

STUDY ON THE BIOLEACHING INFLUENCE FACTORS

STUDIU ASUPRA FACTORILOR DE INFLUENȚĂ AI BIOLIXIVIERII

Ioana Monica SUR

Technical University of Cluj-Napoca, Faculty of Materials and Environmental Engineering, Department Environmental Engineering and Sustainable Development Entrepreneurship, 103-105 Muncii Ave, Cluj-Napoca, Romania

Abstract: *Bioremediation uses living organisms (microorganisms) to degrade contaminants into less toxic forms. The efficiency of biological decontamination methods depends on numerous factors; there is no standard process to guarantee success in any conditions. The main factors underlying the smooth run of the bioleaching process are: knowledge of the existing pollutants and their biodegradability; choice of the oxidant and nutritive substances; characteristics of the environment subjected to depollution; type of microorganisms. If these factors can achieve the optimum conditions a soil depollution can be achieved obtaining high depollution yields*

Keywords: *bioleaching, depollution, microorganisms, nutrients polluted soi.*

Rezumat: *Bioremedierea utilizează organisme vii (microorganismele), pentru a degrada contaminanții în forme mai puțin toxice. Eficiența metodelor biologice de decontaminare depinde de numeroși factori, neexistând un procedeu standard care să garanteze succesul în orice condiții. Principali factori care stau la baza desfășurării a procesului de biolixiviere sunt: cunoașterea poluanților existenți și biodegradabilitatea acestora; alegerea oxidantului și a substanțelor nutritive; caracteristicile mediului supus depoluării; tipul microorganismelor utilizate. Dacă acești factori îndeplinesc condițiile optime se poate realiza o depoluare a solului obținându-se randamente ridicate de depoluare.*

Cuvinte cheie: *biolixiviere, depoluare, microorganismele, nutrienți, sol poluat.*

1. Introduction

Bioremediation of soils contaminated with metals by bioleaching is a relatively new technology, simple and effective. Bioleaching (microbial mobilization of metals), also called bacterial leaching, consists in extraction by solubilization, using bacteria, of metallic elements in the contaminated soil [1], [2].

Bioleaching does not lead to pollutant degradation; it only favors their separation in the contaminated environment. The method can be used alone or in conjunction with other chemical solubilization methods. This method can be carried out both on site and also in site.

The bioremediation process accelerates the biodegradation process and when the pollution stops, most of the bacteria disappear (fig. 1).

Biological decontamination consists of stimulation of natural phenomena for development of microorganisms in order to accelerate the pollutant metabolization process. By

1. Introducere

Bioremedierea solurilor contaminate cu metale prin biolixiviere este o tehnologie relativ nouă, simplă și eficientă. Biolixivierea (mobilizarea microbiană a metalelor) numită și leșierea bacteriană constă în extracția prin solubilizare, cu ajutorul bacteriilor, a elementelor metalice din solul contaminat [1], [2]

Biolixivierea nu conduce la degradarea poluanților, ci doar favorizează separarea acestora de mediul contaminat. Metoda se poate utiliza singură sau împreună cu metodele de solubilizare chimică. Această metodă se poate desfășura atât pe sit cât și în sit.

Procesul de bioremediere accelerează procesul de biodegradare, iar atunci când poluarea încetează majoritatea bacteriilor dispar (fig. 1).

Decontaminarea pe cale biologică constă în stimularea fenomenelor naturale de dezvoltare a microorganismelor, în scopul accelerării procesului de metabolizare a poluanților. Prin

biodecontamination pollutants are completely destroyed by their decomposition into harmless products.

biodecontaminare, poluanții sunt complet distruși prin descompunerea lor în produse inofensive

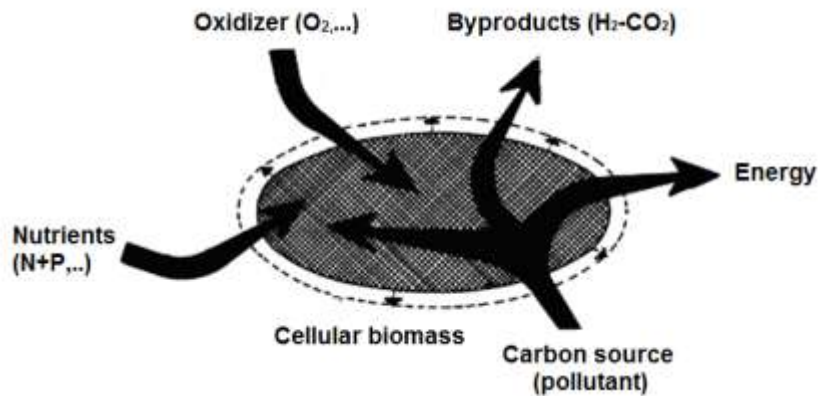


Figure 1. The principle of biological methods of soil depollution [3]

2. Theoretical basis

According to research conducted by Dineen et al, success of soil bioleaching depends on the following factors [4]:

- Knowledge of pollutants and their biodegradability;
- Choice of the oxidant and nutritive substances;
- Characteristics of the environment subjected to depollution.

2.1. Knowledge of pollutants and their biodegradability

As a result of forced industrialization in the past 150 years, the natural balance was broken causing environmental contamination with toxic substances, the main pollutants being: heavy metals, hydrocarbons and sulfur dioxide.

The behavior of pollutants depends on:

- Their intrinsic properties (viscosity, volatility, solubility, persistence etc.);
- Characteristics of the underground environment (structure, porosity, permeability etc.);
- The physico-chemical conditions prevailing in the environment.

The biodegradability of pollutants is their ability to degrade under the action of microorganisms. This problem is linked to the pollutant concentration; microorganisms can remain on the periphery of the contaminated area or can be destroyed due to the high toxicity of the pollutant.

Biodegradation is performing only within the limit of certain pollutant concentrations. If this limit is exceeded, microorganisms can remain on the periphery of the contaminated area or can be destroyed due to the high toxicity of the pollutant [5].

2. Fundamente teoretice

În acord cu cercetările efectuate de Dineen și colab., succesul biolixivierii solurilor depinde de următorii factori [4]:

- cunoașterea poluanților existenți și biodegradabilitatea acestora;
- alegerea oxidantului și a substanțelor nutritive;
- caracteristicile mediului supus depoluării.

2.1. Cunoașterea poluanților și biodegradabilitatea acestora

Ca urmare a industrializării forțate din ultimii 150 ani s-a rupt echilibru natural, producându-se o contaminare a mediului înconjurător cu substanțe toxice, principalii poluați fiind: metalele grele; hidrocarburile și dioxidul de sulf.

Comportamentul poluanților depinde de:

- proprietățile intrinseci ale acestuia (vâscozitate, volatilitate, solubilitate, persistență, etc.);
- caracteristicile mediului subteran (structură, porozitate, permeabilitate, etc.);
- condițiile fizico-chimice care predomină în mediu.

Biodegradabilitatea poluanților este aptitudinea acestora de a se degrada sub acțiunea microorganismelor. De această problemă este legată și concentrația poluantului, microorganismele pot rămâne la periferia zonei contaminate sau pot fi distruse ca urmare a toxicității ridicate a poluantului.

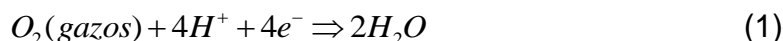
Biodegradarea este performantă numai în limitele anumitor concentrații de poluanți. În cazul depășirii acestei limite microorganismele pot rămâne la periferia zonei contaminate sau pot fi distruse ca urmare a toxicității ridicate a poluantului [5].

Biodegradation includes several levels [6]:

- a) **Primary biodegradation** is minimum transformation needed to change the identity of a substance;
- b) **Partial biodegradation** involves carrying out a sequence of transformations without the complete passage of organic matter into mineral compounds;
- c) **Acceptable biodegradation** consists in the sum of minimum transformations needed for the disappearance of those characteristics that are not desirable in the respective organic substance;
- d) **Total biodegradation** is the total transformation in oxides of elements that constitute the substance subjected to biodegradation and biomass (resulted from metabolic processes of microorganisms).

2.2. Choice of the oxidant and nutritive substances

Choosing the oxidant and nutritive substances is always a key point in the feasibility of a biodecontamination operation. The addition of oxygen or oxygenated compounds in the soil accelerates the biodegradation process of organic pollutants, according to reaction 1.



Following the introduction of oxygen or oxygenated compounds in a reducing environment, conditions are created for metal oxidation (for instance from Fe^{2+} to Fe^{3+}). Therefore, it should be noted that oxygen or oxygenated compounds have a potential to transform metals in the contaminated environment, in addition to their effect of accelerating biological processes.

In addition to the organic carbon and oxygen source, aerobic bacteria require nutrients for supporting their growth and metabolic activity. Soil subjected to bioremediation can be treated with macroelements such as nitrogen, phosphorous, calcium, magnesium and microelements such as iron, cobalt, nickel and boron. These nutritive substances are basic elements of life and allow microbes to create enzymes necessary to destroy contaminants [7].

Nutrients are chemical elements required for a good development of microorganisms; they can be divided in micronutrients and macronutrients.

Macronutrients required for bacteria populations are carbon, nitrogen and phosphorous and the optimum ratio of the three compounds C : N:P is 100:10:1. In soil there are sufficient amounts of the three macronutrients [8], [9].

Biodegradarea cuprinde mai multe niveluri [6]:

- a) **biodegradarea primară**, reprezintă transformarea minim necesară pentru schimbarea identității unei substanțe;
- b) **biodegradarea parțială**, presupune desfășurarea unei succesiuni de transformări, fără a avea loc trecerea completă a substanței organice în compuși minerali;
- c) **biodegradarea acceptabilă**, constă în suma transformărilor minime necesare pentru a face să dispară acele caracteristici care nu sunt de dorit la substanța organică respectivă;
- d) **biodegradarea totală**, reprezintă transformarea totală în oxizii elementelor ce compun substanța supusă biodegradării și biomasa (rezultată în urma proceselor metabolice ale microorganismelor).

2.2. Alegerea oxidantului și a substanțelor nutritive

Alegerea oxidantului și a substanțelor nutritive reprezintă întotdeauna un punct cheie în fezabilitatea unei operații de biodecontaminare. Aportul de oxigen sau de compuși oxigenați în sol accelerează procesul de biodegradare al poluanților organici, conform reacției 1.

În urma introducerii oxigenului și a compușilor oxigenați într-un mediu reducător, sunt create condițiile oxidării metalelor (de exemplu trecerea Fe^{2+} în Fe^{3+}). De aceea, trebuie să se țină seama că oxigenul și compușii oxigenați, pe lângă efectul de accelerare a proceselor biologice, au și un potențial de transformare a metalelor din mediul contaminat.

În plus față de sursa de carbon organic și oxigen, bacteriile aerobe cer elemente nutritive pentru a-și susține creșterea și activitatea metabolică. Solul supus bioremedierii poate fi tratat cu macroelemente cum sunt azotul, fosforul, calciul, magneziul, și microelemente cum sunt fierul, cobaltul, nichelul și borul. Aceste substanțe nutritive sunt elementele de bază ale vieții și permite microbilor crearea unor enzime necesare pentru a distruge contaminanții [7].

Nutrienții sunt elementele chimice necesare bunei dezvoltări a microorganismelor, care pot fi clasificați în micronutrienți și macronutrienți.

Macronutrienții necesari populațiilor de bacterii sunt reprezentați de carbon, azot și fosfor, iar raportul optim dintre cei trei compuși C : N : P este de 100:10:1. În sol există cantități suficiente din cei trei macronutrienți. [8], [9].

Micronutrients required at soil level for a good development of the bioremediation process are: sulfur, potassium, sodium, calcium, magnesium, iron, manganese, zinc and copper [15].

For optimal growth and reproduction of microorganisms involved in the bioremediation process, at ground level must be sufficient nutrients and they must be in the forms and concentrations specific to each process [9].

If the nutrients (nitrogen, phosphorous, potassium, sulfur, magnesium, calcium, manganese, iron, zinc and copper) are not available in sufficient quantities, the microbial activity might be reduced. Nitrogen and phosphorous are, most likely, the deficient nutrients in contaminated environments; they are added in bioremediation systems in the form of salts of mineral fertilizers (ammonium for nitrogen and phosphates for phosphorous) [10].

2.3. Characteristics of the environment

Characteristics of the environment subjected to depollution and implicitly of groundwater together with the indigenous microbial population affect the biodegradation degree; before deciding on the adequate bioremediation method, a few **parameters** that influence this process should be considered:

- **Soil humidity** – is a very important property in treatment systems of the unsaturated areas, because microorganisms need water as a support for their metabolic process. In the bioremediation process ideal soil humidity is 50%. When using bioventing systems soil humidity suffers a decrease in time. Humidity can be an important factor for microorganism development. A microorganism that grows in a water-poor environment spends much of its energy for water extraction. Under a certain humidity, microbial activity stops and microorganisms die [12], [13];
- **pH** – affects solubility and availability of components in the soil, which may affect biologic activity. Many metals have a high toxicity potential for insoluble microorganisms at a high pH. Increasing pH reduces the risk of microorganism poisoning [4]. pH of the treated environment must be between 6 – 8, with the ideal value of 7 [9]. pH limit values for different metals are presented in table 1;

Micronutrienții necesari la nivelul solului pentru o bună desfășurare a procesului de bioremediere sunt: sulful, potasiul, sodiul, calciul, magneziul, fierul, manganul, zincul și cuprul [15].

Pentru o dezvoltare și o reproducere optimă a microorganismelor implicate în procesul de bioremediere trebuie ca la nivelul solului să fie disponibile cantități suficiente de nutrienți în formele și concentrațiile specifice fiecărui proces [9].

În cazul în care substanțele nutritive (azot, fosfor, potasiu, sulf, magneziu, calciu, mangan, fier, zinc, cupru) nu sunt disponibile în cantități suficiente, activitatea microbiană poate fi redusă. Azotul și fosforul sunt nutrienții, cel mai probabil, deficitari în mediile contaminate; sunt adăugați în sistemele de bioremediere sub formă de săruri de îngrășămintă minerale (amoniu pentru azot și fosfați pentru fosfor) [10].

2.3. Caracteristicile mediului

Caracteristicile mediului supus depoluării și implicit a apelor subterane împreună cu populația microbiană indigenă afectează gradul de biodegradare și înainte de a decide asupra metodei adecvate de bioremediere trebuie avut în vedere câțiva **parametri** care influențează acest proces:

- **umiditatea solului** – este o proprietate foarte importantă în sistemele de tratare a zonei nesaturate, deoarece microorganismele au nevoie de apă ca suport pentru procesul metabolic. În procesul de bioremediere umiditatea ideală a solului este de 50 %. La sistemele de bioventilație umiditatea solului suferă o diminuare în timp. Umiditatea poate fi un factor important pentru dezvoltarea microorganismelor. Un microorganism care se dezvoltă într-un mediu sărac în apă, cheltuiește o bună parte din energia sa pentru extracția apei necesare. Sub o anumită umiditate, activitatea microbiană încetează, iar microorganismele mor [12], [13];
- **pH-ul** – afectează solubilitatea și disponibilitatea componentelor din sol, care pot afecta activitatea biologică. Multe metale au un potențial ridicat de toxicitate pentru microorganismele insolubile la un pH ridicat. Ridicarea pH-ului reduce riscul de otrăvire al microorganismelor [4]. pH-ul mediului tratat trebuie să fie cuprins între 6 – 8, cu valoarea ideală 7 [9]. Valorile limită ale pH-ului pentru diferite metale sunt prezentate în tabelul 1;

Table 1. pH limit values for different types of metals [14]

Metals	Zn	Cd	Ni	As	Cu	Pb	Al	Fe
pH limit	6.0 – 6.5	6.0	5.0 – 6.0	5.5 – 6.0	4.5	4	2.5	2.2

- **Oxygen level in the soil** is increased by avoiding saturation of soil with water. Ensuring a sufficient quantity of O₂ required for anaerobic conditions is achieved by forced injection of air or hydrogen peroxide. The use of hydrogen peroxide is limited because at high concentrations (over 100 mg/kg) it is toxic for microorganisms. Also, hydrogen peroxide has the tendency to decompose rapidly in water and oxygen in the presence of some soil constituents [15], [16];
- **Temperature** – affects microbial activity in the environment. The rate of biodegradation will slow down with temperature decrease. Therefore, bioremediation may be inefficient in cold seasons, unless it is carried out in a controlled climate. Microorganisms remain viable at temperatures below the freezing point and will resume their activity if the temperature increases [13]. Too high a temperature can be detrimental to some microorganisms. Temperature also affects non-biological losses of contaminants, mainly by their volatilization at high temperatures. Solubility of contaminants usually increases with temperature increase; however, some hydrocarbons are more soluble at low temperatures than at high temperatures. In addition, oxygen solubility decreases with temperature increase [12]. Temperature is a factor that influences bioactivity, such that the biodegradation rate of hydrocarbons almost doubles at each 10 °C variation over a temperature between 5 – 25 °C. For in situ decontamination operations, the biological degradation process of pollutants is much slowed down or even stopped during winter, when temperature drops below 0 °C [15];
- **Type of soil** – non-cohesive soils, such as gravel and sand, are better for applying bioremediation than compact soils (dense). In bioremediation, soil porosity (rate between pore space and total material volume) and permeability (ability to transmit fluids) influence the remediation efficacy and furthermore its success. Particle size is an important propriety related to contaminant adsorption – the greater the surface, the greater the adsorption of contaminant which reduces bioavailability [11], [15];
- **Soil permeability** – the more permeable is the soil, the better are the conditions for successfully applying the bioremediation process, this applying both for the unsaturated area and also for the saturated area (a hydraulic conductivity higher than 10⁻⁴ cm/s);
- **Type of microorganisms** – bacteria occupies a prime place in bioremediation processes, but also fungi, yeasts, algae etc., are used. Most times
- **nivelul de oxigen în sol** este crescut prin evitarea saturației solului cu apă. Asigurarea unei cantități suficiente de O₂ necesar condițiilor anaerobe, se face prin injectare forțată de aer sau peroxid de hidrogen. Utilizarea peroxidului de hidrogen este limitat, deoarece la concentrații mari (peste 100 mg/kg), este toxic pentru microorganisme. De asemenea, peroxidul de hidrogen are tendința de a se descompune rapid în apă și oxigen în prezența unor constituenți ai solului [15], [16].
- **temperatura** – afectează activitatea microbiană în mediul înconjurător. Viteza de biodegradare va încetini odată cu scăderea temperaturii. De aceea, bioremedierea poate fi ineficientă în anotimpurile reci, cu excepția cazului în care se realizează într-un climat controlat. Microorganismele rămân viabile la temperaturi sub punctul de îngheț și își vor relua activitatea în cazul în care crește temperatura [13]. O temperatură prea mare poate fi în detrimentul unor microorganisme. Temperatura afectează, de asemenea, pierderi non-biologice ale contaminanților în principal prin volatilizarea acestora la temperaturi ridicate. Solubilitatea contaminanților de obicei crește odată cu creșterea temperaturii; cu toate acestea, unele hidrocarburi sunt mai solubile la temperaturi scăzute decât la temperaturi ridicate. În plus, solubilitatea oxigenului scade odată cu creșterea temperaturii [12]. Temperatura este un factor care influențează bioactivitatea, astfel încât viteza de biodegradare a hidrocarburilor aproape se dublează la fiecare variație de 10 °C peste o temperatură medie cuprinsă între 5 – 25 °C. În cazul operațiunilor de decontaminare in situ, procesul de degradare biologică a poluanților este mult încetinit sau chiar stopat în timpul iernii, când temperatura scade sub 0 °C [15];
- **tipul solului** – Solurile noncoezive, precum pietrișul și nisipul, sunt mai bune pentru aplicarea bioremedierii decât solurile compacte (dense). În bioremediere, porozitatea (raportul între spațiul porilor și volumul total de material) și permeabilitatea (capacitatea de a transmite fluide) solului influențează eficacitatea remedierii și mai departe, reușita acesteia. Dimensiunea particulelor este o proprietate importantă relaționată cu adsorbția contaminantului – cu cât este mai mare suprafața cu atât este mai mare adsorbția contaminantului care reduce biodisponibilitatea [11], [15];
- **permeabilitatea solului** – cu cât solul este mai permeabil cu atât sunt mai bune condițiile pentru aplicarea cu succes a procesului de bioremediere, acest lucru fiind valabil atât pentru zona nesaturată cât și pentru cea saturată (o conductivitate hidraulică mai mare de 10⁻⁴ cm/s);
- **tipul microorganismelor utilizate** – bacteriile ocupă un prim loc în procesele de bioremediere dar se utilizează și ciuperci, levuri, alge, etc. De

the indigenous microflora in the polluted area may be the base of microorganisms required in decontamination [15];

- **Grain distribution** – very porous materials with distant granular structures are more sensitive at bio-pollution than materials with increased porosity, therefore a no drainage material is more prone to bioremediation than a well-drained material [15];
- Geochemistry and groundwater depth;
- Groundwater conductivity;
- The presence and concentration of some elements (iron and manganese).

3. Conclusions

From this study we can conclude that the efficiency of the biological decontamination methods depends on numerous factors, for the lack of a standard procedure to guarantee success in any conditions. The success of soil bioleaching depends on the following factors:

- Knowledge of existing pollutants and their toxicity and biodegradability degrees;
- Choosing oxidant and nutritive substances that accelerate the biodegradation process of metals in the soil and which support metabolic growth of microorganisms;
- Characteristics of the environment subjected to depollution (temperature, humidity, pH, permeability) affects the biodegradation rate of pollutants in the soil;
- Type of microorganisms that are used, that have the ability to treat pollutants in the soil.

If these factors meet the optimum conditions, soil depollution can be achieved obtaining high depollution yields.

cele mai multe ori microflora autohtonă din zona poluată poate constitui baza de microorganisme necesare în decontaminare [15];

- **distribuția structurii granulare** – materialele foarte poroase, cu structuri granulare depărtate, sunt mult mai sensibile la bio-poluare decât materialele cu porozitate mărită, astfel, un material fără drenaj este mult mai predispus la bioremediere decât un material bine drenat [15];
- geochimia și adâncimea apelor subterane;
- conductivitatea apelor subterane;
- prezența și concentrația unor elemente (fier și mangan).

3. Concluzii

Din studiul prezentat se poate concluziona că eficiența metodelor biologice de decontaminare depinde de numeroși factori, neexistând un procedeu standard care să garanteze succesul în orice condiții. Succesul biolixivierii solurilor depinde de următorii factori:

- cunoașterea poluanților existenți precum și gradul de toxicitate și biodegradabilitate;
- alegerea oxidantului și a substanțelor nutritive, care accelerează procesul de biodegradare a metalelor din sol și care susțin creșterea metabolică a microorganismelor;
- caracteristicile mediului supus depoluării (temperatura, umiditatea, pH-ul, permeabilitatea), afectează gradul de biodegradare a poluanților din sol;
- tipul microorganismelor utilizate, care au capacitatea de a trata poluanții din sol.

Dacă acești factori îndeplinesc condițiile optime se poate realiza o depoluare a solului obținându-se randamente ridicate de depoluare.

References

- [1] Neag, G., Culic A., Verraes G., *Soluri și ape subterane poluante. Tehnici de depoluare*, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 2001
- [2] Volke Sepúlveda, T., Juan A. Velasco Trejo y David A. de la Rosa Pérez, *Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, (INE-Semarnat), Periférico sur 5000. Col. Insurgentes Cuicuilco, C.P. 04530. México D.F., 2005, www.ine.gob.mx
- [3] Neag, G., *Depoluarea solurilor și apelor subterane*, Editura Casa cărții de știință, Cluj-Napoca, 1997
- [4] Dineen, D., Slater, P. J., Hicks, P., Holland, J. and Clendening, L. D., *In situ Biological Remediation of Petroleum Hydrocarbons in Unsaturated Soils*, *Petroleum Contaminated Soils*, vol. 3, *Chelsea Mich*, 1989
- [5] Rovenă, A., Voiculescu, M. D., Toti, M., *Inocularea cu bacterii specifice, selecționate din microflora proprie poluate cu țigări*, [http://www.cpsc.ro/files/energii curate](http://www.cpsc.ro/files/energii%20curate)
- [6] Brebeanu, Gh., *Baza de date privind parametrii reprezentativi și caracteristicile fizico-chimice ale poluanților petrolieri lichizi*, <http://erpisa.utcb.ro/files/Download/pdf/Baza%20de%20date%20prof.%20Brebeanu.pdf>
- [7] Fan, Chi-Yuan, Tafuri, N. A., *Engineering Application of Biooxidation Process for Treating Petroleum-Contaminated Soil*, *Remediation of Hazardous Waste*, 1998

- [8] Alexander, M., *Biodegradation and Bioremediation*, Academic Press, San Diego New York Boston London Tokyo Toronto, 1994
- [9] ***, Metode neconvenționale de reducere a unor contaminanți prezenți în medii natural, Seminar CEEEX – ERPISA 14, Decembrie 2006, <http://www.scribd.com/doc/54208141/PREZENTARE-IBB>
- [10] Pecingină, I. R. Popa, R. G., Călinoiu, M., *In situ bioremediation technologies of polluted soils, annals of the Oradea University*, Fascicle of Management and Technological Engineering, Volume VII (XVII), 2008
- [11] Vidali, M., *Bioremediation. An overview* *, Pure and Applied Chemistry., vol. 73, no. 7, p. 1163 – 1172, *Lecture presented at the 8th International Chemistry Conference in Africa (8th ICCA), 30 July–4 August 2001, Dakar, S n gal. Other presentations are published in this issue, p. 1147 – 1223, <http://old.iupac.org/publications/pac/2001/pdf/7307x1163.pdf>
- [12] ***, http://www.brgm.fr/brgm/Sites_sols_poll/main_content.html
- [13] ***, Environmental Response Division Design, O & M Unit, *Fundamental Principles Of Bioremediation (An Aid To The Development Of Bioremediation Proposals)*, April 1998, [http://www.deq.state.ms.us/mdeq.nsf/pdf/GARD_Bioremediation/\\$File/Bioremediation.pdf?OpenElement](http://www.deq.state.ms.us/mdeq.nsf/pdf/GARD_Bioremediation/$File/Bioremediation.pdf?OpenElement)
- [14] Jian-feng Peng, Yong-hui Song, Peng Yuan, Xiao-yu Cui, Guang-lei Qiu, *Review The remediation of heavy metals contaminated sediment*, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, 100012 Beijing, www.elsevier.com/locate/jhazmat, 2009
- [15] Marinov, A. M.; Dumitran, G. E.; Diminescu, M. A., *Monitorizarea apelor subterane și remedierea acviferelor*, Editura Politehnica Press, București, 2007
- [16] ***, <http://www.cee.vt.edu/ewr/environmental/teach/gwprimer/group24/Principles.html>



vă invită

**să luați parte
la conferința**

2015

**în zilele de
19 și 20 NOIEMBRIE
2015**

**ANTREPRENORAT
MEDIU DE AFACERI ȘI
DEZVOLTARE
DURABILĂ**

**în sala M14
corpul M
din
B-dul Muncii 103-105**

<http://cpaddd.utcluj.ro/evenimente>



conferinta.amdd@cpaddd.utcluj.ro



contact:

