

Форензички аспект ремедијације земљишта загађеног опасним материјама

1. Милица Јанковић

Департман Форензичко инжењерство
Криминалистичко-полицијски универзитет
Београд, Република Србија
jankovicmilica095@gmail.com

3. Милан Јовановић

Департман Форензичко инжењерство
Криминалистичко-полицијски универзитет
Београд, Република Србија
mjnmilan9@gmail.com

2. Никола Митровић

Криминалистичко-полицијски универзитет
Београд, Република Србија
nikola.mitrovic@kpu.edu.rs
<https://orcid.org/0000-0001-5970-2654>

4. Радован Радовановић

Криминалистичко-полицијски универзитет
Београд, Република Србија
radovan.radovanovic@kpu.edu.rs
<https://orcid.org/0000-0001-7302-8328>

Анстракт—Ремедијација земљишта загађеног опасним материјама представља сложен процес који захтева научни приступ и детаљно истраживање како би се обновила животна средина и земљиште вратило у безбедно стање. Форензички аспект овог процеса обухвата низ корака који се примењују у циљу идентификације, анализе и решавања проблема загађења. У овом научном раду, истражујемо главне изворе загађења, поступке (технологије) ремедијације земљишта, анализирамо форензичке аспекте ремедијације земљишта загађеног опасним материјама и истичемо важност интегрисаног приступа и научне методологије у успешном обнови загађених земљишта.

Кључне речи—ремедијација, форензика животне средине, загађење земљишта

I. УВОД

Земљиште је танак површински слој литосфере Земље настао узајамним и дуготрајним деловањем матичне стене, климе и живих бића. Представља једну од елементарних компоненти животне средине, јер је станиште великог броја живих организама. Земљиште спада у условно обновљиве ресурсе, па је загађење земљишта и поступак његове ремедијације једно од битних питања данашњице [1].

Опасне материје, које уједно могу негативно утицати и на земљиште и довести до његовог загађења, чине хемијска једињења, смеше хемијских једињења или хемијски елементи који имају неко од опасних својстава, као што је експлозивност, корозивност, радиоактивност, запаљивост или неко опасно дејство. Поједине материје стално садрже опасно својство, али до његовог испољавања може доћи само када се материја доведе у стање опасног дејства [2].

Главни фактори који нарушавају земљиште су ерозија, смањење органске материје, загађење, поплаве и лавине, заузимање земљишта изградњом, збијање, смањење земљишног биодиверзитета и салинизација [1]. Загађењу тла у модерном добу највише доприноси човек који је развојем индустрије, повећањем урбанизацијом и обрадњом земљишта утицао на његов састав. Штетне материје доспеле у земљиште, попут тешких метала и пестицида, негативно утичу на људско здравље и животну средину, па је неопходно утврдити изворе загађења, и одредити одговарајуће поступке ремедијације.

Ремедијација је скуп мера и поступака за потребе санације земљишта са циљем побољшања квалитета земљишта до нивоа који је безбедан за коришћење и у складу с наменом. Ове мере се спроводе у случајевима када загађење земљишта на одређеној локацији превазилази концентрације загађујућих, опасних и штетних материја прописаних ремедијационих вредности [3]. Форензика животне средине има кључну улогу у идентификацији опасних материја у земљишту и пружа драгоцену подршку у планирању и спровођењу ефикасне ремедијације загађеног земљишта. Она има за циљ да обезбеди истрагу у којој ће се утврдити извор загађења, као и утицај тог загађења на здравље људи и животну средину. Ова област форензике се ослања на теренске истраге и накнадне лабораторијске анализе које за циљ имају идентификацију присутних загађивача.

Свеприсутнија имплементација теренске преносиве опреме у еколошким истражним радњама пружа велики напредак и могућности. Комбинујући употребу теренски преносивих инструмената са малим мобилним форензичким лабораторијама предвиђа се могућност брзог и флексибилног реаговања у ванредним ситуацијама, која се такође може применити на сценарије који нису ванредни, како би се помогло мапирању и праћењу загађења, укључујући одређивање извора загађења [4].

II. ФОРЕНЗИЧКА ИСТРАГА И МЕТОДЕ АНАЛИЗЕ ЗЕМЉИШТА ЗАГАЂЕНОГ ОПАСНИМ МАТЕРИЈАМА

Код земљишта загађеног опасним материјама главни фокус форензичке истраге је прибављање доказа, који је углавном у форми физичког доказа, загађивача, узимајући у обзир утицај животне средине на исти. Иако форензика животне средине може пружити обиље информација о месту акцидента, укључујући како се акцидент догодио, када се акцидент догодио и ширење контаминације, истрага је углавном фокусирана на покушај да се идентификује загађивач (ако већ није познат) и одреди извор, време акцидента, а самим тим и одговорна страна. Понекад се загађивач, односно извор контаминације, може утврдити на основу историјске документације или документованих акцидента. Међутим, с обзиром да у многим случајевима загађивач није документован и није видљив, хемијске, а

понекад и биолошке анализе су обавезни део истраге како би се одредила врста присутног загађивача, његов извор или обоје. Подаци добијени форензичком истрагом животне средине могу се даље користити као доказ у судским поступцима, као истражна радња или за превенцију [4], [5].

Процес форензичке истраге животне средине почиње прегледом локације и накнадним узорковањем. Узорковање је кључни аспект ових истражних радњи. Ако се узму нетачни узорци, загађивач можда неће бити идентификован и/или извор контаминације можда неће бити утврђен. Протокол узорковања стога мора да обезбеди да се прикупе одговарајући узорци који садрже контаминант на нивоима који се могу детектовати. Узорци се прикупљају из најприкладнијег медијума. Неки загађивачи се везују за земљиште, други се растварају у води или се налазе у ваздуху, а када је загађивач непознат, може бити тежак задатак одредити начин узорковања. Када се узму узорци, они се шаљу у лабораторију на анализу. У новије време, доступна је преносива опрема која омогућава спровођење одређених анализа и на самом терену. Ово је у многоме допринело побољшању ефикасности саме истраге, што је посебно важно код сценарија реаговања у ванредним ситуацијама, где је главни циљ процена ризика и управљање ризиком догађаја. Приликом анализе узорака узорци се не анализирају само да би се идентификовала контаминација, већ да би се утврдио и њен извор. Ипак, постоји много фактора животне средине који могу утицати на добијени хемикалије профил, а које треба узети у обзир приликом анализе узорака [4].

Данас су развијене аналитичке методе за многе уобичајене врсте загађивача, укључујући контаминацију тешким металима, као што су жива и арсен, канализација, азбест, пестициди, хербициди, полициклични ароматични угљоводоници, сирова нафта [6]. Поред наведеног, у новије време врши се и мониторинг утицаја фармацеутских производа и производа за личну негу на животну средину. Америчка агенција за заштиту животне средине (USEPA) је такође развила детаљне аналитичке методе за многе горе поменуће загађиваче и на њих се обично ослања у оперативним лабораторијама [4].

Форензичка истрага се може спровести у случајевима када се загађење догодило пре извесног времена и утицај на животну средину није примећен (типичан пример за то би била стара фабрика која је пре неког времена затворена, али је контаминација остала), али и у случајевима када се загађење тек недавно догодило. Такође, неопходно је обезбедити одговарајуће услове за очување узорака до саме анализе или анализу спровести одмах на терену, употребом мобилне лабораторије. Код акцидента који захтевају хитно реаговање, где постоји непосредна претња по животну средину и/или здравље људи, примарни циљ је да се локација учини безбедном и да се обезбеди животна средина и здравље људи. Када се успостави ова заштита, истражитељ ће покушати да утврди извор, а самим тим и страну одговорну за акцидент. Примери оваквих инцидента су загађење воде за пиће или пожари у изграђеним и густо насељеним подручјима, где су људи одмах погођени [4].

За форензичку анализу земљишта користе се стандардне биолошке, хемијске и физичке методе. Физичке методе подразумевају утврђивање морфолошких карактеристика

земљишта, као што је боја, конзистентност и текстура. Приликом форензичке истраге користе се различити извори светлости, видљива или инфрацрвена светлост, а примену је нашла и скенирајућа електронска микроскопија (SEM), као и трансмисиона електронска микроскопска анализа (ТЕМ). За анализу земљишта у употреби су и спектроскопске методе, UV-VIS и инфрацрвена спектроскопија, атомска спектроскопија за анализу метала, хроматографске методе, електрохемијске методе, нуклеарна спектроскопија (NMR), масена спектрометрија, радиохемијска анализа, скрининг методе коришћењем имуноанализе [4], [7]. Поред стандардне форензичке анализе, данас је доступан велики број мобилних лабораторија, до сада је пријављена употреба ренгенске флуоресценције (XRF анализа), хроматографских метода спрегнутим са масеном спектрометријом, преносива инфрацрвена и Раман спектроскопија [4].

III. ИЗВОРИ ЗАГАЂЕЊА И ДОЗВОЉЕНЕ КОНЦЕНТРАЦИЈЕ ОПАСНИХ И ШТЕТНИХ МАТЕРИЈА У ЗЕМЉИШТУ

Потенцијални извори загађења земљишта према пореклу могу бити природни и антропогени, док се према облику настанка извори загађења земљишта деле на локалне, линијске и дифузне. Локални извори загађења земљишта су везани за рударство, индустријска постројења и слично, линијски за аутопутеве и железнице, док је дифузно загађење земљишта повезано са емисијом загађујућих материја [8].

Антропогени извори загађења земљишта се могу сврстати у три групе:

- отпадне воде као загађивачи земљишта: индустријске отпадне воде, воде загађене услед пољопривредних активности (вештачка ђубрива, пестициди, органске материје различитог порекла), отпадне воде из домаћинства;
- загађивачи пореклом из атмосфере: емисија из индустријских технолошких процеса, емисија услед сагоревања фосилних горива, емисија пореклом од моторних возила, емисија приликом сагоревања различитог органског материјала;
- чврсти опасни отпад различитог порекла: комунални отпад, индустријски отпад, отпад из пољопривреде [9].

Последице услед загађења земљишта неким од наведених извора, зависиће од особина самог извора загађења, као и од особина самог земљишта [9]. Да би се спречило уништење земљишта, а тиме и уништење читавог екосистема мора се вршити одговарајући поступак санације. Ремедијација земљишта ће се спроводити када загађење земљишта на одређеној локацији превазилази концентрације загађујућих, опасних и штетних материја прописаних ремедијационих вредности [3]. Технике ремедијације биће описане у даљем делу рада.

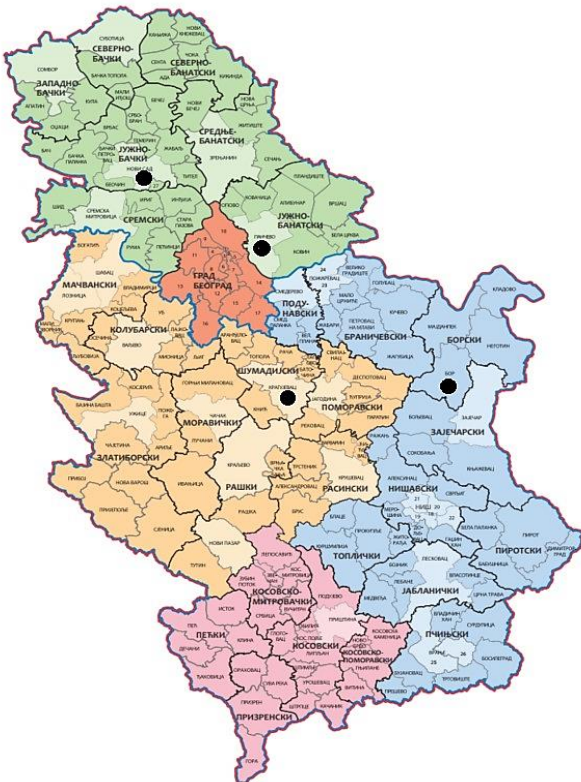
Правилником о дозвољеним количинама опасних и штетних материја у земљишту и води за наводњавање и методама њиховог испирања дефинисане су максималне дозвољене количине опасних и штетних материја у земљишту. Концентрације опасних материја које прелазе концентрације дефинисане овим правилником могу негативно да утичу на земљиште и да га оштете или промене

његова својства. Опасне и штетне материје обухваћене овим правилником и максималне дозвољене концентрације ових елемената приказане су у Табели 1 [10].

ТАБЕЛА 1. МАКСИМАЛНО ДОЗВОЉЕНА КОЛИЧИНА ОПАСНИХ И ШТЕТНИХ МАТЕРИЈА У ЗЕМЉИШТУ

Ред. бр.	Хемијски елементи	МДК у земљишту мг/кг земље
1.	Кадмијум	до 3
2.	Олово	до 100
3.	Жива	до 2
4.	Арсен	до 25
5.	Хром	до 100
6.	Никл	до 50
7.	Флуор	до 300
8.	Бакар	до 100
9.	Цинк	до 300
10.	Бор	до 50

Такозване, еколошке црне тачке у Србији су Панчево, Бор, Нови Сад и Крагујевац (Сл. 1). То су градови у којима је почетком 21. века забележено загађење воде, земље и ваздуха изнад дозвољених граница, као и појава већег броја респираторних обољења код људи. Због ових чињеница 2003. године издвојена су посебна средства како би се реализовали санациони пројекти за ова подручја [11].



Сл. 1 „Црне тачке“ у Србији

IV. ПОСТУПЦИ РЕМЕДИЈАЦИЈЕ ЗЕМЉИШТА

На основу прикупљених форензичких података, дефинише се стратегија за ремедијацију. Ремедијација (санација) представља процес чишћења или коришћења других метода за уклањање постојећег загађења, или унапређење других неповољних карактеристика на

одређеној локацији до нивоа који је безбедан или повољан за даље коришћење [12].

Санација земљишта је важан аспект одрживог развоја, посебно у погледу управљања ресурсима [13]. Основни критеријум при одабиру технологије ремедијације су тип, врста и количина загађујуће материје, место где ће се ремедијација одиграти, тип земљишта на којем ће се та технологија применити, време изложености загађујућим материјама, будући намена. Такође, на одабир технологије ремедијације утицај има и законска регулатива која обухвата ову област. Технологије ремедијације су: биолошка, хемијска, физичка и термална ремедијација [14].

Ови поменути параметри одређују и да ли ће се ремедијација вршити: *in situ* (на месту загађења без ископавања), *ex situ* (након ископавања загађено земљиште се транспортује до места где се врши ремедијација) [14]. Најчешће примењене технике ремедијације приказане су на Сл. 2 [15].



Сл. 2 Подела техника ремедијације

A. Биоремедијација тла

Биоремедијација је техника санације која се може применити код незасићеног земљишта за деградацију циљаних загађујућих материја. Ова техника искоришћава природни капацитет микроорганизама за разградњу органских загађивача, под условом да је микробни раст стимулисан обезбеђивањем оптималних услова (pH, температуре, редокс потенцијала, количине кисеоника, хранљивих материја итд.). Они се хране загађујућим органским једињењима и претварају их у угљен-диоксид, воду и/или биомасу. Неоргански загађивачи и метали се не могу биоразградити, међутим, неке експерименталне технике показују да се деловање микроорганизама може користити за промену њиховог валентног стања и

индикацију њихове апсорпције, таложeње унутар биомасе. Биоремедијација укључује биостимулацију, биоаугментацију и природни опоравак (природно слабење). Врши се или на контаминираној локацији (in situ) или након уклањања контаминираних земљишта на другом контролисаном месту (ex situ). У ex situ технике биоремедијације спадају компостирање, биовентилација, биоаугментација и биостимулација (које представљају технике формирања биолошке гомиле (халде)), као и техника површинске обраде (landfarming) када је реч о биоремедијацији на чврстој фази, док се за течну фазу користи биореактор. In situ технике биоремедијације су биовентилација, биоаугментација, биостимулација и биоатенуација [16], [17].

Биовентилација тла

Биовентилација је процес у којем се ваздух, кисеоник и/или метан, уносе у земљиште да би се стимулисао раст микроорганизама. Ова техника зависи од способности ваздуха да се креће кроз тло, тако да су величина честица земље и пропустљивост главни фактори за правилно функционисање ове технике. Техника биовентилације се примјењује за уклањање нафтних деривата, фенола, алкохола, уља и мазива [17].

Фиторемедијација

Фиторемедијација је генерички назив за групу технологија које користе биљке које имају способност за санацију земљишта, седимената и вода контаминираних огранским или неогранским загађивачима. У технологије фитиремедијације спадају фитоекстракција или фитоаккумуляција, фитостабилизација и фитоволатизација. Ове технологије се називају и зелене технологије [18].

Биореактори

Биореактори се користе као технологија биоремедијације у течном стању. Процес се одвија тако што се загађено земљиште ископава, меша са водом и затим убацује у биореактор, након чега се додају нутријенти и површински активне супстанце. Овом техником се омогућава прерада контаминираног земљишта у контролисаним условима, где се поред температуре, притисака и рН, може вршити и контрола количине испарљивих органских једињења. Употребом биореактора знатно се скраћује време трајања процеса биоремедијације, али и повећава обим разградње контаминаната. Ова технологија налази примену за ремедијацију земљишта контаминираних угљоводоникима нафте, растварачима и пестицидима. Иако брза и ефикасна, контрола процеса ове врсте биоремедијације је доста сложен процес, па је и цена овог третмана већа у односу на друге технологије биоремедијације [19], [20].

Б. Хемијска ремедијација

Ремедијација земљишта хемијским третманом укључује технологије које уништавају или хемијски трансформишу органске загађујуће материје. Процес хемијске деструкције укључује оксидацију у угљен-диоксид помоћу хемијских оксиданата као што је водоник пероксид. Реакција трансформације укључује хемијску или ултраљубичасту (УВ) редукцију и дехлоринацију са алкалним реагенсима. Такође, у хемијску обраду је укључена технологија стабилизације контаминираних тла, где су хемијски

загађивачи имобилисани и учињени да буду више инертни у матрици која се формира путем хемијске реакције. Хемијску ремедијацију чине технологије: електрохемијске ремедијације, поплављивања тла, испирања тла, солидификација/стабилизација тла, као и природно слабење тла. Хемијски третмани могу да се раде in situ или ex situ [21].

In situ хемијска оксидација укључује убризгавање хемијског оксиданта, посебно водоник пероксида, у контаминирану подземну зону ради оксидације органске загађене материје. Водоник пероксид углавном најбоље делује на једињења као што су алдехиди, кетони и феноли. Додавање јона гвожђа (или његово присуство у матрици тла) може се проширити реактивност водоник пероксид у великом броју органских загађујућих материја [20].

Ex situ ремедијација је поступак испирања земљишта од контаминираних тла који се базира на испирању загађујућих материја са честица тла воденим растворима различитих адитива, или се спроводи у сврху одвајања чистог од загађеног тла [21].

Солидификација и стабилизација

Солидификација/стабилизација тла је техника, такође позната као хемијска имобилизација, која хвата или имобилизује загађиваче in situ или ex situ реакцијом која се одиграва између додатних реагенаса и загађујуће материје у тлу, не уклањајући загађиваче из тла, већ спречавајући њихово кретање. Широку примену има за металне, радиоактивне или високо токсичне загађиваче. Солидификација се односи на процес у коме се материјали додају отпаду да би се произвела непокретна маса. Главни производи који се користе код процеса солидификације су цемент, асфалт и термопластика. На лицу места, цементно блато се може додати убризгавањем под притиском или мешањем уз помоћ булдожера. Добљени очврснути блок је водоотпоран и спречава миграцију загађивача. Процес стабилизације имобилише загађивач, али га не учвршћује. Овај процес смањује растворљивост, покретљивост и токсичност опасних материја. Могу се користити различити материјали, укључујући карбонате (креч), фосфате (нпр. амонјум фосфат, апатит и хидроксиапатит), алкални агенси (нпр. калцијум хидроксид), глина и минерали који садрже гвожђе (нпр. боксит, гетит, силика гел, вермикулит и зеолити) и органске материје (нпр. хитозан, скроб ксантат, тресет, активни угаљ и био угаљ). Ова технологија представља комбинацију физичких (солидификација) и хемијских (стабилизација) процеса и користи се како би се смањило негативан утицај загађујућих материја на животну средину [17].

В. Физичка ремедијација

Ремедијација земљишта физичким третманом обухвата технологије које одвајају контаминанте од чврстих материја земљишта. Процес сепарације је процес смањења запремине који преноси контаминант на други медијум, нпр. ваздух или воду, и сакупља у концентрованом облику. У зависности од количине и концентрације загађености, нови контаминирани слој може захтевати даљи третман. Физички третман се врши технологијама капсулирања (прекривање), ископавања и мешања тла [21].

G. Термичка ремедијација

Технологија термичке ремедијације обухвата: спаљивање, пиролизу, гасификацију, индиректно спаљивање, одувавање са паром, термокаталитичку обраду. Може се изводити *in situ* и *ex situ* методама, у специјализованим постројењима при високим температурним условима (преко 1000 °C), јер при нижим температурама (340 - 480 °C) долази до испаравања испарљивих загађујућих материја из тла, док се на вишим температурама трансформишу у мање штетне облике. Ова технологија није прихватљива за ремедијацију контаминираног тла намењеног пољопривреди јер се обрадом тла на високим температурама уништава сав биљни и животињски свет и оно престаје бити погодно за своју првобитну намену [22],[23].

V. ПРОЦЕНА РИЗИКА КОНТАМИНИРАНОГ ЗЕМЉИШТА

Иако постоје неке опште методе ремедијације за све загађиваче, специфична метода ремедијације за одређену локацију зависиће од неких фактора:

- врста загађивача;
- везе извор-путања-рецептор;
- геолошких услови тла;
- рецептора идентификованих на лицу места [24].

Процена ризика контаминираног земљишта је процес који обухвата низ активности које се примењују са циљем да би се утврдило да земљиште не представља ризик по оне који га поседују или користе. Ниво ризика је уско повезан са предвиђеном употребом земљишта и није повезан само са апсолутним вредностима контаминације [24]. Управљање ризиком у животној средини је оптимални избор превентивног деловања које даје минимални ризик [25]. То је објективан метод за утврђивање потребе за ремедијацијом.

Један од модела управљања ризиком обухвата три фазе: идентификацију, процену и контролу ризика. Идентификација ризика, има за циљ да утврди могуће појављивање ризика или да препозна већ постојећи ризик. Одговарајућим праћењем стања животне средине могуће је дефинисати параметре животне средине који указују на ризик. На овај начин идентификацијом ризика у процесу управљања заштитом животне средине стварају се услови како за превенцију потенцијалних ризика, тако и за контролу постојећих ризика. Процена ризика је фаза сакупљања, организовања, анализирања и презентовања научних података ради доношења одлука којима се обезбеђује заштита и побољшање еколошког стања неког простора. Контрола ризика представља скуп метода којима се обезбеђује смањење, минимизирање, отклањање или прихватање ризика [26].

Примену је нашло више методологија за процену еколошког ризика. Тако на пример, према европском моделу:

$$\text{Ризик} = \text{хазард} \times \text{излагање}, \quad (1)$$

при чему хазард представља потенцијал да нешто нанесе штету, док је ризик вероватноћа да ће се штета заиста догодити [26].

Овај модел се често користи за процену ризика у животној средини као модел за решавање питања распрострања стресора на линији извор – путања – рецептор. У овом моделу путања између извора контаминације и рецептора (нпр. одређени екосистем) је предмет истраге, при чему путања представља пут којим рецептор може да дође у контакт са извором [26].

Ако процес процене ризика покаже да је ризик неприхватљив на контаминираном месту, онда се морају размотрити стратегије санације, план који укључује једну или више опција санације за смањење или контролу ризика од свих загађивача повезаних са локацијом [24]. Предложена стратегија ремедијације земљишта у Републици Србији, мора бити у складу са српским законодавством, заснована на процени ризика контаминираног подручја по здравље људи и животну средину.

Ремедијацију земљишта загађеног опасним материјама у Републици Србији регулисано је низом закона, подзаконских аката и правилника. Неки од најважнијих закона који се односе на заштиту животне средине и ремедијацију загађеног земљишта су: Закон о заштити животне средине, Закон о заштити земљишта, Закон о управљању отпадом, Закон о хемикалијама, Закон о генетски модификованим организмима, Закон о рударству и геолошким истраживањима, Закон о рударском отпаду и јаловишту. Ови закони дефинишу обавезе власика земљишта, загађивача, надлежних институција и стручњака у вези са ремедијацијом земљишта. Такође, прописују се поступци истраживања, процена ризика, планирања и спровођења ремедијације, као и надзор над спровођењем мера.

ЗАКЉУЧАК

У последњих неколико векова, индустријска активност је експоненцијално порасла као последица индустријализације. Ова еволуција је повећала коришћење земљишта у индустријске сврхе, што је заузврат утицало на квалитет земљишта загађујући га високим концентрацијама хемијских загађивача. С друге стране, интензивна пољопривредна активност подразумева и употребу пестицида и ђубрива, који на крају крајева такође доприносе контаминацији пољопривредног земљишта. Земљиште може бити контаминирано и акцидентима које се дешавају као последица људске активности. Квалитет земљишта је од суштинског значаја за очување животне средине, а потребно је и одржавање нивоа загађења у законским границама. Ако су нивои загађивача изнад законских граница, онда би требало направити план ремедијације земљишта.

Ремедијација земљишта, као једна од главних компоненти одрживог развоја, представља суштински процес у побољшању квалитета живота, услова животне средине и економског развоја. Међутим, ако метода ремедијације није адекватно одабрана или спроведена, постоји могућност да се изазову значајније еколошке, економске и друштвене последице. Приликом одабира методе најпожељније је одабрати методу која елиминише и/или контролише неприхватљиве ризике на безбедан и благовремен начин. Први корак у процесу ремедијације земљишта загађеног опасним материјама је идентификација загађења и процена нивоа загађења. Форензика животне средине је значајно еволуирала у последњих неколико

деценија и наставиће да се развија у будућности. Њен интердисциплинарни приступ, стандардизација и развој нових метода анализе пружају значајан корак у процесу детекције загађења и извора загађења. На основу спроведене форензичке анализе даље се може развити стратегија ремедијације земљишта, која може укључивати употребу различитих поступака ремедијације. Током поступка ремедијације важно је пратити прогрес самог процеса. У том смислу, форензика животне средине има значај и за анализу ефикасности примењених мера и утврђивање потребе за евентуалним новим интервенцијама. У случају загађености земљишта форензичка испитивања могу играти кључну улогу у утврђивању одговорности за загађење, обезбеђивању доказа за спровођење правних поступака као и у осигурању ефикасне и сигурне ремедијације земљишта.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] В. Радић, “Опасне материје”, Београд, 2011.
- [2] Република Србија, Министарство заштите животне средине, Агенција за заштиту животне средине, Агенција за заштиту животне средине - Министарство заштите животне средине (sepa.gov.rs).
- [3] Закон о заштити земљишта, Службени гласник Републике Србије, бр. 112/2015.
- [4] V. Spikmans, “The evolution of environmental forensics: From laboratory to field analysis”, WIREs Forensic Sci, vol. 1(3), February 2019.
- [5] S. M. Mudge, “Approaching environmental forensics”, Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Grou, 2008, (pp. 1–13).
- [6] S. A Stout, Z. Wang, “Standard handbook oil spill environmental forensics: fingerprinting and source identification”, Amsterdam, the Netherlands: Academic Press, vol. 2, 2016.
- [7] C. Zhang, “Fundamentals of environmental sampling and analysis”, Wiley-Interscience, vol. 1, 2007.
- [8] И. Кисић, “Биолошке методе санације онечишћених тала”, Заштита околиша, Кем. Инд. 63, 2014, pp. 366–367.
- [9] Д. Угринов, А. Стојанов, “Биоремедијација у третману загађеног земљишта”, Заштита материјала, vol. 4, 2010, pp. 237–244.
- [10] Правилник о дозвољеним количинама опасних и штетних материја у земљишту и води за наводњавање и методама њиховог испитивања, Службени гласник РС, бр. 23/1994.
- [11] С. Кончевић, “Карактеризација биоремедијационих процеса у земљишту и подземним водама загађеним нафтом и подземним водама”, Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, 2007.
- [12] Национална стратегија одрживог коришћења природних ресурса и добара, Службени гласник РС, број 33/2012.
- [13] SEPA–Environment, Land remediation and waste management guidelines, <https://www.sepa.org.uk/environment/land/>.
- [14] Т. Софилић, “Онечишћење и заштита тла”, Металуршки факултет, Сисак, Универзитет у Загребу, Загреб, 2014.
- [15] С. Антић-Младеновић, “Загађивање и ремедијација земљишта”, Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду, Београд, 2010.
- [16] C. Azubuikwe, C. Chikere, G. Okpokwasili, “Bioremediation techniques—classification based on site of application: principles, advantages, limitations and prospects”, World J Microbiol Biotechnol, vol. 32, pp. 180, September 2016.
- [17] A. Thomé, C. Reginatto, G. Vanzetto, A.B. Braun, “Remediation Technologies Applied in Polluted Soils: New Perspectives in This Field”, Proceedings of the 8th International Congress on Environmental Geotechnics, vol. 1, pp. 186–203, October 2018.
- [18] United Nations Environment Programme (UNEP), Division of Technology, Industry and Economics, Phytoremediation: An Environmentally Sound Technology for Pollution Prevention, Control and Redmediation, <http://www.unep.or.jp/letc/Publications/Freshwater/FMS2/1.asp>.
- [19] Г. Цвијановић, С. Савић, “Заштита екосистема и биоремедијација”, Институт за економику пољопривреде Београд, Београд, 2016, pp. 216–240.
- [20] В. Бешкоски, Г. Гојгић-Цвијовић, Ј. Милић, М. Илић, С. Милетић, В. Јованчићевић, М. Врвић, “Биоремедијација земљишта контаминираним нафром и нафтним дериватим: микроорганизми, путање раградње, технологије”, Хем. Инд., vol. 66, No. 2, pp. 275–289, Април 2012.
- [21] R. Fox, “Physical/Chemical Treatment of Organically Contaminated Soils and Sediments”, J Air Waste Manag Assoc., vol. 46, pp. 391–413, Oct. 1996.
- [22] A. Dadrasnia, C. U. Emenike, N. Shahsavari, “Remediation of contaminated sites”, Hydrocarbon, InTech publisher, 2013.
- [23] Д. Ђукић, В. Јемцев, С. Ђорђевић, Б. Трифунковић, Л. Мандић, М. Пешаковић, “Биоремедијација земљишта”, Будућност Нови Сад, 2013.
- [24] C. Madear, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, vol. 609 pp. 012094, 2020.
- [25] З. Чворовић, “Управљање ризицима у животној средини”, Задужбина Андрејевић, Београд, 2005.
- [26] С. Бакрач, М. Вуруна, М. Милановић, “Методологија управљања еколошким ризиком и процене ризика”, Војнотехнички гласник, vol. 60 No.2, pp. 296–305, Април-Јун 2012.

ABSTRACT

Soil remediation contaminated with hazardous substances represent a complex process that requires a scientific approach and detailed research to restore the environment and return the soil to a safe condition. The forensic aspect of this process includes a series of steps that are applied in order to identify, analyze and solve pollution problems. In this scientific paper, we research the main sources of pollution, procedures (technologies) of soil remediation, we analyze the forensic aspects of successful soil remediation contaminated with hazardous substances and highlight the importance of an integrated approach and scientific methodology in the successful remediation of contaminated soils.

Keywords—remediation, environmental forensics, soil pollution

Forensic aspect of soil remediation contaminated with hazardous substances

Milica Janković, Nikola Mitrović, Milan Jovanović, Radovan Radovanović