 200.000-500.000 ori reacțiile de oxidare ale  $Fe^{2+}$  și ale  $S^0$ , comparativ cu procesele similare, care pot avea loc în mod spontan, în mediul natural.

environment, either through genetic modification of the existing ones *in vitro*, using advanced techniques of molecular biology and genetic engineering.

The essential condition of bio mining for ensuring the effectiveness is the careful selection of populations of microorganisms that will be used to recover metals present in the excessively exploited mines over the time. This requires an adequate knowledge of all morphological, physiological and biochemical properties of microbial species which will be used in bio mining applications [1]

## 2. SPECIES OF MICROORGANISMS USED TO RECOVER METALS FROM ORES

In the application of technologies to recover metals from ores were used the following bacterial species: *Thiobacillus ferrooxidans*, *T. thiooxidans*, *T. organoparus*, *Leptospirillum ferrooxidans*, *Sulfobacillus thermosulfooxidans*, *Sulfolobus acidocaldarius*, *S. brierley*, *Thermothrix thioparus*.

*Thiobacillus ferrooxidans* is a bacterial species chemotrof, moderately thermophilic, which can produce energy by oxidizing inorganic compounds such as those of sulphur and iron. It is the most commonly used bacterial species in bio mining activities and has a fundamental role in the processes of recovery of metals from ores, through the conversion of Fe ferrous ( $Fe^{2+}$ ) to Fe ferric ( $Fe^{3+}$ ). Furthermore, this bacterial species can transform sulphur compounds present in the composition of some minerals in various degrees of oxidation, the end product of such transformation reactions were sulphur atom which has fewer valence electrons. *T. ferrooxidans* accelerates of 200000-500000 times the oxidation reactions of  $Fe^{2+}$  and  $S^0$  compared with similar processes, which can occur spontaneously in the natural environment. Strains of some were identified belonging to the

Au fost evidențiate sușe ale unor specii aparținând genului *Thiobacillus* care sunt extrem de active în medii cu pH neutru. Acestea acționează în fazele inițiale ale procesului de biosolubilizare, având rolul de a crește aciditatea substratului asupra căruia acționează și de a facilita multiplicarea bacteriilor acidofile. [2]

### 3. BIOSOLUBILIZAREA ȘI BIOOXIDAREA MICROBIANĂ A METALELOR

Biomineritul include două tipuri diferite de procese biotehnologice: biosolubilizarea (bioleșierea) și biooxidarea, ambele fiind realizate prin acțiunea specifică a unor populații de microorganisme.

Sistemele de leșiere a metalelor sunt complexe și includ un număr important de microorganisme, în special chemolitotrofe, precum și o activitate intensă la un pH scăzut.

Biosolubilizarea se referă la ansamblul modalităților tehnice și tehnologice, care conduc la eliberarea metalelor din zăcămintele sau din depozitele de steril și recuperarea lor cu ajutorul unor specii de microorganisme înalt specializate pentru acumularea acestora. Descoperirea rolului bacteriilor Fe-oxidante, active în mediu acid, a determinat reconsiderarea acestui proces, în primul rând prin recunoașterea sa ca proces pur biotehnologic, datorită contribuției esențiale aduse de componenta sa biologică. Aceste procedee tehnologice de biosolubilizare cuprind mai multe etape: fragmentarea minereului, extracția și selecția unei anumite categorii de minerale și de concentrate, solubilizarea propriu-zisă, realizată de către anumite specii bacteriene sau de metaboliții acestora și extracția metalelor din soluția minerală.

S-a demonstrat că bacteriile pot acționa pe trei căi: *directă* (prin oxidarea nemijlocită a mineralelor sulfurate), *indirectă* (prin participarea la procesele de oxidare cu producerea de  $Fe^{3+}$  și  $H_2SO_4$ ) și *galvanică*.

#### a. Biosolubilizarea directă

Procesul de biosolubilizare directă se

genus *Thiobacillus* which are very active in neutral pH environments. They act in the early stages of bioleaching process, whose role is to increase the acidity of the substrate on which it acts and to facilitate the multiplication of acidophilus bacteria. [2]

### 3. BIOLEACHING OF METALS AND MICROBIAL BIOOXIDATION

The bio mining includes two different types of biotechnological processes: bioleaching and biological oxidation, both being made by the specific action of microorganisms' populations. The metals leaching systems are complex and include an important number of microorganisms, especially chemolitotrof and also an intense activity at a low pH. Bioleaching refers to all technical and technologies procedures that lead to the release of metals from ores or tailings storage and their recovery with the help of highly specialized species of microorganisms for their accumulation. The discovery of Fe-oxidizing bacteria, active in acid medium, had determined the reconsideration of this process, primarily through its recognition as a purely biotechnological process, because the essential contribution to the biological component.

These technological processes of bioleaching include several steps: fragmentation of the ore, extraction and selection of certain categories of minerals and concentrates, the leaching itself made by certain bacterial species or their metabolites and extraction of metals from mineral solution.

It has been shown that bacteria can act in three ways: *directly* (through direct oxidation of sulphide minerals), *indirect* (through participation in the processes of oxidation with the result of  $Fe^{3+}$  and  $H_2SO_4$ ) and *electroplating*.

#### a. Direct bioleaching of metals

The direct bioleaching process occurs

realizează fără participarea sulfatului feros ( $\text{FeSO}_4$ ), care este produs pe cale microbiană (bacteriană), deoarece metalele sunt eliberate din minereul insolubil, în mod direct, prin metabolismul oxidativ al microorganismelor.

Pe parcursul biosolubilizării directe, bacteriile acționează asupra componentelor minerali susceptibili de oxidare, transferând, în cursul desfășurării metabolismului lor energetic, electronii de la atomii de Fe sau S la cei de oxigen. Așadar, procesul este unul aerob, fiind mediat de proteine de transport, care transferă electronii eliberați în cursul reacțiilor de oxidare, de la nivelul membranei celulare către atomii de oxigen.

Existența unui asemenea mecanism biochimic a fost demonstrată experimental prin expunerea unor sulfuri metalice, preparate sintetic și lipsite de atomi de Fe, la acțiunea bacteriilor chemolitotrofe din specia *Thiobacillus thiooxidans*.

Interacțiunea acestor bacterii cu substraturile minerale, preparate sintetic, a evoluat cu consum de oxigen având drept rezultat solubilizarea metalului respectiv.

Adăugarea de Fe feric ( $\text{Fe}^{3+}$ ) dublează rata de extracție, fapt care conduce la emiterea ipotezei conform căreia valența elementului metalic încorporat în minereu sau în concentrat, care urmează a fi solubilizat de microorganisme, deține un rol determinant în randamentul procesului de biosolubilizare directă.

### **b. Biosolubilizarea indirectă**

Biosolubilizarea indirectă este procedeul prin care metalele sunt eliberate din mineralele insolubile, prin intermediul oxidanților chimici produși de diverse microorganisme. Reacțiile oxidative caracteristice leșierii indirecte se pot produce și ca oxidări pur chimice.

Prezența și activitatea microorganismelor accelerează mult viteza reacțiilor chimice. În condiții naturale, cele două tipuri de procese, chimice și biologice, constituie un sistem complex, a cărui funcționare concomitentă depinde de factori fizici, hidrologici, geologici și industriali.

Sistemul de oxidare cel mai bine studiat

without the participation of ferrous sulphate ( $\text{FeSO}_4$ ), which is produced by microbial (bacterial) way, because the metals are released from the insoluble ore directly by oxidative metabolism of microorganisms. During the direct bioleaching, bacteria are acting on susceptible oxidation mineral components, transferring, in the course of their energy metabolism, electrons from Fe and S atoms to the oxygen ones. Therefore, the process is aerobic, being mediated by transport proteins that transfer the electrons released during oxidation reactions, from the cell membrane to the oxygen atoms.

The existence of such biochemical mechanism has been demonstrated, experimented by exposure of metal sulphides, prepared synthetically and free of Fe atoms, to the action of bacteria from *Thiobacillus thiooxidans chemolitotrofe* species.

The interaction of these bacteria with mineral substrates prepared synthetically, evaluated with oxygen consumption, resulting in the metal leaching.

The addition of ferric Fe ( $\text{Fe}^{3+}$ ) doubles the rate of extraction, which leads to the assumption issue by which the valence of the metal element embedded in ore or concentrate, which next will be dissolved by microorganisms, plays a decisive role in the efficiency of the direct bioleaching proces .

### **b. Indirect bioleaching**

Indirect bioleaching is the process by which metals are released from insoluble minerals through chemical oxidants produced by various microorganisms. The oxidative reactions characteristic to the leaching may occur as chemical oxidation too.

The presence and the activity of microorganisms accelerate the speed of chemical reactions. Under natural conditions, the two types of processes, chemical and biological, is a complex system, whose co-operation depends on physical, hydrological, geological and industrial factors.

The oxidation system best studied and appreciated as the current model is the one

și considerat ca model actual este cel referitor la eliberarea fierului din pirită ( $\text{FeS}_2$ ), care este cel mai frecvent întâlnit și mai ușor oxidabil minereu. În leșierea indirectă, bacteriile produc Fe feric ( $\text{Fe}^{3+}$ ) sub formă de  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ , prin oxidarea Fe feros ( $\text{Fe}^{2+}$ ) solubil.

Deoarece  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  este un oxidant puternic, acesta poate dizolva o mare varietate de metale, pe care le transformă în ioni oxidanți, solubili într-o soluție de acid sulfuric.

Pe parcursul acestei reacții, reappare Fe feros care este rapid reoxidat de bacterii. Acest fapt explică denumirea de leșiere „asistată”, care a fost dată leșierii indirecte.

În figura 1 este reprezentată schematic tehnologia de biosolubilizare (leșiere) a sulfurilor metalice din compoziția minereurilor metalifere.

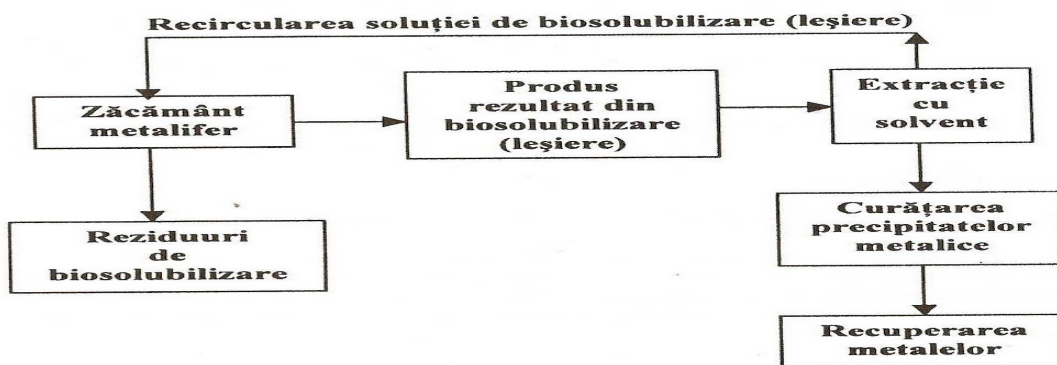


Fig.1. Reprezentarea schematică a procesului de biosolubilizare (leșiere) a sulfurilor metalice din minereurile metalifere

În timpul acestui proces, intervenția bacteriei *T. ferrooxidans* mărește viteza reacției de oxidare de peste un milion de ori. În mod evident, atomii de Fe și cei de S din compoziția piritelor sunt oxidați simultan, însă numai după ce sulfurile sunt dissociate din rețeaua cristalină a mineralelor respective.

Metoda de biosolubilizare indirectă este aplicabilă și unei game largi de sulfuri de cupru pentru recuperarea acestui metal din minereurile existente în minele sărăcite, prin exploatarea excesivă. Prin leșierea indirectă se pot obține atât cuprul, cât și sulfurul existent în minereuri.

Sulfurul elementar ( $\text{S}^0$ ) produs în cursul

relating to the release of iron from pyrite ( $\text{FeS}_2$ ), which is the most common and slightly oxidized ore. In indirect leaching, produced bacteria ferric Fe ( $\text{Fe}^{3+}$ ) under the form of  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  by oxidation of ferrous Fe ( $\text{Fe}^{2+}$ ) soluble.

Since  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  is a strong oxidant, it can dissolve a wide variety of metals and turns them into oxidant ions, soluble in sulphuric acid solution.

During this reaction, ferrous iron reappears which is rapidly deoxidized by bacteria. This explains the name of the assisted leaching, which was given to the indirect leaching.

Figure 1 schematically represents bioleaching technology (leaching) of the metal sulphides from of the composition of metal ferrous ores.

Fig.1. Schematically represents bioleaching technology (leaching) of the metal sulphides from of the composition of metal ferrous ores.

During this process, the intervention of the bacterium *T. ferrooxidans* speeds up the oxidation reaction over a million times. Clearly, the atoms of Fe and S from the composition of the pyrites are oxidized simultaneously, but only after sulphides are separated from the crystalline network of the respective minerals.

Indirect bioleaching method is applicable to a wide range of copper sulphide to recover this metal from ores existing in depleted mines by excessive exploitation. By indirect leaching can obtain both copper and sulphur existing in minerals.

Elemental sulphur ( $\text{S}^0$ ) produced

acestor reacții poate fi convertit de bacteria *T. ferrooxidans* la acid sulfuric. În acest mod, se generează și se menține un mediu acid favorabil existenței bacteriilor și, în același timp, se solubilizează o serie de oxizi ai cuprului.

### c. Biosolubilizarea galvanică

Biosolubilizarea sau conversia de tip galvanic reprezintă cea de-a treia cale de solubilizare și recuperare a metalelor cu ajutorul microorganismelor, dar acest proces nu a fost observat în condiții naturale.

Acest proces se bazează pe principiul fizico-chimic conform căruia contactul fizic dintre două sulfuri metalice diferite, scufundate într-un electrolit, generează o celulă galvanică.

## 4. PROCEDEE DE BIOSOLUBILIZARE AEROBĂ A METALELOR

### a). Biosolubilizarea ex situ

#### Biosolubilizarea în bioreactoare cu agitare continuă

Procesele de oxidare bacteriană a minereurilor metalifere pot fi efectuate în vasele de cultivare ale unor bioreactoare, prevăzute cu sisteme de agitare continuă, prin intermediul cărora se obține o cantitate însemnată de metale recuperate, a căror valoare economică totală justifică pe deplin costurile de instalare și operare a echipamentului biotehnologic respectiv.

Vasul de cultivare a bacteriilor pe substraturi constituite din minereuri ale metalelor ce urmează a fi solubilizate și recuperate din compoziția acestora poate fi dotat fie cu un agitator mecanic prevăzut cu palete, precum și cu un sistem de injectare a aerului sub presiune, direct în interiorul șlamului, fie cu un dispozitiv de introducere a aerului de înaltă presiune prin partea inferioară vasului de cultivare, astfel încât să se realizeze concomitent agitarea și oxigenarea șlamului.

*Thiobacillus* este genul de bacterie cel mai des utilizat în aplicarea acestui procedeu,

during these reactions may be converted by the bacterium *T. ferrooxidans* to sulphuric acid. In this way, generates and maintain an acid medium favourable to the existence of bacteria and at the same time, a series of copper oxides become soluble.

### c. Bioleaching galvanic

Bioleaching or galvanic type conversion is the third way of leaching and recovery of metals by microorganisms, but this process was not observed under natural conditions.

This process is based on physical-chemical principle whereby physical contact between two different metal sulphides, immersed in an electrolyte, generates a galvanic cell.

## 4. BIOLEACHING OF METALS AEROBIC PROCESSES

### a). Bioleaching ex situ

#### Bioleaching in bioreactors with stirring

The processes of bacterial oxidation of metal ores may be performed in vessels of the cultivation of bioreactors, provided with continuous stirring systems, through which a significant amount of recovered metals is obtained, whose total economic value fully justifies the installation and operating costs of the biotechnology equipment.

The cultivation dish of bacteria is on substrates composed of minerals of metals which will be dissolved and recovered from their composition and can be equipped either with a mechanical stirrer provided with blades, and a system for injecting under pressure air directly within the slurry or with a device for entering the high pressure air through the bottom part of cultivation dish, so as to achieve simultaneously agitation and oxygenation of the slurry. *Thiobacillus* bacteria is most commonly used in applying this method, because it is an aerobic bacterium which develops very fast on substrates composed of well-aerated slurry. Massive intake of air in the cultivation

deoarece este o bacterie aerobă care se dezvoltă extrem de repede pe substraturile constituite din șlam bine aerat. Aportul masiv de aer în vasul de cultivare are loc pe toată durata procesului de biosolubilizare prin oxidarea minereurilor.

În general, procesul se desfășoară în „cascadă”, utilizând în acest scop mai multe bioreactoare interconectate, șlamul circulând dintr-unul în altul până când se realizează oxidarea completă a minereurilor respective. În final, șlamul complet oxidat este spălat cu apă curentă și, apoi, tratat cu anumite substanțe chimice pentru recuperarea totală a metalelor.[3]

### **Biosolubilizarea în stive de oxidare**

Stivele de oxidare sunt formate din minereuri epuizate, extrase din zăcăminte, amplasate pe platforme prevăzute în partea inferioară cu conducte de colectare a soluțiilor rezultate în urma biosolubilizării, care asigură transportul acestora într-o instalație de extracție a metalelor prin precipitare cu solvenți specifici.

Pentru asigurarea unei oxigenări corespunzătoare a minereurilor colonizate de bacteriile chemoautotrofe din genul *Thiobacillus*, se introduce aer sub presiune, cu ajutorul unui dispozitiv de pompă aflat la baza stivelor de oxidare. Soluțiile acide care se utilizează pentru spălarea și curățarea produșilor rezultați din biooxidare sunt apoi neutralizate pentru precipitarea metalelor, de tipul cuprului sau fierului.

### **b) Biosolubilizarea *in situ***

Prin utilizarea acestor tehnologii de biosolubilizare, sunt extrase, în mod direct, metalele existente în zăcăminte, chiar în interiorul minelor în care se află, fără a fi colectate și apoi transportate în instalații speciale pentru extracție și recuperare din minereuri.

Acest procedeu tehnologic este utilizat pentru extracția cantităților mici de metale remanente în compoziția minereurilor din zăcăminte, după ce exploatarea metalelor prin metode convenționale a fost încheiată. În consecință, mina este supusă unor detonări cu

dish occurs throughout all the bioleaching process by oxidation of ores.

In general, the process takes place in „cascade”, using for this purpose several interconnected bioreactors, sludge moving from one to another until it achieved complete oxidation of those ores.

Finally, completely oxidized sludge is washed with running water and then treated with certain chemicals for the full recovery of metals. [3]

### **Bioleaching in stacks of oxidation**

Oxidation stacks are formed from depleted minerals, extracted from deposits located on the platform, provided at the bottom with pipes collecting the resulting solutions after bioleaching, that ensure their transport to a facility for extracting metals by precipitation with specific solvents.

To ensure adequate oxygenation for the ore colonized by *Thiobacillus*, air is introduced under pressure with a suction device at the base oxidation stack. Acid solutions used for washing and cleaning of the resulting products from bio oxidation are then neutralized for metals precipitation, like copper or iron.

### **b).Bioleaching *in situ***

By using these bioleaching technologies are directly extracted existing metals in deposits, even within the mine in which they are located, without being collected and transported in special facilities for the extraction and recovery from ore.

This technological process is used for extracting small amounts of residual metals in the composition of the ore deposits, after the metal exploitation by conventional methods was completed. Consequently, the mine is exposed to detonation with explosive material in order to obtain a powerful fragmentation of the rocks that still contain metallic minerals and to increase their permeability and then the resulting material is then washed and treated with acidic solutions containing bacteria, even in the mine, concomitant ensuring the intake of necessary air for intense oxidation processes.

material explozibil, în scopul fragmentării cât mai puternice a rocilor care mai conțin minerale metalifere și pentru a spori permeabilitatea acestora, iar apoi materialul rezultat este spălat și tratat cu soluții acide conținând inoculum bacterian, chiar în interiorul minei, concomitent asigurându-se aportul de aer necesar pentru procesele intense de oxidare.

În acest mod, biooxidarea are loc *in situ*, datorită activității metabolice a bacteriilor oxidante, rezultatul fiind acela al extracției și recuperării metalelor existente în minereurile respective. [4]

## 5. PROCEDEE DE BIOSOLUBILIZARE ANAEROBĂ A METALELOR

Acest procedeu de biosolubilizare anaerobă și denitrificare oferă posibilitatea recuperării metalelor din zăcăminte, la costuri scăzute și în condițiile reducerii efectelor poluante, deoarece nu utilizează surse de aerare a substraturilor pentru extracția metalelor și nici nu generează substanțe reziduale extrem de poluante (soluțiile de acizi tari, rezultate prin aplicarea tehnologiilor aerobe de biosolubilizare).

Avantajele aplicării acestui procedeu tehnologic constau în:

- eliminarea costurilor de producție pentru asigurarea aportului permanent de oxigen, necesare în condițiile utilizării procedeelor aerobe;
- eliminarea producerii de reziduuri toxice, reprezentate de apele acide ce rezultă în cantități apreciabile din procesele de biosolubilizare aerobă;
- producerea de subproduse netoxice din procesele de biosolubilizare anaerobă, cum sunt:  $N_2$ ,  $CO_2$  și  $H_2O$ .

Tehnologia anaerobă de biosolubilizare utilizează culturi bacteriene anaerobe din genul *Thiobacillus*, în asociere cu specii microbiene heterotrofe denitrificatoare, care permit recuperarea metalelor cu minime efecte poluante asupra mediului.

Această tehnologie poate fi utilizată pentru tratarea zăcămintelor, care, în mod curent, nu pot fi solubilizate prin aplicarea

In this way, bio oxidation occurs *in situ* due to metabolic activity of oxidizing bacteria, the result being that of extraction and recovery of the metals existing of those minerals. [4]

## 5. BIOLEACHING OF METALS ANAEROBIC PROCESSES

This anaerobic bioleaching process and de-nitrification process enables recovery of metals from ores, with lower costs and in the conditions of reducing the pollutant effects, because it doesn't uses aeration sources of the substrates for the extraction of metals and does not generate highly polluting waste substances (strong acid solutions, resulted by the application of aerobic bioleaching technologies).

The benefits of applying this technological process are:

- elimination of production costs to ensure the permanent input of oxygen required in terms of the aerobic processes;
- production of toxic waste disposal, represented in the acidic waters resulted in considerable quantities from aerobic bioleaching processes;
- production of non toxic by-products from anaerobic bioleaching processes, such as:  $N_2$ ,  $CO_2$  and  $H_2O$ .

Anaerobic bioleaching technology is using anaerobic bacteria culture of the *Thiobacillus* genus, in association with heterotrophic microbial species, which allow metal recovery with minimal environmental pollution effects

This technology can be used to treat ore deposits, which cannot be solubilised by applying aerobic bioleaching technologies,



tehnologiilor de biosolubilizare aerobă, a carbonaților, silicaților, piritelor și oxizilor de cupru prezenți în minereurile din zăcămintele metalifere. [5]

Schema de aplicare a tehnologiei de biosolubilizare anaerobă este redată în figura 2.

carbonates, silicates, pyrites and oxides of copper present in the deposits of metaliferous ores. [5]

The scheme implementation of anaerobic bioleaching technology is shown in figure 2.

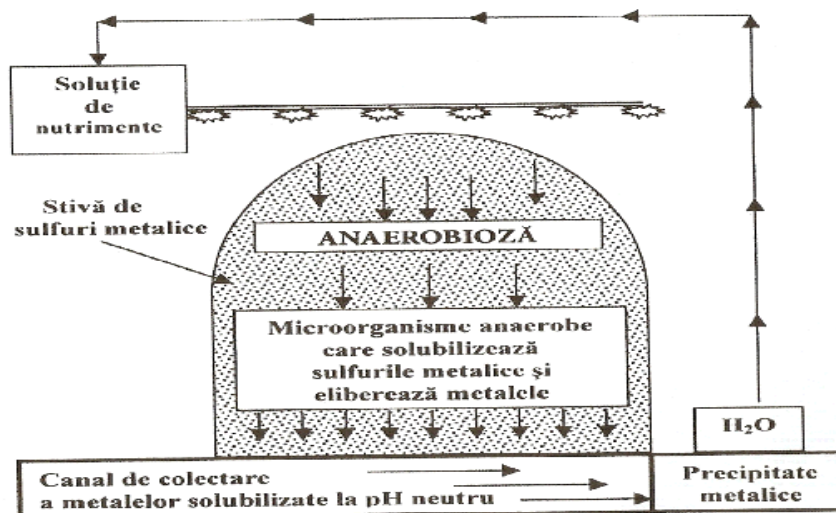


Fig.2. Reprezentarea schematică a tehnologiei de biosolubilizare anaerobă

Fig.2. Schematic representation of anaerobic bioleaching technology

Pentru creșterea în continuare a eficienței acestor procedee biotehnologice, se studiază posibilitățile de selecție a unor noi sușe bacteriene cu potențial ridicat de biosolubilizare, precum și de obținere a unor bacterii modificate genetic, capabile să determine sporirea productivității de extracție și recuperare a metalelor din zăcăminte, în special a metalelor grele.

Există microorganisme care dețin enzime ce le conferă protecție față de toxicitatea manifestată de aceste elemente chimice sau posedă mecanisme biochimice de inactivare prin metabolizare, precum și de eliminare a acestora în mediul extracelular.

## CONCLUZII

- Microorganismele sunt utilizate pentru oxidarea mineralelor metalifere din minereuri și concentrate, dar și ca agenți de flotație pentru tratarea mineralelor sau pentru extracția și concentrarea metalelor din soluție.
- Biomineritul reprezintă un complex

To further increase the efficiency of these biotechnological processes, are studied the possibilities of selection of new bacterial strains with high potential of bioleaching and also of obtaining genetically modified bacteria, capable to determine the increasing in productivity of the extraction and recovery of metals from ores, especially of heavy metals.

There are organisms that have enzymes that confer protection against the toxicity displayed by these chemical elements or possess biochemical mechanisms of inactivation by metabolism, and also the elimination of them in extracellular environment.

## CONCLUSIONS

- The microorganisms are used for the oxidation of metallic mineral from ores and concentrates, but also as flotation agents for the treatment of minerals or for extraction and concentration of metals from solution.
- Bio mining is a complex

de aplicații biotehnologice destinate recuperării metalelor din zăcămintele epuizate, prin extracția acestora cu ajutorul microorganismelor specializate, în locul tehnologiilor convenționale.

□ Biomineritul include două tipuri diferite de procese biotehnologice: biosolubilizarea (bioleșierea) și biooxidarea.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Minea , E., M., Environment - class notes, Univ. Babeș-Bolyai, Cluj-Napoca, 2007.
- [2] Petre, M., Teodorescu A., Environmental biotechnology, Volumul II, Ed. CD Press, Bucharest, 2008
- [3] Petre, M., Biotechnology for degradation and microbial conversion of plant constituents, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 2002.
- [4] Raicu, P., Modern biotechnology, Ed. Tehnică, Bucharest, 1990.
- [5] Săsărman, E., Jurcoane Șt., Industrial Microbiology , Ed. Mirton Timișoara, 2000.

biotechnological applications for metal recovery from depleted deposits, through extraction using specialized microorganisms, rather than conventional technologies

□ The bio mining includes two different types of biotechnological processes: bioleaching and biological oxidation.

## BIBLIOGRAPHY

- [1] Minea , E., M., Environment - class notes, Univ. Babeș-Bolyai, Cluj-Napoca, 2007.
- [2]Petre, M., Teodorescu A., (2008), Environmental biotechnology, Volumul II, Ed. CD Press, Bucharest
- [3] Petre, M., Biotechnology for degradation and microbial conversion of plant constituents, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 2002.
- [4] Raicu, P., Modern biotechnology, Ed. Tehnică, Bucharest, 1990.
- [5] Săsărman, E., Jurcoane Șt., Industrial Microbiology , Ed. Mirton Timișoara, 2000.