

ივ.ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი
სადოქტორო პროგრამა: ბიოლოგია

თამარ სამადაშვილი

1 სემესტრის დოქტორანტი
სასემინარო ნაშრომი (სასწავლო კომპონენტი) თემაზე

გარემოს დამაბინძურებელი ფაქტორები და ბიორემედიაციული მეთოდების გამოყენების პერსპექტივა



სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ბიოლოგიის მეცნიერებათა
დოქტორი, ბიოქიმიის კათედრის ასისტენტ პროფესორი,
ელენე დავითაშვილი.

თსუ 95

4-11 ივლისი

შინაარსი

შესავალი.....	5
1. გარემოს ქიმიური დამაბინძურებლები.....	7
.2 ტოქსიკური ნაერთები წყალში.....	17
3 ფიტორემედიაციული მეთოდები.....	23
4. გამოყენებული ლიტერატურა	

შესავალი

გარემოს ქიმიური დაბინძურება გლობალურ ეკოლოგიურ პრობლემას წარმოადგენს. გარემოს გასუფთავების თანამედროვე რემედიაციული ტექნოლოგიებიდან აღსანიშნავია ფიტორემედიაცია, რომელიც გულისხმობს მცენარეებისა და რიზოსფეროს მიკროორგანიზმების გამოყენებას ეკოტოქსიკანტის შთანთქმისა და გაუვნებლობის მიზნით (Kvestadze et al., 2006).

ფიტორემედიაციის საშუალებით ხდება ნიადაგებისა და წყლების გასუფთავება ისეთი ტოქსიკური დამბინძურებლებისაგან, როგორცაა: მძიმე მეტალები, ნავთობის ნახშირწყალბადები, პოლიციკლური არომატული ნახშირწყალბადები, ქლორორგანული გამხსნელები, პოლიქლორირებული ბიფენილები, ფეთქებადი ნივთიერებები, რადიონუკლიდები და სხვ. (Tsao, 2003). გარემოს გასუფთავების არაბიოლოგიური ტექნოლოგიებისაგან განსხვავებით ფიტორემედიაცია იათვია, მისი საშუალებით მიიღწევა გარემოს მაქსიმალური გასუფთავება და ხანგრძლივი დაცვა ეკოლოგიური წონასწორობის დარღვევის გარეშე. უკანასკნელ ათწლეულში მცენარეებისა და მიკროორგანიზმების მიერ ტოქსიკური ნაერთების გაუვნებლყოფის მოლეკულური მექანიზმების შესწავლა ბიორემედიაციის მეთოდების დახვეწის მთავარ სტრატეგიად იქცა (Salt et al., 1998).

სადღეისოდ განსაკუთრებით დიდი ყურადღება ექცევა სამხედრო საქმიანობით დაბინძურებული უბნების (ნაომარი ადგილები და პოლიგონები, სამხედრო ქარხნები და საწყობები, დისლოკაციის ადგილები) გასუფთავებას. ეს ტერიტორიები დაბინძურებულია ფეთქებადი ნაერთით – 2,4,6 – ტრინიტროტოლუოლით და მინერალური ზეთების შემადგენლობაში შემავალი ნავთობის ნახშირწყალბადებით (Adamia et al., 2003; Khatisashvili et al., 2004). აღნიშნული ნაერთები ქიმიური ინერტულობის გამო დიდხანს რჩებიან ნიადაგში უცვლელი ფორმით, ამასთან, ადვილად აღწევენ მიწისქვეშა წყლებსა და წყალსატევებში, სადაც დიდ ზიანს აყენებენ ჰიდრობიონტებს (Korte et al., 1992).

წარმოდგენილ სასემინარო ნაშრომში განხილულია გარემოს ძირითადი დამაბინძურებელი ტოქსიკური ნაერთები, ზოგადად ბიორემედიაციის გამოყენების მეთოდები და მაგალითები.

1. გარემოს ქიმიური დამაბინძურებლები

გარემოს ანთროპოგენული დაბინძურებით გამოწვეული მძიმე ეკოლოგიური მდგომარეობის გამოსწორებისათვის აუცილებელია გარემოდან ტოქსიკური ნაერთების მოცილება და გაუვნებელყოფა, აგრეთვე ამ ნაერთების გარემოში მოხვედრის მაქსიმალური შეზღუდვა.

ქიმიურად დაბინძურებული გარემოს გასუფთავება მისი სრულყოფილი სახით აღდგენა და ხანგრძლივი დაცვა ყველაზე ეფექტურად და ეკონომიურად ფიტორემედიაციული ტექნოლოგიების გამოყენებითაა შესაძლებელი (Tsao, 2003; Kvestadze et al., 2006). ფიტორემედიაცია გულისხმობს ქიმიურად დაბინძურებული გარემოს გაწმენდა-აღდგენას მცენარეებისა და მიკროორგანიზმების საშუალებით, რომელთაც უნარი გააჩნიათ შეითვისონ და გარდაქმნან ორგანული და არაორგანული ტოქსიკანტები. ფიტორემედიაციის უპირატესობა იმაში მდგომარეობს რომ ამ გზით არ ირღვევა ეკოლოგიური ბალანსი, ქიმიური ტოქსიკანტის მოლეკულები მთლიანად შეითვისება უჯრედის მიერ და ის ატომები, რომლებიც ტოქსიკური ნაერთის ქიმიურ სტრუქტურას ქმნიდნენ, უვნებელი ნივთიერებების სახით ისევ ბუნებრივ წრებრუნვაში ერთვებიან (პაპუნძე და თანაავტ., 2005).

ქიმიურ ნაერთებს წარმომავლობის მიხედვით ბუნებრივ ნაერთებად და ქსენობიოტიკებად ყოფენ. ქსენობიოტიკებად ის ნაერთები ითვლება, რომლებიც თავისი სტრუქტურითა და ბიოლოგიური თვისებებით უცხოა ბიოსფეროსათვის და მიღებულია მხოლოდ და მხოლოდ ქიმიური სინთეზის გზით (გორდემიანი, კვესიტაძე, 2000). ასეთი ნაერთები ხშირად მაღალი ტოქსიკურობით გამოირჩევიან, მათ მიეკუთვნება: პესტიციდები, ლაქ-საღებავები, ემულგატორები, დამაკონსერვებელი აგენტები, ფეოქეზადი ნაერთები და ა.შ. ქიმიური დამაბინძურებლების განსაკუთრებულ

ჯგუფს მიეკუთვნება რადიონუკლიდები, რომლებიც მაიონიზირებელი გამოსხივების წყაროა და ამ მხრივ ზემოქმედებენ გარემოში მიმდინარე პროცესებზე.

1.1. ბენზოლი და მისი ჰომოლოგები

ბენზოლის არომატული ბირთვი მრავალი ორგანული ნაერთის ტოქსიკურობას განაპირობებს. თვით ბენზოლი და მისი ჰომოლოგები უალრესად ტოქსიკური ნაერთებია. მათი 90%-ზე მეტი იწარმოება ნავთობ-ქიმიური მრეწველობის მიერ, დანარჩენი 10% კი კოქს-ქიმიური წარმოებიდან და ბუნებრივი გზით მიიღება (Kvesitadze et al., 2005). მაღალი ტოქსიკურობის გამო ბენზოლის წარმოება და გამოყენება მკვეთრად შეზღუდულია.

ბენზოლი და მისი ჰომოლოგები ძირითადად საწვავის დანამატად გამოიყენება – მათი საშუალებით ხდება ბენზინის ოქტანური რიცხვის გაზრდა. გარდა ამისა, ეს ნაერთები გამხსნელის ან დამატებითი კომპონენტის სახით შედის ლაქ-საღებავებში, მელნებში, თხევად რეზინში და სხვ. ბენზოლისა და მისი ჰომოლოგების გარემოში გავრცელების ძირითადი ანთროპოგენული წყაროებია: ნედლი ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების გაჟონვა, ქვანახშირისა და ფისის გადამამუშავებელი კომპონენტების ნარჩენები, საწვავის გაჟონვა ავტოებიდან, რეზერვუარებიდან და ა.შ. ბენზოლი და მისი ჰომოლოგები ლეიკემიის გამომწვევი კანცეროგენებია (Yin et al., 1987).

1.2 ფეთქებადი ნიტრო-ნაერთები

ჯერვების, ნალმების და სხვა საბრძოლო მასალის დასამზადებლად ნიტრო-ჯგუფების შემცველი ორგანული ნაერთები გამოიყენება. ფეთქებადი ნიტრონაერთებია: 2,4,6-ტრინიტრო-ტოლუოლი (იგივე ტროტილი ანუ TNT), ტრინიტროგლიცერინი, 1,3,5-ტრინიტრო-1,3,5-ტრიაზინი (იგივე RDX) და სხვ. ფეთქებად ნაერთებს შორის ყველაზე ფართოდ TNT გამოიყენება, თუმცა სხვა ნაერთებსაც არანაკლები სიძლიერით აფეთქების უნარი აქვთ (Kvestadze et al., 2006). ნიტრო-ჯგუფები აღნიშნულ

ნაერთებს არამართო ფეთქებადობის უნარს ანიჭებენ, არამედ მათ ტოქსიკურობასაც განაპირობებენ (Opresko et al., 1998).

ტრინიტროტოლოლი გარემოში ორი გზით ხვდება: წარმოების ნარჩენების გავრცელებით და სამხედრო სამხედრო საქმიანობაში გამოყენებით. ფეთქებად ნაერთებს შორის ტრინიტროტოლოლი ყველაზე ტოქსიკურია. ნიადაგში მისი ძვრადობა საკმაოდ შეზღუდულია ერთი მხრივ, წყალში დაბალი ხსნადობით, მეორე მხრივ კი ნიადაგის ნაწილაკების მიერ ამ ნაერთის ძლიერი ადსორბაციით. ორგანიზმში TNT აღწევს საჭმლის მომწელებელი ტრაქტიდან, კანიდან და ფილტვებიდან, საიდანაც ღვიძლში ხვდება, შემდეგ კი თირკმელებსა და ცხიმოვან ქსოვილში ნაწილდება. TNT მრავალი ქრონიკული დაავადების სტიმულატორია, მსოფლიო ჯანდაცვის ორგანიზაციის მიერ TNT კლასიფიცირებულია, როგორც მესამე ჯგუფის კანცეროგენული ნივთიერება. TNT -ს ტოქსიკურობას ნიტრო-ჯგუფებიდან გენერირებული ნიტროზო- და ჰიდროქსილამინო-ჯგუფები განაპირობებენ (Banerjee et al., 1999). ეს რეაქციისუნარიანი ჯგუფები აქტიურად უკავშირდებიან ნუკლეინის მუჟავებს და ქიმიურ მუტაგენებს იწვევენ Robidoux et al., 1999). მათგან განსხვავებით, ამინო-ჯგუფებიანი მეტაბოლიტები ადვილად უერთდებიან გლუკორონმუჟავას, წარმოქმნილი კონიუგატი ჯერ უჯრედიდან, მერე კი ორგანიზმიდან გამოიდევენება (Kvestadze et al., 2006). ამის გამო TNT -ს დეტოქსიკაცია და მისი მუტაგენური აქტივობის შემცირება ნიტრო-ჯგუფების აღდგენითაა შესაძლებელი. ასეთი გარდაქმნების განხორციელება ზოგიერთ მცენარესა და მიკროორგანიზმს შეუძლია. აღნიშნული პროცესი ორი გზით შეიძლება განხორციელდეს: 1) ნიტრო-ჯგუფის მოცილებით, (ნიტრიტ-იონის სახით) და ამონიუმამდე მისი აღდგენით, რაც მხოლოდ აერობულ პირობებშია შესაძლებელი. 2) ნიტრო-ჯგუფის ამინო-ჯგუფამდე აღდგენით, რაც მიმდინარეობს როგორც აერობულ, ისე ანაერობულ პირობებში (Esteve-Núñez et al., 2001). Pseudomonas ცალკეულ შტამებს და მიცელური სოკოების ზოგიერთ წარმომადგენლს ტრინიტროტოლოლის აზოტის წყაროდ გამოყენება შეუძლია. მისი შთანთქმისა და გარდაქმნის უნარი ბევრ მცენარესაც ახასიათებს, მაგალითად: ნივანას, ვერხვს, სოიას და ა.შ. (Kvestadze et al., 2006)

1.3 პოლიციკლური არომატული ნახშირწყალბადები

პოლიციკლური არომატული ნახშირწყალბადები ძლიერი კანცეროგენული ნივთიერებებია, ისინი ძირითადად ორგანული ნივთიერებების წვის შედეგად წარმოიქმნებიან. ეს ნაერთები გვხვდება ჭვარტლში, თამბაქოს კვამლსა და შებოლილ პროდუქტებში. ისინი წყალში პრაქტიკულად უხსნად ნაერთებს წარმოადგენენ და მაღალი ქიმიური მდგრადობით გამოირჩევიან. მიუხედავად ამისა, ეს ლიპოფილური ნაერთები ფართოდაა გავრცელებული ნიადაგსა, წყალსა და ჰაერში. პოლიციკლური არომატული ნახშირწყალბადების უმეტესობა, სულ ცოტა, ერთ სპეციფიკურ ჩაღრმავებულ უბანს მაინც შეიცავს, რომლის არსებობასაც კანცეროგენულ თვისებას მიაწერენ Curfs et al., 2003)

მცენარეების და მიკროორგანიზმების გარკვეულ წარმომადგენლებს გარემოდან პოლიციკლური არომატული ნახშირწყალბადების შეთვისების და გარდაქმნის მაღალი უნარი გააჩნიათ, ამიტომ ისინი ეფექტურად გამოიყენება გარემოს გასუფთავების ბიოტექნოლოგიებში (Kvestadze et al., 2006).

1.4. პესტიციდები

მცენარეთა დაცვის და მავნებლებთან ბრძოლის საშუალებები, რომლებსაც პესტიციდები ეწოდებათ, გარემოს ყველაზე უფრო გავრცელებული დამაბინძურებლებია. ამჟამად პესტიციდებს მიეკუთვნება 1000-ზე მეტი ნაერთი, რომლებიც სხვადასხვა ქიმიურ კლასებს წარმოადგენენ. მათ შორისაა: ამიდები, დიპირიდინები, დიფენილეთერები, თიოკარბამატები, კარბამატები, კარბამიდები, კუმარინები, ნიტროფენოლები, პირაზოლები, პირეტროიდები, ტრიაზინები, ფენოქსიაცეტატები, შარდოვანას წარმოებულები, აგრეთვე ელემენტორგანული ნაერთები, რომლებიც შეიცავენ ქლორს, ბრომს, ფტორს, ფოსფორს, დარიშხანს, კალას, ვერცხლისწყალს, სპილენძს და სხვ. პესტიციდების ყოველწლიური წარმოება და მოხმარება, რაც მჭიდრო კავშირშია სოფლის მეურნეობასთან, ათობით მილიონ ტონას შეადგენს (პაპუნდიე და სხვ., 2005).

მოქმედების ტიპის მიხედვით პესტიციდები შემდეგ ჯგუფებად იყოფა:

ალგიციდები და მოლუსკიციდები – წყალმცენარეებისა და მოლუსკების სანინაალმდეგო საშუალებები, რომლებიც ტბების, არხების, საცურაო აუზების და სხვა წყლის რეზერვუარების სანიტარული კონტროლისათვის გამოიყენება; ასეთივე ტიპის აგენტები გამოიყენება ნავეების, კატარლებისა და გემების წყალქვეშა ნაწილების დასაცავად, რათა ისინი არ დაიფაროს წყალმცენარეებით, მოლუსკებით და სხვა წყლის ორგანიზმებით;

აკარიციდები ანუ მიტიციდები – გამოიყენება ტკიპების სანინაალმდეგოდ;

ატრაქტანტები – პარაზიტების, მწერებისა და მღრღნელების მახეში მისატყუებელი საშუალებები;

ბაქტერიციდები, ბოიციდები, დეზინფექტანტები და სანიტაზერები – გამოიყენება ბაქტერიული დაავადებების გამომწვევი მიკროორგანიზმების გასანადგურებლად; დესიკანტები – ქიმიკატები, რომლებიც ახდენენ მცენარეული ქსოვილების გამოშრობას, მაგ., არასასურველი მცენარეების ფესვების გახმობას;

დეფოლიანტები – განკუთვნილია ფოთოლცვენის დასაჩქარებლად;

ინსექტიციდები – მავნე მწერებისა და სხვა ფეხსახსრიანების გასანადგურებელი საშუალებები;

მცენარეთა ზრდის რეგულატორები – მცენარეთა ზრდის, ყვავილობისა და რეპროდუქციის დამაჩქარებელი ქიმიკატები;

ნემატოციდები – მავნე ნემატოდებისაგან (მრგვალი ჭიებისაგან) დაცვის საშუალებები;

ოვიციდები – ქიმიკატები, რომლებიც ჭიებისა და მწერების კვერცხებს ანადგურებს;

რეპელენტები – მავნე მწერებისა (მაგ., მოსკიტების) და ფრინველების დასაფრთხობი საშუალებები;

როდენტიციდები – მღრღნელების სანინაალმდეგო საშუალებები;

ფერომონები – მწერების გამრავლების სანინაალმდეგო საშუალებები;

ფუმიგანტები – წარმოქმნიან გაზს ან ორთქლს, რომელიც შენობებში, სარდაფებში ან ნიადაგში მავნებლების გასანადგურებლად გამოიყენება;

ფუნგიციდები – სოკოვანი დაავადებებისა და დაობებისაგან დაცვის საშუალებები;

ჰერბიციდები – ქიმიკატები სარეველებისა და შხამიანი მცენარეების მოსასპობად.

პესტიციდების უაღრესად ფართო მოხმარება გარემოში მათი დიდი მასშტაბებით გავრცელებას იწვევს. სხვადასხვა პესტიციდებით დაბინძურებულია სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების უზარმაზარი ტერიტორიები, გრუნტის წყლები, წყალსატევები და ა.შ. პესტიციდების შემადგენელი ძირითადი ან მინორული კომპონენტები უმეტეს შემთხვევაში უაღრესად ტოქსიკურ ნაერთებს წარმოადგენენ და კვებით ჯაჭვში მოხვედრისას მრავალ დაავადებას იწვევენ (Kwong, 2004).

ქლორორგანული ინსექტიციდებიდან აღსანიშნავია: ქლორიდანი, ლიდანი, DDT და სხვ. ხსნარის სახით გამოყენებული ეს პესტიციდები, როგორც საჭმლის მიმწოდებელი სისტემიდან, ასევე კანიდან, ადვილად აღწევენ ორგანიზმში. მაღალი ლიპოფილურობის გამო ისინი ცხიმოვან ქსოვილში გროვდებიან, განჭოლავენ უჯრედის მემბრანას და აზიანებენ მას (Guttes et al., 1998).

DDT (დიქლორდიფენილტრიქლორეთანი) ინსექტიციდური მოქმედების მქონე უაღრესად აქტიური პრეპარატია. ცხიმში მაღალი ხსნადობის გამო კვებით ჯაჭვში გადაადგილებისას DDT -ს კონცენტრაცია მკვეთრად იზრდება, მაგალითად: როდესაც წვიმის წყალში გახსნილი DDT მცოხნავი ცხოველების გავლით დედის რძეში ხვდება, იგი მილიონჯერ კონცენტრირდება (Fellenberg, 1990). ნიადაგში მოხვედრილი DDT თიხაზე სორბირდება და ნემომპალაში გროვდება.

DDT ტიპური კონტაქტური შხამია, იგი კანიდან ძალიან სწრაფად აღწევს ორგანიზმში. ნერვულ სისტემაზე ზემოქმედების გამო DDT -ს მაღალი კონცენტრაცია კიდურების დამბლას იწვევს. ჩვეულებრივ პირობებში DDT ძალიან ნელა და არასრულად იშლება, აერობულ პირობებში კი DDT -ს დაშლის პროდუქტს დიქლორეთილენის წარმოებულები წარმოადგენენ, რომლებიც მასთან შედარებით ნაკლებ ტოქსიკურია. DDT -ს მსგავსად კონტაქტური შხამია ჰერბიციდი პარაქვატი. მისი გამოყენებისას დიდი სიფრთხილეა საჭირო, რადგან მოსი კანთან უბრალო შეხებაც კი ბუბტუკებისა და წყლულების გაჩენას იწვევს (Andersen, 2003).

1.5 ქლორორგანული ტოქსიკანტები

ქლოროორგანულ ტოქსიკანტებს მიეკუთვნება ქლორის შემცველი პესტიციდები, დიოქსინები, პოლიქლორირებული ბიფენილები და სხვ. ქლორშემცველი ნაერთების უმრავლესობა მაღალი ლიპოფილურობით გამოირჩევა, რის გამოც ისინი ადვილად გადიან უჯრედის მემბრანულ ბარიერს და თითქმის დაუბრკოლებლად აღწევენ სხვადასხვა ორგანოებში, მათ შორის ბირთვში და შეუქცევად ცვლილებებს იწვევენ.

გარემოს ქლორორგანული დაბინძურებლებიდან ყველაზე მაღალი ტოქსიკურობით დიოქსინები გამოირჩევიან (Fokin, Kolomiets 1985). ეს არის ნარეთთა ჯგუფი, რომლებიც პოლიქლორირებულ დიბენზოდიოქსიდებს და დიბენზოფურინებს აერთიანებს. დიოქსინების ძირითადი წყაროებია ქიმიური საწარმოები (Commoner, 1994). ქლორის ელექტროქიმიური წარმოებისას ქლორისა და ჰაერის უანგბადის ურთიერთქმედებისას წარმოიქმნება დიოქსინი, რომელიც მინარევის სახით შედის იმ გაზში, რომლითაც ხდება ქლორირება, ამიტომ წყლის ქლორირება ყველაზე მეტად იწვევს დიოქსინით დაბინძურებას. დიოქსინებით გარემოს დაბინძურების ინტენსივობის მიხედვით მეორე ადგილზე ცელულოზა-ქაღალდის წარმოებაა. გარემოში დიოქსინების ემისიის წყაროა აგრეთვე შემდეგი პროცესები: საყოფაცხოვრებო ნაგვის წვა, ავტომანქანების გამონაბოლქვი და ა.შ.

დიოქსინები, სხვა პოლიქლორირებული ნაერთების მსგავსად, გარემოში ბიოტური და აბიოტური გარდაქმნების მიმართ ძალიან მაღალი მდგრადობით გამოირჩევიან. ამის გამო ისინი ძნელად ექვემდებარებიან ბიოდეგრადაციას. მათი სრული მინერალიზაცია შესაძლებელია მხოლოდ ანაერობულ და აერობულ მიკროორგანიზმების ერთობლივი მოქმედების შედეგად. დადგენილია, რომ ზოგიერთ მიკროორგანიზმს აქვს ამ ტოქსიკანტის დაშლის უნარი (Bunge et al., 2003; Ellis et al., 2003). ასეთია ანერობული ბაქტერია *Dehalococcus* sp., რომელიც აღდგენითი დეჰალოგენირების გზით დიოქსინის მოლეკულას ქლორის ატომებს ამორებს. დიოქსინებს უძლიერესი კანცეროგენული ეფექტი გააჩნიათ. კანზე მოხვედრისას ისინი იწვევენ ქლორაკნეს, რის შედეგადაც კანზე შეუხორცებელი წყლულები ჩნდება.

1.6. ქლორირებული ალკანები და ალკენები

ნახშირწყალბადების ტოქსიკური წარმოებულებიდან განსაკუთრებით აღსანიშნავია ქლორჩალაცვლებული ალკანები და ალკენები, როგორცაა: ტეტრაქლორმეთანი, დიქლორმეთანი, ქლოროფორმი, ვინილქლორიდი, ტრიქლორეთილენი და ა.შ. (Korte et al., 1992). ქლორალკანები და ქლორალკენები ადვილად აქროლადი ნაერთებია, მათი წყალში ხსნადობა გაცილებით უფრო მაღალია, ვიდრე შესაბამისი ნახშირწყალბადების. ამ ნაერთებს შეუძლიათ გააღწიონ ბეტონის კედლებში და ამ გზით დააბინძურონ გრუნტის წყალი. ლიპოფილური თვისებების გამო ეს ტოქსიკანტები ცხოველთა ცხიმოვან ქსოვილებში გროვდება, საიდანაც კვებით ჯაჭვში ერთვება (Fellenberg, 1990). ტეტრაქლორმეთანი ანუ ოთხქლორიანი ნახშირბადი უმთავრესად ცხიმების გამხსნელად გამოიყენება. აერობულ პირობებში ჰაერზე და წყალსატევების ზედა ფენებში, სადაც წყალი უანგბადით მდიდარია, ტეტრაქლორმეთანი ძალიან მაღალ მდგრადობას ამჟღავნებს და მისი ნახევრადდაშლის პერიოდი 60-100 წელია, ხოლო უანგბადით ღარიბ გარემოში, მაგალითად, ფსკერის დანალექსა და ლამში, ანაერობული მიკროორგანიზმები ტეტრაქლორმეთანს 14-16 დღის განმავლობაში ითვისებენ. ადამიანის ჯანმრთელობისათვის საფრთხეს ღვიძლში მიმდინარე ტეტრაქლორმეთანის გარდაქმნის პროდუქტი წარმოადგენს Smeltzer, Bare, 1996). ღვიძლზე ტოქსიკურ ზემოქმედებას ახდენენ ქლორირებული ალკენებიც მაგალითად: ტრიქლორეთილენი. ის ფართოდაა გავრცელებული ჰაერში, ჩამდინარე წყლებსა და ნიადაგში. აერობულ პირობებში ისიც საკმაოდ მდგრადია _ ნიადაგში ტრიქლორეთილენი შეიძლება რამდენიმე თვის განმავლობაში იმყოფებოდეს (Fellenberg, 1990). დადგენილია რომ ტირიფი, ვერხვი, იონჯა, სამყურა, სორგო და სხვა მცენარეები აქტიურად შთანთქავენ ნიადაგიდან ტრიქლორეთილენს, რის შედეგადაც ტოქსიკანტის 10-15% მინერალიზდება (Kassel et al., 2002).

1.7. ზედაპირულად აქტიური ნაერთები

ზედაპირულად აქტიური ნაერთები, რომლებსაც ტენზიდებს და დეტერგენტებსაც უწოდებენ, წყლის ყველაზე მნიშვნელოვან დამაბინძურებლებს წარმოადგენენ. ტენზიდები ამცირებენ წყლის ზედაპირულ დაჭიულობას, რაც ქაფის წარმოქმნას

ინვევს, ამიტომ ისინი სარეცხი საშუალებების ძირითადი კომპონენტებად გამოიყენება. ქიმიური თვალსაზრისით ზედაპირულად აქტიური ნაერთები სხვადასხვა კლასის ნივთიერებებს წარმოადგენენ, რომლებისთვისაც დამახასიათებელია ჰიდროფილური და ჰიდროფობული უბნების არსებობა (Fellenberg, 1990 Fellenberg, 1990 Fellenberg, 1990). ჰიდროფილური უბანი შეიძლება შექმნას როგორც მუხტის მქონე, ასევე ნეიტრალურმა რადიკალმა. ამის მიხედვით არჩევენ იონურ და არაიონურ დეტერგენტებს.

ზედაპირულად აქტიური ნაერთების მიმართ საყოფაცხოვრებო და სამრეწველო მოთხოვნილება ძალიან დიდია. ამ ნაერთების ფართო გამოყენებამ ქალაქის მდინარეებსა და წყალსატევებში ქაფის დაგროვება გამოიწვია, რაც უარყოფითად მოქმედებს გარემოს ეკოლოგიურ მდგომარეობაზე (Zhu et al., 1998). ტენზიდების მაღალი ტოქსიკურობა თევზებისა და სხვა ჰიდრობიონტების მასიურ განადგურებას იწვევს. ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები მხოლოდ თავისი ტოქსიკურობით არ აყენებენ ზიანს გარემოს. მდინარის წყალში ტენზიდების დაბალი კონცენტრაციაც კი საკმარისია, რომ მოხდეს ფსკერის დანალექებიდან და ლამიდან სხვა ტოქსიკური ნაერთების გახსნა და გააქტიურება. ყოველივე ამის ტოქსიკურობის გამო საჭირო გახდა შექმნილიყო ისეთი ტენზიდები, რომლებიც გარემოში მოხვედრის შემდეგ ადვილად დაიშლებიან უვნებელ ნაერთებად (Tolls et al., 1997). ასეთი თვისებებით კი ის ტენზიდები ხასიათდება, რომლებიც არაგანშტოებულ, ჰიდროფობულ ჯაჭვს შეიცავს.

2 ტოქსიკური ნაერთები წყალში

წყალში ქიმიური დამაბინძურებლების დიფუზია საკმაოდ სწრაფად მიმდინარეობს, ამიტომ ტოქსიკანტი მასში სწრაფად ვრცელდება და ზავდება, რის შედეგადაც ბინძურდება არამართო ცალკეული წყალსატევები, არამედ ზღვები და ოკეანეები (Fellenberg, 1990). ზღვის ეკოსისტემებს განსაკუთრებულ ზიანს აყენებს ნავთობის ნახშირწყალბადებით დაბინძურება.

სადღეისოდ, აშშ-ის ეროვნული მეცნიერებათა აკადემიის მონაცემების მიხედვით, ერთ წელიწადში მსოფლიო ოკეანეში საშუალოდ 1.3 მილიონი ტონა ნავთობი და

ნავთობპროდუქტები ხვდება (Natural Resource Council Committee on Oil in the Sea 2003).

გარემოში ნავთობი შემდეგი გზებით ვრცელდება:

- ოკეანეში მოხვედრილი ნავთობის საერთო რაოდენობის თითქმის ნახევარი ბუნებრივად გაიჟონება წყალქვეშა შლეიფებიდან; ამას ემატება ღია ოკეანეში ჩატარებული ნავთობ-მოპოვებითი სამუშაოების, კერძოდ, ჭაბურღილების ბურღვის დროს ნავთობის დანაკარგები.
- ნავთობის დიდი რაოდენობა ოკეანეში ვრცელდება საზღვაო ტანკერებში ნავთობის ჩატვირთვისა და გადმოტვირთვის ოპერაციების შედეგად. საქმე იმაშია, რომ როდესაც ტანკერი ნავთობს დაცლის, მას ავსებენ ზღვის წყლით, რომელიც ბალასტის როლს ასრულებს გემის ბალანსირებისათვის უკან დაბრუნების დროს. ცხადია, გადმოტვირთვის შემდეგ ტანკერის რეზერვუარში რჩება ნავთობის გარკვეული ნაწილი, რომელიც ტანკერის გზაში ყოფნის დროს ბალასტურ წყალს ერევა და მასთან ემულსიას ქმნის. როდესაც ტანკერი ნავთობის ახალი პარტიის ჩასატვირთად ნავსადგურს უბრუნდება, ბალასტი ნავთობის ემულსიასთან ერთად ნაპირთან ახლოს, ღია ზღვაში იღვრება.
- ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების მნიშვნელოვანი რაოდენობა იღვრება გარემოში ტანკერების, ცისტერნებისა და სხვა რეზერვუარების განმენდისა და გამორეცხვისას.
- ტანკერების ავარიები ხშირად ხდება ოკეანეში ნავთობის დიდი რაოდენობით დაღვრის მიზეზი, რასაც უამრავი ფაქტი ადასტურებს. მაგ., 2002 წლის ნოემბერში ბისკაის ყურეში ტანკერ "პრესტიჟის" ავარიის შედეგად ოკეანეში დაახლოებით 40 ათასი ტონა ნედლი ნავთობი დაიღვარა.
- ნავთობსადენებიდან გაჟონილი ან ავარიის შედეგად დაღვრილი ნავთობი, სიბლანტის მიუხედავად, ღრმად ჩადის ნიადაგში, აღწევს გრუნტის წყლებს და საბოლოოდ მსოფლიო ოკეანეში ხვდება.
- ნედლი ნავთობის გადამუშავების ნარჩენები და ნავთობპროდუქტები სწრაფად ვრცელდება ჩამდინარე და გრუნტის წყლებით, აგრეთვე მდინარეებით.
- თვითმფრინავების მიერ ოკეანეში საწვავის დაღვრა _ არცთუ იშვიათია ისეთი შემთხვევა, როდესაც მფრინავები დაშვების წინ ოკეანეში ღვრიან დიდი რაოდენობით

ზედმეტ სანვავს, რათა შეამსუბუქონ თვითმფრინავი და გაიადვილონ დაჯდომა. ამით განსაკუთრებით ხშირად სამხედრო თვითმფრინავები სარგებლობენ ავიაშიზდზე დატრენის წინ.

ნედლი ნავთობი შეიცავს ასამდე სხვადასხვა ქიმიურ კომპონენტს, რომელთა ქიმიური შემცველობა ფართო საზღვრებში მერყეობს და ძირითადად ნავთობის საბადოს ადგილსამყოფელზეა დამოკიდებული. ნავთობის დაახლოებით 75%-ს ნახშირწყალბადები შეადგენს, ხოლო დანარჩენი ნაწილი წარმოადგენს ნახშირწყალბადების წარმოებულებს, რომლებიც შეიცავენ გოგირდს, აზოტსა და უანგბადს. ნავთობის ნახშირწყალბადები შედგება ალკანების, ციკლოპარაფინების (ნაფთენების), არომატული და ნაფთენო-არომატული ნახშირწყალბადებისაგან (Stoker, Seager, 1982).

ნავთობის მასის საშუალოდ 10_30%-ს პარაფინები შეადგენენ. ნავთობის ნ-პარაფინების ჯაჭვის სიგრძემ შეიძლება ნახშირბადის 43 ატომს მიაღწიოს. ასეთია ნ-ტრიტეტრაკონტანი $C_{43}H_{88}$. უფრო ხშირად გვხვდება C_6-C_{25} ალკანების განშტოებულ-ჯაჭვიანი იზომერები, რომლებიც ძირითადად ერთ- და ორნახშირბადიან გვერდით რადიკალებს შეიცავენ (Stoker, Seager, 1982).

ნაფთენები ნავთობში 30_60%-ს წარმოადგენენ. მათი უმრავლესობა მონოციკლურია (მაგ., ციკლოპენტანი და ციკლოჰექსანი), მაგრამ ცალკეული სახის ნედლ ნავთობში პოლიციკლური ნაფთენებიც გვხვდება.

ბენზოლისა და ნაფტალინის რიგის ნახშირწყალბადები ნავთობში წარმოდგენილია 5%-მდე (მასის მიხედვით), დაახლოებით ასეთივე მასური წილი აქვთ პოლიციკლურ არომატულ ნახშირწყალბადებს, რომლებიც ნავთობის მაღალმდუღარე (240_400 K) ფრაქციის ძირითად ნაწილს შეადგენენ. ნაფთენო-არომატული ნახშირწყალბადები, რომლებიც გაჯერებულ და არომატულ ციკლებს შეიცავენ, ნავთობში წარმოდგენილი არიან C_9-C_{25} ნახშირწყალბადების სახით და საერთო მასის 5_30%-ს შეადგენენ.

ნავთობის ე.წ. "ნარჩენი" ფრაქცია, რომლის დუღილის ტემპერატურაა $400^{\circ}C$, შედგება კონდენსირებული ჰეტეროციკლური ბირთვებისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებულია მოკლე ნ-პარაფინების ჯაჭვებით.

ოკეანეში მოხვედრის შემდეგ ნავთობი იწყებს გადაადგილებას ქარის, ზღვის დინებების, მიქცევის და მოქცევის გავლენით. ჰიდროფობულობის და დაბალი სიმკვრივის გამო ნავთობი წყლის ზედაპირზე წარმოქმნის თხელ აფსკს ლაქების სახით. ნავთობის ყველა სახეობა შეიცავს დაბალ-მდუღარე კომპონენტებს, რომლებიც სწრაფად ორთქლდებიან. რამდენიმე დღის განმავლობაში ნავთობის ლაქის დაახლოებით მეოთხედი აორთქლების შედეგად ქრება. გარდა ამისა, დაბალმოლეკულური კომპონენტების ნაწილი წყალში იხსნება და ამ გზით გამოეყოფა ნავთობის ლაქებს. ამასთან, არომატული ნახშირწყალბადები უფრო მაღალი ხსნადობით ხასიათდებიან, ვიდრე ნ-პარაფინები. ამ პროცესების შედეგად ნავთობის ლაქაში მხოლოდ ძნელად აქროლადი კომპონენტები რჩება. ისინი ერთდებიან გროვებად, რომლებიც თანდათან ფსკერზე ილექებიან, ან ფისოვანი ბურთულების სახით დაცურავენ წყლის ზედაპირზე და საბოლოოდ ზღვებისა და ოკეანეების სანაპირო ზონებში აღმოჩნდებიან. ოკეანეების ეკოსისტემაზე ნავთობში შემცველი კომპონენტების მოქმედება ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში მიმდინარეობს. ნავთობის მცირე რაოდენობაც საკმარისია, რომ სერიოზულად დაირღვეს ზღვებისა და ოკეანეების უნიკალური და მრავალფეროვანი ცოცხალი სამყარო. ცნობილია, რომ ნავთობის ერთი მემილიონედი მასური წილი ნავთობის შემცველობის დროსაც კი წყალი სასმელად უვარგისი ხდება. ნავთობის ლაქები წყლის ზედაპირზე დროთა განმავლობაში წარმოქმნიან ნავთობისა და წყლის შემცველ ემულსიურ ფენას, რომელიც ნაწილობრივ აფერხებს აირების მიმოცვლას წყალსა და ჰაერს შორის. ყველა ცოცხალი ორგანიზმი ასეთი ფენის ქვეშ ანაერობულ პირობებში იმყოფება და იგუდება. სუნთქვისას მათ უჯრედებში გროვდება H_2O_2 , რაც იწვევს აციდოზს, ე.ი. უჯრედული სითხის შემუაგებას (Квеситадзе и др., 2005).

ცოცხალი ორგანიზმების ნავთობით ან ნავთობპროდუქტებით შემოგარსვის ეფექტი ამ ტიპის დაბინძურების ყველაზე მაგნი შედეგია. ზღვის მოქცევის ზონაში ნავთობპროდუქტებით შემოიგარსება და ამ მიზეზით ილუპება უამრავი მცენარე, პლანქტონი და ფრინველი. ოკეანეში დაღვრილი ნავთობი განსაკუთრებით დიდ ზიანს ფრინველებს აყენებს. ნავთობით ფრინველების ფრთების დაფარვა, რასაც "ნავთობის

ჭირს" უწოდებენ, პრაქტიკულად ყოველთვის ფრინველის დალუპვას იწვევს, რადგან ასეთ მდგომარეობაში ფრინველს უჭირს ფრენა, ირღვევა სითბოიზოლაცია და ხდება ორგანიზმის გადაცივება. დალუპვის მიზეზი შეიძლება აგრეთვე გახდეს ნავთობის კომპონენტებით მოწამვლა, როდესაც ფრთების განმნდის მცდელობის დროს ფრინველები უნებლიედ ყლაპავენ ნავთობს. გარდა ამისა, კვერცხებზე ნავთობის მოხვედრისას ნადგურდება ემბრიონები (პაპუნძე და თანაავტ., 2005).

ნავთობს ცოცხალი ორგანიზმისთვის ზიანის მოტანა არა მარტო უშუალო კონტაქტის დროს შეუძლია. განსაკუთრებით სახიფათოა წყალში თითქოს უმნიშვნელო რაოდენობით გახსნილი არომატული და პოლიციკლური ნახშირწყალბადები, რომლებიც მაღალი ლიპოფილურობის გამო ადვილად აღწევენ წყლის ბინადართა ორგანიზმში. უნდა აღინიშნოს, რომ ძალიან დაბალი (10-7% რიგის) კონცენტრაციისას ეს ტოქსიკანტები ზღვის ორგანიზმებში არასასურველ ცვლილებებს იწვევენ; 10-6_10-5% რიგის კონცენტრაციების დროს გამოიხატება მათი ფიზიოლოგიური აქტივობის დაქვეითება; 10-4_10-2% კონცენტრაციები ლეტალურ დოზას წარმოადგენს მატლების, ჭუპრების, თავკომბალების, ლავრების, ლიფსიტების, ზღვის უხერხემლოების, ხამანკების, კრევეტების, ლოკოკინებისა და თევზებისათვის; 10-2-10-1% კონცენტრაციას კი მხოლოდ ზოგიერთი ზღვის მცენარე უძლებს (Fellenberg, 1990).

ნავთობის ლაქის შემადგენლობა მუდმივად იცვლება მისი კომპონენტების დაშლისა და ტრანსფორმაციის გამო. ნავთობის ნახშირწყალბადებმა შეიძლება განიცადონ დეგრადაცია ქიმიური უანგვისა და ფოტოუანგვის შედეგად, მაგრამ მათ დაშლას ძირითადად მიკროორგანიზმები აწარმოებენ. არც ერთ ტაქსონომიურ ჯგუფში არ არსებობს მიკროორგანიზმების ისეთი უნივერსალური სახეობა, რომელსაც ნედლი ნავთობის ყველა კომპონენტების ასიმილირება შეუძლია. პარაფინები მიკრობიოლოგიურ დესტრუქციას გაცილებით ადვილად განიცდიან, ვიდრე ციკლოპარაფინური და არომატული ნახშირწყალბადები. მიკროორგანიზმების ცალკეული შტამების მოქმედება ხასიათდება გარკვეული სელექტიურობით, ამიტომ ნავთობის კომპონენტების სრული დესტრუქციისათვის საჭიროა მიკროორგანიზმების სხვადასხვა ტაქსონომიური ჯგუფების წარმომადგენლების მთელი კონსორციუმის

მონაწილეობა, რაც ზღვის მარილიან წყალში პრაქტიკულად განუხორციელებადია. ნავთობის ნახშირწყალბადების ბაქტერიული დაშლის შედეგად უფრო ხშირად წარმოიქმნება დაბალმოლეკულური შუალედური პროდუქტები, რომლებიც ნახშირწყალბადებთან შედარებით წყალში უკეთესად იხსნებიან. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ზოგიერთი მათგანი (სპირტები, ალდეჰიდები და სხვ.) მაღალი ტოქსიკურობით ხასიათდება, ამიტომ ასეთი ნაერთები გარკვეულ საფრთხეს უქმნიან ზღვის ორგანიზმებს. ნავთობის მიკრობიოლოგიური დაშლის პროცესებზე გავლენას ახდენენ ტემპერატურა, წყალში ჟანგბადის პარციალური წნევა და ა.შ. გამოანგარიშებულია, რომ 1 ლ ნედლი ნავთობის სრული ჟანგვისათვის საჭიროა იმდენი ჟანგბადი, რამდენსაც 375 ტონა ზღვის წყალი შეიცავს (Stoker, Seager, 1982).

3 ფიტორემედიაციული მეთოდები

ფიტორემედიაცია (ფიტო – მცენარე, რემედიაცია – ზარალის ანაზღაურება, შეცდომის გამოსწორება) შედარებით ახალი ტერმინია. დღეისათვის ფიტორემედიაცია წარმოადგენს ეკოლოგიურ ბიოტექნოლოგიას, რომელიც მცენარეებისა და მიკროორგანიზმების საშუალებით ნიადაგიდან, გრუნტის წყლებიდან და წყალსატევებიდან ტოქსიკური ნაერთების მოცილების საშუალებას იძლევა (Kvesitadze et al., 2006). ფიტორემედიაცია მოიცავს რამდენიმე მეთოდს. ესენია (EPA, 2000; 2001): ფიტოექსტრაქცია – ნიადაგიდან მძიმე მეტალების მოცილება მცენარეების საშუალებით; რიზოფიტორაცია – გრუნტის წყლებიდან და წყალსატევებიდან მცენარეების საშუალებით მძიმე მეტალების მოცილება; ფიტოდეგრადაცია – ნიადაგიდან და წყლიდან მცენარეების საშუალებით ორგანული დამაბინძურებლების შთანთქმა და მათი მეტაბოლიზირება უვნებელ ნაერთებად; რიზოდეგრადაცია – ნიადაგის ორგანული დამაბინძურებლების შთანთქმა და გაუვნებელყოფა მათი დეგრადაციის გზით, რომელშიც დიდი წვლილი შეაქვთ მცენარის ფესვებს;

ფიტოვოლათიზაცია – ანუ მცენარით აორთქლება, რაშიც ნიადაგისა და წყლის გასასუფთავებლად მაღალი ტრანსპირაციული უნარის მქონე მცენარეები გამოიყენება; ჰიდრაულიკური კონტროლი – ეს მეთოდიც მაღალი ტრანსპირაციულობის მქონე მცენარეების განაშენიანებას გულისხმობს;

ვეგეტაციური საფარი სისტემების შექმნა – გამოიყენება პერმანენტული დაბინძურების კერებში და ზღუდავს დამაბინძურებლების გავრცელებას ნიადაგის სიღრმეში.

გარემოს გასუფთავების სხვა მეთოდებთან შედარებით ფიტორემედიაციას დიდი უპირატესობა გააჩნია. ეს უპირატესობა რამდენიმე ასპექტში ვლინდება (პაპუნიდე და თანაავტ., 2005):

1. ფიტორემედიაცია წარმატებით შეიძლება იქნას გამოყენებული ნებისმიერი ტიპის ქიმიური დაბინძურების შემთხვევაში. ფიტორემედიაციის სხვადასხვა მეთოდების საშუალებით გარემოდან შეიძლება მოცილებულ იქნას პრაქტიკულად ყველა ტოქსიკური დამბინძურებელი.

2. ფიტორემედიაცია უნივერსალურია არამარტო ქიმიური ნაერთების, არამედ გასასუფთავებელი ობიექტების მიმართაც, ვინაიდან მცენარეს შეუძლია ტოქსიკური ნაერთების შთანთქმა როგორც ნიადაგიდან, ასევე წყლიდან და ჰაერიდანაც.

3. ფიტორემედიაცია უშუალოდ დაბინძურებულ უბანში, *in situ* (ე.ი. ადგილზე) პირობებში ხორციელდება, რაც ნიადაგის თავისებურებების (სტრუქტურა, რიზოსფეროს შედგენილობა, ფორიანობა, ტენიანობა და ა.შ.) მაქსიმალური შენარჩუნების საშუალებას იძლევა. სხვა რემედიაციული ტექნოლოგიები ძირითადად *ex situ* პირობებში ტარდება – საჭიროა ნიადაგის ექსკავაცია, ტრანსპორტირება, სპეციალურ ბიორეაქტორებში ჩატვირთვა ან ნაკვეთებში განთავსება და ა.შ. ცხადია, ნიადაგის ამგვარი გადამუშავებისას არ ხდება მისი სრულფასოვანი აღდგენა, რადგან ამ პროცესების დროს მნიშვნელოვნად ირღვევა ნიადაგის სტრუქტურა, რის ჩამოყალიბებასაც წლები სჭირდება. გარდა ამისა, თითოეული ოპერაცია დამატებით ხარჯებს მოითხოვს, რაც მნიშვნელოვნად აძვირებს ტექნოლოგიის თვითღირებულებას.

4. ფიტორემედიაცია გაცილებით ეკონომიური და მომგებიანია სხვა ტიპის ტექნოლოგიებთან შედარებით. გამოანგარიშებულია, რომ ერთი და იგივე ობიექტის გასასუფთავებლად ფიტორემედიაციული ტექნოლოგიის გამოყენებისას სულ ცოტა, 4-ჯერ უფრო ნაკლები ხარჯია საჭირო, ვიდრე სხვა მეთოდებით სარგებლობისას. ეკონომიკური ეფექტი ზოგიერთ შემთხვევაში შეიძლება გაცილებით უფრო მაღალიც იყოს. მაგ., ვერცხლისწყლით 50 სმ სიღრმეზე დაბინძურებული 1 აკრი (0.4 ჰა) ნიადაგის გასუფთავებისათვის, რაც მოიცავს ნიადაგის ექსკავაციას, გარეცხვას და შემდეგ ადგილზე დაბრუნებას, საჭიროა 400 ათასიდან _ 1 700 ათასამდე ამერიკული დოლარი, ხოლო იგივე ფართობზე ფიტორემედიაციული მეთოდის გამოყენება გაცილებით ნაკლები – მხოლოდ 60 ათასიდან _ 100 ათასამდე ამერიკული დოლარი იხარჯება. ზოგიერთ შემთხვევაში ეკონომიკური ეფექტი კიდევ უფრო მაღალია, მაგ., ძალზე ძვირადღირებულია ვიტრიფიკაციის ტექნოლოგია, რომელიც გამოიყენება მძიმე მეტალების ან რადიონუკლიდების მაღალი კონცენტრაციებით ნიადაგის დაბინძურების შემთხვევაში. ამ დროს საჭიროა ძალიან მაღალი ტემპერატურა (3000–5000°C), რომ მოხდეს ნიადაგის დაბინძურებული ნაწილის ერთ მთლიან მასად შელღობა. შემდეგ ამ მასას აცილებენ დაბინძურებულ უბანს და შედარებით უსაფრთხო ადგილას ინახავენ ან მარხავენ. თუ იგივე დაბინძურების შემთხვევაში ფიტორემედიაციას მიმართავენ, პროცესის თვითღირებულება მინიმუმ 1000-ჯერ იაფდება.

5. ფიტორემედიაცია თავისი არსით ერთდროულად რემედიაციულ, პროფილაქტიკურ და პრევენციულ ღონისძიებას წარმოადგენს, რადგან მისი საშუალებით შესაძლებელია არამართო აღვადგინოთ ქიმიურად დაბინძურებული გარემო, არამედ ხანგრძლივი დროით შევზღუდოთ ან საერთოდ ავიცილოთ თავიდან დაბინძურების კერებიდან ტოქსიკური ნაერთების გავრცელება. გარდა ამისა, მწვანე საფარის მიზანმიმართული განაშენიანება იცავს ნიადაგს გამოფიტვისა და ეროზიისაგან.

3.1 რიზოფილტრაცია

რიზოფილტრაციას ძირითადად იყენებენ გრუნტის, ზედაპირული ჩანარეცხი და ჩამდინარე წყლების, ასევე ბუნებრივი და ხელოვნური წყალსატევების გასასუფთავებლად. ეს მეთოდი ძირითადად მძიმე მეთალებით და რადიონუკლიდებით დაბინძურებული გარემოს გასასუფთავებლად გამოიყენება. რიზოფილტრაციის არსს მცენარის მიერ ხსნარში არსებული დამაბინძურებლის აღსორბაცია ან მის ფესვებზე მექანიკური დალექვა წარმოადგენს. მცენარეში ნაერთის შემდგომი შეღწევა და ტრანსლიკაცია როგორც წესი ძალიან მცირე რაოდენობით ხდება. ამ ტექნოლოგიის უპირატესობა იმაში მდგომარეობს რომ იგი ძალიან იაფია, რიზოფილტრაციაში გამოყენებული მცენარეები მრავალგვარია, უპირატესობა ენიჭება გრილ და თბილი სეზონის, ტენის მოყვარულ ხმელეთის მცენარეებს, რომლებსაც აქვთ სწრაფად მზარდი ფესვები, ფართო ფოთლები და ა.შ. ხშირად გამოიყენება აგრეთვე ჭაობის მცენარეები, ხავსები, წყალმცენარეები, წყლის მცენარეები და სხვ. (პაპუნძე და თანაავტ., 2005).

რიზოფილტრაციის ტექნოლოგიის უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ იგი ძალიან იაფია _ 1000 ლ დაბინძურებული წყლის გასუფთავება სულ 1-3 ამერიკული დოლარი ჯდება (Dushenkov, 1997). განსაკუთრებით ეფექტურია ე.წ. "ფლოტის" მეთოდი, როდესაც წყლის გასასუფთავებლად იყენებენ ხმელეთის მცენარეებს, რომლებიც სპეციალურ მოტივტივე პლატფორმაზეა მოთავსებული და მისი საშუალებით დაცურავენ წყლის ზედაპირზე. რიზოფილტრაციის ეს მეთოდი, რომელშიც ძირითად კულტურას მზესუმზირა წარმოადგენდა, წარმატებით იქნა გამოყენებული ჩერნობილის კატასტროფის შემდეგ რადიონუკლიდებით დაბინძურებული წყალსატევების გასასუფთავებლად (EPA, 2001).

3.2. ფიტოდეგრადაცია

ფიტოდეგრადაცია, ანუ ფიტოტრანსფორმაცია, ერთ-ერთ ძირითად და მნიშვნელოვან ფიტორემედიაციულ ტექნოლოგიას წარმოადგენს. იგი დაფუძნებულია მცენარის უნარზე და ცალკეული ფერმენტებისა და ფერმენტული სისტემების

საშუალებით მოახდინოს შეთვისებული ორგანული დამბინძურებლის დეგრადაცია და მეტაბოლიზება. მცენარის მიერ გარემოდან შეთვისებული ტოქსიკური ორგანული ნაერთი მცენარისათვის დამახასიათებელ მეტაბოლურ გარდაქმნებს განიცდის. ქსენობიოტიკის ტრანსფორმაცია უანგვის, ალდგენის ან ჰიდროლიზის გზით იწყება, რაც საბოლოოდ კონიუგატების სახით მისი უტილიზაციით ან მინერალიზაციით მთავრდება.

ფიტოდეგრადაციული ტექნოლოგია ფართოდ გამოიყენება დიდი ფართობების გასასუფთავებლად ისეთი ორგანული დამბინძურებლებისაგან, როგორებიცაა: პენტაქლოროფენოლი, სხვადასხვა კლასის ჰერბიციდები, ფეთქებადი ნიტრო-ნაერთები, პოლიციკლური არომატული ნახშირწყალბადები და ა.შ. ზოგიერთ შემთხვევაში მცენარის მიერ ტრანსფორმირებული ნაერთის ინტერმედიადი, შესაძლოა, უფრო მეტად ტოქსიკურიც კი იყოს, ვიდრე თვით ქსენობიოტიკია (მაგ., პენტაქლოროფენოლის უანგვის ერთ-ერთი პირველადი პროდუქტი – ტეტრაქლორკატეხინი), ამიტომ ამ ფაქტორს არსებითი მნიშვნელობა აქვს რემედიაციული ტექნოლოგიის შემუშავებისას (ჰაპუნიძე და თანაავტ., 2005).

განხილული ტექნოლოგიის გამოყენებისას დიდი მნიშვნელობა აქვს მორწყვის ფაქტორს. ორგანული ტოქსიკანტის ფესვებზე აღსორბცია ხელს უშლის მის მცენარეში შენთვის, რის გამოც სასურველია ხშირი მორწყვა, რათა მოხდეს ფესვების გარეცხვა. გარდა ამისა, ორგანული ნაერთები წყალთან ერთად შეიწოვება, ამიტომ ბუნებრივია, რაც უფრო მეტ წყალს იწოვს მცენარე, უფრო ინტენსიურად ხდება გარემოს გასუფთავება დამბინძურებლისაგან.

ფიტოდეგრადაციაში გამოყენებული მცენარეები გამოირჩევიან დეტოქსიკაციაში მონაწილე ფერმენტების (მონოოქსიგენაზების, პეროქსიდაზების, ფენოლოქსიდაზების, ნიტრორედუქტაზების, ესთერაზების და ა.შ.) მაღალი აქტივობით. ამ მცენარეებს შორის ხშირადაა როგორც მერქნიანი მცენარეები, ასევე ბალახოვნები, წლის მცენარეები და წყალმცენარეები (Kvesitadze et al., 2006). ამის მიხედვით ფიტოდეგრადაციის ცალკეული მეთოდებია ფიკორემედიაცია (ფიკოს – წყალმცენარე) (Dresback et al., 1997) და დენდრორემედიაცია (დენდროს – ხე-მცენარე) (Schoenmuth, Pestemer, 2004).

ფიტოდეგრადაციის ტექნოლოგიურ რეგლამენტში, როდესაც საჭიროა რამდენიმე სახეობის ერთობლივი ვეგეტაცია, აუცილებლად ითვალისწინებენ ე.წ. ალელოპათიურობას – ზოგიერთი სახეობის მცენარეთა ზრდის ინჰიბირებას სხვა სახეობის მცენარეთა მიერ პროდუცირებული ქიმიური ნაერთებით (EPA, 2000). ალელოპათიური ეფექტი შეიძლება გამოიწვიოს მცენარეთა ნარჩენებმაც, რომლებიც შერეულია ნიადაგთან ნაყოფიერების გაზრდის მიზნით. მაგ., თალგამურას ფესვის, ღეროს და ფოთლის ნარჩენი აინჰიბირებს სიმინდის, ხორბლის და ქერის ზრდას. ალელოპათიურობა შეიძლება იყოს საკვანძო ფაქტორი ფიტორემედიაციისათვის ცალკეული მცენარეული სახეობების ვარგისიანობის განსაზღვრისას. გარდა ამისა, მცენარის მიერ პროდუცირებული ალელოპათიური ქიმიური ნაერთები, ასევე მცენარის ფესვების ექსუდატები გავლენას ახდენენ რიზოსფეროში მიმდინარე ნიადაგის დამბინძურებლების მიკრობულ მეტაბოლიზმზეც. ფიტოდეგრადაციის მეთოდის ეფექტურობისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს რიზოსფეროს მიკროორგანიზმთა აქტიურ დეგრადატორულ მოქმედებას. თანამედროვე ფიტორემედიაციულ ტექნოლოგიაში უკვე იწერება ისეთი მეთოდები, რომლებიც დაფუძნებულია მიკროორგანიზმთა და მცენარეთა ერთობლივ მოქმედებაზე. მიკროორგანიზმები პირველი უტევენ ტოქსიკური ნაერთების ისეთ ჯგუფებს, რომლებიც მცენარეებში ძნელად გარდაიქმნიებიან მაგ., წითელბალახა აქტიურად იწოვს და ადვილად გარდაქმნის TNT -ს მეტაბოლიტებს, რომლებიც ნაწილობრივ გარდაქმნილია შტამის მიერ (Siciliano et al., 2000). მცენარისა და მიკროორგანიზმის ასეთი კონსორციუმების ძიება და შექმნა თანამედროვე ფიტორემედიაციის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს მიმართულებას წარმოადგენს. ამ მხრივ ძალზე პერსპექტიულია სიმბიოზური მცენარეებისა და მიკროორგანიზმების გამოყენება.

3.3. რიზოდეგრადაცია

მცენარე შეიძლება არაპირდაპირი გზითაც მონაწილეობდეს ფიტორემედიაციულ პროცესში. ამის თვალსაჩინო მაგალითს რიზოდეგრადაცია წარმოადგენს, როდესაც ტოქსიკანტის დაშლა რიზოსფეროს მიკროორგანიზმების მიერ ხორციელდება. ფესვთა

სისტემა ხშირად ოპტიმალურ პირობებს ქმნის მიკროორგანიზმების გამრავლებისათვის რიზოსფეროში, ანუ ფესვთა ზონაში. აქ აქტიური კომპონენტის როლს ასრულებენ ფესვის ექსუდატები (გამონაყოფები), რომლებიც შეიცავენ ფერმენტებს, შაქრებს, ამინომჟავებს, ორგანულ მჟავებს, ცხიმოვან მჟავებს, ზრდის სტიმულატორებს, ნუკლეოტიდებს, ფლავონებს, ქინონებს და სხვ. ეს ნაერთები რიზოსფეროს მიკრობთა პოპულაციებისათვის საკვებ არეს წარმოადგენს და მათ ზრდა-განვითარებას ასტიმულირებს. გარდა ამისა, ექსუდატების ფერმენტები – ლაკაზები, დეჰალოგენაზები, დეჰიდროგენაზები, ნიტრო-რედუქტაზები, ნიტრილაზები და პეროქსიდაზები მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ სხვადასხვა ქიმიური კლასის ორგანული დამბინძურებლების დეგრადაციის პროცესებში. რიზოდეგრადაციის ტექნოლოგიას მიმართავენ იმ შემთხვევაში, როცა დამბინძურებლებს წარმოადგენენ: ნავთობის ნახშირწყალბადები, მაზუთი, მინერალური ზეთები, პოლიციკლური არომატული ნახშირწყალბადები – ანტრაცენი, პირენი, არენები – ბენზოლი, ტოლუოლი, ეთილბენზოლი, ქსილოლები; პესტიციდები – პენტაქლოროფენოლი, ქლორმეთილი; ჰერბიციდები – ატრაზინი, სიმაზინი, 2,4-D და სხვ. (პაპუნიძე და თანაავტ., 2005).

რიზოდეგრადაციას მიმართავენ ნიადაგის, სელიმენტის და თიხნარის დაბინძურების შემთხვევაში. ფიტოდეგრადაციისაგან განსხვავებით, ტოქსიკანტების დეგრადაციის პროცესი მცენარის გარეთ, ფესვთა ზონაში ხორციელდება და არ ხდება ქსენობიოტიკების ან მათი გარდაქმნის პროდუქტების მცენარეში ტრანსლოკაცია. ხშირ შემთხვევაში დამბინძურებელი სრულად იშლება – მინერალიზდება.

3.4. ფიტოსტაბილიზაცია

ფიტოსტაბილიზაცია გულისხმობს ტოქსიკანტის ისეთ ნაერთებში გადაყვანას, რომლებსაც საგრძნობლად მცირე ძვრადობა და ტოქსიკურობა ახასიათებთ. ფიტოსტაბილიზაციას იმ შემთხვევაში მიმართავენ, როცა დამბინძურებლის სხვა მეთოდებით მოცილება შეუძლებელია ან დიდ ხარჯთანაა დაკავშირებული.

ფიტოსტაბილიზაციის შედეგად მცირდება მძიმე მეტალის გავრცელება და მცენარეში მათი მოხვედრის საშიშროება, ამ ტექნოლოგიის ნაკლი ის არის რომ

ტოქსიკანტი მაინც რჩება ნიადაგში, ამის გამო ნიადაგი მუდმივად მოითხოვს ზედამხედველობას, საჭირო ხდება მისი პერიოდული შეტუტიანება, რის შედეგადაც წარმოიქმნება მძიმე მეტალების ფუძეები და ფუძე მარილები.

3.5. ფიტოვოლათიზაცია

ფიტოვოლათიზაცია, ანუ მცენარით აღორთვლება კიდევ ერთი ფიტორემედიაციული ტექნოლოგიაა, რომელიც მცენარეების უნიკალურ თვისებებზეა დაფუძნებული. ამ შემთხვევაში ტექნოლოგიის საფუძველს წარმოადგენს მცენარის უნარი, მოახდინოს ნიადაგიდან ან წყალხსნარიდან ქიმიური დამბინძურებლების ექსტრაქცია ფესვთა სისტემით, ტრანსპირაციული ნაკადით გადაიტანოს ეს ნაერთები ფოთლებში და ექსკრეციის საშუალებით ისინი ატმოსფეროში აირადი სახით გამოყოს. ფიტოვოლათიზაციის დროს დამბინძურებლის ქიმიური სტრუქტურა უფრო ხშირად უცვლელი რჩება, ზოგჯერ კი ნაკლებად ტოქსიკურ ფორმად ტრანსფორმირდება. მეთოდი გამოიყენება წალსატევების, საწარმოების ჩამდინარე წყლების, ნიადაგისა და თიხნარის გასასუფთავებლად. ტოქსიკანტი შეიძლება იყოს ფენოლი, ტრიქლორეთილენი, ტეტრაქლორეთილენი, ტეტრაქლორმეთანი და სხვა აქროლადი ქლორორგანული ნაერთები, აგრეთვე მძიმე მეტალები – სელენი, დარიშხანი, ვერცხლისწყალი. რედუქტაზების საშუალებით ეს მეტალები აქროლად ჰიდრიდებს ან მეტალორგანულ ნაერთებს წარმოქმნიან და ამ სახით გამოიყოფიან ჰაერში ტრანსპირაციული პროცესის შედეგად.

ფიტოვოლათიზაციის მეთოდში ხშირად გამოიყენება ვერხვის ჰიბრიდები, ტირიფი, იონჯა, აკაცია, სარეველები და სხვ. ამავე მიზნით ბოლო დროს ინერგება აგრეთვე გენეტიკურად მოდიფიცირებული მცენარეები (პაპუნძე და თანაავტ., 2005).

3.6. ჰიდრავლიკური კონტროლი

ჰიდრავლიკური კონტროლის ტექნოლოგიას სხვანაირად ფიტოჰიდრავლიკასაც უწოდებენ. მეთოდის ძირითად პრინციპს წარმოადგენს ხე-მცენარის კარგად განვითარებული ფესვის მიერ წყალთან ერთად ტოქსიკანტის შეწოვა, რის საშუალებითაც კონტროლდება წყალში ტოქსიკური ნაერთის შემცველობა. ამ მეთოდით სარგებლობენ ორგანული და არაორგანული ტოქსიკანტებით დაბინძურებული გრუნტის წყლების გასუფთავებისას.

ჰიდრავლიკურ კონტროლში გამოიყენება ვერხვი, ჭადარი, ტირიფი, არყის ხე, ევკალიპტი და მაღალი ტრანსპირაციული უნარის მქონე სხვა ფოთლოვანი ხე-მცენარეები. ცხადია, მეთოდის ნაკლს წარმოადგენს მისი დამოკიდებულება კლიმატზე და წელიწადის სეზონებზე – ზამთარში ფოთლოვანი მცენარეების მიერ ტოქსიკანტისაგან გასუფთავების პროცესი შენელებულია. წყლიდან დამბინძურებლის მოშორება ლიმიტირებულია მცენარის ფესვის სიღრმითაც. ამ ტექნოლოგიის გამოყენებისას გასათვალისწინებელია ტემპერატურის გავლენაც, რომელიც მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს ტრანსპირაციის სიჩქარეს, და შესაბამისად, ფიტოჰიდრავლიკური პროცესის ინტენსივობასაც (პაპუნძიძე და თანაავტ., 2005).

4.

სადღეისოდ განსაკუთრებით დიდი ყურადღება ექცევა სამხედრო საქმიანობით დაბინძურებული უბნების (ნაომარი ადგილები და პოლიგონები, სამხედრო ქარხნები და საწყობები, დისლოკაციის ადგილები) გასუფთავებას. ეს ტერიტორიები დაბინძურებულია ფეთქებადი ნაერთით – 2,4,6-ტრინიტროტოლუოლით და მინერალური ზეთების შემადგენლობაში შემავალი ნავთობის ნახშირწყალბადებით (Adamia et al., 2003; Khatisashvili et al., 2004). აღნიშნული ნაერთები ქიმიური ინერტულობის გამო დიდხანს რჩებიან ნიადაგში უცვლელი ფორმით, ამასთან, ადვილად აღწევენ მიწისქვეშა წყლებსა და წყალსატევებში, სადაც დიდ ზიანს აყენებენ ჰიდრობიონტებს (Korte et al., 1992).

გამოყენებული ლიტერატურა

- მ. გორდემიანი, გ. კვესიტაძე (2000) ეკოლოგიის ქიმიური საფუძვლები. თბილისი
- ვ. პაპუნძე, გ. ხატისაშვილი, თ. საღუნაშვილი. (2005) მცენარე ჯანმრთელი გარემოსათვის. ბათუმი, "აჭარა"
- გ. ხატისაშვილი, მ. ყურაშვილი, მ. გორდემიანი. (1995) მცენარეული მიკ-როსო-მული ფრაქციის გამოყოფა და მისი მუანგველი სისტემების დახასიათება. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, 152, 818-824. Арчаков, А.И. (1983) Арчаков, А.И. (1983) Оксигеназы биологических мембран. XXXVII Баховские чтения. Москва, Наука, 54.
- Гордeziანი, М. Ш., Хатисашвили, Г. А., Курашвили, М. В. (1991) Распределение NADPH-цитохром Р-450-редуктазы в растительной клетке. Сообщ. АН Грузии, 143, 321-324.
- Квеситадзе Г.И., Хатисашвили Г.А., Садунишвили Т.А., Евстигнеева З.Г. (2005) Метаболизм антропогенных токсикантов в высших растениях. Москва, «Наука».
- Adamia G, Khatisashvili G, Varazashvili T, Pruidze M, Ananiashvili T, Gvakharia V, Adamia T, Gordeziani M (2003) Determination of the type and rate of soil contamination with heavy metals and organic toxicants on the territories of military proving grounds in Georgia. Bull Georg Acad Sci 167: 155–158
- Andersen JK (2003) Paraquat and iron exposure as possible synergistic environmental risk factors in Parkinson's disease. Neurotox Res 5: 307–313
- Banerjee HN, Verma M, Hou LH, Ashraf M, Dutta SK (1999) Cytotoxicity of TNT and its metabolites. Yale J Biol Med 72: 1–4
- Bradford, M.M. (1974) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. Anal.Biochem., 59, 277-282.
- Bunge M, Adrian L, Kraus A, Opel M, Lorenz WG, Andreesen JR, Görisch H, Lechner U (2003) Reductive dehalogenation of chlorinated dioxins by an anaerobic bacterium. Nature 421: 357–360
- Commoner B (1994) The political history of dioxin. Keynote address at the 2nd Citizens Conf on Dioxin. St. Louis, <http://www.greens.org/s-r/078/07-03.html>

- Curfs DM, Beckers L, Godschalk RW, Gijbels MJ, van Schooten FJ (2003) Modulation of plasma lipid levels affects benzo[a]pyrene-induced DNA damage in tissues of two hyperlipidemic mouse models. *Environ Mol Mutagen* 42: 243–249
- Dresback K, Choshal D, Goyal A (2001) Phytoremediation of trichloroethylene (TCE) *Physiol Mol Biol Plants* 7: 117–123
- Dushenkov, V.P., Nanda Kumar, P.B., Motto, H., and Raskin, I. (1995) Rhizofiltration : the Use of plant to remove heavy metals from Aqueous streams. *Environ Sci. Technol.* 29, 1239-1245.
- Ellis LBM, Hou BK, Kang W, Wackett LP (2003) The University of Minnesota Biocatalysis/Biodegradation Database: post-genomic data mining. *Nucleic Acids Res* 31: 262–265
- EPA (2000) Introduction on phytoremediation EPA/600/R-99/107
www.epa.gov/swertio1/download/remed/introphyto.pdf
- EPA (2001) Brownfields technology primer: selecting and using phytoremediation for site cleanup. 542-R-01-006, pp 1–24
- Esteve-Núñez A, Caballero A, Ramos JL (2001) Biological degradation of 2,4,6-trinitrotoluene. *Microbiol Mol Biol Rev* 65: 335–352
- Fellenberg G (1990) *Chemie der Umweltbelastung*. Teubner, Stuttgart
- Fokin AV, Kolomiets AF (1985) Dioxins – scientific or social problem? (in Russian). *Nature (Moscow)* 3: 3–15
- Gagelidze N., Amiranashvili L, Varsimashvili Kh., Tinikashvili L., Kirtadze E., Gogoberidze M. Screening of strains capable for degradation of 2,4,6-trinitrotoluene. *Bulletin of the Georgian Academy of Sciences*. 2004. Vol.169. N2. P.381-384
- Guttes S, Failing K, Neumann K, Kleinstein J, Georgii S, Brunn H (1998) Chlororganic pesticides and polychlorinated biphenyls in breast tissue of women with benign and malignant breast disease. *Arch Environ Contam Toxicol* 35:140–147
- Kassel AG, Ghoshal D, Goyal A (2002) Phytoremediation of trichloroethylene using hybrid poplar. *Physiol Mol Biol Plants* 8: 1–8
- Khatisashvili G., Kvesitadze G., Adamia G., Gagelidze N., Sulamanidze L., Ugrekhelidze D., Zaalishvili G., Ghogoberidze M., Ramishvili M. Bioremediation of contaminated soils on the former military locations and proving grounds in Georgia. *Journal of Biological Physics and Chemistry*. 2004, 4, 162–168.

- Korte F, Behadir M, Klein W, Lay JP, Parlar H, Sceunert I (1992) Lehrbuch der ökologischen chemie. Grundlagen und Konzepte für die ökologische Beurteilung von Chemikalien. Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York
- Kvesitadze G., Khatisashvili G., Sadunishvili T., Ramsden J.J. (2006) Biochemical Mechanisms of Detoxification: Basis of Phytoremediation. Berlin, Heidelberg, Springer.
- Kwong T.C. Environ. Health. Perspect. 2004. V. 112. P.156–162
- Natural Resource Council Committee on Oil in the Sea (2003) Global marine oil pollution information gateway. <http://oils.gpa.unep.org/facts/sources.htm>
- Oh, B.-T., G. Sarath, and P. J. Shea. (2001) TNT nitroreductase from a *Pseudomonas aeruginosa* strain isolated from TNT-contaminated soil. *Soil. Biol. Biochem.* 33, 875-881.
- Opreko DM (1998) Toxicity summary for 2,4,6-trinitrotoluene. http://risk.lsd.ornl.gov/tox/profiles/2_4_6_trinitrotoluene_f_V1.shtml.
- Robidoux PY, Hawari J, Thiboutot S, Ampleman G, Sunahara GI (1999) Acute toxicity of 2,4,6-trinitrotoluene in earthworm (*Eisenia andrei*). *Ecotoxicol Environ Saf* 44: 311–321
- Salt DE, Smoth RD, Raskin I (1998) Phytoremediation. *Annu Rev Plant Physiol Mol Biol* 49: 643–668
- Schoenmuth BW, Pestemer W (2004) Dendroremediation of trinitrotoluene (TNT) Part 2: Fate of radio-labelled TNT in trees. *Environ Sci Pollut Res* 11: 331–339
- Siciliano SD, Roy R, Greer CW (2000) Reduction in denitrification activity in field soils exposed to long term contamination by 2,4,6-trinitrotoluene (TNT). *FEMS Microbiol Ecol* 32: 61–68
- Smeltzer SC, Bare BG (1996) Brunner and Suddharth's textbook of medical-surgical nursing, 8th edn. Lippincott-Raven Publishers, Pittsburg
- Stoker SH, Seager SL (1982) Pollution by organic compounds (oil, pesticides, surfactants) (in Russian) In: Bockris JOM (Ed) *Environmental chemistry*. Khimiya, Moskow, pp 346–370
- Tinikashvili L., Varsimashvili Kh., Gagelidze N., Amiranashvili L., Chrikishvili D., Kirtadze E., Khatisashvili G., Gogoberidze M. Influence of Temperature on Growth and Degrading Ability of Micrororganisms Capable for Destruction of 2,4,6-Trinitrotoluene and Mineral Oil. *Proc. Georgian Acad. Sci. Biol.Ser.A.* 2004. vol. 30. N 4. p.493-497.
- Tolls J, de Graaf I, Thijssen MATC, Haller M Sijm DTHM (1997) Bioconcentration of LAS: Experimental determination and extrapolation to environmental mixtures. *Environ Sci Technol* 31: 3426–3431
- Tsao DT (2003) Phytoremediation. *Advances in biochemical engineering and biotechnology*. Springer, Berlin Heidelberg New York

- Vermilion, J. L., Ballon, D.P., Massey, V., Coon, M. J. (1981) Separate roles for FMN and FAD in catalyzed by liver microsomal NADPH-cytochrome P-450 reductase. *J. Biol. Chem.*, 256, 1, 266-277.
- Yin SN, Li GL, Tain FD (1987) Leukaemia in benzene workers: a retrospective cohort study. *Br J Ind Med* 44: 124–128
- Zhu Y-P, Rosen MJ, Morall SW, Tolls J (1998) Surface properties of linear alkylbenzene sulfonates in hard river water. *J Surfactants and Detergents* 1: 187–193