

Ülviyyə Nizami qızı KƏRİMOVA-CƏFƏROVA
Qərbi Kaspi Universiteti, Kimya üzrə fəlsəfə doktoru
E-mail: ujapharova@gmail.com

Zəhra Fikrət qızı ƏLİYƏVA
Qərbi Kaspi Universiteti, Ekologiya və ətraf mühit kafedrası, magistrant
E-mail: zehraeliyeva2064@gmail.com

POLİSİKLIK AROMATİK KARBOHİDROGENLƏR İLƏ ÇİRLƏNMİŞ TORPAQLARIN BİODEQRADASIYA ÜSULU İLƏ REKULTİVASIYASI

Xülasə

Məqalədə PAK-ların müxtəlif bərk və ya maye üzvi yanacaqların və ya materialların natamam yanması nəticəsində əmələ gəlməsi və onların həm təbii yolla, həm də insan fəaliyyəti ilə ətraf mühitə buraxılması məsələləri araşdırılmışdır. Bu birləşmələrin molekul çəkilərinin artması ilə ətraf mühitdə davamlılıqlarının artması arasındakı əlaqə müəyyən olunmuşdur. PAK-ların konserogen olması və insanlarda müxtəlif növ xərçəng xəstəliklərinin yaranması ilə əlaqəli olması haqqında tədqiqatlar araşdırılmışdır. PAK 16 birləşmələrinin digər PAK birləşmələri ilə müqayisədə daha çox tədqiq olunduğu göstərilmişdir. Torpaqda üzvi çirkləndiricilərin bakteriyalar tərəfindən parçalanmasına əsaslanan rekultivasiya üsulu olan biodegradasiya üsulunun effektivliyi qeyd olunmuşdur. Vurğulanmışdır ki, təbiətdə yaşayan mikrobların tərkibi çirkləndiricilərin tərkibi və konsentrasiyası ilə dəyişir, ona görə də yalnız davamlı mikrob konsorsiumu sağ qalır və çirklənmiş torpağın təmizlənməsində fəal işləyir. Müəyyən olunmuşdur ki, bakteriya cinsləri müxtəlif növ karbohidrogenlərə görə seçicidirlər və onlar həm aerob, həm də anaerob vəziyyətdə çirkləndiriciləri parçalaya bilirlər. Neft dağılmalarının bioremediasiyasına iki əsas yanaşma: bioaugmentasiya (mövcud mikrob populyasiyasını tamamlamaq üçün nefti parçalayan bakteriyaların əlavə edilməsini nəzərdə tutur) və biostimulyasiyanın (qida maddələrinin və ya böyüməni artıran köməkçi substrat və təkmilləşdirmələrin əlavə edilməsi) əhəmiyyəti göstərilmişdir. Bioremediasiya texnologiyası aşağı qiymət, sadə in-situ müalicə, ətraf mühitə uyğun olması, ikinci çirklənmənin olmaması kimi bir çox üstünlükləri və bəzi çirkləndiriciləri yüksək effektivliklə təmizləmə xüsusiyyətləri qeyd olunmuşdur. Bu üsulun praktiki tətbiqindəki mövcud problemlər göstərilmişdir.

Açar sözlər: biodegradasiya, polisiklik aromatik karbohidrogen (PAK), neftlə çirklənmə, rekultivasiya.

DOI: 10.54414/NNGA3484

Giriş

Neft qeyri-karbohidrogenlərlə qarışmış müxtəlif karbohidrogenlərdən ibarətdir. N-alkanlar və polisiklik aromatik karbohidrogenlər (PAK) kimi neft karbohidrogenləri adətən üzvi birləşmələrin pirolizi və ya natamam yanması nəticəsində yaranan geniş yayılmış üzvi çirkləndiricilərdir. Onlar ətraf mühitin çirklənməsinə səbəb olur və insan sağlamlığını təhlükə altına qoyur. [2,s.1,2]

PAK-lar birləşmiş aromatik halqalı strukturları ilə kanserogen və mutagen xassəyə malikdirlər ki, bu xüsusiyyətləri onları insanlar üçün

təhlükəli edir. Hidrofob xüsusiyyətlərinə və sabit kimyəvi quruluşlarına görə onların torpağın üzvi komponentlərində toplanması sürətlə baş verir. PAK-larla torpağın uzun müddətli təması torpağın qocalmasına gətirib çıxarır və nəticə etibarı ilə çirklənməyə məruz qalmış torpağın rekultivasiyası çətinləşir. [8,s. 3]

PAK-larla uzun müddətli təması xərçəng və bədxassəli şişlərin inkişafına səbəb olur. Bu çirkləndiricilərin torpaqdan yeraltı sulara sızması insan sağlamlığı, bitki örtüyü və bioloji mühit üçün təhlükə yarada bilər. Bu səbəbdən onlarla



çirklənmiş torpaqların bərpası əhəmiyyət kəsb edir.[4] [6]

Polisiklik aromatik karbohidrogenlər (PAK)

Polisiklik aromatik karbohidrogenlər (PAK) iki və ya daha çox kondensləşmiş aromatik halqaları olan, iki halqalı naftalin və naftalin törəmələrindən tutmuş 10-a qədər halqadan ibarət mürəkkəb halqa strukturlarına qədər çeşidlənən üzvi birləşmələrin böyük qrupudur. [3,s.416-423]

PAK-ları müxtəlif bərk və ya maye üzvi yanacaqların və ya materialların natamam yanması nəticəsində əmələ gəlir. Bu yanacaqlara müxtəlif növ kömür, odun, xam neft, ağır mazut və digər qalıq yanacaqlardan əlavə kənd təsərrüfatı və məişət tullantıları kimi bioyanacaqlar, tütün tüstüsü də daxildir. Polisiklik aromatik karbohidrogenlərin sənaye emissiyaları mənbələri əsasən neft emalı zavodları, elektrik stansiyalarının qalıq yanacaqları (kömür, neft.), kömür qatranı istehsalı zavodları, koklaşma qurğuları, bitum və asfalt istehsalı zavodları, kağız fabrikləri, ağac məmulatları istehsal müəssisələri, alüminium istehsalı zavodları, maşın istehsalı və digər sənaye müəssisələridir. Təbiətdə PAK-lar müxtəlif meşə və digər bitki yanğınları və ya vulkan püskürmələri nəticəsində də əmələ gələ bilər.

Mənşəyinə görə PAK-lar qalıq yanacağın yanması nəticəsində yaranan pirogen PAK-lara və neft dağılmasından sonra xam neftə aid olan torpağı və suyu çirkləndirən petrogen PAK-lara təsnif edilir. [3,s.416-423]

Təmiz formada PAK-lar otaq temperaturunda stabilliyə malik və rəngləri şəffafdən ağ və ya açıq sarı-yaşıl rəngə qədər dəyişən bərk maddələrdir. Onlar suda qismən həll olur və əksəriyyəti fotooksidləşə və daha sadə maddələrə parçalana bilər.[3,s.416-423] Onların molekulyar çəkisinin artması ilə suda həllolmaları azalır; ərimə və qaynama temperaturu artır, buxar təzyiqi azalır. Onların ətraf mühitdə davamlılığı molekulyar çəkinin artması ilə artır. Ümumiyyətlə, polisiklik aromatik karbohidrogen molekulyarının ölçüsünün və bucağının artması, hidrofobikliyin və elektrokimyəvi sabitliyin eyni vaxtda artması ilə nəticələnir.[5, s. 333-338]

PAK-ların insan sağlamlığına təsiri

İnsanların PAK-ların mənfi təsirinə məruz qalması PAK-larla çirklənmiş qidaların qəbulu, onlarla dəri təması və ya inhalyasiyası yolu ilə

baş verə bilər.[4,s.9] PAK-ların insan dərisinin açıq səthlərinə çökməsi və absorbsiyası, qidada torpaq mənşəli PAK-ların biotoplanması və torpaq hissəciklərinin yer səthindən eroziyası, ardınca inhalyasiya yolu ilə insanların orqanizminə daxil olması PAK-larla zəhərlənməyə məruz qalmanın ümumi yollarıdır.[6,s. 2] Qida qəbulu PAK-ların, xüsusilə dörd-altı aromatik halqalı PAK-lar üçün, insan orqanizminə daxil olmanın əsas mənbəyidir. Gündəlik tənəffüs yolu ilə orqanizmə daxil olan PAK-lar qida qəbulu ilə daxil olan PAK-lardan daha azdır.[4,s.9]

PAK-ların insan üçün kanserogen olduğu və birbaşa DNT zədələnməsinə səbəb olduğu güman edilir. Stabil DNT əlavələrinin əmələ gəlməsinə səbəb olan PAK-ın DNT-yə bağlanması PAK-induksiya etmiş mutagenез və kanserogenezin əsas mexanizmidir. Havada PAK-lara məruz qalma ilə müxtəlif növ xərçəng növlərinin inkişafı arasında əlaqənin olması istiqamətində müxtəlif tədqiqatlar aparılmışdır. Bir çox kanserogenlər kimi, PAK-lar da aktiv metabolitlərini meydana gətirmək üçün bir sıra enzimatik katalizləşdirilmiş reaksiyalar vasitəsilə aktivləşmə tələb edirlər. [4,s.9,24]

Torpaqda olan PAK-lar insan orqanizminə birbaşa və dolaylı yolla təsir edə bilər. Ətraf mühitdəki PAK-larla süd vəzi xərçəngi, uşaq xərçəngi və ağciyər xərçəngi arasında müsbət əlaqələrin olmasını dəstəkləyən tədqiqatlar olsa belə, ümumi əhəmiyyətə PAK-a məruz qalmanın qiymətləndirilməsi xərçəngin inkişafı üçün lazım olan vaxtın uzunluğu və məruz qalma şəraitinin zamanla dəyişə bilməsi səbəbinə görə çətindir.[6, s. 3] [4,s.22-31] PAK-ların qeyri-kanserogen təsirlərinə gəldikdə, epidemioloji tədqiqatlar ətraf mühitin PAK-lar ilə çirkləndiyi örazilərdə ağciyər funksiyasının azalması, astmanın kəskinləşməsi və obstruktiv ağciyər xəstəlikləri ilə xəstələnmə və ölüm hallarının artması da daxil olmaqla, sağlamlıq üçün mənfi təsirlər arasında əlaqə tapılmışdır. [4,s.25-30] Mövcud olan məhdud epidemioloji tədqiqatlar göstərir ki, ətraf havada PAK-lara prenatal və erkən yaşlarda məruz qalma uşaqların idrak və ya davranış funksiyalarına mənfi təsir göstərir. [4,s.25-30]

1965-ci illərdə Amerika Birləşmiş Ştatlarının Ətraf Mühitin Mühafizəsi Agentliyi (ABŞ EPA)

16 PAK-ı prioritet çirkləndiricilər siyahısına saldı. Bu prioritet PAK-lara naftalin, asenaftilen, asenaften, flüoren, antrasen, fenantren, flüoranten, piren, xrisen, benz[a]antrasen, benzo[b]fluoranten, benzo[k]fluoranten, benzo[k]fluoranten, dibenz[a,h]antrasen, benzo[a]piren və indeno [1,2,3-cd] piren aiddir. Bunun nəticəsi olaraq məhz bu 16 PAK-lar daha dərinə öyrənilməyə başlandı.

Hazırda benzo[a]piren qrup 1 (insanlar üçün kanserojen) kimi təsnif edilən yeganə PAK-dır. Buna baxmayaraq, ən güclü genotoksik və kanserojen PAK dibenzo[al]piren sayılır. Dibenzo[al]piren haqqında tədqiqatların olmaması səbəbindən onun insan orqanizminə kanserojen təsiri olduğu hələ təsdiqlənməyib. In vivo tədqiqatlar göstərir ki, onun potensialı benzo[a]piren ilə müqayisədə 100 dəfə çoxdur. Dibenzo[al]piren (və digər dibenzopirenlər) ətraf havada, eləcə də kömür qatranında, uçucu küldə və siqaret tüstüsündə mövcuddur. [4]

PAK-ların torpaqdan biodeqradasiyası üsulları

Biodeqradasiya üzvi maddələrin mikroblar tərəfindən su və karbon qazı kimi məhsullara parçalanmasıdır. [2, s.1,2]

1965-ci ildən Jones və Smith neftin utilizasiyası üçün ilk olaraq mikroblardan istifadə edərək, mikro biodeqradasiya üsulunu yaratdılar. Hazırda neft çirkləndiricilərini parçalaya bilən 100-dən çox növ, 200 mikroorqanizm növü mövcuddur. Mikroorqanizmlərin mənbəyinə əsasən onları yerli mikroblara, yad mikroblara və gen mühəndisliyi bakteriyalarına bölmək olar. Bu üç orqanizmdən yerli mikroorqanizmlər neftin çirklənməsinə uyğunlaşa bilir və daha yüksək mikrob fəaliyyətini və deqradasiya səmərəliliyini saxlaya bilirlər ki, buna görə də mikrobların remediasiyasında ən çox tətbiq olunurlar. Lakin, təbii olaraq yerli mikrobların sayı reparasiya tələbini ödəyə bilmir deyə praktikada yerli deqradasiya bakteriyaları çirklənmiş torpaqdan təcrid edilib, populyasiyası artırıldıqdan sonra deqradasiyanın səmərəliliyini artırmaq üçün torpağa əlavə olunur. [9]

Torpaqda müxtəlif mikrob populyasiyaları yaşadığı üçün qarışıq ekosistemdir. Təbiətdə yaşayan mikrobların tərkibi çirkləndiricilərin tərkibi və konsentrasiyası ilə dəyişir, ona görə də yalnız davamlı mikrob konsorsiumu sağ qalır və

çirklənmiş torpağın təmizlənməsində fəal işləyir. Müxtəlif bakteriya cinsləri parçalanma üçün müxtəlif növ karbohidrogenləri seçirlər və onlar həm aerob, həm də anaerob vəziyyətdə işləyə bilirlər. Anaerob şəraitdə çöküntülərin ən dərin hissələrində olan bakteriyalar karbohidrogenləri parçalamaq üçün elektron qəbul edicisi kimi nitrat, sulfat və dəmirdən istifadə edir. [8, s.4,5] Aerob şəraitdə mikroblar çirkləndiriciləri karbon qazına və suya çevirir. [5, s. 333-338] Aerob vəziyyətdə olarkən, bakterial dioksigenaza fermentləri spirt qrupu ilə karbohidrogen yaratmaq üçün bir sıra ferment katalizli reaksiyalar vasitəsilə oksigeni karbon molekuluna daxil edir. Alkoqol qrupları aldehidə oksidləşir və sonra digər fermentlərin təsiri ilə karboksiklik qrupa çevrilir, bu da öz növbəsində beta oksidləşmə ilə asetil koenzim A-ya parçalanır. Onlar fermentativ sistemlərdən istifadə etməklə mürəkkəb karbohidrogenləri sadə formada parçalayırlar. [8, s.4]

Mikroorqanizmlər onlar üçün enerji və karbon mənbəyi kəsb etməyən substansları parçalaya bilir ki, bu kometabolizm adlanır. Kometabolizm (birgə metabolizm) xam neft və xam neft məhsullarında olan birləşmələrin hüceyrə böyüməsi və bölünməsi üçün karbon vermədən mikroorqanizmlər tərəfindən enzimatik hücumla məruz qala bilməsi prosesidir. Burada çirkləndiricilər orqanizmlər üçün karbon və enerji mənbəyi olmasa belə mikroblar onları transformasiya edir. Çirkləndiricini parçalamaq üçün mikroblar onların böyüməsini dəstəkləyə bilən digər birləşmələrin (ilkin substratların) olmasını tələb edir. [5, s. 22]

Buna, qarışıq PAK ilə çirklənmiş ərazilərdə sfinqomonadların kometabolizmdən istifadə edərək aşağı molekullu PAK-ların köməyi ilə yüksək molekullu PAK-ların parçalanmasını nümunə göstərmək olar. Bu, yüksək molekullu PAK-ların modifikasiyası və ya parçalanması zamanı böyüməni dəstəkləyən substrat kimi mövcud olan başqa bir PAK-ın istifadəsi ilə əlaqədardır. [11]

Ümumiyyətlə, polisiklik aromatik karbohidrogen törəmələri ilə çirklənmiş torpaqlarda mövcud olan mikrob icmaları onlardan yeganə karbon mənbəyi kimi istifadə edə bilən mikroorqanizmlərlə zənginləşir. Bununla belə, bu prosesə daha səmərəli etməyə nail olmaq üçün bir



neçə əsas ətraf mühit faktoru optimallaşdırıla bilər. [5, s. 333-338]

Neft dağılmalarının bioremediasiyasına iki əsas yanaşma var: bioaugmentasiya mövcud mikrob populyasiyasını tamamlamaq üçün nefti parçalayan bakteriyaların əlavə edilməsini nəzərdə tutur və biostimulyasiya qida maddələrinin və ya böyüməni artıran köməkçi substrat və təkmilləşdirmələrin əlavə edilməsini nəzərdə tutur. Hər hansı kimyəvi reaksiya kimi, bioremediasiya prosesinin effektiv olması üçün sahə müvafiq temperaturda olmalı və qida maddələri mövcud olmalıdır, əks halda mikroblar çox yavaş böyüyür və ya ölür. [5, s.217]

Qısa və uzun zəncirli alkanlar və PAK-lar neftin ən çox yayılmış komponentləridir və bir çox mikroorqanizmlər bu komponentlərdən karbon və enerji mənbələri kimi istifadə edirlər. Hidrofo-bikliyinə baxmayaraq, uzun zəncirli alkanlar və PAK-lar mikroorqanizmlər tərəfindən yavaş sürətlə parçalana bilər. [2,s.2]

Xam neft dağılmalarının bioremediasiyasının müvəffəqiyyətinin ölçülməsi bir neçə parametərə, o cümlədən xam neftdə polisiklik aromatik karbohidrogen törəmələrinin deqredasiyasına əsaslanır. Aşağı n-alkan törəmələri ümumiyyətlə xam neftlər içərisində ən yaxşı bioloji parçalana bilən birləşmə sinfi hesab edilsə də, digər tədqiqatlar polisiklik aromatik karbohidrogen törəmələrinin n-alkan törəmələrinə deqredasiyaya uğradığı müstəsna şərtlərin olduğunu qeyd edir. Aromatik karbohidrogen törəmələrinin imtiyazlı biodeqredasiyası Cənubi Akvitanıya hövzəsinin bitumenda da müşahidə edilmişdir. Burada n-alkan tam biodeqredasiya edilməmişdir. [5, s.217]

AramcoS2 və AramcoS4 mikroorqanizmlərinin eksperimental şəraitdə neftin 80%-ə qədərini deqredasiya edə bilən bakteriya ştammları olması müşahidə edilmişdir. Təcrübələr nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, AramcoS2 ardıcıl olaraq 7 və 14 günlük inkubasiyadan sonra təmiz toluenin təxminən 94-96%-ni, bifenilin 95-98%-ni və 14 gündən sonra naftalinin 91%-ni parçalayıb. Lakin, 7 gündən sonra naftalində xüsusi dərəcədə deqredasiyası müşahidə olunmayıb. Həmçinin, AramcoS4 14 gündən sonra naftalinin 77%-ni deqredasiyaya uğradıb, lakin 7 gündən sonra naftalinin əhəmiyyətli dərəcədə deqredasiyası baş verməyib. Antrasenin hər iki ştammi

tərəfindən deqredasiyası demək olar ki, eyni olub, yəni 7 gündən sonra 96% və 14 gün inkubasiyadan sonra 98% Onların hər ikisi uzun zəncirli PAK-ları parçalaya bilər. [2,s.4-6]

Başqa bir tədqiqatda vermikomposun əlavəsi ilə fenantren və piren ilə çirklənmiş torpaqda bioremediasiya prosesinin gedişi eksperimental şəraitdə müşahidə olunmuşdur. 70 gün ərzində davam edən tədqiqat zamanı vermikomposunun əlavəsi ilə bakteriya populyasiyalarının fenantren və pireni parçalaması prosesi sürətlənmişdir. Fenantren və pirenin orta parçalanma göstəriciləri müvafiq olaraq 88% və 83% faiz olaraq qeyd olunmuşdur. Benzol dairələrinin sayının artması ilə toksikantların bioremediasiyaya dözümlülüyü artır. Pirinə nisbətən fenantrenlə çirklənmiş mühitdə bakteriyaların uyğunlaşması daha çox vaxt tələb etməsi fenantrinin benzol dairələrinin sayının çox olması ilə izah oluna bilər. PAK-ların konsentrasiyasının artması ilə deqredasiyaya tələb olunan zaman da artmışdır. Tədqiqat zamanı Pseudomonas və Acinetobacter bakteriya ştammlarının fenantren və piren PAK birləşmələrini enerji və karbon mənbəyi kimi istifadə edə bilməsi aşkar olunmuşdur. [10]

Məhdud qida ehtiyatları ilə yaşamağa qadir, quraqlığa davamlı Aktinobakteriyaların alkanları və PAK-ları parçalamaq üçün böyük potensiala malik olduğunu vurğulayan bir sıra tədqiqatlar vardır. Bunlardan əlavə Akromobakter, Aqrobakteriya, Bacillus, Mikobakteriya, Novosfinqobium, Oxrobaktrum, Pseudomonas, Shewanella, Shigella, Stafilokokk, Stenotro-fomonlar bakterial cinslərinin PAK-ları biodeqredasiya etməsi də müşahidə olunmuşdur.

Aşağı molekullu PAK-ları parçalayan bakteriyalar təbiətdə kifayət qədər yayılmışdır. Lakin, onlardan fərqli olaraq, yüksək molekullu PAK-lar sabit fiziki-kimyəvi strukturlarına görə asanlıqla biodeqredasiyaya uğramırlar. [1]

Ekoloji baxımdan təhlükəsizliyinə və daha az maddi vəsait tələb etməsinə baxmayaraq yavaş olması səbəbindən bioremediasiyanın potensialını tam olaraq reallaşdırmamışdır. Bioremediasiya üzvi çirkləndiriciləri daha az zərərli və ya zərərsiz maddələrə parçalamaq üçün təbii mikroblardan istifadə edir. Çirkləndiricilər parçalandıqdan sonra mikroblar ölür. Bu xüsusiyyəti onu torpaqların PAK-lardan təmizlənməsi üçün ekoloji müsbət

alternativ edir. Bu metodun effektivliyi karbohidrogen konsentrasiyasından, torpağın xüsusiyyətlərindən və çirkləndiricilərin tərkibindən asılıdır. Biodeqredasiya üsullarının daha dərinə öyrənilməsi və inkişaf etdirməsi onun praktikada istifadəsini asanlaşdırır.

Hazırda biodeqredasiyanın məhsuldarlığını artırmaq üçün onun fitoremediasiya ilə birlikdə tətbiqi maraqlıdır. Torpaqda mikroorqanizmlərinin mövcudluğu ilə xam neftin reabilitasiyası üçün bitkilərin səmərəliliyi artır. Bitkilər daxil olduqları torpaq mikroorqanizmləri ilə sinergik əlaqə yaradırlar bitki mikrobları rizosfer bölgəsində yer və əlverişli mühitlə təmin edir və öz növbəsində mikroblar öz ferment sistemindən istifadə edərək çirkləndiriciləri parçalayır. Bu simbiotik əlaqə bioremediasiya və fitoremediasiya birləşməsindən ibarət olan rizoremediasiya kimi tanınır. Son zamanlar, rizoremediasiya xam neftdə mövcud olan bütün növ çirkləndiriciləri parçalayan ən uğurlu və sərfəli strategiyadır. Bu proses təbii şəkildə baş verir və əlavə mikrobların tətbiqi ilə də stimullaşdırıla bilər.

Nəticə

Beləliklə, araşdırmalardan müəyyən olunur ki, aktiv bioremediasiya strategiyaları polisiklik aromatik karbohidrogenlər ilə çirklənmiş torpaqlara tətbiq üçün yerli mikrob fəaliyyətini və çirkləndiricilərin biodeqredasiyasını artırmaq üçün yer altını qida, oksigen və digər düzəlişlərlə təmin etmək üçün istifadə edilə bilər. Bioremediasiya texnologiyası aşağı qiymət, sadə in-situ müalicə, ətraf mühitə uyğun olması, ikinci çirklənmənin olmaması kimi bir çox üstünlüklərə malikdir və bəzi çirkləndiriciləri yüksək effektivliklə təmizləyir. Lakin, bu sahədə tədqiqatların kifayət qədər olmaması onun potensialının praktikada reallaşdırılmasında problem yaradır. Polisiklik aromatik karbohidrogenlərin parçalanmasında uğurlu olan müxtəlif bakteriya cinsləri müəyyən olunsa da, PAK-ların əsasən 16 ən çox tədqiq olunmuş çirkləndirici sayılan birləşmələrindən başqa növləri haqqında kifayət qədər əsaslı tədqiqatın olmaması və müxtəlif mikroorqanizmlərin fərqli PAK birləşmələri parçalaya bilməsi uyğun biodeqredasiya metodunun tədqiqini çətinləşdirir.[9] Torpağın xassələri, pH, temperatur, torpağın üzvi

maddələri, enerji mənbələri, çirkləndiricilərin növü, torpaqda mövcud olan çirkləndiricilərin biomüxtəlifliyi və iştirak edən mikroblar daxil olmaqla bir sıra məhdudlaşdırıcı amillərə görə biodeqredasiya prosesi təbiətdə ləng baş verir. [7] Bu sahədə tədqiqat materiallarının azlığı və prosesin özünün ərazinin toksikantlardan təmizlənməsi üçün çox zaman tələb etməsi biodeqredasiyanın tətbiqini çətinləşdirməsinə baxmayaraq, bu üsul effektivliyi, ekoloji baxımdan təhlükəsiz olması və az investisiya tələb etməsinə görə PAK-larla çirklənmiş torpağın rekultivasiyası üçün əlverişli metod sayılır.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI:

1. Alotaibi, F.; Hijri, M.; St-Arnaud, M. Overview of Approaches to Improve Rhizoremediation of Petroleum Hydrocarbon-Contaminated Soils. *Appl. Microbiol.* 2021, 1, 329–351.
2. Afkar E., Hafez A. M., Rashid I.H. Ibrahim., Munirah A. Effective Removal of Alkanes and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Bacteria from Soil Chronically Exposed to Crude Petroleum Oil, 16 February 2021; 18. DOI:[10.21203/rs.3.rs-207407/v1](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-207407/v1)
3. Huang M., Penning T.M., Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs), *Encyclopedia of Food Safety*, Academic Press, 2014, Pages 416-423, ISBN 9780123786135.
4. Human health effects of polycyclic aromatic hydrocarbons as ambient air pollutants: report of the Working Group on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons of the Joint Task Force on the Health Aspects of Air Pollution. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2021.
5. James G. Speight, Karuna K. Arjoon - Petroleum Biodegradation and Oil Spill Bioremediation-CRC Press_Science Publishers, 2022.
6. Roy D, Jung W, Kim J, Lee M and Park J Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soil and Human Health Risk Levels for Various LandUse Areas in Ulsan, South Korea. *Front. Environ. Sci.* 9:744387. 2022. doi: 10.3389/fenvs.2021.744387
7. Saravanan A, Jeevanantham S, Narayanan



VA, Kumar PS, Yaashikaa PR, Muthu CMM, Rhizoremediation – A promising tool for the removal of soil contaminants: A review, Journal of Environmental Chemical Engineering, 2019.

8. Xuezh D, Anum A. A, Muhammad I., Shah T., Kalwar Q.. Remediation Methods of Crude Oil Contaminated Soil. World J Agri & Soil Sci. 4(3): 2020. WJASS.MS.ID.000595. DOI: 10.33552/WJASS.2020.04.000595.

9. Wang S., Xu Y., Lin Z., Zhang J., Norbu N., and Liu W.. The harm of petroleum-polluted soil and its remediation research. AIP Conference Proceedings, Volume 1864, Issue 1,

id.020222; 2017. DOI:[10.1063/1.4993039](https://doi.org/10.1063/1.4993039)

10. Fazel M., Ramazan K., Morteza S. and Mohsen A.. Bioremediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Contaminated Soils Using Vermicompost. International Journal of Chemical Engineering Volume 2022, Article ID 5294170, 8 pages

11. Michael G. W., Fuxing K., Carspar G., Wanting L., Yanzheng G.. Phenanthrene biodegradation by sphingomonads and its application in the contaminated soils and sediments: A review. International Biodegradation & Biodegradation 104, 2015, 333-349

Ульвия Низами Керимова-ДЖАФАРОВА

Западно-Каспийский университет, Доктор философии в области химии

Email: ujapharova@gmail.com

Захра Фикрет АЛИЕВА

Западно-Каспийский Университет, Кафедра экологии и окружающей среды

Email: zehraeliyeva2064@gmail.com

РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ, МЕТОДОМ БИОДЕГРАДАЦИИ

Резюме

В этой статье было исследовано образование ПАУ в результате неполного сгорания различных твердых или жидких органических топлив или материалов и их выброс в окружающую среду как естественным путем, так и в результате деятельности человека. Установлена связь между увеличением молекулярной массы этих соединений и увеличением их стойкости в окружающей среде. Были проведены исследования канцерогенности ПАУ и их ассоциации с различными видами рака у людей. Было показано, что соединения ПАУ 16 более изучены, чем другие соединения ПАУ. Отмечена эффективность метода биodeградации, представляющего собой метод рекультивации, основанный на разложении органических загрязнителей в почве бактериями. Подчеркнуто, что состав микробов, обитающих в природе, меняется в зависимости от состава и концентрации загрязняющих веществ, поэтому выживает и активно работает в очистке зараженной почвы только стойкий микробный консорциум. Было обнаружено, что роды бактерий избирательны в отношении различных типов углеводов и могут разлагать загрязняющие вещества как аэробно, так и анаэробно. Доказано, что важное значение имеют два основных подхода к биоремедиации разливов нефти: биоаугментация (которая включает в себя добавление разлагающих нефть бактерий для пополнения существующей микробной популяции) и биостимуляция (добавление питательных веществ или сопутствующих субстратов и добавок, стимулирующих рост). Отмечены многие преимущества технологии биоремедиации, такие как низкая стоимость, простота очистки на месте, совместимость с окружающей средой, отсутствие вторичного загрязнения, особенности очистки от некоторых загрязнителей с высокой эффективностью. Указаны актуальные проблемы практического применения этого метода.

Ключевые слова: биодegradация, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), нефтяное загрязнение, рекультивация

Ulviyya Nizami KARIMOVA-JAPHAROVA

Western Caspian University
Doctor of Philosophy in Chemistry
E-mail: ujapharova@gmail.com

Zahra Fikret ALIYEVA

Western Caspian University
Department of ecology and environment
E-mail: zehraeliyeva2064@gmail.com

RECUITIVATION OF SOILS CONTAMINATED WITH POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS BY BIODEGRADATION METHOD

Summary

In the article, PAHs formation as a result of incomplete combustion of various solid or liquid organic fuels or materials and their release into the environment both in natural way and by human activity issues have been investigated. The relationship between the increase in the molecular weight of these compounds and the increase in their persistence in the environment has been determined. Studies have been conducted on the carcinogenicity of PAHs and their association with various types of cancer in humans. PAH 16 compounds have been shown to be more studied than other PAH compounds. The effectiveness of the biodegradation method, which is a reclamation method based on the decomposition of organic pollutants in the soil by bacteria, has been noted. It has been emphasized that the composition of microbes living in nature varies with the composition and concentration of pollutants, so only a persistent microbial consortium survives and works actively in cleaning contaminated soil. Bacterial genera have been found to be selective for different types of hydrocarbons, and they can degrade pollutants both aerobically and anaerobically. Two main approaches to oil spill bioremediation: bioaugmentation (which involves the addition of oil-degrading bacteria to supplement the existing microbial population) and biostimulation (the addition of nutrients or growth-enhancing co-substrates and additives) have been shown to be important. Many advantages of bioremediation technology, such as low cost, simple in-situ treatment, compatibility with the environment, absence of secondary pollution, and the features of cleaning some pollutants with high efficiency have been mentioned. Current problems in the practical application of this method are indicated.

Keywords: biodegradation, polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH), oil pollution, reclamation.

Daxil olub: 12.04.2023