

УДК 504.064.47

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНСОРЦИУМА НЕСПОРООБРАЗУЮЩИХ МИКРООРГАНИЗМОВ
ДЛЯ РЕМЕДИАЦИИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЁННЫХ ПОЛИАРОМАТИЧЕСКИМИ
УГЛЕВОДОРОДАМИ**

А.С. Нартов¹, А.И. Сидякин^{2,3}, Э.О. Байрамалиева²

¹ НИЦ «Курчатовский институт – ИРЕА, Москва, Россия

² ООО «НПО Биотехсоюз, Москва, Россия

³ Таврическая академия Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского,
Симферополь, Россия

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) относятся к числу стойких органических загрязнителей, которые в большом количестве образуются в техногенных процессах. Главным источником их поступления в окружающую среду является автомобильный транспорт. Также значительный вклад в эмиссию этих соединений вносят выбросы промышленных предприятий. К их числу прежде всего относятся теплоэнергетические станции, работающие на угле и нефтепродуктах, мусоросжигательные заводы, предприятия, использующие в производстве нефтепродукты и др. [1].

В силу своих физико-химических свойств полиароматические углеводороды склонны к накоплению в почвах. Из вышесказанного очевидно, что наиболее заметно процесс их аккумуляции наблюдается на промышленно-урбанизированных территориях с высокой антропогенной и техногенной нагрузкой. При этом такие территории, как правило, характеризуются высокой плотностью населения. Таким образом, ПАУ, оказывающие канцерогенное, мутагенное и тератогенное воздействие на живые организмы, представляют серьёзную угрозу для здоровья городского населения. Особенно выражен этот эффект у наиболее токсичного из них – бенз(а)пирена – углеводорода, состоящего из пяти конденсированных ароматических колец. Другие соединения из числа ПАУ менее токсичны, но при совместном воздействии на организм проявляют эффект синергизма [2]. Очевидно, что задача снижения концентрации данных экотоксикантов в окружающей среде крайне актуальна.

Однако, среди физико-химических воздействий, приводящих к разрушению структуры полиароматических углеводородов, на сегодняшний день известны лишь те, что подразумевают жёсткое воздействие (УФ-облучение, окисление токсичными или едкими окислителями). Но такие способы непригодны для ремедиации почв, поскольку в результате их применения вместе с содержащимися в ней загрязнителями разрушится и естественная микрофлора. Таким образом, наиболее перспективной группой методов очистки техногенно-загрязнённых земель на сегодняшний день является их микробиологическая обработка [3].

К настоящему времени известны микроорганизмы, способные разлагать самые разнообразные поллютанты, в том числе ароматические нефтепродукты, используя содержащийся в их составе углерод в своем метаболизме [4 и др.].

ООО «НПО Биотехсоюз» на основе консорциума неспорообразующих микроорганизмов родов *Candida*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, выделенных из техногенно-загрязненных почв, разработан комплексный биопрепарат, предназначенный для деструкции нефтепродуктов. В связи с вышесказанным целью работы является изучение возможности использования такого препарата для очистки почв от ПАУ.

Исследование проводилось на образцах почвы, отобранных по четырём направлениям в радиусе 5 км от НПО «Луч» (г. Подольск, Московская область) и мусоросжигательного завода № 3 (г. Москва) – всего 64 образца. Методом газовой хроматографии – масс-спектрометрии было изучено изменение концентрации двенадцати ПАУ в исходных образцах почвы и в образцах, подвергшихся воздействию 1 %-ного раствора препарата в течение 100 часов.

В результате проведения исследований установлено, что происходит снижение концентраций всех полиароматических углеводородов в 1,5 – 2,4 раза (в зависимости от структуры и молекулярной массы). При этом были выявлены следующие особенности:

1. Во всех образцах почвы наблюдалось снижение суммарной концентрации полиароматических углеводородов в 1,7 – 2,2 раза.

2. В большинстве случаев по прошествии 100 часов значения концентраций одного и того же компонента в различных образцах становились близкими, практически независимо от исходного уровня загрязнения. То есть, в почвах, загрязнённых сильнее, процесс переработки ПАУ проходил интенсивнее.

3. Степень снижения концентрации различных полиароматических углеводородов хорошо коррелирует с их строением: а.) Максимальное снижение наблюдалось для четырёхчленных ПАУ и примерно на 30–50 % меньше – для 3- и 5-членных.

б.) Возможность переработки ПАУ разработанным препаратом, вероятно, также зависит от способа расположения ароматических колец в молекуле. Так, хризен, имеющий ангулярное строение, подвергался переработке в среднем на 10 % лучше, чем пирен, также имеющий 4 ароматических кольца в структуре, но расположенных кластером. То же можно сказать и про большинство 5-членных ПАУ. Наименее интенсивно подвергался переработке бенз(а)пирен, имеющий кластерное строение. Примерно на 20 % лучше перерабатывались бензофлуорантены и перилен, у которых линейные или ангулярные ароматические фрагменты разделены неароматическим кольцом. Исключение составил лишь бенз(е)пирен, который имеет кластерное строение, но снижение концентрации которого в среднем оказалось сопоставимо с этим показателем для 4-членных ПАУ. Ангулярные и линейные структуры перерабатываются микроорганизмами препарата примерно в равной степени. В частности, содержание фенантрена и антрацена в подавляющем большинстве образцов снижалось на близкие величины, в основном в пределах 35–40 %.

Таким образом, в ходе проведённых исследований было показано, что микробиологический препарат, содержащий консорциум неспорообразующих микроорганизмов указанных родов, может быть использован не только для ликвидации нефтяных загрязнений, но и для улучшения экологического состояния почв промышленно-урбанизированных территорий, в верхнем слое которых адсорбировано значительное количество техногенных полиароматических углеводородов. Определение наиболее оптимальных условий применения препарата является предметом дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геннадиев А.Н., Пиковский Ю.И., Цибарт А.С., Смирнова М.А. Углеводороды в почвах: происхождение, состав, поведение (обзор) // Почвоведение, 2015, № 10, с. 1195–1209.
2. Staal YC, Hebls DG, van Herwijnen MH, Gottschalk RW, van Schooten FJ, van Delft JH Binary PAH mixtures cause additive or antagonistic effects on gene expression but synergistic effects on DNA adduct formation // Carcinogenesis. 2007 Dec; 28(12) : 2632–40. Epub 2007 Aug 8.
3. Крылов В.А., Мосягин П.В., Крылов А.В., Бочкарёва Л.В., Маткивская Ю.О. Влияние света люминесцентных ламп на стабильность образцов, содержащих полициклические ароматические углеводороды // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, 2010, № 4 (1), с. 79–85.
4. Плешакова Е.В., Голубев С.Н., Турковская О.В. Биодegradация нефтяных углеводородов штаммом *Dietzia maris*, её генетические особенности // Известия Саратовского университета, 2007, т. 7, сер. Химия. Биология. Экология, вып. 1.