

ACADEMIA ROMÂNIA DE ȘTIINȚĂ DIN ROMÂNIA



Evaluarea riscului de bioacumulare a compușilor toxici (pesticide, metale grele, etc.) la nivelul solului și al plantelor

Raport de cercetare științifică nr. 1

Director de Proiect:  
Prof. Univ. Dr. Ing. Andronescu Ecaterina

Cercetător:

Dr. Ing. Spoială Angela

IULIE 2019

## Cuprins

I. Contaminarea solurilor și a apelor cu metale grele și alți compuși toxici.....	1
I.1. Detalii despre poluarea solurilor.....	1
I.2. Clasificarea tipurilor de poluare și poluanți.....	3
II. Fitoremedierea, stadiul cunoașterii și tehnologii.....	13
II.1. Stadiul cunoașterii.....	13
II.2. Tehnologiile de remediere.....	14
I. Tehnici fizico-chimice de remediere.....	15
II. Tehnici biologice de remediere.....	16
III. Concluzii.....	21
Bibliografie.....	22

# I. Contaminarea solurilor și a apelor cu metale grele și alți compuși toxici

## I.1. Detalii despre poluarea solurilor.

*„Solul este fundamental vieții pe pământ”.*

Chiar dacă în acest moment deținem multe informații legate de soluri, numai un număr foarte restrâns de oameni ar înțelege cu adevărat această afirmație. Procentul celor care muncesc pământul a scăzut dramatic în ultimul secol, astfel, experiența celor care aveau contact direct cu solul a scăzut în majoritatea regiunilor. Solul prezintă interes diferit pentru fiecare dintre noi, iar nevoia fiecăruia la accesul constant și sigur la aer, apă, energie și surse de alimente este primordială. Cu toate acestea, societatea umană în ansamblu depinde mai mult ca niciodată de produsele din sol, precum și de serviciile intangibile pe care le oferă pentru menținerea biosferei [1].

*„Poluarea solului”* se referă la prezența în sol a unei sau a unor substanțe chimice la o concentrație mai mare decât cea normală sau care nu se regăsesc în mod natural în sol, cu efecte adverse asupra oricărui organism nevizat. Poluarea solului nu poate fi evaluată în mod direct sau percepută vizual, astfel o putem considera un pericol “ascuns”. Raportul privind starea resurselor mondiale ale solului (WSSR) au identificat poluarea solului ca fiind una dintre principalele amenințări care afectează solurile globale și ecosistemelor furnizate de acestea [2].

Diversitatea contaminanților evoluează în mod constant datorită dezvoltărilor agrochimice și industriale, astfel, transformarea biologică a compușilor organici din sol în diverși metaboliți diferiți, ajută solurile examinate să identifice contaminanții dificili, cât și costisitori. Efectele contaminării solului depind, de asemenea, de proprietățile solului, deoarece acestea controlează mobilitatea, biodisponibilitatea și timpul de retenție al contaminanților [1].

Industrializarea, războaiele, minierul și intensificarea agriculturii au lăsat o “moștenire” a solurilor contaminate în întreaga lume. Încă de la expansiunea urbană, solul a fost folosit pe post de groapă în care au fost revărsat deșeurile solide și lichide. Se considera că fiind îngropate și nevăzute, solurile contaminate nu ar prezenta nici un risc pentru sănătatea oamenilor sau pentru mediu și ar dispărea. Principalele surse de poluare ale solului sunt antropice, ce au rezultat din acumularea contaminanților în soluri și care au atins niveluri îngrijorătoare [2].

Poluarea solului este o problemă alarmantă. A fost identificată ca a treia amenințare majoră pentru funcțiile solului, iar prezența anumitor poluanți poate produce, de asemenea, dezechilibre nutritive și acidifierea solului, fiind două aspecte majore identificate în Raportul privind resursele solului din lume [1].

Singura estimare cu privire la poluarea solului a fost elaborată în 1990 de către Centrul de Informații și Referințe Internaționale ale Solului (ISRIC) cât și Programul Națiunilor Unite în Protecția Mediului (UNEP), care precizează faptul că 22 milioane de hectare de pământ au fost afectate de poluare. În concordanță cu Ministerul de Protecția Mediului din China, 16% din tot solul chinez și 19% din solul folosit în agricultură este considerat ca fiind poluat. De asemenea, există aproximativ 3 milioane de situri poluate în Aria Economică Europeană și în țările din Vestul Balcanilor (EEA-39) și peste 300 de situri poluate și contaminate din Statele Unite ale Americii ce sunt incluse pe Lista Priorităților Naționale (US EPA, 2013). Numărul total de soluri contaminate de-a lungul Australiei se estimează la 80000, acest număr este totuși estimativ, ajutându-ne să înțelegem efectele anumitor activități asupra solurilor, și nu reflectă situația actuală a poluării asupra în lume, astfel evidențiază insuficiența informațiilor cât și diferențele în înregistrarea siturilor poluate din toate regiunile geografice. În țările cu venituri mici și medii, lipsa datelor și a informațiilor face ca una dintre cele mai mari probleme globale ale lumii să fie invizibilă pentru comunitatea internațională, astfel este nevoie urgentă de o imagine de ansamblu pentru a implementa o evaluare unitară și globală a poluării solului [2].

Termenul "contaminarea solului" a fost frecvent utilizat ca sinonim pentru poluarea solului. Grupul tehnic interguvernamental pentru soluri (ITPS) din cadrul Parteneriatului Global pentru Sol (GSP) a formalizat definițiile celor doi termeni. Contaminarea solului apare atunci când concentrația unui produs chimic sau substanță este mai mare decât în mod natural, dar nu provoacă neapărat daune, pe când poluarea solului, se referă la prezența unei substanțe chimice sau a unei substanțe la o concentrație mai mare decât cea normală, care are efecte adverse asupra oricărui organism nevizat [2].

O problemă dificilă de stabilit este definiția de "concentrație normală". Poate fi mai ușor de identificat concentrațiile periculoase pentru substanțele produse de om care nu apar în mod natural în soluri, dar poate fi o provocare pentru a identifica concentrația pentru metalele grele și metaloide care pot proveni din dezagregări de roci și minerale. În acest caz, este necesar ca materialul, clima și viteza de dezagregare să fie luate în considerare înainte de stabilirea limitelor.

Multiple materiale din sol sunt surse naturale ale anuntitor *metale grele* și alte elemente, cum ar fi radionuclizi, care pot prezenta un risc pentru mediu și sănătatea umană la concentrații ridicate. Contaminarea cu arsenic este una dintre problemele majore din întreaga lume. Sursele naturale de arsenic includ erupțiile vulcanice și dezagregările mineralelor și minerurilor care conțin arsenic, dar și zonele mineralizate de arsenopirită (gosani) care apar în mod natural, în urma dezagregării rocilor cu conținut de sulfuri. Multe dintre aceste minerale prezintă o variabilitate spațială mare și multe dintre ele se pot găsi în concentrații mai mari în straturi mai profunde și cu toate acestea, arsenicul este accesibil atunci când provine din surse naturale [2].

Multe materiale din sol sunt surse naturale ale anuntitor *metale grele* și alte elemente, cum ar fi radionuclizi, care pot prezenta un risc pentru mediu și sănătatea umană la concentrații ridicate. Contaminarea cu arsenic este una dintre problemele majore din întreaga lume. Sursele naturale de arsenic includ erupțiile vulcanice și dezagregările mineralelor și minerurilor care conțin arsenic, dar și zonele mineralizate de arsenopirită (gosani) care apar în mod natural, în urma dezagregării rocilor cu conținut de sulfuri. Multe dintre aceste minerale prezintă o variabilitate spațială mare și multe dintre ele se pot găsi în concentrații mai mari în straturi mai profunde și cu toate acestea, arsenicul este accesibil atunci când provine din surse naturale [2].

ordine de mărime, având în vedere variația naturală a concentrației în urme de metale din cadrul fond la nivel regional sau local. De exemplu, metalele grele din sol pot varia de la două la trei urmare, utilizarea mediilor sau a intervalelor globale nu este adecvată în determinarea nivelurilor de fracțiune pedo-geochimică și de dinamică mediului care a condus la formarea solului. Prin superficial în orice punct dat. Concentrațiile de fond din solurile unei regiuni vor fi puternic legate conținut natural geogen, în timp ce valorile inițiale indică conținutul real al unui element în mediul stabilit încă limite de intervenție pentru toate matricele de mediu. Valorile de fond indică un inițiale atunci când se definește amploarea contaminării în zonele în care legislația de mediu nu a *Surse naturale de poluare*. Este esențial să se distingă valorile de fond față de valorile

## 1.2. Clasificarea tipurilor de poluare și poluanți

solului [2].

limbaj comun și simplificat ar conduce, de asemenea, la o mai bună înțelegere a problemei poluării al oamenilor de știință cu privire la evaluarea definițiilor și conceptelor de interes. Utilizarea unei utilizate în diferite părți ale lumii pentru a evalua și a aborda poluarea solului este necesar un acord se face o evaluarea regională sau globală a poluării solului. Identificarea altor strategii și tehnici comparații este extrem de complexă. Cu toate acestea, este una dintre principalele provocări când motiv, realizarea unui studiu global privind starea reală a poluării solului și realizarea unor pentru definirea acelei valori, a concentrațiilor acceptate cât și a concentrațiilor estimate. Din acest la alta și de la regiune la alta, altfel, apar diferențe nu numai de valoare ci și în numele utilizat naturale din sol. Când ne referim la nivelurile recomandate, observăm diferențe mari de la o țară la alta și de la regiune la regiune, iar diferențele nu numai de valoare ci și în numele utilizat pentru definirea acelei valori, a concentrațiilor acceptate cât și a concentrațiilor estimate. Din acest motiv, realizarea unui studiu global privind starea reală a poluării solului și realizarea unor comparații este extrem de complexă. Cu toate acestea, este una dintre principalele provocări când se face o evaluarea regională sau globală a poluării solului. Identificarea altor strategii și tehnici utilizate în diferite părți ale lumii pentru a evalua și a aborda poluarea solului este necesar un acord al oamenilor de știință cu privire la evaluarea definițiilor și conceptelor de interes. Utilizarea unei limbaj comun și simplificat ar conduce, de asemenea, la o mai bună înțelegere a problemei poluării solului [2].

Solurile și rocile sunt, de asemenea, surse naturale ale gazului radioactiv de radon.

Difuzarea radonului din straturile profunde spre suprafață este controlată, parțial de structura solului și porozitatea acestuia. Radioactivitatea naturală ridicată se regăsește în rocile acide vulcanice, în special în roci bogate în feldspat și roci bogate în ilită. Gregoric și col. [3] au descoperit emisii ridicate de radon din solurile cu conținut de carbonați mai mult decât din orice alt tip de sol sau de rocă. Date de referință pentru alte radionuclizi naturali din roci și soluri sunt prezentate în Tabelul 1 [4].

Tabelul 1. Activitățile specifice are radionuclizilor din roci și sol [4]

Rocă/sol	$^{40}\text{K}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$
Piatră de nisip	461	35	4
Piatră de argilă	876	n.d.	41
Șist	1000	3000	60
Carbonați	97	<10	5
Roci acide vulcanice	997	37	52
Roci bazice vulcanice	187	10	8
Soluri rezultate din loess	n.d.	41	54
Soluri rezultate din granit	~1100	65-75	38-72
Soluri rezultate din cuarțit	~300	54-56	63-70
Soluri rezultate din filit	n.d.	40-70	50-80

Evenimentele naturale, cum ar fi *erupțiile vulcanice* sau *incendii forestiere*, pot provoca poluare naturală atunci când multe elemente toxice sunt eliberate în mediul înconjurător. Aceste elemente toxice includ compușii precum dioxina și hidrocarburi aromatice policiclice (HAPs). A fost identificat un nivel ridicat de metale grele în solurile vulcanice din Réunion, care poate fi asociat cu activitatea vulcanică activă, unde cromul, cuprul, nichelul și zincul prezintă origine pedo-geochimică naturală. Au fost raportate niveluri ridicate de Cr și Ni în solurile vulcanice din Indonezia, asociate, de asemenea cu origini pedo-geochimice. Totuși, această poluare naturală nu cauzează, în mod normal probleme de mediu, dar determină capacitatea regenerativă și de adaptare a plantelor. Problemele apar atunci când ecosistemele sunt supuse presiunilor externe, ceea ce le modifică capacitatea de rezistență și răspuns [2].

Hidrocarburi aromatice policiclice (PAHs) pot apărea, de asemenea, în mod natural în

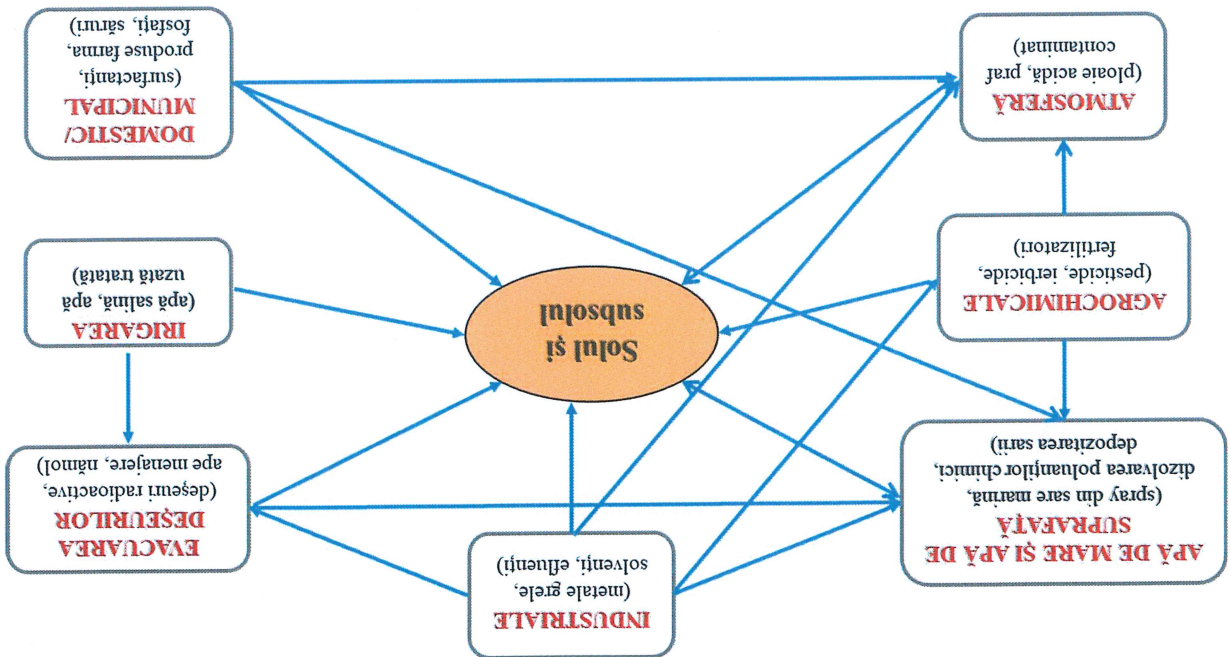
soluri. Sunt de obicei de origine cosmogenă, fiind relativ frecvente în probe de praf cosmic și meteoriti, sau derivă din diagneza procese de alterare a cerurilor conținute în materia organică a solului. Producția biogenică de PAHs este favorizată în condiții reducătoare. *Azbestul natural* (NOA) este un mineral fibros care se găsește în mod natural în solurile formate din rocă ultramafică, în special serpentină și amfibolă. Principalul risc asociat cu NOA este inhalarea azbestului, atunci când oamenii execută activități de extracție, în timp ce prezența sa naturală în sol reprezintă un risc neglijabil pentru mediu. Cu toate acestea, NOA poate fi ușor dispersat prin eroziunea vântului, iar mobilizarea acestora va depinde de caracteristicile materialelor care conțin azbest, de proprietățile solului, de umiditate și de condițiile meteorologice locale. Problemele de mediu cauzate de NOA apar atunci când este eliberat din solurile din apropierea zonelor urbane, deoarece azbestul este o substanță cancerigenă, prezentând un risc ridicat pentru sănătatea umană atunci când este inhalat [2].

*Surse artificiale de poluare.* Principalele surse antropice de poluare a solului sunt substanțele chimice utilizate sau produse în urma activităților industriale, deșeurii menajere și municipale, inclusiv ape uzate, produse agrochimice și produse derivate din benzină (Figura 1). Aceste substanțe chimice sunt eliberate în mod accidental în mediul înconjurător, de exemplu prin scurgerile de petrol sau scurgerile de la depozitele de deșeurii sau intenționat, precum utilizarea ingrașămintelor și pesticidelor, irigare cu ape reziduale netratate sau prin aplicarea nămolurilor de epurare a apelor reziduale [2].

În conformitate cu Directiva Europeană referitoare la prevenirea și controlul integrat al poluării (IPPC), activitățile potențial poluante pot fi grupate în șase categorii principale: 1) industria energetică; 2) producția și prelucrarea metalelor; 3) industria mineralelor; 4) industria chimică și instalațiile chimice; 5) gestionarea deșeurilor; și 6) alte activități (care includ producția de hârtie și carton, fabricarea fibrelor sau textilelor, tăbăcirea pielilor, abatoarele, creșterea intensivă a păsărilor domestice sau a porcilor, instalațiile care utilizează solvenți organici și producția de carbon sau de grafit) [6].

*Activitățile industriale* degașă poluanți în atmosferă, apă și sol. Gazele poluante și radionuclizii sunt eliberați în atmosferă și pot pătrunde în sol în timpul unei ploii acide sau prin depuneri atmosferice; fostele terenuri industriale pot fi, de asemenea, considerate poluați din cauza depozitării chimice incorecte sau deversării directe de deșuri în sol; apă și alte fluide utilizate pentru răciră utilajelor în centrale termice și multe altele procesele industriale pot fi evacuate înapoi în râuri, lacuri și oceane, provocând poluare termică și atragerea metalelor grele și a clorului care afectează viața acvatică și alte corpuri din apă. Metalele grele din activitățile antropogene sunt, de asemenea, frecvente în locurile industriale și pot apărea din praf și scurgeri de materii prime, deșuri, produs finit, cenușă de combustibil și incendii [5].

Figura 1. Corelația dintre sol și contaminarea chimică a subsolului [2]





Activitățile legate de *transportul* în centrele urbane și în jurul acestora reprezintă una dintre principalele surse de poluare a solului, nu numai datorită emisiilor provenite de la motoarele cu ardere internă care ajung pe sol la o distanță mai mare de 100 m de depunerile atmosferice și de scurgerile de benzină, cât și activitățile și schimbările care rezultă din acestea ca un întreg [9]. Stropirile generate de precipitații în trafic și a scurgerilor de apă, pot fi semnificative în cazul în care sistemul de drenare nu este bine întreținut, astfel pot fi translocate particule bogate în metale

primrit o atenție foarte mică în ceea ce privește planificarea și evaluarea impactului [2].

Dezvoltarea pe scară largă a *infrastructurii*, cum ar fi locuințele, drumurile și căile ferate, izolarea și uzura solului. În afară de aceste amenințări cunoscute, un alt impact major din cadrul activităților de infrastructură îl constituie intrarea în sol a diferiților poluanți. În ciuda faptului că prezința o amenințare majoră, poluarea solului datorată diferitelor activități de infrastructură a contribuit considerabil la degradarea mediului. Efectele lor evident negative asupra solului sunt dezvoltarea pe scară largă a *infrastructurii*, cum ar fi locuințele, drumurile și căile ferate, crescut de îmbolnavire a oamenilor și a animalelor.

agricole din apropierea deșeurilor abandonate de cromit-azbest din India are ca rezultat un risc unui baraj de sterili din Namibia. Cromul și nichelul prezent în concentrații toxice în solurile și col. [8] au raportat niveluri ridicate de plumb și cupru în câmpurile agricole situate în apropierea prin eroziunea vântului și a apei, uneori ajungând și pe solurile agricole. De exemplu, Mileusnic fine care pot avea diferite concentrații în metale grele. Aceste particule poluate pot fi dispersate

*Deșeurile miniere* sunt depozitate în sterili (roca sterilă), formate în principal din particule

perioade lungi de timp, mult după încheierea acestor activități [2].

mediul înconjurător cantități uriașe de metale grele și alte elemente toxice; acestea persistă pentru separarea mineralele produce mulți poluanți în sol. Instalațiile miniere și de topire eliberează în asociate cu activitățile de minieră din întreaga lume [5]. Procedul de topire a metalelor folosit în a biotei. Există multe documente unde pot fi găsite informații cu privire la contaminarea solurilor

Încă din cele mai vechi timpuri, *mineritul* a avut un impact major asupra solului, a apei și

săpun și detergent [7].

*Salinizarea*, o altă amenințare majoră la adresa solurilor globale, afectează multe solurile din apropierea activităților industriale, în principal cele asociate cu clorocalci, textile, sticlă, farmaceutice, petrol și gaze de foraj, fabricarea pigmentului, fabricarea ceramicii și producția de

grele de la coroziunea părților vehiculului, a pneurilor și abrazivii cu caldărâmul sau cu alți poluanți, cum ar fi hidrocarburile aromatice policiclice, cauciucul și compușii derivați din produsele plastice. Poluarea solului asociată drumurilor și autostrăzilor este deosebit de importantă, în special asupra solurilor urbane și periurbane, deoarece poate constitui o amenințare majoră atunci când producția de alimente se desfășoară în acele zone. Depozitarea foliară și absorbția prin rădăcini, cât și transferul în țesuturile supraterane a metalelor grele biodisponibile sunt principalele procese observate în solul de pe marginea drumului. Pășunatul în solurile de pe marginea drumului este, de asemenea, destul de comună, iar ingerarea solului și a plantelor contaminate constituie un potențial transfer de nutrienți al poluanților care afectează sănătatea animală și umană [2].

Depozitarea deșeurilor municipale în gropile de gunoi, legale sau nelegale, și descărcarea apelor uzate netratate în mediu sunt surse importante de metale grele, compuși organici puțin biodegradabili și alți poluanți care pot pătrunde în sol. În majoritatea țărilor dezvoltate, regulamentele stricte controlează eliminarea și reciclarea deșeurilor, solide și lichide, dar există țări în care tratarea și eliminarea reziduurilor reprezintă încă un risc pentru mediu și pentru sănătatea oamenilor.

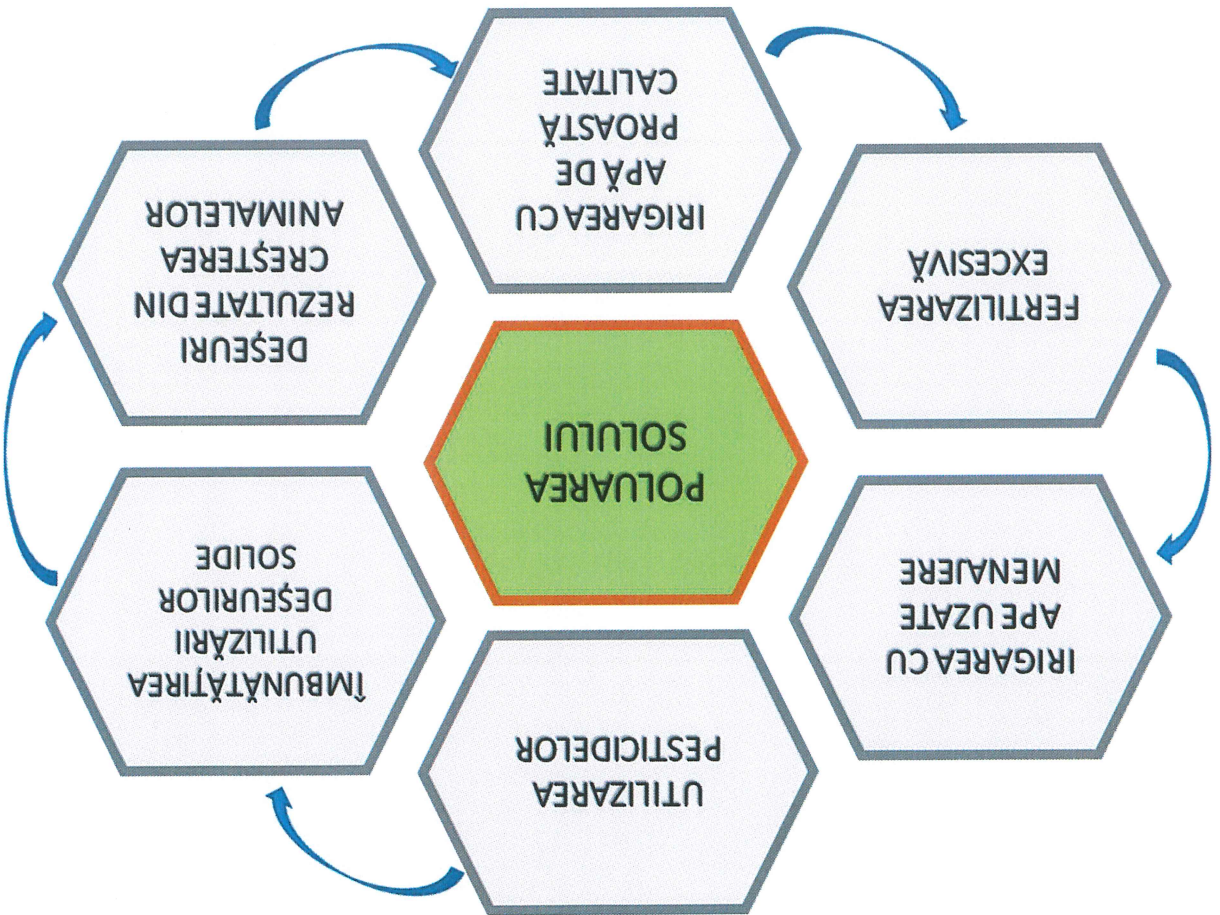
Multe produse chimice de uz casnic, în special cele utilizate în cantități vrac, cum ar fi detergenții și produsele de îngrijire personală (PPCP), ajung, de asemenea, ca deșuri sanitare. Solidele bio generate în urma tratării apelor reziduale municipale prezintă o modalitate de eliminare a multor PPCP-uri, iar pătrunderea acestora poate introduce potențial negativ acestor contaminanți în medii terestre și acvatice. Folosirea istorică și continuă a DDT-ului pentru controlul bolilor transmise prin vectori, cum ar fi malarie, a condus la poluarea solurilor în zonele urbane și periurbane [10].

*Materialle plastice* pot ajunge în sol și sistemele acvatice prin stațiile de tratare ale apelor uzate, dar pot fi suspendate și transportate de vânt de pe depozitele de deșuri și devin astfel dispersate pe calea aerului. În câmpurile agricole, unde se regăsește o cantitate mare de plastic se utilizează practica numită mulcire. Prezența și efectele materialelor plastice în ecosistemele și ecosistemele acvatice sunt bine documentate; cu toate acestea, riscurile pentru sănătatea umană și încă nu au fost efectuate studii cu privire la prezența materialelor plastice (sub forma de micro sau nanoparticule) din sol [2].

Utilizarea apelor reziduale tratate pentru irigația agricolă este comună în regiunile aride și semiaride ca o soluție a deficitului de apă. În Israel, de exemplu, peste 80% din apele menajere municipale sunt reutilizate și 26% din producția de legume din Pakistan este irigată folosind ape reziduale. Datorită deficitului de apă din zonele aride din Spania a fost adoptată soluția de a utiliza apele reziduale, dar este și o modalitate de a adăuga substanțe nutritive, astfel a condus la o creștere a productivității culturilor. Cu toate acestea, utilizarea apelor reziduale poate fi o problemă în țările în care nu există ghiduri și legislație privind calitatea apei. Utilizarea necorespunzătoare a apelor reziduale poate duce la depunerea de metale grele, săruri, PPCP și agenți patogeni, dacă nu sunt complet eliminate după tratare sau în cazurile în care apa uzată este lăsată netratată [2].

Sursele agricole ale poluanților în sol includ sursele agrochimice, cum ar fi îngrășămintele, gunoi de grajd și pesticidele (Figura 2). Urmatoarele metale, cum ar fi, Cu, Cd, Pb și Hg, sunt, de asemenea, considerate poluanți ai solului, deoarece pot afecta metabolismul plantelor și pot scădea productivitatea culturilor. Sursele de apă pentru irigații pot, de asemenea, provoca poluarea solului dacă sunt constituite din ape uzate și ape menajere. Excesul de azot și metalele grele nu reprezintă doar o sursă de poluare a solului, ci și o amenințare la adresa securității alimentare, a calității apei și a sănătății umane, atunci când acestea intră în lanțul alimentar [1].

Fig. 2. Poluarea solului datorată aplicării necorespunzătoare a metalelor grele în agricultura [2]



Aplicarea excesivă a *îngrășămintelor* și a bălegarului de grajd sau utilizarea ineficientă a principalelor substanțe nutritive (N și P) de *îngrășăminte* sunt principalii factori care contribuie la problemele de mediu legate de agricultura. Acești doi nutrienți sunt o sursă de poluare difuză. Excesul de azot poate fi, de asemenea, pierdut în atmosferă prin gazele cu efect de seră, iar excedenții de fosfor contribuie la eutrofizarea surselor de apă învecinate. Folosirea *îngrășămintelor* excesiv poate duce la salinitatea solului, acumularea de metale grele, eutrofizarea apei și acumularea de nitrați, care poate fi o sursă de poluare a mediului, dar și o amenințare la adresa sănătății umane. Industria de *îngrășăminte* este, de asemenea, considerată o sursă de metale grele cum ar fi Hg, Cd, As, Pb, Cu, Ni și Cu și radionuclide naturale cum ar fi  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  și  $^{210}\text{Po}$ . Manipularea și gestionarea adecvată a *îngrășămintelor* este esențială pentru evitarea poluării solului [11].

*Compostul și deșeurile animale* sunt o sursă importantă de nutrienți. Acestea contribuie la

realizarea unei economii circulare, reducând impactul cu mediu al deșeurilor și la creșterea conținutului de materie organică și azot în sol, reducând în același timp contribuțiile externe în agroecosisteme. Xia și col. [12] au raportat o creștere generală de 4,4% a producției de plante în cazul înlocuirii parțiale a bălegarului fertilizator sintetic. Substituția a favorizat asimilarea de azot și a altor nutrienți și a redus semnificativ pierderile de azot prin volatilizare, eroziune și levigare, în principal datorită proprietății sale de eliberare lentă a nutrienților și de stimulare microbiană a azotului biodisponibil. Cu toate acestea, creșterea randamentului depinde de bălegarul de grajd și de tipurile de cultură luate în calcul. În plus, compostul și bălegarul sunt mari surse de materie organică [2, 12].

În ciuda potențialului pe care *metalelor grele* îl au în agricultură, există suficiente dovezi științifice privind creșterea conținutului lor în mediul înconjurător, dar și a agenților patogeni și a reziduurilor de antibiotice veterinare, ceea ce conduce la proliferarea bacteriilor rezistente la antimicrobiene în soluțiile modificate cu bălegar de grajd. Metalele grele din bălegarul de grajd provin în special din furaje, în timp ce antibioticele sunt utilizate pentru prevenirea și tratarea bolilor, cât și folosirea lor în factori de creștere. Nicholson și col. [13] au efectuat un inventar asupra terenurilor agricole din Anglia și Țara Galilor pentru a determina principalele surse de metale grele. După depunerea atmosferică, care este sursa principală de poluare, bălegarul de grajd și nămolul de epurare au fost identificate ca fiind surse importante de contaminare. Acestea au fost deosebit de importante pentru contaminarea cu Zn, Cu, Ni, Pb și Cr [2].

În studiul prezentat, 183 furaje pentru animale și 85 de probe de gunoi de grajd au fost colectate de la ferme comerciale din Anglia și Țara Galilor și analizate pentru a determina conținutul lor de metale grele (zinc, cupru, nichel, plumb, cadmiu, arsen, crom și mercur). Concentrațiile de zinc și cupru au variat de la 150 - 2920 mg Zn/kg materie uscată și 18 - 217 mg Cu/kg materie uscată în hrana porcilor, în funcție de vârsta porcilor. În furajele pentru păsări, concentrațiile au variat de la 28 - 4030 mg Zn/kg materie uscată și 5 - 234 mg Cu/kg materie uscată, iar hrana găinilor ouătoare prezintă, în general, un conținut mai mare de metale grele decât hrana pentru pui. Concentrațiile de Zn și Cu din furajele pentru bovine de lapte au fost mult mai mici decât în furajele pentru porci și păsări. Gunoiul de la porc conține de obicei c.500 mg Zn/kg materie uscată și c.360 mg Cu/kg materie uscată, ce reflectă concentrațiile de metale din furaje. Concentrațiile normale din gunoiul de la păsări au fost de c.400 mg Zn/kg materie uscată și c.80

mg Cu/kg materie uscată, iar la gunoii de la bovine de c. 180 mg Zn/kg materie uscată și c. 50 mg Cu/kg materie uscată. Conținutul de substanță uscată colectată din nămolul rezultat de la bovine și porci indică concentrațiile în limite normale de metale grele [14].

*Pesticidele* sunt substanțe sau amestecuri de substanțe destinate prevenirii, distrugerii sau controlului oricărui poluant care dăunează sau interferează cu producerea, prelucrarea, depozitarea, transportul sau comercializarea produselor alimentare, produselor agricole, lemnului și produselor din lemn. Pesticidele reprezintă un grup de poluanți de sine stătător. Acestea au fost eliberate intenționat în mediul înconjurător la scară mai largă încă din timpul celui de-al doilea război mondial, când au fost descoperite proprietățile insecticide ale DDT-ului. Utilizarea pesticidelor a contribuit la asigurarea unei alimentații pentru o populație în creștere, similar cu utilizarea nutrienților; totuși, utilizarea excesivă a pesticidelor poate avea efecte negative asupra sănătății umane și asupra mediului. Efectele negative asupra organismelor solului au fost studiate pe scară largă, iar problemele de sănătate au fost legate de expunerea la pesticide și la alte substanțe agrochimice. Efectele negative asupra sănătății umane, pot fi prezente chiar și în cazul expunerii pe termen scurt la pesticide [2].

Poluarea mediului înconjurător reprezintă o problemă globală, atât pentru oameni cât și pentru animale. Deșeurile rezultate din mediul industrial pătrund în sistemele de creștere a animalelor, ulterior în lanțul trofic. Acest aspect întâlnit în țările dezvoltate este adesea atribuit industrializării. De asemenea, în țările dezvoltate, impactul poluării din mediul domestic și sălbatic este datorat folosirii poluanților chimici. Recent, poluarea cu metale grele a devenit o problemă serioasă în ceea ce privește sănătatea oamenilor. Deșeurile sub formă de metale grele rezultate din industrie alterează apa potabilă, solul, furajele și produsele alimentare. Metalele grele toxice precum Cd, Pb și Hg afectează funcțiile biologice, cât și sistemul hormonal și creșterea. Multe dintre metalele grele se acumulează în una sau mai multe organele din corpul animalelor, fiind transmise prin intermediul lanțului trofic cauzând probleme serioase de sănătate. Acești poluanți sunt acumulați în organele vitale precum ficat și rinichi, având efecte adverse și asupra animalelor domestice. Pesticidele, metalele grele, cât și alte produse agrochimice sunt sursa majoră de toxicitate fermelor animale. Impactul poluării asupra animalelor prezintă serioase pierderi economice. Toxicitatea metalelor grele prezintă probleme majore asupra sănătății, datorită potențialului de bioacumulare prin intermediul lanțului trofic poate cauza efecte adverse asupra creșterii animalelor și sănătății umane. În general, efectele adverse ale acestor elemente toxice

depind în special de concentrația dietetică a elementului respectiv, de absorbția elementului în sistem, de controlul homeostatic al corpului față de acest element, cât și de speciile de animale implicate. Există multe metale grele care se pot acumula în unul sau mai multe organe ale corpului cu perioadă de înjumătățire diferită. Aceste metale grele cu potențial toxic asupra sănătății publice prezintă, de asemenea posibilitatea de intoxicare cronică sau acută, cât și transferarea bolii la generația următoare cu potențial toxic. Aproximativ 5 milioane de oameni mor din cauza bolilor cauzate de ingerarea apei potabile impure, iar incidența poluării apelor cu metale grele a atins un nivel alarmant de așa natură, încât activiștilor de mediu li se pare dificil să aplice măsurile de control efectiv. Metalele grele neesențiale prezintă direct sau indirect efecte adverse în cadrul activităților biologice. Prezența acestor metale în apă îi afectează calitatea, care eventual va influența sănătatea umană [15, 16].

## **II. Fitoremedierea, stadiul cunoașterii și tehnologii**

### **II.1. Stadiul cunoașterii**

Fitoremedierea implică procesul de bioremedierea ce are loc prin intermediul componentelor de mediu având ca scop decontaminarea solurilor, apelor și aerului prin ajutorul plantelor verzi. Fitoremedierea este o tehnologie de eliminare a unor produși toxici din mediu inconjurător, care poate fi aplicată atât compușilor toxici organici (pesticide, bifenili policlorurați, hidrocarburi aromatice policiclice), cât și celor anorganici (în special metale grele, izotopi radioactivi) prezenți în sol, apă sau aer [17].

Așadar, termenul de fitoremediere corespunde unor tehnologii diversificate pe bază de plante (naturale sau modificate genetic), pentru a curăța mediul contaminat. Procesul de fitoremediere utilizează în special plantele verzi (de exemplu, *Salix spp*, *Populus spp*), deoarece acestea pot îndepărta, absorbi sau anihila diverși contaminanți din mediu, datorită capacității lor de transport și de acumulare a contaminanților. În plus, fitoremedierea face posibilă evitarea eliminării solurilor contaminate, reduce riscul de dispersare a contaminanților în diverse medii, dar și decontaminarea solurilor cu mai multe categorii de poluanți [18, 19].

Fitoremedierea este una dintre cele mai comune tehnici de bioremediere în situ pentru a face față problemelor de mediu legate de concentrațiile mari de metale grele din corpurile de apă. Principala dificultate în exploatarea poluării cu metale grele (mercur, plumb, nichel, crom, zinc,

Decontaminarea solurilor cu conținut de metale grele reprezintă o problema a reglementărilor legislative de mediu. În situ și ex-situ sunt cele două abordări care se practică pentru decontaminarea solurilor afectate de metale grele. Decontaminarea ex-situ a solurilor poluate se efectuează prin tehnici fizico-chimice convenționale dar costisitoare. Cu toate acestea, remedierea in situ prin intermediul plantelor a solurilor afectate de metale grele este o metodă economică și ecologică ce depinde de biodisponibilitatea metalelor grele. Procesele de recuperare a solurilor contaminate cu metale grele sunt clasificate în procese fizice, chimice și biologice. Aplicarea acestor metode este limitată datorită cerințelor mari de energie și efectelor negative asupra structurii și productivității solului. Microorganismele se aplică în cazul restaurării solului

Intoxicarea cu metalele grele cauzează boli cancerigene și cronice. Consumul uman de Pb, Cd și Zn cauzează afecțiuni respiratorii și leziuni ale inimii, creierului și rinichilor. Metalele grele provoacă toxicitate în moleculele biologice în trei moduri diferite, prin producerea de specii reactive, blocând grupurile funcționale și înlocuind ionii metalici de bază. Toxicitatea metalelor grele asupra plantelor conduce la creșterea rapidă, la randament scăzut și la aberațiile în funcțiile metabolice. Creșterea ratei de producere a speciilor de oxigen reactiv (ROS) este cel mai evident rezultat al toxicității metalelor grele asupra plante și inducerea de stres oxidativ conduce la dezmembrarea membranei. Contaminarea cu metalelor grele poate, de asemenea, să schimbe comunitatea microbiană nativă, care în cele din urmă distruge proprietățile sale biochimice [16].

## II.2. Tehnologii de remediere

etc.) se datorează faptului că acestea nu pot fi biodegradate odată ajunse în apă. Deci, persistența lor nedefinită în mediul înconjurător (și acumularea lor ulterioară în organisme vii) poate fi combătută numai cu o îndepărtare corespunzătoare din apă. Fitoremedierea se referă la utilizarea oricărui tratament care folosește organisme naturale (în acest, caz plante și alge) pentru epurarea apei contaminate cu metale grele. Principalele sale avantaje se bazează pe eficacitatea plantelor de a extrage substanțele chimice din mediul înconjurător (capacitatea binecunoscută a materialelor biologice de a îndepărta și de a acumula metale grele din soluții prin intermediul mecanismelor de adsorbție), cât și costul redus în comparație cu alte tehnici (utilizarea de materiale ieftine, cum ar fi macroalgele naturale și microalgele ca bioadsorbante). Tehnicile obișnuite de fitoremediere se bazează pe adăugarea masei de alge în regiunile cu concentrații ridicate de metale grele, astfel încât capacitatea bioadsorbantă a algelor poate reduce contaminarea metalelor grele în zona lor de influență [20].



afectat de metale grele. Utilizarea plantelor pentru recuperarea solului este însă benefică deoarece acestea extrag metale grele din sol și restabilesc solul la un nivel sănătos [16, 18].

### **1. Tehnici fizico-chimice de remediere**

Metodele fizice de recuperare a solului includ înlocuirea solului și procesele de desorbție termică. Înlocuirea solului include utilizarea solului fără contaminanți pentru a înlocui solul poluat cu scopul de a dilua nivelul poluanților. Există trei tipuri de înlocuire a solului:

- i) Solul contaminat este îndepărtat și este introdus un sol nou
- ii) Solul contaminat este săpat și poluanții sunt răspândiți în straturile de adâncime
- iii) Pământul nou importat este adăugat în solul contaminat.

În desorbția termică, solul contaminat este încălzit pentru a volatiliza poluanții. Solul contaminat este excavat și tratat într-un desorbitor termic. Vaporii contaminanți sunt colectați de echipamentul de colectare a gazelor. Desorbția termică este divizată în desorbție la temperatură scăzută și la temperatură ridicată. Tehnologia de remediere chimică a solului contaminat cu metale grele include tehnici de imobilizare și spălare a solului. Tehnicile de imobilizare implică aplicarea agenților de legare organică și anorganică în solul contaminat pentru stabilizarea contaminanților prin intermediul proceselor naturale de sorbție, precipitare și complexare. Procesele de imobilizare in-situ sunt preferate datorită contribuției scăzute de forță fizică și de energie [16, 18].

*Solidificarea și stabilizarea*. Solidificarea și stabilizarea sunt tehnologii de remediere care evită sau încetinesc eliberarea metalelor grele sau a altor contaminanți. Aceste metode împiedică solubilizarea metalelor grele prin legare. Solidificarea implică amestecarea materialului contaminat cu agentul de legare care determină fixarea materialului contaminat. Agenții de legare anorganici includ lut, zeolit, carbune, oxizi de Fe/Mn, carbonat de calciu, cenușă zburătoare și ciment, cât și agenți de legare organici ce includ îngrășăminte, compost și bitum. Agenții de legare organici și anorganici pot fi utilizați combinat. Mecanismul dominant al imobilizării metalului include precipitarea de hidroxizi în mediu solid. Solidificarea implică amestecarea materialului contaminat cu agenți de legătură, care au de asemenea reacții chimice cu poluanții pentru a împiedica scurgerea acestora în mediul înconjurător [16].

*Vitrificarea*. În vitrificare, solul contaminat cu metale este încălzit la temperaturi ridicate pentru a reduce mobilitatea metalelor grele. În timpul acestui proces, temperatura ridicată poate

*Bioremedierea*. Obiectivul principal al recuperării microbiene a metalelor grele din solul poluat este de a imobiliza și de a reduce biodisponibilitatea metalelor. Metalele grele nu pot fi degradate de microorganismele, dar pot fi transformate într-o altă formă datorită proprietăților lor fizice și chimice. Eficiența remedierii microbiene variază funcție de tipul de metal greu și de microorganism. Complexarea extracelulară, acumularea intracelulară, reacțiile de reducere-oxidare, cât și precipitarea sunt mecanisme de remediere microbiene. Degradarea microbiene este, de asemenea, un instrument de remediere a solului contaminat cu metale grele [16, 21].

Abordarea tehnicii de remediere pe cale biologică este durabilă din punct de vedere ecologic prin modul de recuperare a solului contaminat cu metale grele ce include bioremedierea, fitoremedierea și combinarea celor două tehnici.

## II. Tehnici biologice de remediere

*Spalarea solului*. Spalarea solului include adăugarea de solvenți, cât și metode mecanice de curățare a solului contaminat cu metale grele. În această tehnică, porțiunea fină de sol este separată de solul grosier, astfel se determină reducerea volumului de sol contaminat. Volumul de sol contaminat poate fi tratat prin alte tehnologii de curățare, în timp ce un volum mai mare de sol curat poate fi gestionat prin utilizare ca umplutură. O gamă largă de contaminanți din sol poate fi tratată prin spalarea solului, inclusiv solul contaminat cu metale grele. Spalarea solului include un procedeu de spalare in-situ cu solvenți de spalare, urmat de extracția metalelor grele prin aplicarea procesului ex-situ pe suspenzia de sol. Eficacitatea acestui proces depinde de potențialul spalării cu solvenți folosiți în dizolvarea metalelor grele existente în sol. Solvenții sunt utilizați în funcție de natura contaminanților prezenți în sol. O gamă extinsă de substanțe chimice sunt aplicate ca solvenți pentru spalarea solului și includ acizii organici, compuși chelați, surfactanți și cosolvenți [16].

provoacă volatilizarea compușilor organici și a unor metale cum ar fi Hg care trebuie colectat, iar restul sunt transformate în produs asemănător sticlei inerte. Există trei clase majore de procese de vitrificare care includ metodele electrice, termice și în plasmă. Vitrificarea in-situ este preferată față de procesul ex-situ, unde pot fi aplicate diferite surse de energie. În acest proces, un curent electric trece prin solul contaminat folosind electrozi ce sunt inserați în sol. O sistem de patru electrozi este numită topitură, iar o singură topire poate decontamina până la 1000 de tone de sol poluat [16].

Biosorbția este cel mai important mecanism de remediere microbiană. Materialele extracelulare determină imobilizarea metalelor grele prin legarea de grupurile funcționale anionice de suprafață. Forțele de legătură dintre ionii metali și suprafețele celulare includ legătura covalentă, forțele Vander Waals și interacțiunile electrostatice [16].

*Fitoremedierea.* Obiectivul metodelor de recuperare a solului are ca scop găsirea de soluții care să fie ecofriendly. Fitoremedierea este denumită și agro-remediere, remediere botanică sau remediere verde. Fitoremedierea este o abordare ecologică și un mod durabil de recuperare a solului în comparație cu tehnicile convenționale de remediere ale solului [22]. Conceptul de fitoremediere a fost introdus pentru prima dată în 1983 și încă de atunci această tehnică se află în faza de testare. Fitoremedierea este o abordare optimă pentru tratarea solurilor contaminate cu metale mici și medii și poate fi aplicată în combinație cu alte metode tradiționale de remediere a solului pentru îndepărtarea eficientă a contaminanților [16, 23].

Fitoremedierea este un mecanism prietenos cu mediul în care plantele cu creștere rapidă sunt utilizate pentru a elimina, menține sau a furniza contaminanți netoxici în sol sau apă [22]. Este o modalitate estetică, economică și ecologică de a detoxifica contaminanții. Fitoremedierea poate fi utilizată cu succes atunci când speciile de plante pot absorbi prin frunze și stoca o concentrație ridicată de metale grele în lăstari. Tehnologia de fitoremediere este grupată în cinci subclase, incluzând fitostabilizarea, fitostimularea, fitotransformarea, fitofiltrarea și fitoextracția [16, 24].

În ultimi ani, utilizarea tehnologiilor de fitoremediere a crescut foarte mult, datorită faptului că folosește o metodă alternativă ecologică și ieftină pentru remedierea mediului decât tehnicile tradiționale. Încă din anul 1999 și din 2000, costul fitoremedierii este foarte scăzut în comparație cu resursele necesare utilizării tehnologiilor convenționale precum putem observa în Tabelul 2, cum ar fi excavarea și conferirea solului în depozitele de deșeurii, spălarea solului cu apă și solubilizarea, vitrificarea solului contaminat la temperaturi ridicate, separarea electrochimică, solidificarea prin utilizarea agenților de stabilizare [18].

Tabelul 2. Costul funcție de tipul de tratare al solului [18]

Tratamentul aplicat	Costul (\$/ tonă)	Factor suplimentare
Vitrificare	75-425	Monitorizare pe termen lung
Depozitarea deșeurilor	100-500	Transport, excavare, monitorizare
Tratamentul chimic	100-500	Reciclarea contaminanților
Electrocinetica	20-200	Monitorizare
Fitoremediere	5-40	Monitorizare

*Fitostabilizare*. Fitostabilizarea, fitoimobilizarea sau fitorestaurarea sunt o abordare de inactivare bazată pe plante folosite în tratarea solului contaminat cu metale. Obiectivul acestei tehnici se referă la reducerea mobilității și a biodisponibilității metalelor grele și, prin urmare, limitează reducerea acestora și intrarea în apele subterane și, respectiv, în lanțul trofic. Plantele joacă rol secundar în procesul de fitostabilizare în comparație cu modificările solului. Aceasta tehnică implică imobilizarea fizică și chimică a contaminanților de metal prin sorbția lor în rădăcini și fixarea cu diferite tipuri de sol. Substanțele organice, solidele bio, mineralele argiloase și îngrășămintele fosfatice reprezintă cele mai des întâlnite în procedeu de imobilizare a metalelor grele din solurile contaminate. Principalele obiective ale plantelor folosite în acest procedeu sunt reducerea percolăției apei, limitarea contactului cu contaminanții, reducerea eroziunii solului și scăderea migrației contaminanților. Fitostabilizarea este o strategie de gestionare și nu un mod de lungă durată, deoarece contaminanții de metal finali persistă în sol [16, 18].

*Fitostimulare*. Fitostimularea, denumită și rizodegradare este dezințegrarea poluanților organici în rizosferă cu activitate microbiană crescută. Rizosferele se referă la volumul solului de aproximativ 1 mm din jurul rădăcinii și este influențată de activitatea rădăcinii. În rizosferă, activitatea microbiană este îmbunătățită în moduri diferite:

i) Exudatele rădăcinii care conțin aminoacizi și carbohidrați îmbogățesc microorganismele indigene;

ii) Rădăcinile asigură aprovizionarea cu oxigen în rizosferă pentru transformările aerobe;

iii) Biomasa rădăcinii a sporit disponibilitatea carbonului organic;

iv) Ciupercile Mycorrhizae cauzează degradarea compușilor care nu pot fi defalcați pe bacterii;

*Fitoextracția.* În fitoextracție, plantele cu creștere rapidă sunt implementate pentru a elimina metalele grele din mediul înconjurător (sol și apă). Fitoextracția implică două abordări: continuă sau naturală, cât și chimice. Fitoextracția continuă este o abordare care include îndepărtarea metalelor grele prin rețeaua de rădăcini și apoi îndreptată spre țesuturile din partea superioară a plantei se regăsesc deasupra solului. Biomasa de plante recoltată poate fi utilizată pentru producerea de biogaz sau pot fi, de asemenea, și arse. Biomasa vegetală arsă poate fi utilizată pentru recuperarea metalelor, fixate în cărbuni sau dispuse în terenuri pustii. Aceasta este cunoscută și sub denumirea de extracție de metale (phytomining). Aceasta abordare este cea mai bună pentru a reduce concentrația de metal contaminanți din sol prin rădăcini și lăstari de plante fără a afecta proprietățile solului. Metalele pot fi recuperate din instalație prin intermediul

[25].

Majoritatea plantelor terestre sunt folosite datorită sistemului lor fibros și rădăcinilor lungi [16, 18, și cele acvatice cu creștere rapidă pot fi implementate pentru extracția Cd, Cr, Cu, Ni, Pb și Zn. poate provoca precipitarea metalelor pe rădăcinile plantei. În rizofiltrare, atât plantele terestre cât adsorbând sau precipitând în apele subterane. Exudații rădăcinii modifică pH-ul rizosferelor și (răsaduri) sau caulofiltrare (lăstari de plante). În aceste tehnici, contaminanții devin absorbanți, recoltați. Fitofiltrarea poate fi și o rizofiltrare (folosind rădăcini de plante), blastofiltrare sunt transferate în situl contaminat pentru a îl remedia. Când rădăcinile devin saturate, acestea sunt plante se alimentează cu apă contaminată pentru a acclimatiza amplasamentul și apoi aceste plante suprafață, a apelor subterane și a apelor uzate cu nivel scăzut de contaminanți. În primul rând, *Fitofiltrarea.* Fitofiltrarea implică folosirea rădăcinilor pentru recuperarea apelor de

și Hg, cât și de Se metale grele [16, 18, 25].

compuși volatili și apoi îi elimină în atmosferă. Aceasta tehnică este limitată la compuși organici fitovolatilizare. În această tehnică, plantele absorb contaminanții din sol, transformându-i în organici. Eliberarea compușilor volatili în atmosferă prin transpirația plantelor se numește "ficatul" verde din biosferă. Fitoegradarea este benefică numai în cazul degradării compușilor de plante care nu depind de comunitatea microbiană. Astfel, plantele pot fi considerate ca fiind degradarea compușilor organici, fie prin procesele metabolice ale plantelor sau enzimelor produse *Fitotransformarea.* Fitotransformarea este denumită și fitodegradare și se referă la

v) Plantele furnizează habitat pentru o populația microbiană dezvoltată [16, 18].

plantelor recolate. Sistemul de prelevare continuă poate reduce nivelul de contaminanți din sol [16, 18, 25].

Plantele utilizate pentru fitoextracția ar trebui să aibă să crească rapid, să aibă o biomasă ridicată și o rețea extinsă de rădăcini și ar trebui să suporte și să rețină cantități mari de metale grele. Fitoextracția utilizează hiperacumulatori naturali. Hiperacumulatorii sunt acele plante utilizate pe amplasamentele metalifere. Hiperacumulatorii sunt speciile de plante (*Brassica juncea*, *Helianthus annuus*, *Festuca arundinacea*, *Populus spp.*) care au dezvoltat mecanisme ce permit tolerarea unor concentrații mari de metale, care ar fi toxice pentru alte organisme. Unele specii, precum *Brassicaceae*, sunt foarte buni hiperacumulatori, *Thlaspi caerulescens* au o toleranță bună la Cd și Zn datorită fitochelatinelor, care permit chelarea cu diferiți ioni metalici, reducând astfel concentrația în citosol și permit depozitarea în vacuole [18]. Fitoextracția implică diferite procese precum:

- (i) Unele fracții metalice se absorb pe suprafața rădăcinii
- (ii) Metalele biodisponibile intra în rădăcini prin membrana celulară
- (iii) Fracțiuni mici de metale sunt preluate de rădăcini și imobilizate în vacuole
- (iv) Metalele mobile din rădăcini intra în xilem
- (v) Metalele sunt translocate de la rădăcini la țesuturile din tulpini și frunze [16, 25].

Fitoextracția este o tehnologie ecologică și prezintă următoarele avantaje importante:

- nu afectează / modifică peisajul;

- păstrează conservarea și, în consecință, ecosistemul;

- principala tehnică de fitoremediere este îndepărtarea metalelor grele din sol, sedimente și apă;

- este, de asemenea, considerată o tehnică comercială promițătoare, deoarece este ieftină.

Cu toate acestea, deși prezintă unele avantaje, există unii factori care limitează metabolizarea fitoextracției:

- o biodisponibilitate scăzută a metalului în rizosferă;

De asemenea, se pot obține beneficii suplimentare datorită folosirii plantelor modificate genetic cu scopul de a maximiza eficiența purificării fața de un anumit contaminant, atât utilizarea cât și riscurile acestora ar trebui evaluate de la caz la caz. Având în vedere beneficiile potențiale, nu există nici o îndoială că tehnicile de fitoremediere reprezintă o alternativă valabilă la metodele fizico-chimice, atât din punct de vedere economic, cât și din punct de vedere al mediului. O cunoaștere mai completă a potențialităților și limitărilor fitoremedierii cu siguranță poate crește utilizarea acestei tehnici în viitorul apropiat pentru remedierea solului [18].

Fitoremedierea este un domeniu de cercetare în curs de dezvoltare și este limitat la câteva studii de teren. Rezultatele pot fi diferite în diverse condiții precum cele din seră sau teren. Procesul de fitoremediere la nivelul câmpului este afectat de diferenți factori, cum ar fi distribuția neuniformă a poluanților, pH-ul solului, agenții patogeni, substanțele nutritive, umiditatea și temperatura. Pentru punerea în aplicare a acestei tehnologie trebuie testată pe sol. Pentru folosirea cu succes a acestei tehnologii este necesară identificarea acelor specii de plante care au o producție mărită de biomasă și o capacitate ridicată de acumulare a metalelor grele [16, 26].

Fitoremedierea este un domeniu de cercetare în curs de dezvoltare și este limitat la câteva studii de teren. Rezultatele pot fi diferite în diverse condiții precum cele din seră sau teren. Procesul de fitoremediere la nivelul câmpului este afectat de diferenți factori, cum ar fi distribuția neuniformă a poluanților, pH-ul solului, agenții patogeni, substanțele nutritive, umiditatea și temperatura. Pentru punerea în aplicare a acestei tehnologie trebuie testată pe sol. Pentru folosirea cu succes a acestei tehnologii este necesară identificarea acelor specii de plante care au o producție mărită de biomasă și o capacitate ridicată de acumulare a metalelor grele [16, 26].

### III. Concluzii

- o rată de absorbție mai scăzută a metalului de rădăcini;
- metalele sunt reținute în rădăcini [16, 18].

## Bibliografie.

- [1] FAO & ITPS 2015 -Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy. 2015.
- [2] Natalia Rodriguez Eugenio MM, Daniel Penneck. FAO\_Soil pollution a hidden reality. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - Rome. 2018.
- [3] Gregorić A, Vaupotić, J., Kardos, R., Horváth, M., Bujtor, T. & Kovács, T. Radon emanation of soils from different lithological units. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. 2013;8(2).
- [4] Blume H-P, Brümmner, G. W., Fleige, H., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretzschmar, R., Stahr, K. & Wilke, B.-M. Scheffer-Schachtschabel Soil Science. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag. 2016.
- [5] J. Alloway B. Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. 2013.
- [6] Garcia-Perez J, Bolado E, Ramis R, Pollan M, Perez-Gomez B, Aragones N, et al. Description of industrial pollution in Spain. *BMC public health*. 2007;7:40.
- [7] Saha JK, Selladurai, R., Coumar, M. V., Dotaniya, M. L., Kundu, S. & Patra, A. K. Soil Pollution - An Emerging Threat to Agriculture. *Environmental Chemistry for a Sustainable World*. Environmental Chemistry for a Sustainable World. 2017.
- [8] Mileusnić M, Mapani BS, Kamona AF, Ruzićić S, Mapare I, Chimwamurombe PM. Assessment of agricultural soil contamination by potentially toxic metals dispersed from improperly disposed tailings, Kombat mine, Namibia. *Journal of Geochemical Exploration*. 2014;144:409-20.
- [9] Mirsal I. Soil Pollution- Origin, Monitoring & Remediation. Springer Science & Business Media. 2008.
- [10] Mansouri A, Cregut M, Abbas C, Durand MJ, Landoulsi A, Thouand G. The Environmental Issues of DDT Pollution and Bioremediation: a Multidisciplinary Review. *Applied biochemistry and biotechnology*. 2017;181:309-39.
- [11] Stewart WM, Dibb DW, Johnston AE, Smyth TJ. The Contribution of Commercial Fertilizer Nutrients to Food Production. *Agronomy Journal*. 2005;97:1-6.
- [12] Xia L, Lam S, Yan X, Chen D. How Does Recycling of Livestock Manure in Agroecosystems Affect Crop Productivity, Reactive Nitrogen Losses, and Soil Carbon Balance? 2017.
- [13] Nicholson F, Smith SR, Alloway BJ, Carlton-Smith C, Chambers BJ. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales 2003.
- [14] F.A. Nicholson BJC, J.R. Williams, R.J. Unwin. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. *Bioresource Technol*. 1999;70.
- [15] Rajaganapathy V. XF, Sreekumar D., Mandal P.K. Heavy metal contamination in soil, water and fodder and their presence in livestock and products. a review. *J Environ Sci & Tech*. 2011;4(3).
- [16] Ashraf S, Ali Q, Zahir ZA, Ashraf S, Asghar HN. Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2019;174:714-27.



- [17] Ansari A, Lanza G, Gill S, Gill R, Newman L. Phytoremediation: Management of Environmental Contaminants Volume-22015.
- [18] Cristaldi A, Conti GO, Jho EH, Zuccarello P, Grasso A, Copat C, et al. Phytoremediation of contaminated soils by heavy metals and PAHs. A brief review. *Environmental Technology & Innovation*. 2017;8:309-26.
- [19] Palmroth MR, Koskinen PE, Kaksonen AH, Munster U, Pichtel J, Puhakka JA. Metabolic and phylogenetic analysis of microbial communities during phytoremediation of soil contaminated with weathered hydrocarbons and heavy metals. *Biodegradation*. 2007;18:769-82.
- [20] Alvarez-Vázquez LJ, Martínez A, Rodríguez C, Vázquez-Méndez ME, Vilar MA. Mathematical analysis and optimal control of heavy metals phytoremediation techniques. *Applied Mathematical Modelling*. 2019;73:387-400.
- [21] Yang Z, Shi W, Yang W, Liang L, Yao W, Chai L, et al. Combination of bioleaching by gross bacterial biosurfactants and flocculation: A potential remediation for the heavy metal contaminated soils. *Chemosphere*. 2018;206:83-91.
- [22] Mahar A, Wang P, Ali A, Awasthi MK, Lahori AH, Wang Q, et al. Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: A review. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2016;126:111-21.
- [23] Khalid S, Shahid M, Niazi NK, Muraza B, Bibi I, Dumat C. A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils. *Journal of Geochemical Exploration*. 2017;182:247-68.
- [24] Parmar S, Singh V. Phytoremediation Approaches for Heavy Metal Pollution: A Review. *Journal of Plant Science and Research*. 2015;2:139.
- [25] Sarwar N, Imran M, Shaheen MR, Ishaque W, Kamran MA, Matloob A, et al. Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: Modifications and future perspectives. *Chemosphere*. 2017;171:710-21.
- [26] Rodriguez L, Lopez-Bellido FJ, Carnicer A, Recreo F, Tallos A, Monteagado JM. Mercury Recovery from Soils by Phytoremediation. In: Lichtfouse E, Schwarzbauer J, Robert D, editors. *Environmental Chemistry: Green Chemistry and Pollutants in Ecosystems*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2005. p. 197-204.